นวัตกรรมการสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงด้วยระบบธรรมชาติ

นางสาวสุธีวัน โล่ห์สุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE INNOVATIVE DESIGN OF HIGH QUALITY CLASSROOM USING NATURAL SYSTEMS

Miss Suteewan Lohasuwan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	นวัตกรรมการสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูง ด้วยระบบธรรมชาติ
โดย	นางสาวสุธีวัน โล่ห์สุวรรณ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์สุดา ปทุมานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี พงศ์พิศ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ: นวัตกรรมการสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงด้วยระบบธรรมชาติ. (THE INNOVATIVE DESIGN OF HIGH QUALITY CLASSROOM USING NATURAL SYSTEMS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ, 330 หน้า.

ห้องเรียนมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ แต่ห้องเรียนปัจจุบันประสบปัญหา เช่น อากาศร้อน มองสื่อไม่ชัดเจนมีปัญหามุมมอง ขาดความสมบูรณ์ในการฟัง เป็นต้น การแก้ปัญหาโดยทั่วไปจึงใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม การวิจัยนี้จึงศึกษาการนำระบบธรรมชาติเพื่อใช้สร้างห้องเรียนธรรมชาติคุณภาพสูงที่เหมาะสำหรับประเทศไทยรวมถึงปัจจัยด้านเทคนิคการเรียนรู้มีรูปแบบของสื่อเพิ่มขึ้น ความต้องการพื้นฐานที่สำคัญของการเรียนรู้ในห้องเรียนคือความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ระดับแสงสว่างที่เพียงพอ มุมมองที่เหมาะสม และคุณภาพเสียงที่ดี

การวิจัยเริ่มศึกษาตัวแปรกายภาพและความต้องการของกิจกรรมการเรียนรู้ ร่วมกับการสำรวจสภาพห้องเรียนปัจจุบันจำนวน 12 ตัวอย่าง พบว่าห้องเรียนส่วนใหญ่มีเปลือกอาคารที่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในได้ ประกอบกับสภาพแวดล้อมภายนอกที่รุนแรง ทำให้ห้องเรียนมีปัญหาด้านคุณภาพของสภาพแวดล้อมที่ไม่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้

ผลการศึกษาห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบจากผลการวิจัยนำระบบธรรมชาติมาใช้ของกรณีศึกษา 3 กรณี พบว่าห้องเรียนธรรมชาติขนาด 60 ที่นั่งที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต และห้องเรียนธรรมชาติขนาด 80 ที่นั่งที่มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ วิทยาเขตบางคล้า สามารถปรุงแต่งสภาพแวดล้อมให้เข้าสู่เขตสบายแบบกึ่งควบคุมได้ แต่ยังขาดการดูดซับความร้อนของมวลสารและการควบคุมแสงสว่างบริเวณหน้าจอ ส่วนกรณีปรับปรุงห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมพบว่าสามารถปรับปรุงได้โดยใช้ระบบเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงช่วยเสริมปัจจัยธรรมชาติ เนื่องจากปัจจัยเสียงรบกวนจากเครื่องบิน

การนำองค์ความรู้จากห้องเรียนดังกล่าวมาสร้างห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบขนาด 300 ที่นั่งที่ ดีเอ็นเอ รีสอร์ท เขาใหญ่ พบว่าสามารถปรุงแต่งสภาพแวดล้อมด้านความรู้สึกร้อนหนาวเข้าสู่เขตสบายได้ด้วยสภาพแวดล้อมที่สมบูรณ์ ป้องกันความร้อนจากภายนอกที่ดี ใช้อิทธิพลของความเร็วลม 1.0-6.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อิทธิพลการแผ่รังสีจากอุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 0.5-1.0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 80 ด้านการมองเห็นในเวลากลางวันมีระดับความสว่าง 150-900 ลักซ์ สามารถควบคุมไม่ให้เกิดแสงจ้าระคายเคืองตาและแสงสะท้อนรบกวนการมองเห็น ด้านการได้ยินในสภาพแวดล้อมปกติเสียงรบกวนภายในเท่ากับ 30-35 เดซิเบลเอ มีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์เท่ากับ 1.75 วินาที จากการควบคุมการสะท้อนและดูดซับเสียง ผลการวิจัยสรุปว่าระบบธรรมชาติสามารถสร้างสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ได้และสามารถขยายผลสู่รูปแบบการเรียนรู้อื่นต่อไป

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2552

##487 44062 25: MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: CLASSROOM / NATURAL / THERMAL / LIGHTING / VISUAL / ACOUSTICS

SUTEEWAN LOHASUWAN: THE INNOVATIVE DESIGN OF HIGH QUALITY CLASSROOM USING NATURAL SYSTEMS. THESIS ADVISOR: PROFESSOR DR. SOONTORN BOONYATIKARN, 330 pp.

Classroom should enhance learning activities, but current problems are high air temperature, visual, lighting, acoustics. Common solution is to install mechanical and electrical equipments. Applying natural factors in high quality natural classroom fulfill multimedia technology and basic learning factors as thermal, lighting, visual, and acoustics comforts.

Architectural factors and learning activity requirements were evaluated as well as 12 classrooms samples. It is found that almost classrooms have poor building envelop. Moreover, bad outside environment conditions affect classroom performance.

Applying natural factors to three natural classrooms as pilot tests, it is found that 60-seat natural classroom at Thammasat University, Rangsit Center and 80-seat at Rajabhat Rajanagarinda University, Bang-kla Campus can modify their natural environments into comfort zone most of the time. On the other hands, classrooms at Poolcharoenwitayakom high school improve room conditions using integrated air condition and other natural factors since it locates near airport.

Natural factor application results were used to build 300-seat natural classroom at DNA resort, Khaoyai. With appropriate outside environment modification, thermal comfort inside classroom easily comes to comfort zone. Using high insulation material in building envelop, wind velocity 1.0-6.4 km./h. and mean radiant temperature (MRT) of 0.5-1.0 ^{o}C can keep comfort condition inside the classroom at all times. Working plane has 150-900 lux during day time without glare and reflected glare. Acoustics property has background noise of 30-35 dBA and reverberation time of 1.75 seconds. It can be concluded that applying natural factors to improve classroom condition can enhance the learning activity which can be simple applied to other classrooms in Thailand.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	: Architecture	Student's Signature	Suteewan L.
Field of Study	: Architecture	Advisor's Signature	Soont Boonyt
Academic Year	: 2009		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยพระคุณของ ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้โอกาสการสร้างสรรค์ห้องเรียนด้วยระบบธรรมชาติที่เป็นการประยุกต์ภูมิปัญญาไทยในเชิงวิทยาศาสตร์ ประสบการณ์การเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติงาน รวมถึงปรัชญาการทำวิจัยร่วมกับการทำงานที่แท้จริง

ขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์สุดา ปทุมานนท์ สำหรับการเปิดมุมมองมิติคุณค่าแห่งชีวิตให้กับการสร้างสรรค์ ขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เสรี พงศ์พิศ สำหรับข้อคิดและปรัชญาอันลึกซึ้งซึ่งผ่านประสบการณ์ของท่านอาจารย์ ขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ สำหรับคำแนะนำเรื่องกระบวนการคิด ความช่วยเหลือทุกด้านและการวางแผนที่ยอดเยี่ยม ขอบคุณอาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ สำหรับคำแนะนำที่มีประโยชน์ และขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาเดินทางเข้าร่วมการสอบวิทยานิพนธ์นี้

ขอบคุณการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ วิทยาเขตบางคล้า โรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมและ ดี เอ็น เอ รีสอร์ท เขาใหญ่

ขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่เอื้อเฟื้อในการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม

ขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคลากรทุกท่านที่สนับสนุนการรวบรวมข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอบคุณ ดี เอ็น เอ รีสอร์ท เขาใหญ่ และบุคลากรทุกท่านที่สนับสนุนการจัดสถานที่สอบ

ขอบคุณความช่วยเหลือรวมถึงน้ำใจและมิตรภาพในช่วงเวลาวิกฤตที่สุดของการทำวิทยานิพนธ์นี้จาก ดร.ชญาณิน จิตรานุเคราะห์ คุณอุษณีย์ มิ่งวิมล คุณชูพงษ์ ทองคำสมุทร คุณนัฐพล จิรัฐติกาลกิจ คุณวรวุฒิ ศิริรัชฎะ คุณอัจฉรียา ชัยยะสมุทร ที่ทำให้วิทยานิพนธ์และการสอบครั้งนี้สำเร็จได้ และขอบคุณคุณสราวุฒิ โสนะมิตร สำหรับเครื่องฉายภาพในวันสอบ

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอด

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... **ง**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... **จ**
กิตติกรรมประกาศ ..... **ฉ**
สารบัญ ..... **ช**
สารบัญตาราง ..... **ฑ**
สารบัญภาพ ..... **ด**
สารบัญแผนภูมิ ..... **น**
บทที่ 1 บทนำ **1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 6
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 7
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 8
1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 9
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **10**
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้และลักษณะของห้องเรียนที่เหมาะสม 10
2.2 ทฤษฎีความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวและอิทธิพลของสภาพแวดล้อม 14
2.2.1 ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว 14
2.2.2 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาว 17
2.2.2.1 อิทธิพลการใช้ประโยชน์จากความลาดเอียงของพื้นดิน 17
2.2.2.2 อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ 18
2.2.2.3 อิทธิพลการใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่ 19
2.2.2.4 อิทธิพลการใช้ประโยชน์จากความเร็วลม 19
2.2.2.5 อิทธิพลการสร้างความเย็นจากการระเหยของน้ำ 19
2.2.2.6 อิทธิพลความเย็นจากท้องฟ้าเวลากลางคืน 20
2.2.2.7 อิทธิพลการดูดซับความร้อนจากมวลสาร 20
2.2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร 21

2.3 ทฤษฎีความรู้สึกสบายด้านแสงสว่าง ความรู้สึกสบายด้านการมองเห็น และการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ 24
2.3.1 ปัจจัยหลักของการมองเห็นภาพและวัตถุ 25
2.3.2 ปัจจัยด้านการมองเห็นที่ปรุงแต่งโดยสภาพแวดล้อมและลักษณะผู้มอง 30
2.3.3 การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในห้องเรียน 36
2.4 ทฤษฎีความรู้สึกสบายด้านการได้ยินและการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมด้านเสียง 38
2.4.1 ความรู้สึกสบายด้านการได้ยิน 39
2.4.2 ปัจจัยด้านการได้ยินที่ปรุงแต่งโดยสภาพแวดล้อม 46
2.5 เขตสบายในระดับต่างๆ 48
2.5.1 พื้นที่ธรรมชาติ 49
2.5.2 พื้นที่ควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ 49
2.5.3 พื้นที่กึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม 49
2.5.4 พื้นที่ควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างสมบูรณ์ 49
2.6 มาตรฐานของห้องเรียนที่มีอยู่ในปัจจุบัน 52
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 53
3.1 ตัวแปรที่ศึกษา 53
3.2 เครื่องมือที่ใช้วัดคุณสมบัติของสภาพแวดล้อมในห้องเรียนด้วย 54
3.2.1 เครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุ 54
3.2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 55
3.2.3 เครื่องวัดความเข้มแสงแบบดิจิตอล 56
3.2.4 เครื่องวัดค่าความสว่างของวัสดุ 58
3.2.5 เครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง 59
3.3 เครื่องมือสำหรับการสัมภาษณ์และสร้างแบบสอบถาม 61
3.3.1 แบบการสัมภาษณ์ 61
3.3.2 แบบสอบถามสำหรับสอบถามผู้เชี่ยวชาญในการศึกษาด้วยวิธีเดลฟาย 61
3.3.3 แบบสอบถามสำหรับสอบถามการรับรู้ในห้องเรียน 61
3.3.4 เทคนิคการคำนวณและจำลอง และเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสภาพแวดล้อม 62
3.3.4.1 การดูดซับความร้อนในมวลสาร 62

3.3.4.2 การคำนวณอุณหภูมิที่ลดลงของอากาศเนื่องจากการระเหยของน้ำ 63
3.3.4.3 ความรู้สึกเย็นลงเนื่องจากอิทธิพลของความเร็วลม 63
3.3.4.4 การคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ 63
3.3.4.5 การคำนวณความรู้สึกร้อนหนาวเนื่องจากอิทธิพลการแผ่รังสี 64
3.4 ขั้นตอนในการศึกษา 65
3.4.1 ศึกษาลักษณะตัวแปรด้านกายภาพและสำรวจสภาพของห้องเรียนทั่วไป 65
3.4.2 สำรวจความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ 65
3.4.3 วิเคราะห์ข้อได้เปรียบและข้อด้อยของห้องเรียนที่เป็นกรณีศึกษา 66
3.4.4 การออกแบบ ก่อสร้างและประเมินผลห้องเรียนธรรมชาติ 67
บทที่ 4 ผลการวิจัย 69
4.1 ผลการศึกษาคุณภาพด้านกายภาพและการสำรวจห้องเรียน 69
4.1.1 ตัวแปรเกี่ยวกับความสบายด้านรู้สึกความร้อนหนาว 69
4.1.2 ตัวแปรเกี่ยวกับความสบายด้านแสงสว่าง 71
4.1.3 ตัวแปรเกี่ยวกับความสบายด้านการมองเห็น 72
4.1.4 ตัวแปรเกี่ยวกับความสบายด้านการได้ยิน 74
4.1.5 ผลการสำรวจตัวแปรสภาพห้องเรียนทั่วไปจำนวน 12 โรงเรียน 75
4.2 ผลการสำรวจตัวแปรจากผู้เชี่ยวชาญ 88
4.2.1 ผลการสำรวจรอบที่ 1 88
4.2.1.1 ลักษณะคำถาม 88
4.2.1.2 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ 89
4.2.1.3 คำตอบที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ 89
4.2.2 ผลการสำรวจรอบที่ 2 91
4.2.2.1 ความต้องการความรู้สึกร้อนหนาวที่เหมาะสม 91
4.2.2.2 ความต้องการแสงสว่างที่เหมาะสม 93
4.2.2.3 คุณภาพของแสงสว่าง 102
4.2.2.4 ความต้องการทัศนวิสัยที่สบายตา 104

4.2.2.5 ความต้องการคุณภาพของเสียง 106
4.2.2.6 ความต้องการอื่นๆ 108
4.2.3 ผลการสำรวจรอบที่ 3 109
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อได้เปรียบ-ข้อด้อยของกรณีศึกษา..... 111
4.3.1 ผลกรณีศึกษา 1 ห้องเรียนธรรมชาติธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต..... 111
4.3.1.1 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว 111
4.3.1.2 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านแสงสว่าง 111
4.3.1.3 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการมองเห็น. 111
4.3.1.4 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการได้ยิน..... 112
4.3.2 ผลกรณีศึกษา 2 ห้องเรียนธรรมชาติราชภัฏฯ บางคล้า 117
4.3.2.1 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว 117
4.3.2.2 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านแสงสว่าง 117
4.3.2.3 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการมองเห็น. 117
4.3.2.4 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการได้ยิน..... 118
4.3.3 ผลกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ 121
4.3.3.1 ผลการสำรวจความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว กรณีศึกษาที่ 3 129
4.3.3.2 ผลการสำรวจความสบายด้านแสงสว่างกรณีศึกษาที่ 3 130
4.3.3.3 ผลการสำรวจความสบายด้านการมองเห็นกรณีศึกษาที่ 3 .. 131
4.3.3.4 ผลการสำรวจความสบายด้านการได้ยินกรณีศึกษาที่ 3 132
4.4 ผลการออกแบบ ก่อสร้าง ประเมินผลห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ 134
4.4.1 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว 134
4.4.2 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านแสงสว่าง..... 135
4.4.3 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการมองเห็น..... 135
4.4.4 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการได้ยิน..... 135
4.4.5 ผลการสำรวจความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ..... 143

4.4.6 ผลการสำรวจความสบายด้านแสงสว่างห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ..... 145
4.4.7 ผลการสำรวจความสบายด้านการมองเห็นห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ.. 147
4.4.8 ผลการสำรวจความสบายด้านด้านการได้ยินห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ..... 148
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย..... 149
5.1 อภิปรายตัวแปรกายภาพที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานคุณภาพห้องเรียน..... 149
5.1.1 อภิปรายตัวแปรกายภาพของห้องเรียนที่มีอิทธิพลต่อความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว 149
5.1.2 อภิปรายตัวแปรกายภาพของห้องเรียนที่มีอิทธิพลต่อความสบายด้านแสงสว่าง..... 162
5.1.3 อภิปรายตัวแปรกายภาพของห้องเรียนที่มีอิทธิพลต่อความสบายด้านการมองเห็น..... 162
5.1.4 อภิปรายตัวแปรกายภาพของห้องเรียนที่มีอิทธิพลต่อความสบายด้านการได้ยิน 162
5.2 อภิปรายตัวแปรห้องเรียนที่เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ 164
5.2.1 ด้านความรู้สึกด้านร้อนหนาว..... 164
5.2.2 ด้านแสงสว่าง..... 165
5.2.3 ด้านมุมมองและทัศนวิสัย..... 169
5.2.4 ด้านคุณภาพเสียงและการได้ยิน 170
5.2.5 ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 171
5.2.6 ด้านคุณภาพอากาศ 171
5.2.7 ด้านบรรยากาศและความสวยงาม และด้านความปลอดภัย 172
5.3 อภิปรายผลการศึกษากรณีศึกษา..... 173
5.3.1 อภิปรายผลกรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์รังสิตและกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า..... 173
5.3.1.1 อภิปรายผลความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า..... 173
5.3.1.2 อภิปรายผลความสบายด้านแสงสว่างกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า..... 176

5.3.1.3 อภิปรายผลความสบายด้านการมองเห็นกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า 178
5.3.1.4 อภิปรายผลความสบายด้านการได้ยินกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า 178
5.3.2 อภิปรายผลกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ 179
5.3.2.1 อภิปรายผลความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ 179
5.3.2.2 อภิปรายผลความสบายด้านแสงสว่างกรณีศึกษา 3 182
5.3.2.3 อภิปรายผลความสบายด้านการมองเห็นกรณีศึกษา 3 182
5.3.2.4 อภิปรายผลความสบายด้านการได้ยินกรณีศึกษา 3 185
5.4 อภิปรายผลห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ 186
5.4.1 อภิปรายผลความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวของห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ 186
5.4.2 อภิปรายผลความสบายด้านแสงสว่างภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ 197
5.4.3 อภิปรายผลความสบายด้านการมองเห็นภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ 199
5.4.4 อภิปรายผลความสบายด้านการได้ยินภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ 203
บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 206
6.1 ข้อสรุปตัวแปรคุณภาพห้องเรียนทางกายภาพและลักษณะห้องเรียนที่สำรวจ 206
6.1.1 ข้อสรุปตัวแปรกายภาพความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวของห้องเรียน 206
6.1.1.1 การป้องกันความร้อนของเปลือกห้องเรียน 206
6.1.1.2 การสร้างความรู้สึกเสมือนที่เย็นลงด้วยความเร็วลม 207
6.1.1.3 การสร้างความรู้สึกเสมือนที่เย็นลงด้วยอิทธิพลการแผ่รังสีอุณหภูมิผิวเฉลี่ยผิวโดยรอบ 207
6.1.2 ข้อสรุปตัวแปรกายภาพความสบายด้านแสงสว่าง 208
6.1.3 ข้อสรุปตัวแปรกายภาพความสบายด้านการมองเห็น 208

6.1.4 ข้อสรุปตัวแปรกายภาพความสบายด้านการได้ยิน 208
6.2 ข้อตัวแปรที่เหมาะสมกับการเรียนรู้ตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 209
6.2.1 ด้านความรู้สึกร้อนหนาว 209
6.2.2 ด้านแสงสว่าง 210
6.2.3 ด้านการมุมมองและทัศนวิสัย 211
6.2.4 ด้านคุณภาพเสียงและการได้ยิน 212
6.2.5 ด้านคุณภาพอากาศ 212
6.2.6 ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 213
6.2.7 ด้านตัวแปรอื่นๆ ความปลอดภัย บรรยากาศและความสวยงาม 213
6.3 ข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้อยของกรณีศึกษา 215
6.3.1 ข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้อยของกรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต 215
6.3.2 ข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้อยของกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯวิทยาเขตบางคล้า 216
6.3.3 ข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้อยของกรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญฯ 217
6.4 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ 218
6.4.1 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเกี่ยวกับความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว 218
6.4.2 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเกี่ยวกับความสบายด้านระดับแสงสว่าง 219
6.4.3 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเกี่ยวกับความสบายด้านการมองเห็น 219
6.4.4 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเกี่ยวกับความสบายด้านการได้ยิน ... 219
6.5 ข้อเสนอแนะ 220
รายการอ้างอิง 222
ภาคผนวก 227
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 330

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1-1 แสดงมาตรฐานการได้รับเสียงดังในสภาพแวดล้อม 3
ตารางที่ 2-1 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุในอาคารและภายนอกอาคาร 26
ตารางที่ 2-2 แสดงค่าความเปรียบต่างของแสงในการมองเห็น 28
ตารางที่ 2-3 แสดงความแตกต่างของระดับเสียงกับความรู้สึกของมนุษย์..... 43
ตารางที่ 3-1 แสดงรายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย..... 53
ตารางที่ 4-1 แสดงตัวแปรสภาพแวดล้อมของห้องเรียนเกี่ยวกับความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว..... 70
ตารางที่ 4-2 แสดงตัวแปรสภาพแวดล้อมด้านบุคคลเกี่ยวกับความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว..... 71
ตารางที่ 4-3 แสดงตัวแปรเกี่ยวกับความสบายที่เกี่ยวข้องกับระดับแสงสว่าง..... 72
ตารางที่ 4-4 แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความเปรียบต่างของการมองเห็นในมุมมองต่างๆ .. 73
ตารางที่ 4-5 แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความชัดเจนในการมองเห็น..... 73
ตารางที่ 4-6 แสดงตัวแปรสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์..... 74
ตารางที่ 4-7 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย..... 75
ตารางที่ 4-8 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนจิตรลดา..... 76
ตารางที่ 4-9 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนเซนต์ดอมินิก..... 77
ตารางที่ 4-10 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนอาคารศิลปะโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา 78
ตารางที่ 4-11 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย..... 79
ตารางที่ 4-12 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนราชินี..... 80
ตารางที่ 4-13 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสตรีวิทยา..... 81
ตารางที่ 4-14 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยฝ่ายมัธยม 82
ตารางที่ 4-15 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒปทุมวัน..... 83
ตารางที่ 4-16 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ฝ่ายมัธยม 84
ตารางที่ 4-17 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสามเสนวิทยาลัย 85

ตารางที่ 4-18 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนอัสสัมชัญคอนแวนต์ 86
ตารางที่ 4-19 แสดงผลการสำรวจด้านความรู้สึกร้อนหนาวกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ 129
ตารางที่ 4-20 แสดงผลการสำรวจด้านการมองเห็นกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญ 131
ตารางที่ 4-21 แสดงผลการสำรวจด้านการได้ยินกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญ... 133
ตารางที่ 4-22 แสดงค่าการสะท้อนแสงของห้องเรียนธรรมชาติต้อนแบบ (วันที่ 29 สิงหาคม 2552) 145
ตารางที่ 4-23 แสดงค่าการสะท้อนแสงของห้องเรียนธรรมชาติต้อนแบบ (วันที่ 4 ตุลาคม 2552) 146
ตารางที่ 4-24 แสดงผลการสำรวจด้านการได้ยิน ห้องเรียนธรรมชาติ เขาใหญ่ 148
ตารางที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบผนังห้องเรียนที่สำรวจ กรณีศึกษา1 2 3 และ กรณีห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบฯ..... 152
ตารางที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบหลังคา ห้องเรียนจากการสำรวจ กรณีศึกษา1 2 3 และกรณีห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบฯ 155
ตารางที่ 5-3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนัง 160
ตารางที่ 5-4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ของกระจกและผนังทึบที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบหน้าต่างทั้ง 3 แบบ 160
ตารางที่ 5-5 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิการบังแดด ของกระจกใส 6 มม. กับกระจกฉนวน (heat stop) ที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 3..... 160
ตารางที่ 5-6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและกระจกของหน้าต่าง 3 แบบ 161
ตารางที่ 5-7 แสดงค่าการสูญเสียการส่งผ่านของเสียง (sound transmission loss) วัสดุเปลือกอาคาร 163
ตารางที่ 5-8 การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของห้องเรียนกรณีศึกษา 3 179
ตารางที่ 5-9 แสดงการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกห้องเรียนกรณีศึกษา 3 179

ตารางที่ 6-1 แสดงผลสรุปรวมของการศึกษาตัวแปรกายภาพ กิจกรรม และการสำรวจห้องเรียน 214
ตารางที่ 6-2 แสดงข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้วยของกรณีศึกษา 1 215
ตารางที่ 6-3 แสดงผลสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้วยของกรณีศึกษา 2 216
ตารางที่ 6-4 แสดงผลสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้วยของกรณีศึกษา 3 217

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1-1 แสดงสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนทั่วไป 2
ภาพที่ 1-2 แสดงอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อร่างกายเมื่อนั่งอยู่บริเวณใต้ถุนของบ้านไทย 5
ภาพที่ 2-1 แสดงขั้นตอนหลักการของการประมวลสารสนเทศของมนุษย์ 11
ภาพที่ 2-2 แสดงอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อกระบวนการเรียนรู้ในห้องเรียน..... 13
ภาพที่ 2-3 แสดงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาว ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ ความเร็วลม เสื้อผ้าที่สวมใส่ อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย 15
ภาพที่ 2-4 แสดงทิศทางลมเย็นระหว่างกลางวันและกลางคืน 17
ภาพที่ 2-5 แสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ของประสาทสัมผัสทางการมองเห็น 25
ภาพที่ 2-6 แสดงค่าการสะท้อนแสงแนะนำของพื้นผิวในห้องเรียน 27
ภาพที่ 2-7 แสดงค่าความเปรียบต่างที่แนะนำในห้องเรียน 29
ภาพที่ 2-8 แสดงองค์ประกอบของดวงตา 31
ภาพที่ 2-9 แสดงมุมมองในการมองเห็น 33
ภาพที่ 2-10 แสดงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมอง (angle of degrees) ที่แตกต่างกัน ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยโดยประมาณของความสว่าง (average luminance) ที่สายตายอมรับได้ หน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (footLamberts) ตัวเลขที่แสดงเป็นการประมาณการ ในการประยุกต์เพื่อใช้งานต้องพิจารณาปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ อีกหลายประการ 34
ภาพที่ 2-11 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวที่สะท้อนแสง (a) พื้นผิวมันเสมือนกระจก (polished) เกิดการสะท้อนแบบเสมือนกระจก (specular) (b) พื้นผิวมีความมันและกระด้าง (rough) เกิดการสะท้อนแบบสาดเป็นลำแสง (spread) (c) พื้นผิวด้าน (matte) เกิดการสะท้อนแบบฟุ้งกระจาย (diffuse) 35
ภาพที่ 2-12 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงแบบผสม (compound) 36
ภาพที่ 2-13 แสดงตัวแปรเกี่ยวข้องกับปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคาร 37
ภาพที่ 2-14 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มแสงบนระนาบ 38

ภาพที่ 2-15 แสดงตัวแปรปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ของประสาทสัมผัสทางการได้ยิน 39
ภาพที่ 2-16 แสดงการป้องกันเสียงด้วยการใช้เนินดิน 46
ภาพที่ 2-17 แสดงค่าระดับความดังของเสียงที่ลดลงเมื่อห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง 47
ภาพที่ 3-1 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุ รุ่น testo 860-T2 55
ภาพที่ 3-2 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น DIGICON Model : DL-TH-USB 56
ภาพที่ 3-3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 56
ภาพที่ 3-4 แสดงเครื่องวัดความเข้มแสงแบบดิจิตอล 57
ภาพที่ 3-5 แสดงระดับพื้นโต๊ะทำงาน สำหรับวัดความเข้มแสง กรณีโต๊ะในห้องเรียนสูง 0.75 ม. 57
ภาพที่ 3-6 แสดงเครื่องวัดค่าความสว่างของวัสดุ..... 58
ภาพที่ 3-7 แสดงเครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง..... 59
ภาพที่ 4-1 แสดงบรรยากาศภายนอกห้องเรียนกรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต 112
ภาพที่ 4-2 แสดงผังบริเวณ กรณีศึกษา 1..... 113
ภาพที่ 4-3 แสดงรูปด้าน 1 กรณีศึกษา 1..... 113
ภาพที่ 4-4 แสดงรูปด้าน 2 กรณีศึกษา 1..... 114
ภาพที่ 4-5 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 1 แสดงอุณหภูมิภายในห้อง 114
ภาพที่ 4-6 แสดงบรรยากาศภายในกรณีศึกษา 1 แสดงอุณหภูมิภายในห้อง 115
ภาพที่ 4-7 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 1 แสดงการให้แสงธรรมชาติภายในห้อง 115
ภาพที่ 4-8 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 1 แสดงการสะท้อนและดูดซับเสียงภายในห้อง..... 116
ภาพที่ 4-9 แสดงการสร้างการระเหยของน้ำภายนอกห้องเรียนกรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต..... 116
ภาพที่ 4-10 แสดงบรรยากาศภายนอกห้องเรียนกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า..... 118
ภาพที่ 4-11 แสดงผังบริเวณ กรณีศึกษา 2..... 119
ภาพที่ 4-12 แสดงรูปด้าน 1 กรณีศึกษา 2..... 119
ภาพที่ 4-13 แสดงรูปด้าน 2 กรณีศึกษา 2..... 120
ภาพที่ 4-14 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 2 แสดงการให้แสงธรรมชาติภายในห้อง 120
ภาพที่ 4-15 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 2 แสดงการสะท้อนและดูดซับเสียงภายในห้อง..... 120
ภาพที่ 4-16 แสดงกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง..... 122

ภาพที่ 4-17 แสดงกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว..... 122
ภาพที่ 4-18 แสดงผังพื้น กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง..... 123
ภาพที่ 4-19 แสดงผังพื้น กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว.... 124
ภาพที่ 4-20 แสดงรูปด้านภายในด้านหน้าต่าง กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง 125
ภาพที่ 4-21 แสดงรูปด้านภายในด้านหน้าต่าง กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว 125
ภาพที่ 4-22 แสดงรูปตัดอาคาร กรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง..... 126
ภาพที่ 4-23 แสดงรูปตัดอาคาร กรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว..... 127
ภาพที่ 4-24 แสดงการเกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น (reflected glare) ที่กระดานขาวใน กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ หลังปรับปรุง..... 132
ภาพที่ 4-25 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 3 แสดงการสะท้อนและดูดซับเสียงภายในห้อง..... 133
ภาพที่ 4-26 แสดงบรรยากาศภายนอกห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบก่อนปรุงแต่งทางเข้าภายนอก 136
ภาพที่ 4-27 แสดงบรรยากาศภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบก่อนการตกแต่งภายใน... 136
ภาพที่ 4-28 แสดงบรรยากาศภายนอกห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเมื่อมีการปรุงแต่งทางเข้าภายนอก 137
ภาพที่ 4-29 แสดงบรรยากาศภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเมื่อมีการตกแต่งภายใน . 137
ภาพที่ 4-30 แสดงผังบริเวณห้องเรียนธรรมชาติ ที่เขาใหญ่..... 138
ภาพที่ 4-31 แสดงในเวลากลางวันผิวโฟมภายนอกมีอุณหภูมิสูงทำให้อากาศลอยตัวสูงขึ้นและเกิดการไหลเวียนของอากาศโดยรอบ ในขณะเดียวกันพื้นที่บริเวณทิศเหนือของห้องเรียนสร้างพื้นที่ทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำมาใช้ในห้องเรียนโดยไม่เอาความชื้นเข้ามา 139
ภาพที่ 4-32 แสดงในเวลากลางคืนอุณหภูมิท้องฟ้าต่ำทำให้ผิวหลังคาภายนอกที่มีค่าการแผ่รังสีความร้อนกลับ (emissivity) สูงและมวลสารน้อยจะมีอุณหภูมิผิวต่ำทำให้อากาศเย็นบนหลังคาไหลมากักเก็บบริเวณรอบห้องเรียน ผสมกับความเย็นที่ไหลลงมาจากภูเขาในเวลากลางคืน..... 139
ภาพที่ 4-33 แสดงผังพื้นห้องเรียนธรรมชาติ ที่เขาใหญ่..... 140
ภาพที่ 4-34 แสดงผังฝ้าเพดานห้องเรียนธรรมชาติ ที่เขาใหญ่ 141

ภาพที่ 4-35 แสดงพื้นที่สร้างความเย็นด้วยการระเหยของน้ำและนำความเย็นมาใช้ในห้องโดยไม่เอาความชื้น..... 142
ภาพที่ 4-36 แสดงค่าความสว่างในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบบริเวณเวที..... 147
ภาพที่ 4-37 แสดงค่าความสว่างในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบบริเวณหน้าต่างด้านข้าง ... 147
ภาพที่ 5-1 แสดงการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวมและค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังก่ออิฐฉาบปูน 151
ภาพที่ 5-2 แสดงการคำนวณค่าความต้านทานความาร้อนรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคากระเบื้องลอนคู่มีช่องว่างอากาศและฝ้าเพดานยิปซัมหนา 9 มม. 154
ภาพที่ 5-3 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแบบที่ 1 158
ภาพที่ 5-4 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแบบที่ 2 159
ภาพที่ 5-5 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแบบที่ 3 159
ภาพที่ 5-6 แสดงการใช้ช่องแสงด้านข้าง ซึ่งมีแสงธรรมชาติในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งานในระยะจากขอบหน้าต่างประมาณ 2-3 เมตร 162
ภาพที่ 5-7 แสดงลักษณะการจัดแสงสว่างในห้องเรียนรูปแบบที่ 1 คือรูปแบบการบรรยายทั่วไปโดยการใช้กระดานในการเขียน..... 166
ภาพที่ 5-8 แสดงลักษณะการจัดแสงสว่างในห้องเรียนรูปแบบที่ 2 คือ การบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายแผ่นใส เครื่องฉายแผ่นทึบ และเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ 166
ภาพที่ 5-9 แสดงลักษณะการจัดแสงสว่างในห้องเรียนรูปแบบที่ 3 คือ การบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความละเอียดและคมชัด (resolution) ของภาพค่อนข้างสูง 167
ภาพที่ 5-10 แสดงช่องเปิดรูปวงกลมที่อยู่ด้านข้างเวที กรณีศึกษา 1 ห้องเรียนธรรมชาติธรรมศาสตร์รังสิต..... 177
ภาพที่ 5-11 แสดงช่องเปิดที่เลี่ยงบริเวณเวทีโดยตรง กรณีศึกษา 2 ห้องเรียนธรรมชาติราชภัฏฯบางคล้า..... 177
ภาพที่ 5-12 แสดงผังพื้นการเกิดแสงสะท้อนรบกวนการมองเห็นจากกระดานขาวที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบสาดเป็นลำแสง 183

ภาพที่ 5-13 แสดงรูปตัดการเกิดแสงสะท้อนรบกวนการมองเห็นจากกระดานขาวที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบสาดเป็นลำแสง 184
ภาพที่ 5-14 แสดงรูปตัดการแก้ปัญหาการเกิดแสงสะท้อนรบกวนการมองเห็นจากกระดานขาวที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบสาดเป็นลำแสง ด้วยการเอียงมุมกระดานเพื่อให้แสงสะท้อนไม่อยู่ในมุมมองที่มองเห็น..... 184
ภาพที่ 5-15 แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติกรณีใช้ความเร็วลมขนาด 50 ฟุตต่อนาทีสร้างความรู้สึกเย็นลงจากอุณหภูมิอากาศ 28.88 องศาเซลเซียส จะรู้สึกเสมือน 27.34 องศาเซลเซียส 191
ภาพที่ 5-16 แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติกรณีใช้ความเร็วลมขนาด 150 ฟุตต่อนาทีสร้างความรู้สึกเย็นลงจากอุณหภูมิอากาศ 28.88 องศาเซลเซียส จะรู้สึกเสมือน 26.77 องศาเซลเซียส 192
ภาพที่ 5-17 แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติกรณีใช้ความเร็วลมขนาด 350 ฟุตต่อนาทีสร้างความรู้สึกเย็นลงจากอุณหภูมิอากาศ 28.88 องศาเซลเซียส จะรู้สึกเสมือน 25.64 องศาเซลเซียส 193
ภาพที่ 5-18 แสดงมุมของพื้นผิวที่กระทำกับผู้ใช้ห้องเรียน กรณีห้องเรียนตั้งอยู่บนดิน 194
ภาพที่ 5-19 แสดงมุมของพื้นผิวที่กระทำกับผู้ใช้ห้องเรียน กรณีห้องเรียนที่ถมดิน 194
ภาพที่ 5-20 แสดงมุมของพื้นผิวที่กระทำกับผู้ใช้ห้องเรียน กรณีห้องเรียนที่ขุดอยู่ในดิน 195
ภาพที่ 5-21 แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติการดูดซับความร้อน..... 197
ภาพที่ 5-22 แสดงสัดส่วนช่องแสงกับพื้นที่ห้องเรียนธรรมชาติ 198
ภาพที่ 5-23 แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติแสดงมุมมองเวทีและจอภาพภายในห้องเรียน 200
ภาพที่ 5-24 แสดงผังพื้นห้องเรียนธรรมชาติแสดงมุมมองเวทีและจอภาพภายในห้องเรียน 200
ภาพที่ 5-25 แสดงการจัดความเปรียบต่างบนเวทีให้มีพื้นหลังเป็นก้อนหินสีเข้ม..... 201
ภาพที่ 5-26 แสดงลักษณะการเจาะช่องเปิดด้านข้างของห้องเรียนธรรมชาติ 202
ภาพที่ 5-27 แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติแสดงการสะท้อนและดูดซับเสียง..... 203
ภาพที่ 5-28 แสดงการติดตั้งฝ้าเพดานเซลลูโลสเพื่อดูดซับเสียง 205
ภาพที่ 5-29 แสดงการติดตั้งฝ้าพรมภายในห้องเพื่อดูดซับเสียงติดตั้งบริเวณพื้นที่อเนกประสงค์ตรงกลางและบริเวณด้านข้างของที่นั่งเพื่อให้มีสีตัดกับพื้นที่นั่งสีขาวด้านบน..... 205

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 2-1 แสดงเขตสบายและเทคนิคการปรับแต่งสภาพภูมิอากาศนอกเขตสบายในแต่ละโซน 16

แผนภูมิที่ 2-2 แสดงอุณหภูมิอากาศที่ลดลงจากการระเหยของน้ำด้วยแผนภูมิไซโครเมตริก ..20

แผนภูมิที่ 2-3 แสดงรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่เหมาะสมแต่ละรูปแบบการใช้งาน ในย่านความถี่ 500 และ 1000 เฮิร์ซ 41

แผนภูมิที่ 2-4 แสดงลักษณะของเสียงที่พูด 44

แผนภูมิที่ 2-5 แสดงลักษณะเสียงในสภาพแวดล้อม 45

แผนภูมิที่ 2-6 แสดงระดับการควบคุมของพื้นที่ต่างๆ ในด้านอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และระดับแสงสว่าง 51

แผนภูมิที่ 3-1 แสดงการให้ค่าน้ำหนักของความถี่เสียงในแต่ละมาตรฐาน ประกอบด้วย A B C 59

แผนภูมิที่ 3-2 แสดงการวัดค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ 60

แผนภูมิที่ 3-3 แสดงการคำนวณค่าจากแผนภูมิไซโครเมตริก..... 63

แผนภูมิที่ 4-1 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 1 91

แผนภูมิที่ 4-2 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 2 92

แผนภูมิที่ 4-3 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 3 94

แผนภูมิที่ 4-4 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 4 95

แผนภูมิที่ 4-5 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 5 96

แผนภูมิที่ 4-6 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 6 97

แผนภูมิที่ 4-7 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 7 98

แผนภูมิที่ 4-8 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 8 99

แผนภูมิที่ 4-9 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 9 100

แผนภูมิที่ 4-10 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 10 101

แผนภูมิที่ 4-11 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 11 102

แผนภูมิที่ 4-12 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 12 103

แผนภูมิที่ 4-13 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 13 104

แผนภูมิที่ 4-14 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 14 105

แผนภูมิที่ 4-15 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 15 106
แผนภูมิที่ 4-16 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 16 107
แผนภูมิที่ 4-17 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 17-20 108
แผนภูมิที่ 4-18 แสดงระดับแสงสว่างภายในกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง 130
แผนภูมิที่ 4-19 แสดงระดับแสงสว่างภายในกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว 130
แผนภูมิที่ 4-20 แสดงอุณหภูมิอากาศด้านหน้าโครงการ อุณหภูมิอากาศบริเวณภายนอกห้องเรียนธรรมชาติ อุณหภูมิอากาศในห้องเรียนธรรมชาติ ความรู้สึกเสมือนเนื่องจากความเร็วลม และความรู้สึกเสมือนเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิผิว โดยรอบในห้องเรียนธรรมชาติ วันที่ 14-15 กันยายน 2552..... 144
แผนภูมิที่ 4-21 แสดง daylight curve ในห้องเรียนธรรมชาติครั้งที่ 1 วันที่ 29 สิงหาคม 2552 เวลา 10:00-11:00น.)..... 145
แผนภูมิที่ 4-22 แสดง daylight curve ในห้องเรียนธรรมชาติครั้งที่ 2 วันที่ 4 ตุลาคม 2552 เวลา 9:00-10:00น.)..... 146
แผนภูมิที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังต่อพื้นที่ผนัง (Btu/h ft^2) ของผนัง ด้วยวิธี CLTD กรณีผนังทิศเหนือเดือนมิถุนายน อุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส 153
แผนภูมิที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาต่อพื้นที่หลังคา (Btu/h ft^2) ด้วยวิธี CLTD กรณีเดือนมิถุนายน อุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส 156
แผนภูมิที่ 5-3 แสดงจำลองอุณหภูมิและความรู้สึกด้านความร้อนหนาวในห้องเรียนธรรมชาติ กรณีที่ 1 174
แผนภูมิที่ 5-4 แสดงการจำลองกล่องทดลองติดตั้งกระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 หันช่องแสงด้านข้างไปทางทิศใต้ 175
แผนภูมิที่ 5-5 แสดงการใช้ไฟฟ้าของห้องเรียนเมื่อไม่มีการปรับปรุงเปลือกอาคารอาคาร..... 180
แผนภูมิที่ 5-6 แสดงการใช้ไฟฟ้าของห้องเรียนเมื่อมีการปรับปรุงเปลือกอาคารอย่างถูกต้อง 181

แผนภูมิที่ 5-7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา 188
แผนภูมิที่ 5-8 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา 188
แผนภูมิที่ 5-9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศบริเวณบนภูเขา แอ่งกักเก็บความเย็น และอุณหภูมิอากาศภายนอกบริเวณห้องเรียนธรรมชาติและภายในห้องเรียนธรรมชาติ วันที่ 14-15 กันยายน 2552..... 190
แผนภูมิที่ 5-10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจากการคำนวณ..... 196

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ห้องเรียนคือพื้นที่หรือสถานที่ (space) ที่ใช้สำหรับกิจกรรมการเรียนการสอนที่เกิดการสื่อสาร การรับรู้ และการตอบสนองผ่านประสาทสัมผัสต่างๆ งานวิจัยในครั้งนี้เน้นเรื่องราวเนื้อหาในการเรียนการสอน และสภาพแวดล้อมของห้องเรียนซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสิ่งเร้าของการเรียนการสอน แต่สภาพแวดล้อมของห้องเรียนในปัจจุบันกลับมีปัญหาและอุปสรรคมากมายในกิจกรรมการเรียนการสอน ทำให้ผู้เรียนไม่อยากอยู่ในห้องเรียนที่ไม่มีคุณภาพ รวมทั้งเกิดความรู้สึกไม่อยากเรียน เมื่อสภาพร่างกายของผู้เรียนไม่มีความพร้อม สภาพจิตใจของผู้เรียนก็จะไม่มีความพร้อมในการเรียนตามไปด้วย

สภาพห้องเรียนโดยทั่วไปมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุ การใช้เทคโนโลยีในการก่อสร้าง การใช้งบประมาณ และความหนาแน่นของผู้เรียนภายในห้อง ทำให้สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนโดยเฉพาะห้องเรียนที่ไม่ปรับอากาศมีสภาพแวดล้อมที่ทำให้รู้สึกร้อนเกินเขตสบาย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนจัด ผนัง พื้นและหลังคาที่ไม่สามารถต้านทานความร้อนได้ดีจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียนร้อนขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้อุณหภูมิผิวผนัง พื้นและเพดานภายในห้องเรียนสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียน การแผ่รังสีความร้อนจากผิววัสดุภายในห้องเรียนยิ่งทำให้นักเรียนเกิดรู้สึกร้อนมากขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาพื้นฐานด้านกายภาพของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกร้อนหนาว ด้วยเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้นักเรียนขาดสมาธิและขาดความพร้อมในการเรียน

ปัญหาพื้นฐานด้านกายภาพอื่นๆ ของร่างกาย ที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่าง และเสียงภายในห้องเรียนโดยทั่วไปในปัจจุบัน มีสภาพของการไม่สามารถควบคุมคุณภาพแสงสว่างและมุมมองภายในห้องเรียน อันเกิดจากช่องแสงที่ทำให้ผู้เรียนมองกระดานและสื่อได้ไม่ชัดเจน จนขาดความประทับใจในการเรียนรู้ ส่วนสภาพของการไม่สามารถควบคุมระดับเสียงภายในห้องเรียนเนื่องจากวัสดุผนัง พื้นและหลังคาที่มีค่าการกันเสียงต่ำ ประกอบกับการเปิดช่องเปิดเพื่อระบาย

อากาศตามธรรมชาติ ทำให้ห้องเรียนไม่สามารถป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้ ก่อให้เกิดการขาดความสมบูรณ์ในการสื่อสาร

สภาพแวดล้อมของห้องเรียนที่มีปัญหาดังกล่าวส่งผลให้เกิดแนวทางการแก้ไขปัญหาทั่วไปด้วยการปิดหน้าต่างแล้วติดตั้งระบบปรับอากาศ ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุผนัง พื้น และหลังคาดั้งเดิมที่ไม่สามารถต้านทานความร้อนได้ดีและมีการรั่วซึมของอากาศสูง ทำให้ใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ที่สิ้นเปลืองพลังงาน และเสียเงินค่าไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เสียงที่เกิดขึ้นจากเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ ยังทำให้ระดับเสียงรบกวนภายในห้องสูงมากขึ้น ทำให้ต้องใช้เครื่องขยายเสียงในกิจกรรมการเรียนการสอน ผลจากการใช้เครื่องขยายเสียงในห้องเรียนที่มีระดับความดังเสียงที่สูงเป็นเวลานาน อาจก่อให้เกิดปัญหาการสูญเสียการได้ยิน (hearing loss) ในอนาคต

ภาพที่ 1-1 แสดงสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนทั่วไป

การได้รับเสียงดังเป็นเวลานานในแต่ละวันจะก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพได้ หน่วยงาน Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 1974 กำหนดมาตรฐานของระยะเวลาที่ไม่ควรได้รับเสียงดังมากเกินไปในแต่ละวัน ดังในตารางที่ 1-1 และกำหนดว่าไม่ควรได้รับเสียงดังสูงสุดเกินกว่า 140 เดซิเบลในทุกย่านความถี่ (Stein and Reynolds, 2000; 1515)

ตารางที่ 1-1 แสดงมาตรฐานการได้รับเสียงดังในสภาพแวดล้อม

ระยะเวลาการรับเสียงดัง ที่ไม่ควรมากเกินไปในแต่ละวัน (ชั่วโมง)	ค่าระดับความดังของเสียง (dBA)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1 ½	102
1	105
½	110
¼ หรือน้อยกว่า	115

(Stein and Reynolds, 2000; 1515)

การออกแบบและสร้างห้องเรียนคุณภาพสูงโดยการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากปัจจัยธรรมชาติ เป็นการทดลองสร้างห้องเรียนคุณภาพสูงที่สามารถสร้างสรรค์สภาพแวดล้อมให้เอื้ออำนวยต่อกิจกรรมการเรียนการสอน โดยสามารถควบคุมความร้อน ความชื้น แสง สี และเสียงภายในห้องเรียน ซึ่งทำให้ผู้เรียนและผู้สอนเกิดความพร้อมทางกายภาพในการเรียนการสอน และช่วยให้สื่อการเรียนรู้ที่เป็นเนื้อหาของการเรียนการสอนสามารถสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพไร้อุปสรรค เกิดความประทับใจในบรรยากาศของห้องเรียนเกิดความรู้สึกอยากเรียนในห้องเรียนที่มีสภาพแวดล้อมที่มีคุณภาพ ความรู้สึกอยากเรียนในห้องเรียนที่มีการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเป็นส่วนหนึ่งของแรงกระตุ้นที่ดีที่ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายมากกว่าการเรียนการสอน

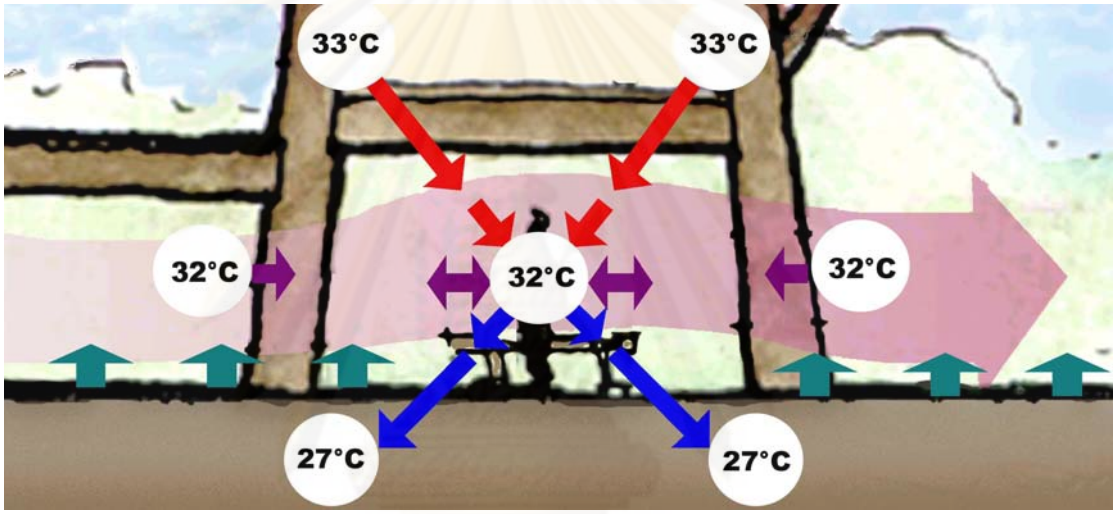
แบบเดิมให้กลายเป็นการเรียนและเกิดการรู้ นอกจากนี้ปรากฏการณ์ธรรมชาติขององค์ประกอบที่ใช้สร้างสรรค์ห้องเรียนยังเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนที่เกิดขึ้น

แนวทางการสร้างสรรค์ห้องเรียนธรรมชาติในงานวิจัยนี้เป็นการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเรียนการสอนด้วยความเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อความสบายทางด้านกายภาพภายในห้องเรียน พื้นฐานด้านกายภาพของร่างกาย และความต้องการจากกิจกรรมการเรียนการสอน เพื่อนำไปสู่คุณภาพที่เหมาะสมของห้องเรียนและส่งเสริมกิจกรรมการเรียนการสอน โดยจะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ผ่านมายังขาดการวิจัยที่เป็นการประสานระบบ (integration) ของปัจจัยที่ส่งผลต่อความสบายทางด้านกายภาพทั้งสี่กลุ่มของตัวแปร ได้แก่ ความสบายด้านความร้สึกร้อนหนาว ความสบายด้านแสงสว่าง ความสบายด้านการมองเห็น และความสบายด้านการได้ยิน รวมทั้งการวิจัยที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในเขตร้อนชื้นของประเทศไทย สมมติฐานของงานวิจัยนี้คือการใช้ระบบธรรมชาติสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับสภาพการเรียนการสอนได้ โดยใช้ความเข้าใจภูมิปัญญาไทยที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และการนำต้นทุนทางธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างยั่งยืน การสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงเป็นการอ่านและเข้าใจวิถีธรรมชาติ เพื่อเลือกประยุกต์ใช้ระบบธรรมชาติที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย

นวัตกรรมเป็นกระบวนการนำความคิดใหม่ ปัจจัยใหม่ สินค้าใหม่ การบริการใหม่ การปฏิบัติใหม่เข้าสู่ปฏิบัติการของหน่วยงานองค์กร บริษัท สถาบัน เพื่อให้เกิดประโยชน์หรือการเปลี่ยนแปลงที่ให้คุณแก่ผู้เกี่ยวข้องในสังคมวงกว้าง (เสรี พงศ์พิศ, 2547) การสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงด้วยระบบธรรมชาติจึงเป็นนวัตกรรมที่นำระบบธรรมชาติมาสู่การสร้างสภาพแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ที่ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้เกี่ยวข้องอย่างกว้างขวาง

การออกแบบและสร้างห้องเรียนคุณภาพสูงโดยเน้นการควบคุมด้วยปัจจัยธรรมชาตินอกจากจะเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและการสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีแล้ว ยังเป็นการบริหารจัดการความรู้จากภูมิปัญญาไทย เพื่อแก้ปัญหาการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองและปัญหาสภาวะโลกร้อน โดยแนวทางการสร้างห้องเรียนธรรมชาติที่เกิดขึ้นยังมีประโยชน์ในการขยายผลองค์ความรู้สู่ชุมชนที่ต้องการสร้างสถานที่สำหรับการเรียนรู้ที่มีคุณภาพและสามารถสร้างได้จริงด้วยภูมิปัญญาไทย

ตัวอย่างภูมิปัญญาไทยที่สะท้อนให้เห็นในการจัดการสภาพแวดล้อมในอดีตที่อยู่สบายอย่างสมดุลกับธรรมชาติ ได้แก่ การหม่เย็นด้วยการนั่งอยู่บริเวณใต้ถุนของบ้านไทย ที่ได้รับอิทธิพลของผิวดินที่เย็นกว่าผิวกายของมนุษย์ ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 32 องศาเซลเซียส จะทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนของสภาพแวดล้อมที่ร้อนกว่า จึงทำให้รู้สึกเย็นกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จริง (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)



ภาพที่ 1-2 **แสดงอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อร่างกายเมื่อนั่งอยู่บริเวณใต้ถุนของบ้านไทย (สุนทร บุญญาธิการ**, 2542; 7)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาตัวแปรทางด้านกายภาพและสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนปัจจุบัน

1.2.2 แสวงหาตัวแปรด้านคุณสมบัติของห้องเรียนที่เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนการสอน

1.2.3 วิเคราะห์ปัจจัยธรรมชาติ ประยุกต์ใช้ตัวแปรในการออกแบบก่อสร้างและปรับปรุงห้องเรียน เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาศักยภาพของปัจจัยธรรมชาติ

1.2.4 ออกแบบ ก่อสร้างและประเมินผลห้องเรียนคุณภาพสูงที่ใช้ปัจจัยธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

กิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียนมีรูปแบบที่หลากหลายตามแต่วัตถุประสงค์และเนื้อหาของการเรียนรู้ที่หลากหลาย ในการวิจัยนี้เน้นรูปแบบการใช้งาน (function) ด้วยการบรรยาย เนื่องจากเป็นลักษณะกิจกรรมหลักที่เกิดขึ้นในห้องเรียน

ความสบายทางด้านคุณภาพของสิ่งแวดล้อมในการวิจัยนี้เน้น 4 กลุ่มตัวแปรคือ

1. ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว (thermal comfort)
2. ความสบายด้านแสงสว่าง (light comfort)
3. ความสบายด้านการมองเห็น (visual comfort)
4. ความสบายด้านการได้ยิน (acoustical comfort)

ขนาดของห้องเรียนในการวิจัยนี้คือ 40 ถึง 300 ที่นั่ง หรือ 50 ถึง 600 ตารางเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1.4.1 ห้องเรียนธรรมชาติ (natural classroom)

ห้องเรียนธรรมชาติ หมายถึงห้องเรียนที่ใช้ระบบธรรมชาติมาสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้

1.4.2 ระบบธรรมชาติ (natural systems)

ระบบธรรมชาติ หมายถึงปัจจัยธรรมชาติของสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกห้องเรียน เพื่อควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อคุณภาพห้องเรียน ที่เป็นกระบวนการธรรมชาติ เช่น การดูดซับความร้อนด้วยมวลสาร (thermal mass) การสร้างความเย็นจากการระเหยของน้ำ (evaporative cooling) การใช้แสงธรรมชาติ (daylight) และการใช้คุณสมบัติการสะท้อนและดูดซับเสียงของผิววัสดุ (sound absorption)

1.4.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเรียนรู้

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเรียนรู้ หมายถึงคุณสมบัติทางกายภาพของสภาพแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ ทำให้เกิดผลการเรียนรู้ที่ดี ขจัดอุปสรรคที่ขัดขวางกระบวนการเรียนรู้ (ดูในขอบเขตการวิจัย)

1.4.4 พื้นที่ปรับสภาพความพร้อมก่อนเข้าห้องเรียน

พื้นที่ปรับสภาพความพร้อมก่อนเข้าห้องเรียน (adaptive area) หมายถึง พื้นที่ที่ใช้ในการปรับสภาพร่างกายเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนเข้าห้องเรียน ทั้งความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ความสบายด้านแสงสว่าง ความสบายด้านการมองเห็น และความสบายด้านเสียง พื้นที่นี้ยังเป็นจุดเชื่อมต่อของสภาพแวดล้อมระหว่างภายนอกกับภายในและยังมีประโยชน์ในการลดความรุนแรงของสภาพแวดล้อมภายนอกกับภายใน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาลักษณะตัวแปรของห้องเรียนและสำรวจสภาพห้องเรียนทั่วไปในปัจจุบัน ด้วยการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และวิเคราะห์ปัญหาจากการสำรวจสภาพห้องเรียนดังกล่าว

1.5.2 ค้นคว้าเพื่อหาตัวแปรด้านคุณสมบัติของห้องเรียนที่เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ในปัจจุบัน ด้วยการสำรวจความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญโดยใช้วิธีการศึกษาแบบเดลฟาย (Delphi study) หรือการรวบรวมแนวคิดและแลกเปลี่ยนความรู้ จากผู้เชี่ยวชาญเพื่อใช้ในการกำหนดความต้องการของกิจกรรมการเรียนรู้ในอนาคต

1.5.3 วิเคราะห์ผลโดยทดลองนำปัจจัยธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบก่อสร้างห้องเรียนธรรมชาติและปรับปรุงห้องเรียน รวม 3 แห่งเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา ได้แก่

- กรณีศึกษา 1 ห้องเรียนธรรมชาติที่ คณะสถาปัตยรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
- กรณีศึกษา 2 ห้องเรียนธรรมชาติที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ วิทยาเขตบางคล้า อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา
- กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่ โรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม ถนนบางนา-ตราด กม. 16 อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

1.5.4 ออกแบบโดยพัฒนาจากผลการวิเคราะห์ ซึ่งรวบรวมข้อได้เปรียบและข้อด้อยที่ได้จากกรณีศึกษา นำมาก่อสร้างและประเมินผลห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบซึ่งเป็นห้องเรียนคุณภาพสูงที่ใช้ระบบธรรมชาติที่ ดี เอ็น เอ รีสอร์ท เขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1.6.1 คุณภาพด้านกายภาพและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมภายในห้องเรียนปัจจุบัน

1.6.2 ตัวแปรด้านคุณสมบัติของห้องเรียนที่เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนการสอน

1.6.3 ข้อได้เปรียบและข้อด้อยของการใช้ระบบธรรมชาติ รวมทั้งศักยภาพของการประยุกต์ใช้ระบบธรรมชาติในห้องเรียนที่เป็นกรณีศึกษา

1.6.4 เทคนิคการออกแบบ แนวทางการก่อสร้าง และผลการใช้งานของห้องเรียนคุณภาพสูงโดยเน้นการควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

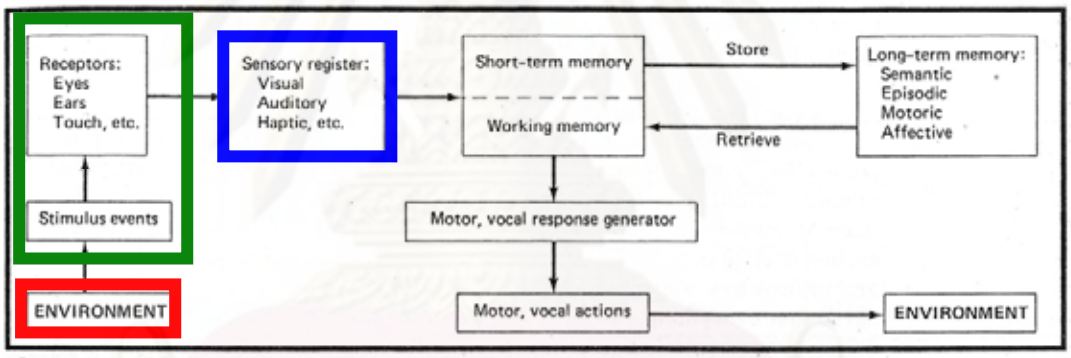
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้และลักษณะของห้องเรียนที่เหมาะสม

การเรียนรู้เป็นกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาความคิดของมนุษย์ เพราะการมีพื้นฐานของการเรียนรู้ที่ดีจะทำให้สามารถนำความรู้ที่มีอยู่ไปสร้างสรรค์เกิดประโยชน์ในชีวิตจริงทั้งต่อตนเองและต่อสังคม นอกจากนี้การเรียนรู้ยังมีบทบาทต่อกระบวนการคิด กระบวนการทำงานของจิตในจิตวิทยา การเรียนรู้และการสืบทอดความรู้เป็นภาระกิจอย่างหนึ่งของการมีชีวิต เพราะมนุษย์มาสู่โลกนี้เพียงระยะเวลาหนึ่งเพื่อรับและสืบมรดก มาปลูกและปรุงความรู้ มาเป็นผู้สื่อสาร (ทิพย์สุดา ปทุมานนท์, 2552)

ความหมายของการเรียนรู้ในเชิงจิตวิทยามีพัฒนาการศึกษาและให้ความหมายไว้หลากหลาย จากอดีตเดส์การ์ต (Descartes) กล่าวว่าจิตใจกำหนดขบวนการควบคุมการเคลื่อนที่ของร่างกาย จิตใจรับข้อมูลส่วนหนึ่งจากโลกภายนอกผ่านประสาทสัมผัส รับข้อมูลบางส่วนมาจากการคิดขึ้นในจิตใจ และมีข้อมูลติดตัวมาแต่เกิด กลุ่มนักจิตวิทยาพฤติกรรมนิยม (behaviorism) กล่าวว่าการเรียนรู้ (learning) หมายถึงการที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างถาวรในพฤติกรรมอันสืบเนื่องมาจากประสบการณ์ หรือการฝึกฝนที่เกิดขึ้นกับบุคคล (วิมลสิทธิ์ หรยางกูร, 2535) กลุ่มจีซอล์ท (Gestalt) สนใจการรับรู้ของจิต ความสามารถในการจัดการกับข้อมูลจำนวนมากในสมอง ในมุมมองของจุงก์ (Carl Gustav Jung) นำเสนอแผนผังจิตโดยเปิดให้เห็นชั้นต่าง ๆ ของจิตมนุษย์ ได้แก่ จิตสำนึก (conscious) เป็นส่วนที่ติดต่อกับโลกภายนอก ติดต่อกับจิตใต้สำนึก (unconscious) และมีจิตใต้สำนึกสะสม (collective unconscious) อีกชั้นหนึ่งซึ่งอยู่ในสุดของจิต ทำหน้าที่กักเก็บความทรงจำของมนุษย์ทั้งปวงและในชั้นนี้ถือเป็นแอ่งน้ำพุ ฝังรากก่อนจะค่อย ๆ พุ พุ่งขึ้นสู่ปรากฏในจิตสำนึกเพื่อให้พร้อมที่จะปฏิสันถาร หรือจัดการกับโลกภายนอก (ทิพย์สุดา ปทุมานนท์, 2547)

ห้องเรียนในฐานะสภาพแวดล้อมโดยตรงของการเรียนรู้มีหน้าที่ช่วยให้กระบวนการสะสมความรู้ ความดีงามที่เป็นพื้นฐานแห่งความคิด การรับรู้ ความรู้สึกและญาณทัศนะ มนุษย์ใช้กาย

และสมองสัมผัสโลกภายนอกและประมวลสารสนเทศ (information processing) เข้ามาสะสมไว้ในตัว จากสภาพแวดล้อม (environment) ที่ทำหน้าที่เป็นเหตุการณ์สิ่งเร้านานาชนิด (stimulus events) เมื่อสิ่งเร้าเหล่านี้มากระทบประสาทผ่านอวัยวะที่เป็นเครื่องรับ (receptors) คือ ทางตา (eyes) ทางหู (ears) ทางกายสัมผัส (touch) เป็นต้น ส่งผ่านข้อมูลมาสู่กระบวนการบันทึกผัสสะ (sensory register) คือ การเห็น (visual) การฟัง (auditory) การสัมผัสแตะต้อง (haptic) เป็นต้น จากนั้นจึงเกิดความจำระยะสั้น (short-term memory) ความจำช่วงเวลาทำงาน (working memory) ความจำระยะยาว (long-term memory) และส่งข้อมูลที่มีอยู่ในความจำแบบต่าง ๆ ไปสู่เครื่องก่อให้เกิดพฤติกรรมการเคลื่อนไหวหรือการพูด (motor, vocal response generator) พฤติกรรมการเคลื่อนไหวการพูด (motor, vocal actions) กลับสู่สภาพแวดล้อมที่เป็นส่วนหนึ่งของการมีปฏิสันถารกับโลกภายนอก ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 แสดงขั้นตอนหลักการของการประมวลสารสนเทศของมนุษย์ (Klausmeier, 1985)

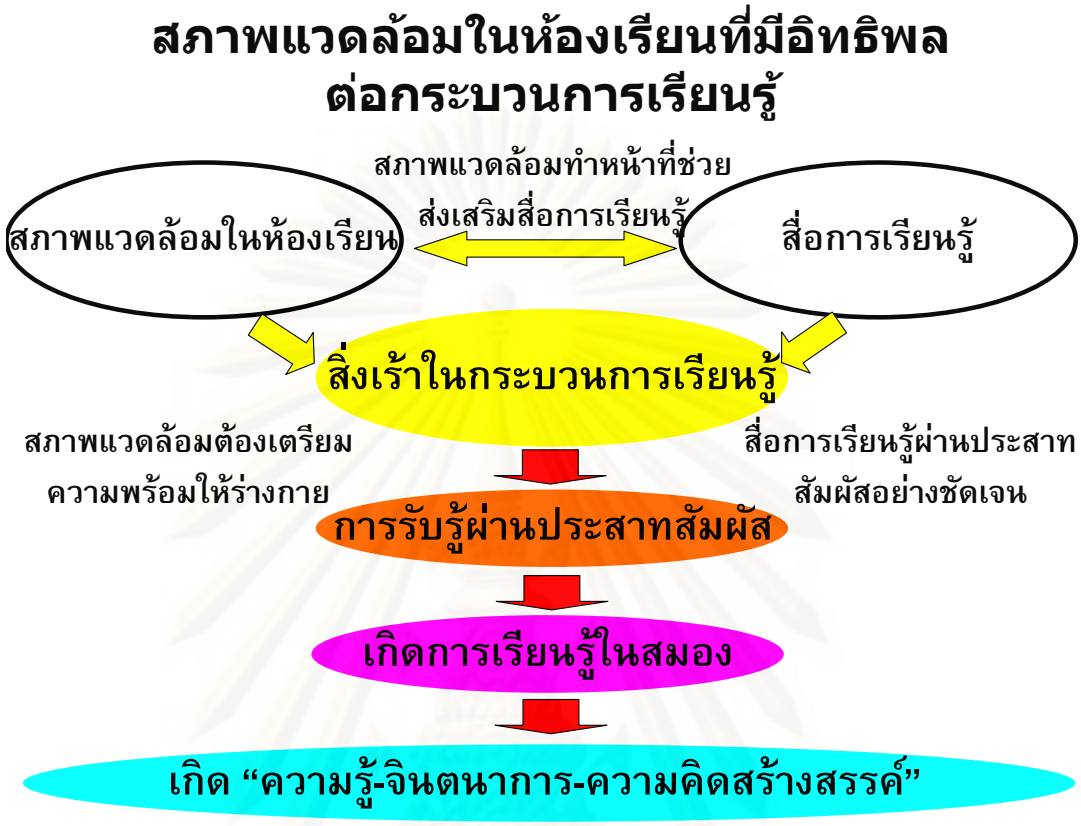
ตัวอย่างการเกิดการประมวลสารสนเทศในห้องเรียนแบบบรรยายคือ สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน สื่อการเรียน ผู้สอน เพื่อน ทำหน้าที่เป็นสิ่งเร้า เช่นภาพตัวอักษรจากกระดาน ภาพบนจอภาพที่ฉายจากเครื่องฉายภาพ ภาพท่าทางของผู้สอน พฤติกรรมต่าง ๆ ของเพื่อน เป็นข้อมูลของสิ่งเร้าผ่านการมองเห็นและการฟังของผู้เรียน และเฉพาะสิ่งเร้าที่ผู้เรียนใส่ใจจะคงอยู่ได้นานและนำไปบันทึกและแปรรูปเป็นความจำระยะสั้นและความจำระยะยาว เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในกระบวนการเรียนรู้

สภาพแวดล้อมในห้องเรียนมีหน้าที่ช่วยให้สิ่งเร้าที่ใช้เป็นสื่อในการเรียนรู้ของการบรรยายสามารถเข้าสู่กระบวนการประมวลสารสนเทศอย่างมีประสิทธิภาพคือทำให้สิ่งเร้านั้นเป็นสิ่งเร้าที่

ผู้เรียนใส่ใจด้วยการสร้างความประทับใจ เช่น การควบคุมสภาพแวดล้อมของการมองเห็นและการได้ยิน นอกจากสภาพแวดล้อมยังต้องทำหน้าที่เตรียมความพร้อมของร่างกายที่เป็นพื้นฐานของกิจกรรมการเรียนรู้ การวิจัยนี้เน้นศึกษาคุณภาพสภาพแวดล้อมที่เตรียมความพร้อมโดยเริ่มจากสมดุลความร้อนของร่างกาย (heat balance) หากร่างกายขาดสมดุล เช่น เกิดการสูญเสียความร้อนมากเกินไป หรือเกิดการสะสมความร้อนในร่างกายมากเกินไปไม่สามารถระบายความร้อนออกสู่สภาพแวดล้อมได้ ทำให้เกิดความรู้สึกหนาวหรือร้อนเกินไป จะส่งผลให้กายที่มนุษย์ใช้สัมผัสกับโลกภายนอกไม่พร้อมทำหน้าที่ในการเรียนรู้ ในทางกลับกันหากสภาพแวดล้อมสร้างสมดุลด้านความร้อนให้กับผู้เรียนรู้ได้จะทำให้คนไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวเกินไปกล่าวคือมีความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ร่างกายของผู้เรียนก็จะพร้อมสำหรับกิจกรรมการเรียนรู้

อิทธิพลของสภาพแวดล้อมห้องเรียนที่มีผลต่อกระบวนการเรียนรู้ คือสภาพแวดล้อมห้องเรียนที่ทำหน้าที่เตรียมความพร้อมให้ร่างกายของผู้เรียนรู้ซึ่งในที่นี้สภาพแวดล้อมทำหน้าที่เป็นสิ่งเร้าในการเรียนรู้ เช่น เป็นสิ่งเร้าด้านความรู้สึกร้อนหนาว นอกจากนี้สภาพแวดล้อมห้องเรียนยังต้องทำหน้าที่ช่วยส่งเสริมสื่อการเรียนรู้ ที่เป็นสิ่งเร้าให้สื่อนั้นมีความชัดเจนพอดี สามารถสร้างความประทับใจในการเรียนรู้และเป็นสิ่งเร้าที่ดีที่เข้าสู่ประสาทสัมผัส การเรียนรู้ในสมอง เพื่อให้เกิดผล คือความรู้ จินตนาการ ความคิดสร้างสรรค์ ดังภาพ 2-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-2 แสดงอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อกระบวนการเรียนรู้ในห้องเรียน

คุณภาพของห้องเรียนในการวิจัยนี้ประกอบด้วย ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ที่มีผลต่อความพร้อมของร่างกายผู้เรียนรู้ ความสบายด้านแสงสว่าง ความสบายด้านการมองเห็นที่มีผลต่อสื่อการเรียนรู้ผ่านประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น ความสบายด้านการได้ยินที่มีผลต่อสื่อการเรียนรู้ผ่านประสาทสัมผัสด้านการได้ยิน เนื่องจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ของห้องเรียนเป็นกระบวนการแบบองค์รวมดังนั้นจึงยังมีคุณภาพด้านอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณาควบคู่กับคุณภาพที่ศึกษาในการวิจัยนี้ เช่น คุณภาพอากาศ ความสวยงามและบรรยากาศ ระบบเทคโนโลยีสนับสนุนอื่น ๆ เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวและอิทธิพลของสภาพแวดล้อม

2.2.1 ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว

ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว (thermal comfort) หมายถึงความพึงพอใจในสภาพแวดล้อมด้านความรู้สึกร้อนหนาวที่สภาพแวดล้อมในอาคารทำหน้าที่ควบคุมให้อยู่ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว สภาวะที่พึงพอใจอาจอธิบายว่าเป็นสภาวะที่คนไม่มีความรู้สึกร้อนหรือหนาวเกินไป (America Society of Heating Refrigeration and Air Condition Engineering [ASHRAE], 2001; สุนทร บุญญาธิการ, 2542) และสภาวะนี้ถูกกำหนดเป็นช่วงหรือขอบเขตของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาวของคนในสภาพร่างกายปกติ ประกอบด้วย

1. อุณหภูมิอากาศ (air temperature)

2. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) หรือความดันของไอน้ำในอากาศ (water vapour pressure in ambient air)

3. อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (mean radiant temperature; MRT) หรือการแผ่รังสีจากสภาพแวดล้อม (radiation)

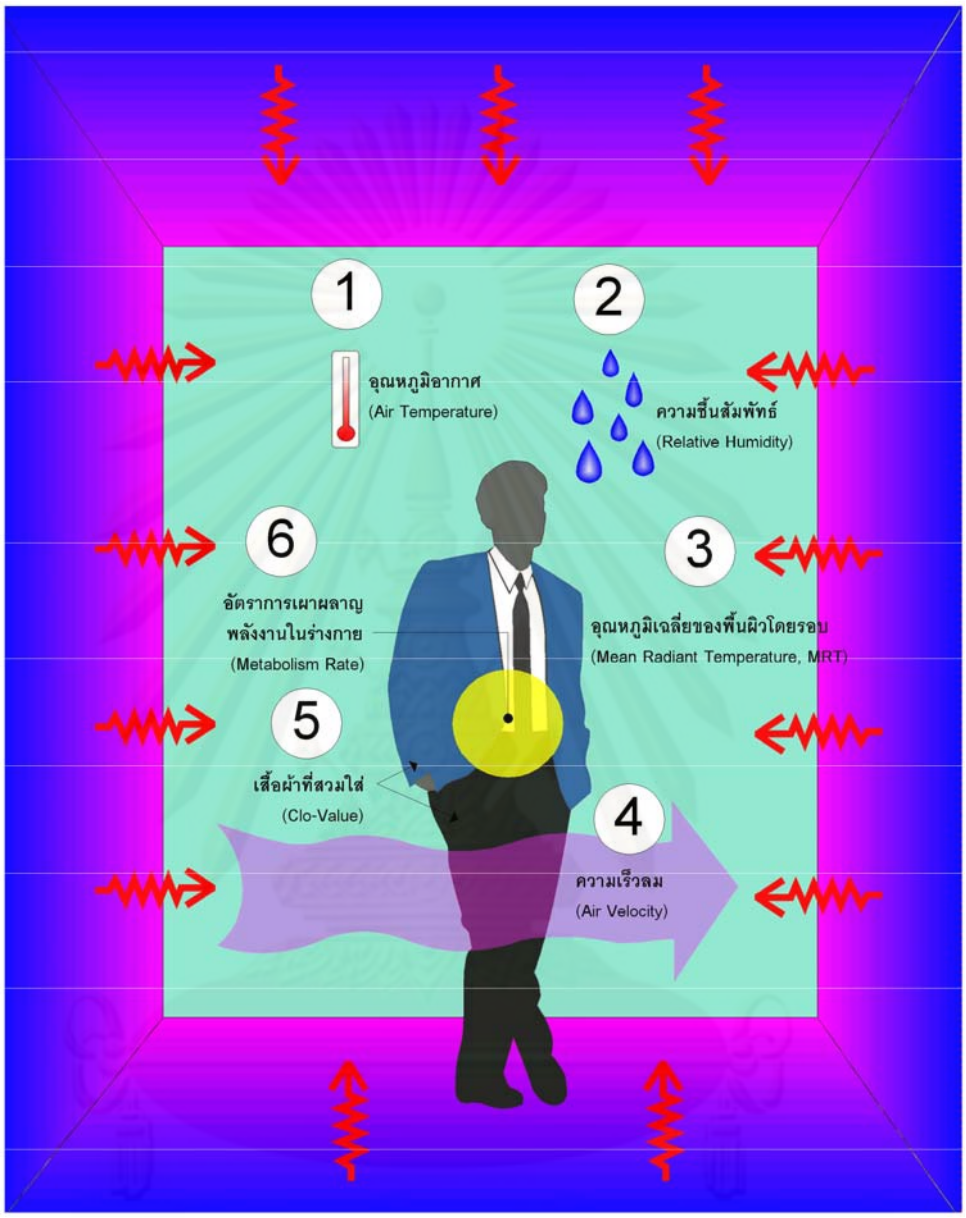
4. ความเร็วลม (air velocity) หรือการเคลื่อนไหวของอากาศ (air movement)

5. เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-value) หรือค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ (thermal resistance of the cloth)

6. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (metabolism rates) หรือระดับของกิจกรรม (activity level) หรือ การผลิตความร้อนในร่างกาย (heat production in the body) ขึ้นอยู่กับกิจกรรม

(Fanger, 1970; Olgyay, 1973; สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

ตัวแปรทั้ง 6 ตัวแปรสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตัวแปรคือตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ ความเร็วลม และตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับบุคคลได้แก่ เสื้อผ้าที่สวมใส่ อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย

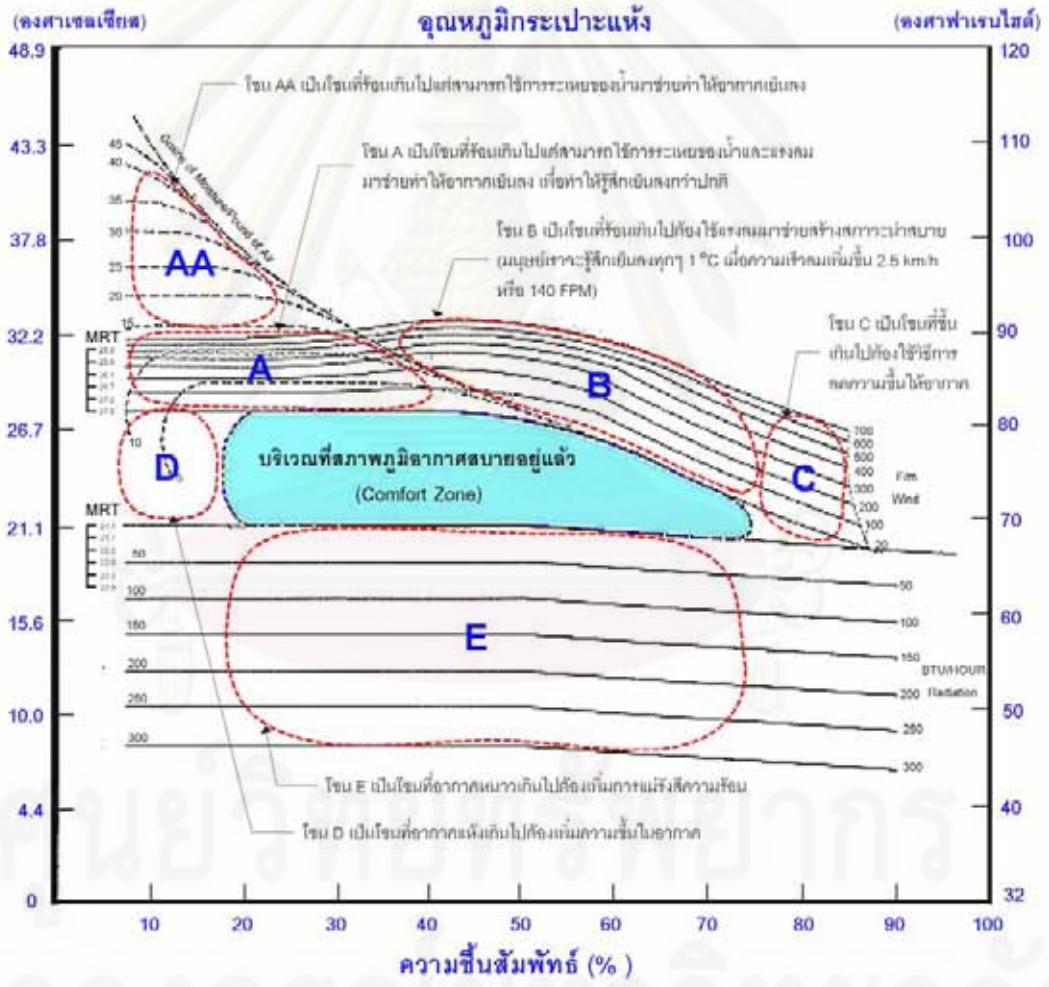


ภาพที่ 2-3 แสดงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาว ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ ความเร็วลม เสื้อผ้าที่สวมใส่ อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (สุนทร บุญญาธิการ, 2542; 2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกำหนดขอบเขตของเขตสบาย (comfort zone) ใช้แผนภูมิไบโอไคลเมติก (bioclimatic chart) (Olgyay, 1973) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่แสดงขอบเขตด้วยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ ในกรณีความเร็วลมค่อนข้างสงบ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังเท่ากัน การแต่งกายเป็นแบบลำลอง บุคคลอยู่ในอิริยาบถสบาย ๆ เขตสบายจะถูกกำหนดด้วยอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 22-27 องศาเซลเซียส
2. ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 20-75 เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 2-1 แสดงเขตสบายและเทคนิคการปรับแต่งสภาพภูมิอากาศนอกเขตสบายในแต่ละโซน (สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 39)

แผนภูมิไบโอไคลเมติกสามารถใช้เป็นเครื่องมืออธิบายเทคนิคการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อให้สภาพอากาศที่อยู่นอกเขตสบายถูกปรุงแต่งให้มีความรู้สึกเสมือนอยู่ในเขตสบายได้ ดังที่แสดงไว้ในแผนภูมิที่ 2-1 พบว่าตัวแปรความเร็วลมสามารถทำให้สภาพอากาศที่อยู่ในโซน บี ที่มีลักษณะร้อนและชื้นมากเกินไป รู้สึกเสมือนเข้าสู่เขตสบายได้ และสภาพอากาศในโซน เอ และโซน บี ที่อยู่สูงกว่าเขตสบายสามารถใช้อิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศช่วยทำให้สภาพอากาศดังกล่าวรู้สึกเสมือนอยู่ในเขตสบายได้ โดยการทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนด้วยการแผ่รังสีสู่สภาพแวดล้อม

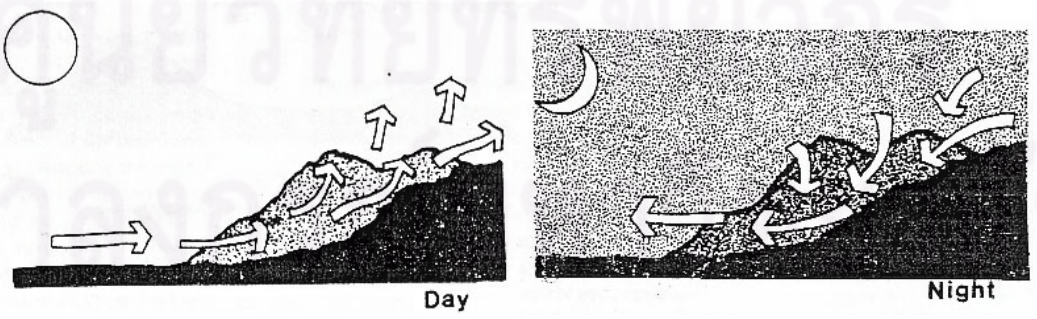
จากการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) โดยใช้ข้อมูลอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานคร ปี 2538 วิเคราะห์ด้วยแผนภูมิไบโอไคลเมติก พบว่าจำนวนชั่วโมงที่อยู่ในเขตสบายในหนึ่งปีมีเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

2.2.2 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาว

การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมสำหรับเมืองร้อนชื้นคือการแสวงหาประโยชน์จากธรรมชาติในการหลบอิทธิพลของความร้อน หาและกักเก็บความเย็น สร้างความรู้สึกเสมือนที่เย็นกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยใช้ระบบธรรมชาติ

2.2.2.1 อิทธิพลการใช้ประโยชน์จากความลาดเอียงของพื้นดิน

ในระดับพื้นที่ใหญ่ เช่นลักษณะพื้นที่ที่เป็นหุบเขา ในเวลากลางวันจะเกิดลมเย็นพัดขึ้นสู่ยอดเขา ในขณะที่เวลากลางคืนอากาศเย็นจากบนภูเขาจะไหลลงจากยอดเขามาสู่หุบเขา (Robinette, 1977) ดังนั้นพื้นที่หุบเขาจึงเป็นแหล่งกักเก็บความเย็น (cooling pocket)



ภาพที่ 2-4 แสดงทิศทางลมเย็นระหว่างกลางวันและกลางคืน (Robinette, 1977; 6)

2.2.2.2 อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์แผ่รังสีมากระทบกับวัตถุใด ๆ จะเกิดการดูดซับรังสีความร้อน (absorbing) การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (reflecting) การแผ่รังสีกลับ (radiating หรือ emitting) และการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ (transmitting)

อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบที่พื้นผิววัตถุ จะทำผิวของวัตถุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ สามารถอธิบายได้ด้วยอุณหภูมิโซล-แอร์ (sol-air temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิเสมือนของพื้นผิวที่อยู่ภายนอกโดยรวมอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของวัตถุ การแลกเปลี่ยนพลังงานกับท้องฟ้าและสภาพแวดล้อม การแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการพา อธิบายด้วยสมการที่ 1 (ASHRAE, 2001)

$$t_e = t_o + \frac{\alpha E_t}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o}$$	(1)

เมื่อ t_e คือ อุณหภูมิโซล-แอร์ มีหน่วยเป็น องศาฟาเรนไฮต์ (^{O}F)

t_o คือ อุณหภูมิอากาศ มีหน่วยเป็น องศาฟาเรนไฮต์ (^{O}F)

α คือ ค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของวัตถุ

E_t คือ รังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบวัตถุ มีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุต (Btu/h ft^2)

h_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อนที่ผิวด้านนอก มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ (Btu/h ft^2 ^{O}F)

ε คือ ค่าการปล่อยรังสีกลับของพื้นผิว

ΔR คือ ความแตกต่างของรังสีคลื่นยาวที่ตกกระทบบนพื้นผิวจากท้องฟ้าและสภาพแวดล้อมกับการแผ่รังสีกลับของวัตถุดำที่อยู่ภายนอก มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุต (Btu/h ft^2)

2.2.2.3 อิทธิพลการใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่

ต้นไม้ใหญ่ช่วยปรุงแต่งสภาพแวดล้อมโดยการให้ร่มเงาเพื่อลดอิทธิพลความรุนแรงของรังสีดวงอาทิตย์ และการที่ต้นไม้ดูดน้ำใต้ดินขึ้นมาแปลงสภาพเป็นไอน้ำผ่านทางปากใบ กระบวนการนี้จะใช้พลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อม ความร้อนแฝงในการทำให้น้ำ 1 ลิตรกลายเป็นไอต้องใช้พลังงานความร้อนประมาณ 2,200 บีทียู ดังนั้นต้นไม้จึงมีความสามารถในการลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อม (สุนทร บุญญาธิการ. 2542)

2.2.2.4 อิทธิพลการใช้ประโยชน์จากความเร็วลม

ความรู้สึกเย็นลงเนื่องจากอิทธิพลของความเร็วลม จากการศึกษา (Olgyay, 1973) พบว่าเมื่อมีกระแสลมพัดผ่านที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นมนุษย์จะมีความรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริง ความรู้สึกเย็นลงนี้เป็นเพราะอัตราการระบายความร้อนออกจากผิวกายแปรผันตามความเร็วลม ความรู้สึกเย็นลงสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 2 (สุนทร บุญญาธิการ. 2542)

ความรู้สึกเย็นลง (^{O}C) = 0.31V+0.016RH	(2)

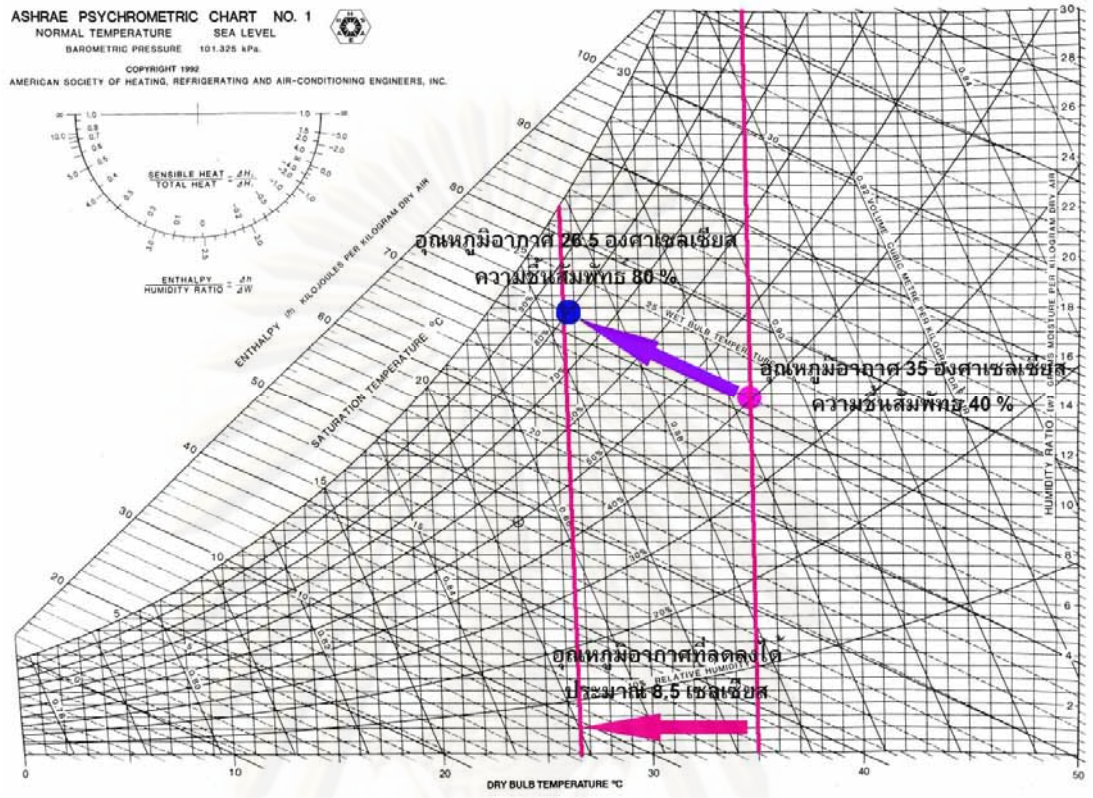
เมื่อ V คือ ความเร็วลม มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง (Km/h)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

(สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 35)

2.2.2.5 อิทธิพลการสร้างความเย็นจากการระเหยของน้ำ

การสร้างความเย็นจากการระเหยของน้ำ (evaporative cooling) เกิดจากการใช้พลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อมในการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยทั่วไปเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำจะทำให้สภาพอากาศนั้นมีอุณหภูมิที่ต่ำลงแต่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ยกตัวอย่างเช่น อากาศที่มีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 เมื่อเกิดการระเหยของน้ำจนมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 80 จะมีอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 26.5 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 2-5 ที่อธิบายด้วยแผนภูมิไซโครเมตริก (psychrometric chart) (ASHRAE, 2001) คือการระเหยของน้ำที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ประมาณ 8.5 องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 2-2 แสดงอุณหภูมิอากาศที่ลดลงจากการระเหยของน้ำด้วยแผนภูมิไซโครเมตริก

2.2.2.6 อิทธิพลความเย็นจากท้องฟ้าเวลากลางคืน

เนื่องจากท้องฟ้าเป็นสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ ในเวลากลางคืนวัตถุจะสูญเสียความร้อนให้กับท้องฟ้า จากสมการที่ 1 จะพบว่าในเวลากลางคืนเมื่อไม่มีรังสีดวงอาทิตย์รวมตกกระทบวัตถุ (E_t) แต่ได้รับอิทธิพลจากความแตกต่างของรังสีคลื่นยาวที่ตกกระทบบนพื้นผิวจากท้องฟ้าและสภาพแวดล้อมกับการแผ่รังสีกลับของวัตถุดำที่อยู่ภายนอก (ΔR) จะทำให้อุณหภูมิผิวของวัตถุต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การแผ่รังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าเวลากลางคืน (night time radiation)

2.2.2.7 อิทธิพลการดูดซับความร้อนจากมวลสาร

เมื่อมวลสารได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อมหากไม่มีการเปลี่ยนสถานะ มวลสารนั้นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยขึ้นอยู่กับปริมาณมวลของวัตถุ ความจุความร้อนจำเพาะ การที่มีมวลสารมากพอจะสามารถกักเก็บหรือดูดซับพลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อมได้ อธิบายด้วยสมการที่ 3

$q = m * s * \Delta t$	(3)

เมื่อ q คือ พลังงานความร้อน มีหน่วยเป็นบีทียู (Btu)

m คือ มวลสาร มีหน่วยเป็นปอนด์ (lb)

S คือ ความจุความร้อนจำเพาะ มีหน่วยเป็น บีทียูต่อปอนด์องศาฟาเรนไฮต์ (Btu/lb ^{O}F)

Δt คือ อุณหภูมิที่แตกต่าง มีหน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์ (^{O}F)

เทคนิคการใช้ประโยชน์จากการกับเก็บความร้อนของมวลสาร (thermal mass) ของอาคาร กรณีที่ใช้ระบบธรรมชาติต้องปรุงแต่งมวลสารให้เย็น และต้องมีปริมาณมากพอที่จะดูดซับความร้อนจากผู้ใช้อาคาร

2.2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิในอาคารและภาระการทำความเย็นในอาคาร ปริมาณการถ่ายเทความร้อน ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน พื้นที่ของเปลือกอาคาร และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในกับภายนอก อธิบายด้วยสมการที่ 4

$q = U * A * \Delta t$	(4)

เมื่อ q คือ ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ (Btu/h ft^2 ^{O}F)

A คือ พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางฟุต

Δt คือ อุณหภูมิที่แตกต่าง มีหน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์ (^{O}F)

(ASHRAE, 1993)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเป็นค่าแปรผันกลับของค่าการต้านทานความร้อนรวมของเปลือกอาคาร อธิบายด้วยสมการที่ 5

$$U = \frac{1}{\Sigma R}$$	(5)

เมื่อ U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ (Btu/h ft^2 ^OF)

ΣR คือ ค่าการต้านทานความร้อนรวม มีหน่วยเป็น ตารางฟุตชั่วโมงองศาฟาเรนไฮต์ต่อบีทียู (ft^2 h ^OF/Btu)

เนื่องจากสมการที่ 4 เป็นการคำนวณปริมาณความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคารในภาวะควบคุม (steady-stage) ดังนั้น อุณหภูมิที่แตกต่าง (Δt) ที่ใช้ในสมการนี้ยังขาดตัวอื่นในสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน เช่น อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ด้วยอุณหภูมิโซล-แอร์ และอิทธิพลมวลสารของวัสดุ จึงมีการพัฒนาวิธีการคำนวณด้วยการใช้ ความแตกต่างของอุณหภูมิสำหรับคำนวณภาระการทำความเย็น (cooling load temperature differences, CLTD) ที่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์จากอุณหภูมิโซล-แอร์ และมวลสารของเปลือกอาคาร อธิบายด้วยสมการที่ 6

$$q = U * A * CLTD$$	(6)

เมื่อ q คือ ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ (Btu/h ft^2 ^OF)

A คือ พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางฟุต (ft^2)

CLTD คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิสำหรับคำนวณภาระทำความเย็น (cooling load temperature differences, CLTD) มีหน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์ (^OF)

(ASHRAE, 1993)

การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงเป็นผลรวมของการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของกระจกและการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่ความร้อนผ่านกระจก

$q_{glass} = q_{conduction} + q_{radiation}$	(7)

เมื่อ q_{glass} คือ ปริมาณความร้อนผ่านกระจกมีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

q_{cond} คือ ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการนำความร้อน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

Q_{rad} คือ ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีความร้อน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

(Stein, 1986)

ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการนำความร้อนของกระจกขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก พื้นที่กระจก และความแตกต่างของอุณหภูมิสำหรับคำนวณภาระทำความเย็นของกระจก (cooling load temperature differences, CLTD) ตามสมการที่ 8

$q_{conduction} = U * A * CLTD$	(8)

เมื่อ q_{cond} คือ ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการนำความร้อน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ (Btu/h ft^2 ^OF)

A คือ พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางฟุต (ft^2)

CLTD คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิสำหรับคำนวณภาระทำความเย็นของกระจก (cooling load temperature differences, CLTD) มีหน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์ (^OF)

(Stein, 1986)

ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีความร้อนของกระจกขึ้นอยู่กับ พื้นที่กระจก สัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coeffients) ความร้อนจากการแผ่รังสี (solar heat gain factor) และค่าผันแปรภาระทำความเย็น (cooling load factors) ตามสมการที่ 9

$q_{radiation} = A * SC * SHGF * CLF$	(9)

เมื่อ q_{cond} คือ ปริมาณความร้อนผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีความร้อน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

A คือ พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางฟุต (ft^2)

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coeffients)

SHGF คือ ความร้อนจากการแผ่รังสี (solar heat gain factor) มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

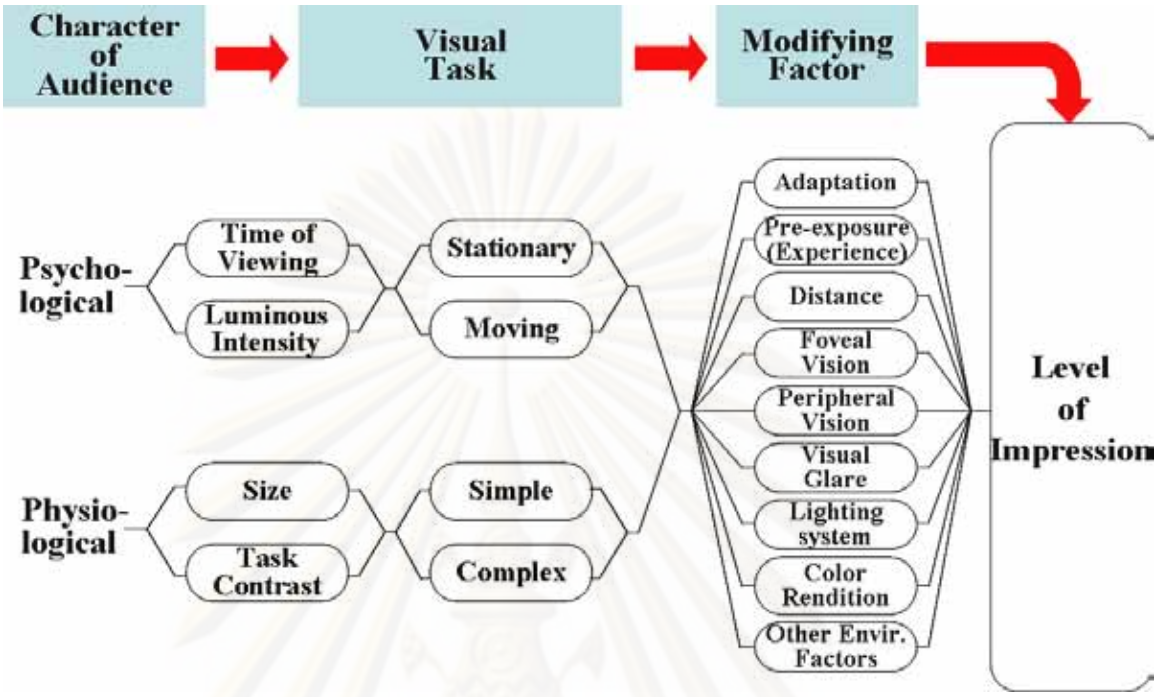
CLF คือ ค่าผันแปรภาระทำความเย็น (cooling load factor)

(Stein, 1986)

2.3 ทฤษฎีความรู้สึกสบายด้านแสงสว่าง ความรู้สึกสบายด้านการมองเห็น และการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

แสงสว่างและการมองเห็นเป็นตัวแปรที่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ทั้งทางจิตภาพ (psychological) และกายภาพ (Physiological) แสงสว่างและการมองเห็นในห้องเรียนสามารถสร้างให้ห้องเรียนน่าเรียนหรือน่าสนใจได้ และเป็นสิ่งเร้าที่กระตุ้นในกระบวนการเรียนรู้ผ่านอวัยวะการรับรู้ของดวงตา

การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นพบว่าคุณภาพของการมองเห็นวัตถุ (visual task) ประกอบด้วยปัจจัยหลักของการมองเห็น 4 ปัจจัย และลักษณะองค์ประกอบของสิ่งที่มอง นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของปัจจัยที่เป็นการปรุงแต่งการมองเห็น (modifying factor) ซึ่งเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมและคุณลักษณะของผู้มอง ทั้งองค์ประกอบการมองเห็นวัตถุ และปัจจัยในการปรุงแต่งในการมอง ทำหน้าที่ให้เกิดระดับความประทับใจในการมองเห็น (level of impression) ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการรับข้อมูลสารสนเทศของประสาทสัมผัสด้านการมองเห็นในกระบวนการเรียนรู้



ภาพที่ 2-5 แสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ของประสาทสัมผัสทางการมองเห็น (สุนทร บุญญาธิการ, 2549)

2.3.1 ปัจจัยหลักของการมองเห็นภาพและวัตถุ

ปัจจัยหลักของการมองเห็นทั้ง 4 ปัจจัย ประกอบด้วย

1. ระยะเวลาในการมอง (time of viewing)
2. ความเข้มแสงสว่าง (luminous intensity)
3. ขนาดของภาพในการมองเห็น (size)
4. ความเปรียบต่างระหว่างวัตถุกับพื้นภาพ (task contrast)

ระยะเวลาในการมอง (time of viewing) หมายถึงระยะเวลาในการมองวัตถุหรือภาพ ในกรณีห้องเรียนรูปแบบการบรรยาย ส่วนมากระยะเวลาในการมองเป็นระยะเวลาในการมองที่ค่อนข้างนานและคงที่

ความเข้มแสงสว่าง (luminous intensity) หมายถึงความเข้มแสงที่สะท้อนเข้าสู่ดวงตา ที่เกิดจากความส่องสว่าง (illuminance) ตกกระทบผิววัตถุแล้วสะท้อนเข้าสู่ดวงตาทำให้

สามารถมองเห็นวัตถุนั้น ความเข้มของแสงสว่างที่เข้าสู่ดวงตาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพลังงานแสงสว่างและค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ ตามสมการที่ 10 และระดับการส่องสว่างในห้องเรียนถูกจัดกลุ่มอยู่ในกลุ่ม ดี (group D) คือ ต้องการค่าความส่องสว่าง 300 ลักซ์ หรือ 30 ฟุตแคนเดิล (Illuminating Engineering Society of North America [IESNA], 2000)

$fL = fc * RF$	(10)

เมื่อ fL คือ แสงสว่าง มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ท (foot-Lamberts, fL)

fc คือ ความส่องสว่าง มีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล (footcandles, fc)

RF คือ ค่าการสะท้อนแสง (reflection factor)

(Stein and Reynolds, 2000)

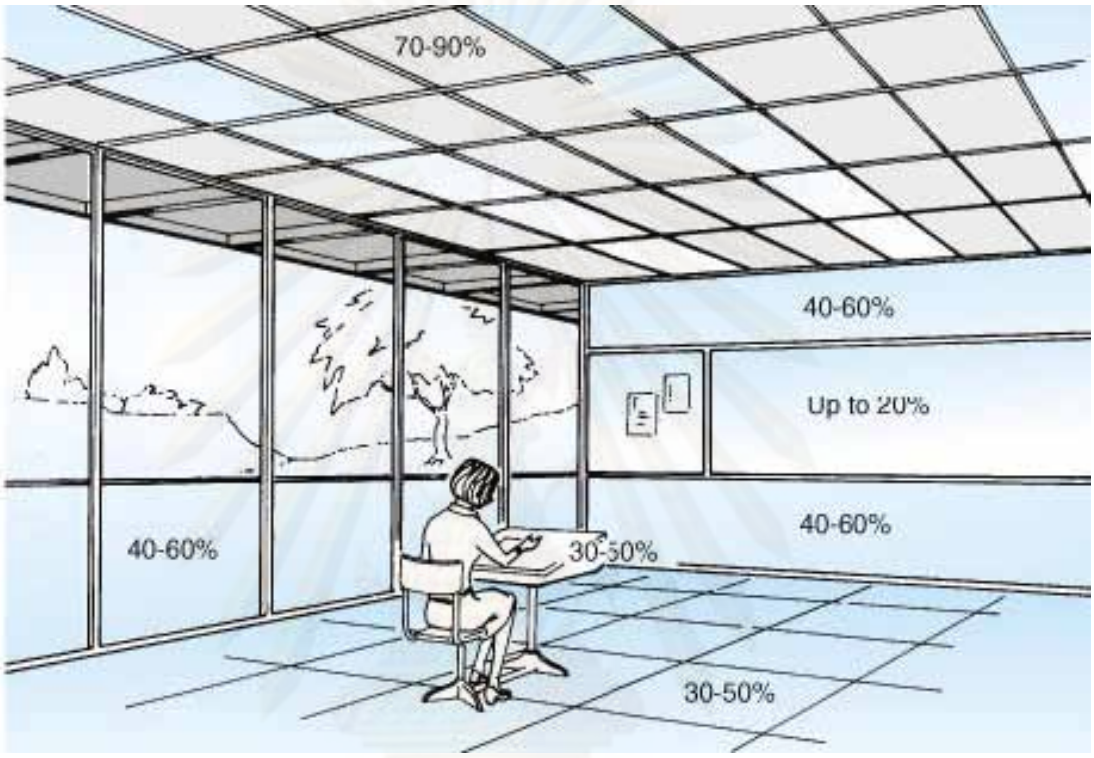
ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุทั่วไปในอาคารและภายนอกอาคารตามตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุในอาคารและภายนอกอาคาร

วัสดุ	ค่าการสะท้อนแสง (%)	วัสดุ	ค่าการสะท้อนแสง (%)
หินทราย	18	ยางมะตอย	7
อิฐ		ดินชุ่มชื้น	7
อิฐสีเหลืองอ่อน	48	ทางเดิน	17
อิฐสีเหลืองเข้ม	40		
อิฐสีแดงมัน	30	หญ้าเขียว	6
ซีเมนต์	27	กรวด	13
คอนกรีต	55	โคลน	8
แกรนิต	40		
หินอ่อน (ขาว)	45		
สีทา (ขาว)			
สีใหม่	75		
สีเก่า	55		

(Stein and Reynolds, 2000; 1144)

พื้นที่ผิวในห้องเรียนมีการกำหนดค่าการสะท้อนแสงมาตรฐานดังภาพที่ 2-6 (IESNA, 2000; 12-4)



ภาพที่ 2-6 **แสดงค่าการสะท้อนแสงแนะนำของพื้นผิวในห้องเรียน** (IESNA, 2000; 12-4)

ปัจจัยทางจิตภาพที่ประกอบด้วยระยะเวลาในการมองเห็นและความเข้มแสงสว่างหมายถึงด้านความรู้สึกของผู้มองที่มีต่อความส่องสว่างในการมองเห็นวัตถุ อิทธิพลของปัจจัยทางด้านจิตภาพที่มีผลต่อความชัดในการมองเห็นและทำให้รู้สึกสบายทางสายตาเกิดจากการผสมผสานปัจจัยระยะเวลาในการมองและความเข้มของแสงสว่าง ตัวอย่างเช่น ภาพที่มีความเข้มในการส่องสว่างของวัตถุน้อยหากต้องการมองเห็นได้ชัดเจนอาจต้องใช้ระยะเวลาในการมองภาพนั้นมากกว่าภาพที่มีความเข้มในการส่องสว่างของวัตถุมาก ส่วนภาพที่มีความเข้มในการส่องสว่างของวัตถุมาก หากมองในระยะเวลานานเกินไปอาจทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายทางสายตา และนอกจากปัจจัยทั้งสองด้านนี้แล้วปัจจัยทางจิตภาพทั้งสองปัจจัยแล้วยังมีปัจจัยของสิ่งที่มองเห็นที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของภาพมาเกี่ยวข้อง ซึ่งมีทั้งภาพที่อยู่นิ่ง (stationary) และภาพเคลื่อนไหว (moving) กรณีของการมองเห็นในห้องเรียนรูปแบบบรรยายทั่วไปส่วนมากจะมีลักษณะภาพที่อยู่นิ่ง มากกว่าภาพเคลื่อนไหว

ขนาดของภาพในการมองเห็น (size) หมายถึงขนาดของวัตถุที่อยู่ในมุมมอง (visual field) ที่มองเห็นซึ่งขึ้นกับสัดส่วนของขนาดภาพหรือวัตถุกับระยะทางในการมอง เช่น ในการมองภาพตัวอักษรขนาดใหญ่ที่อยู่ในระยะไกลอาจมีขนาดของภาพในการมองเห็นเท่ากับภาพตัวอักษรขนาดเล็กที่อยู่ในระยะใกล้ในกรณีที่ทั้งสองกรณีมีสัดส่วนเท่ากัน ดังนั้นขนาดของภาพในการมองเห็นไม่ได้หมายความว่าเป็นขนาดจริงของวัตถุ

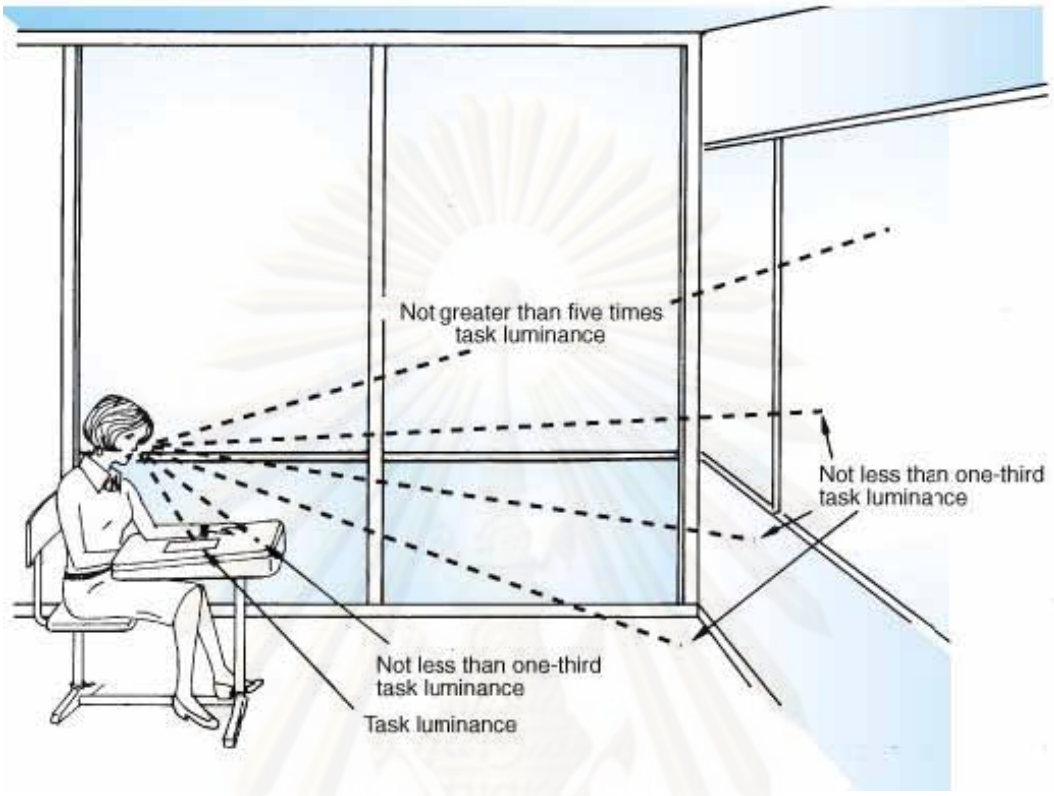
อิทธิพลของปัจจัยทางด้านขนาดของภาพในการมองเห็นที่มีผลในการเรียนรู้และความชัด คือหากขนาดของภาพในการมองเห็น มีขนาดเล็กเกินไปผู้มองจะมองได้ไม่ชัด แต่ถ้าภาพมีขนาดใหญ่เกินไปก็จะไม่สามารถใส่เนื้อหา ข้อมูลข่าวสารได้ครบถ้วน

ความเปรียบต่างที่วัตถุกับพื้นภาพ (task contrast) หมายถึง ค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความส่องสว่างของภาพกับพื้นภาพในการมองวัตถุหากมีค่าการเปรียบต่างน้อยจะมองเห็นไม่ชัดเจน สามารถอธิบายเป็นสัดส่วนของการเปรียบต่างกับความรู้สึกในการมองเห็นได้ตามตารางที่ 2-2 (Stein and Reynolds, 2000; 1100) พบว่ายิ่งมีค่าความเปรียบต่างสูงจะยิ่งมองเห็นภาพหรือวัตถุได้ชัดเจนแต่หากมีค่าความเปรียบต่างของภาพมากเกินไปอาจทำให้รู้สึกไม่สบายในการมองเห็น ดังตารางที่ 2-2 และมีค่าความเปรียบต่างที่แนะนำในห้องเรียน ดังภาพที่ 2-7 (IESNA, 2000; 12-4)

ตารางที่ 2-2 แสดงค่าความเปรียบต่างของแสงในการมองเห็น

อัตราส่วน	ผลการมองเห็น
3:1	สามารถสังเกตุเห็นความแตกต่าง
10:1	เป็นจุดสนใจและดึงดูดใจ
50:1	โดดเด่นมากและข่มวัตถุอื่นในมุมมอง

(Stein and Reynolds, 2000; 1100)



ภาพที่ 2-7 แสดงค่าความเปรียบต่างที่แนะนำในห้องเรียน (IESNA, 2000; 12-4)

กรณีพิจารณารายละเอียดของความเปรียบต่างของวัตถุหรือภาพกับพื้นภาพหรือสภาพแวดล้อม จะอธิบายค่าความเปรียบต่างด้วยสมการที่ 11 จากการคำนวณกรณีตัวหนังสือสีขาวบนพื้นสีดำเปรียบเทียบกับตัวหนังสือสีดำบนพื้นสีขาว พบว่าภาพของตัวหนังสือสีขาวบนพื้นสีดำจะเห็นได้ชัดเจนกว่าภาพตัวหนังสือดำบนพื้นสีขาว

$$C = \left| \frac{L_B - L_T}{L_T} \right| \qquad (11)$$

เมื่อ C คือ ค่าความเปรียบต่าง

L_B คือ ค่าความสว่างของพื้นหลัง มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ท (foot-Lamberts, fL)

L_T คือ ค่าความสว่างของวัตถุ มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ท (foot-Lamberts, fL)

(Stein and Reynolds, 2000)

ปัจจัยทางกายภาพที่ประกอบด้วยขนาดของภาพและค่าความเปรียบต่าง หมายถึง ลักษณะคุณสมบัติกายภาพของสิ่งที่มองเห็น ที่มีอิทธิพลต่อความชัดในการมองเห็นและทำให้รู้สึกสบายทางสายตา เกิดจากการผสมผสานปัจจัยขนาดของภาพ และความเปรียบต่าง ตัวอย่างเช่นในกรณีที่ภาพมีขนาดใหญ่ความต้องการความเปรียบต่างเพื่อให้มองภาพให้ชัดเจนจะมีระดับไม่มาก ในทางกลับกันหากมีวัตถุที่มีขนาดไม่ใหญ่แต่ต้องการเน้นให้เห็นชัดเจนจะต้องมีค่าความเปรียบต่างที่สูงกว่า และนอกจากปัจจัยทางกายภาพทั้งสองปัจจัยนี้แล้วยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความละเอียดของภาพมาเกี่ยวข้อง ทั้งภาพที่มีส่วนประกอบที่เรียบง่าย (simple) และภาพที่มีส่วนประกอบที่ซับซ้อน (complex) ตัวอย่างเช่นภาพที่มีความเรียบง่ายต้องการความเปรียบต่างที่น้อยกว่าภาพที่ซับซ้อน

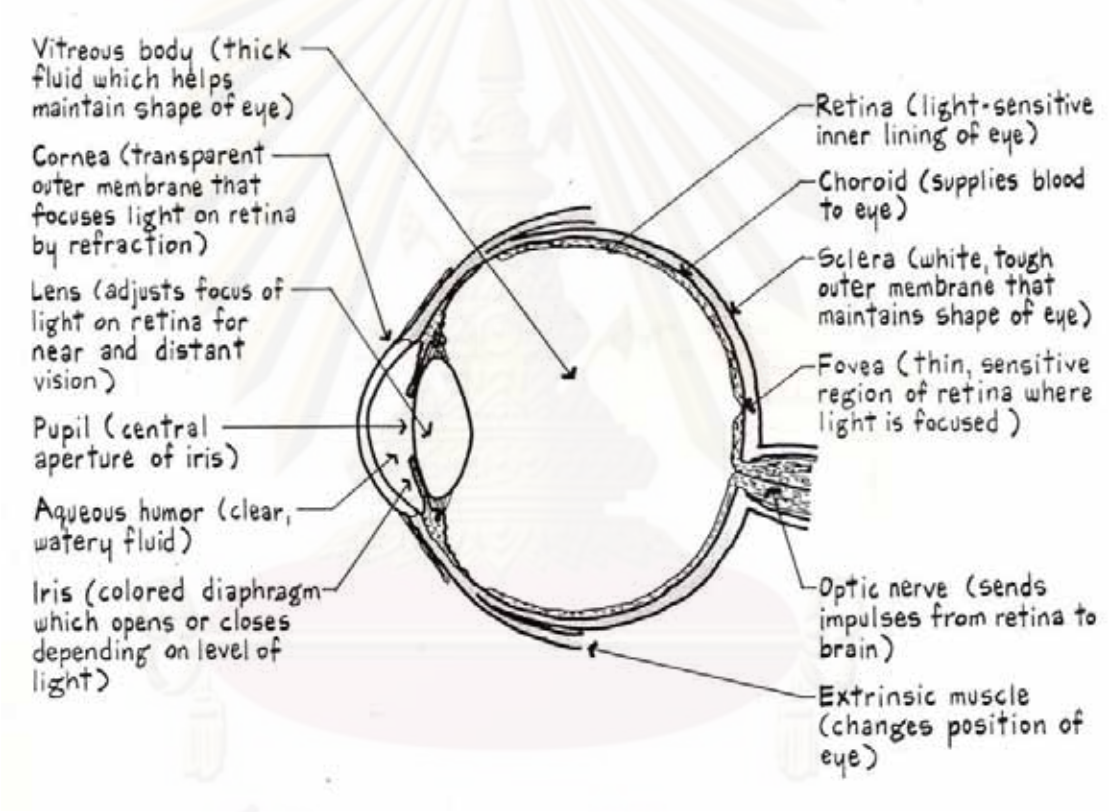
การที่จะทำให้ภาพที่มองเห็นเกิดระดับของความประทับใจได้อย่างลึกซึ้งตามเจตนารมณ์ของผู้สอนยังต้องมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรุงแต่งมาช่วยทำให้ภาพมีความชัดเจนและสบายตา ประกอบด้วย การปรับตัวของดวงตา (adaptation) ประสบการณ์ในการมองเห็น (pre-exposure) ระยะห่างในการมอง (distance) ภาพในมุมมองที่อยู่ในจุดโฟกัสของดวงตา (foveal vision) ภาพในมุมมองที่อยู่โดยรอบของจุดโฟกัส (peripheral vision) แสงระคายเคืองตา (visual glare) ระบบแสงสว่าง (lighting system) ความถูกต้องของสี (color rendition) และอื่นๆ

การสร้างสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้เพื่อให้บรรลุถึงปรัชญาการออกแบบในส่วนของความต้องการของมนุษย์ในยุคปัจจุบัน ทางด้านความสบายด้านแสงสว่าง (lighting comfort) และความสบายด้านการมองเห็น (visual comfort) ต้องอาศัยการเข้าใจปัจจัยที่เกี่ยวข้องการรับรู้ของประสาทสัมผัสทางสายตา และยังต้องมีความเข้าใจในเรื่องพื้นฐานที่สำคัญในการมองเห็นอื่นที่เชื่อมโยงกับปัจจัยด้านการมองเห็นที่ปรุงแต่งโดยสภาพแวดล้อมและลักษณะของผู้มอง

2.3.2 ปัจจัยด้านการมองเห็นที่ปรุงแต่งโดยสภาพแวดล้อมและลักษณะผู้มอง

การปรับตัวของสายตา (eyes adaptation หรือ adaptation) ดวงตามนุษย์มีลักษณะเป็นลูกกลม (vitreous body) โดยภายในดวงตาจะมีของเหลวเพื่อช่วยในการรักษารูปร่างของดวงตา กระจกตา (cornea) และ เลนส์ตา (lens) จะจับโฟกัสของแสงมาสู่เรตินา (retina) ที่มีที่รวมของเส้นประสาทที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น มีรูม่านตา (pupil) และม่านตา (iris) ทำหน้าที่

ปรับตัวตามความจ้าของแสง มีเรตินาซึ่งเป็นเยื่อที่อยู่ด้านในสุดของดวงตาประกอบด้วยชั้นของเส้นประสาทที่ซับซ้อนเมื่อแสงตกกระทบระบบประสาทที่อยู่ภายในจะทำงาน ประกอบด้วยประสาท 2 ส่วน คือ รอด (rod) ซึ่งทำหน้าที่ตอบสนองกับแสงสว่างน้อยและมองเห็นภาพเป็นขาวดำ และโคน (cone) ซึ่งทำหน้าที่ตอบสนองกับแสงสว่างมองเห็นภาพเป็นสี จากองค์ประกอบของดวงตาจะพบว่าม่านตาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการปรับรับแสงเข้าสู่ดวงตา กรณีที่อยู่ในที่มืดม่านตาจะขยายกว้าง และเมื่ออยู่ในที่สว่างม่านตาจะปรับให้รูม่านตาเล็กลง ตามภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 **แสดงองค์ประกอบของดวงตา** (Egan, 1983: 3)

ประสบการณ์ของผู้มองในอดีต (pre-exposure หรือ experience) เป็นผลจากกระบวนการเรียนรู้ที่ถูกบันทึกข้อมูลสารสนเทศไว้ในความจำและเรียกกลับมาเพื่อประมวลผลกับสารสนเทศใหม่ที่ได้รับจากสภาพแวดล้อม ตัวอย่างเช่น ในการออกแบบห้องเรียนเพื่อสร้างบรรยากาศที่เป็นสิ่งกระตุ้นที่ดีของสิ่งเร้าในการเรียนรู้ ต้องเลือกองค์ประกอบที่จะสร้างความประทับใจที่ดีในการรับรู้ เช่นการเลือกใช้องค์ประกอบที่สวยงามของธรรมชาติมาช่วยสร้างแรงกระตุ้นที่ดีงาม

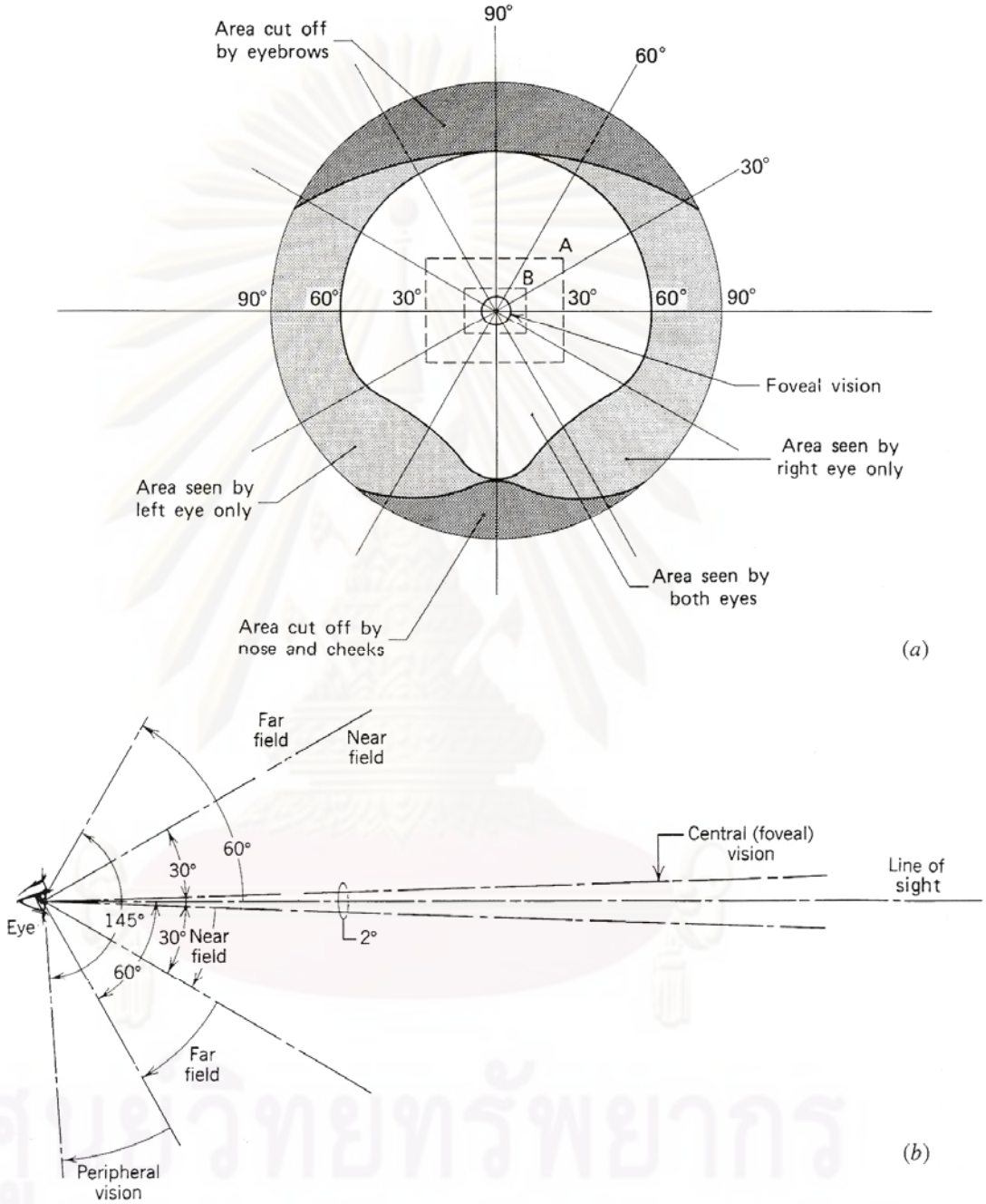
ระยะทางในการมอง (distance) มีอิทธิพลในการมองเห็นที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลักในการมองเห็นในเรื่องของขนาดของภาพและความซับซ้อนของภาพ และยังมีผลต่อการสื่อสารในห้องเรียนในเรื่องของการมีปฏิสัมพันธ์ของผู้เรียนรู้ เช่นการติดต่อด้วยสายตาและการมองสีหน้า (eye contact)

มุมมองในการมองเห็น (visual field) แบ่งออกเป็น

- มุมมองเป้าหมายหลัก (foveal vision) คือ มุมมองที่ดวงตาโฟกัสจะมีแนวของรัศมีประมาณ 1 องศา จากแกนแนวการมอง แกนนี้โดยทั่วไปเอียงลง 10 องศาจากเส้นนอนเมื่อยืน และ 15 องศา เมื่อนั่ง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากเพราะจะตอบสนองได้ดีกับภาพสี
- มุมมองใกล้มุมมองเป้าหมายหลัก (near field) ประมาณ 1-30 องศาจากแนวแกนมอง
- มุมมองที่อยู่โดยรอบ (peripheral visual) หรือ (far field) ประมาณ 30-60 องศาจากแนวแกนมอง
- มุมมองที่อยู่ นอกมุมมองที่อยู่โดยรอบ (monocular vision) ซึ่งจะแบ่งออกเป็นฝั่งตาซ้าย และตาขวา

ตามภาพที่ 2-9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

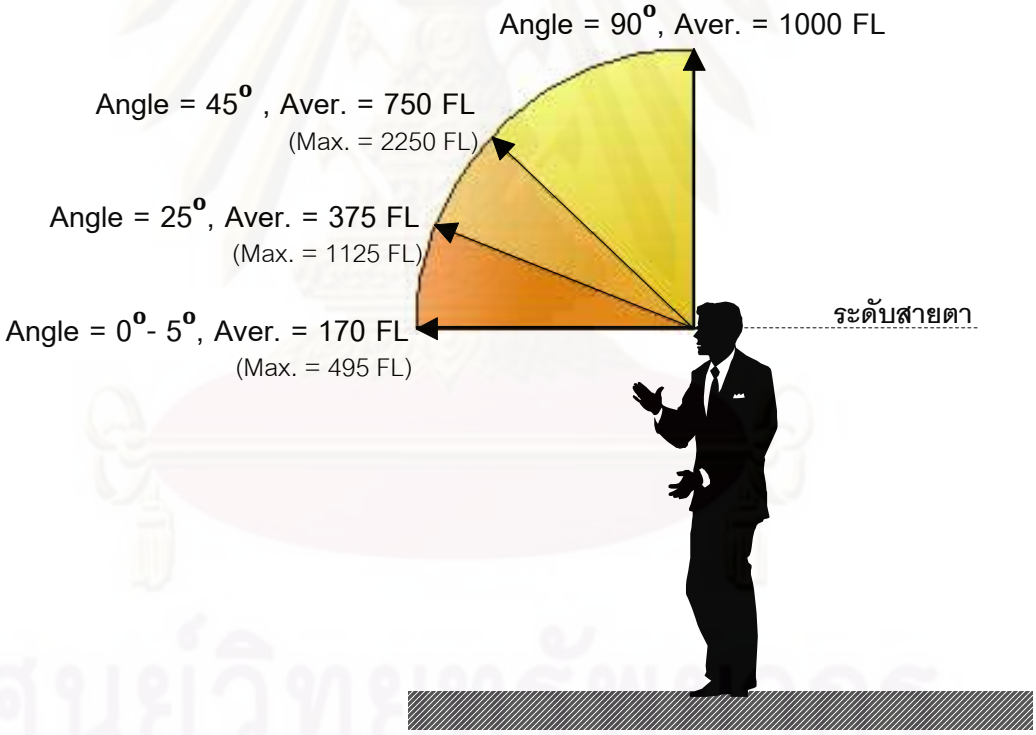


The fields of vision of a normal pair of human eyes (a) *and the subtended angles* (*b*). *The rectangles A and B superimposed on the field of vision in* (a) *represent a large magazine and a small book, respectively.*

ภาพที่ 2-9 แสดงมุมมองในการมองเห็น (Stein and Reynolds, 2000; 1066)

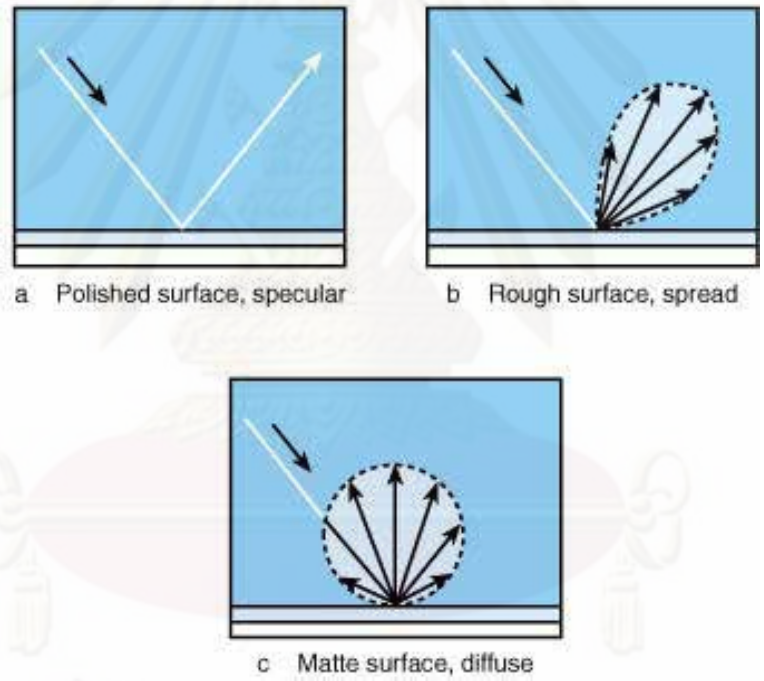
การระคายเคืองตาและความไม่สบายตาในการมองเห็น (glare) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ทำให้รู้สึกระคายเคืองโดยตรง (direct discomfort glare) และประเภทที่ทำให้เกิดความสามารถในการมองเห็นลดลงเนื่องจากแสงที่สะท้อนเข้าสู่มุมมอง เรียกว่าเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น (reflected glare หรือ veiling glare)

การระคายเคืองตาโดยตรง (direct discomfort glare) เกิดจากการมีแสงสว่างที่มากเกินไปในการยอมรับความสว่างหรือความจ้าของแสงในมุมมอง ถ้ามุมมองเป็นมุมเงยที่มีองศาของการมองยิ่งมากก็จะยิ่งทำให้สายตาสามารถยอมรับความจ้าได้มากขึ้น ตามภาพที่ 2-10 (สุนทร บุญญาธิการ, 2541)

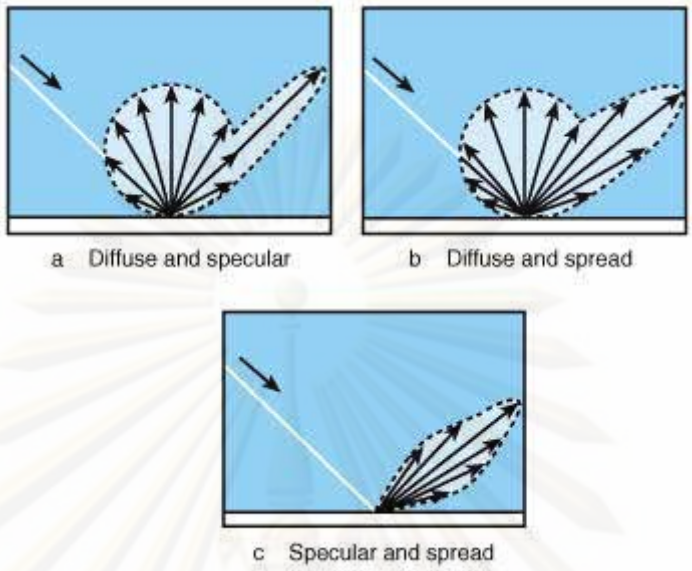


ภาพที่ 2-10 แสดงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมอง (angle of degrees) ที่แตกต่างกัน ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยโดยประมาณของความสว่าง (average luminance) ที่สายตายอมรับได้ หน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (footLamberts) ตัวเลขที่แสดงเป็นการประมาณการ ในการประยุกต์เพื่อใช้งานต้องพิจารณาปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ อีกหลายประการ (สุนทร บุญญาธิการ, 2541)

การเกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น (reflected glare หรือ veiling glare) เกิดจากลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นผิววัตถุและมุมของการสะท้อนแสงกับมุมมองของผู้มอง การสะท้อนแสง (reflection) เป็นปรากฏการณ์หนึ่งของแสงเมื่อตกกระทบพื้นผิวและพื้นผิวทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแสง (reflector) อาจเป็นการสะท้อนแบบเสมือนกระจก (specular) แบบสาดเป็นลำแสง (spread) แบบฟุ้งกระจาย (diffuse) หรือแบบผสม (compound) ตามภาพที่ 2-11 และภาพที่ 2-12 (IESNA, 2000; 1-18) การสะท้อนของแสงแบบเสมือนกระจก และแบบสาดเป็นลำแสงหากสะท้อนภาพของแหล่งกำเนิดแสงเข้าสู่มุมมองของผู้มองจะทำให้เกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น



ภาพที่ 2-11 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวที่สะท้อนแสง (a) **พื้นผิวมันเสมือนกระจก** (polished) **เกิดการสะท้อนแบบเสมือนกระจก** (specular) (b) **พื้นผิวมีความมันและกระด้าง** (rough) **เกิดการสะท้อนแบบสาดเป็นลำแสง** (spread) (c) **พื้นผิวด้าน** (matte) **เกิดการสะท้อนแบบฟุ้งกระจาย** (diffuse) (IESNA, 2000; 1-18)



ภาพที่ 2-12 **แสดงลักษณะการสะท้อนแสงแบบผสม** (compound) (IESNA, 2000; 1-18)

ระบบแสงสว่างภายในห้องเรียน (lighting system) การออกแบบแสงสว่างที่ดีในห้องเรียนจะต้องผสมผสานร่วมกันกับการใช้แสงธรรมชาติอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูง เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน

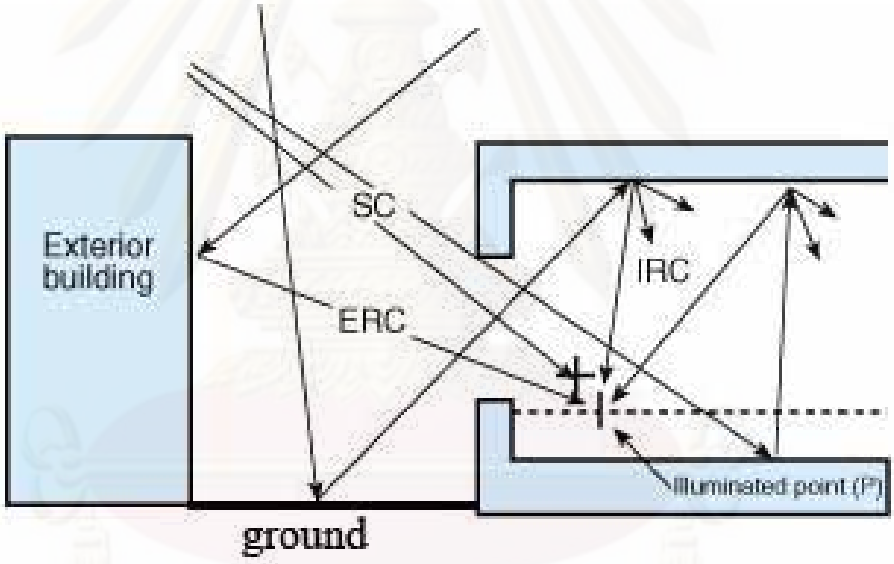
สีในการมองเห็น (color rendition) ประกอบด้วยสีของแสงและสีของวัตถุ ในการออกแบบสีในห้องเรียนต้องคำนึงถึงความถูกต้องของสี และคำนึงถึงการใช้สีของแสงเพื่อส่งเสริมภาพลักที่สวยงานของสีวัตถุที่ต้องการสร้างความประทับใจในการมองเห็น

2.3.3 การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในห้องเรียน

การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติ (daylighting) ในห้องเรียนนอกจากช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานแล้ว แสงธรรมชาติยังเป็นแสงที่มีประสิทธิภาพสูงและมีค่าความถูกต้องของสีที่ดี แต่การใช้แสงธรรมชาติก็มีข้อจำกัดด้านความแปรปรวน และเทคนิคการออกแบบช่องแสงเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ประโยชน์อย่างสม่ำเสมอและได้พื้นที่ลึกที่สุด

วัสดุของช่องแสงจะต้องมีคุณสมบัติตัดรังสียูวี และให้ความร้อนเข้าสู่ห้องเรียนน้อยที่สุด ในขณะที่ต้องยอมให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้มากแต่ต้องควบคุมไม่ให้เกิดแสงจ้าเคืองตาจากภายนอก

ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร หรือค่าปัจจัยแสงธรรมชาติ (daylight factor) ประกอบด้วยตัวแปร ดังต่อไปนี้คือ สภาพท้องฟ้า (sky component) การสะท้อนแสงของสภาพแวดล้อมภายนอก (external reflectance component) ซึ่งรวมถึงการสะท้อนแสงของพื้น (ground reflectance) และการสะท้อนแสงภายใน (internal reflectance component) ตามภาพที่ 2-13 (IESNA,2000; 8-18)



ภาพที่ 2-13 แสดงตัวแปรเกี่ยวข้องกับปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคาร (IESNA,2000; 8-18)

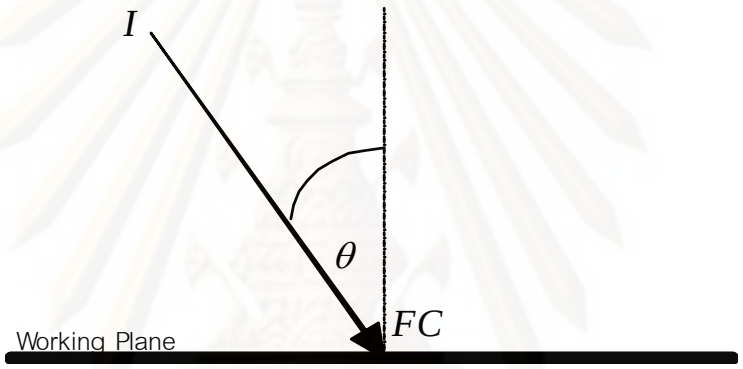
ปริมาณแสงสว่างของแสงที่ตกลงบนพื้นที่ทำงาน (working plane) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงบนระนาบนั้น ๆ ที่กระทำกับเส้นตั้งฉากกับระนาบ ตัวเลของศาของมุมดังกล่าวนี้จะแปรผกผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ ตามภาพที่ 2-14 ประกอบกับสมการที่ 12 (สุนทร บุญญาธิการ, 2541)

$FC = I * \cos\theta$	(12)

เมื่อ FC คือ ค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบใช้งาน (Illumination) โดยมีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (Footcandle)

I คือ ปริมาณแสงสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ใช้งาน (Intensity) มีหน่วยเป็น แคนเดลลา (candella)

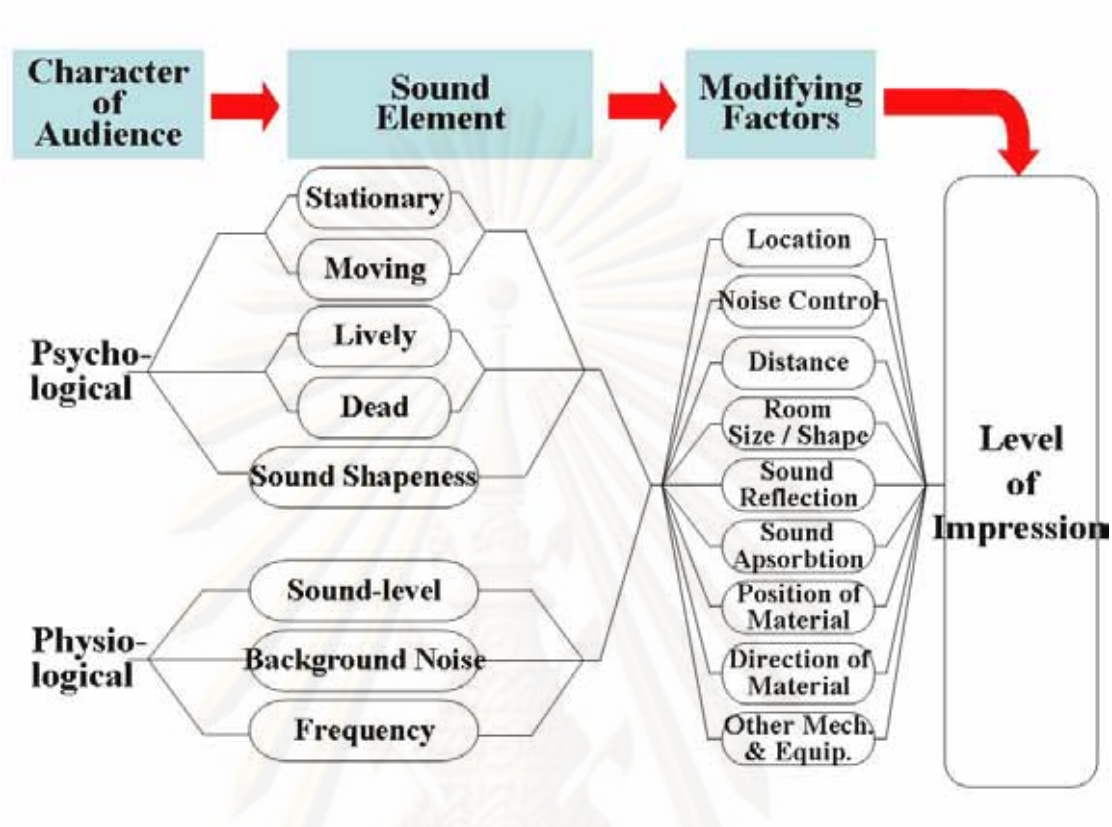
θ คือ มุมตกกระทบของแสง (Incident Angle)



ภาพที่ 2-14 **แสดงตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มแสงบนระนาบ (สุนทร บุญญาธิการ,** 2541)

2.4 ทฤษฎีความรู้สึกสบายด้านการได้ยินและการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมด้านเสียง

การได้ยินเป็นตัวแปรที่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ทั้งทางจิตภาพ (psychological) และกายภาพ (physiological) ประกอบด้วยตัวแปรหลักของการได้ยินที่เป็นองค์ประกอบของเสียงที่ได้ยิน (sound elements) ผสมผสานกับตัวแปรในการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมด้านเสียง (modifying factors) ภายในห้องเรียนทำให้เกิดการเรียนรู้สารสนเทศภายในห้องเรียน



ภาพที่ 2-15 แสดงตัวแปรปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ของประสาทสัมผัสทางการได้ยิน

ปัจจัยด้านเสียงทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกได้ทั้งความประทับใจ ความพอใจในสิ่งเร้าที่ดี และความสมบูรณ์ในการสื่อสาร รวมถึงหากขาดการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมที่ดีสภาพแวดล้อมของเสียงก็จะเปลี่ยนจากเสียงที่ต้องการฟัง (sound) กลายเป็นเสียงรบกวน (noise) ที่สร้างความรำคาญ เป็นอุปสรรคในการสื่อสาร และทำให้อยู่ในสภาวะที่ยากจะทนได้

2.4.1 ความรู้สึกสบายด้านการได้ยิน

ความรู้สึกสบายด้านการได้ยิน (acoustical comfort) คือความรู้สึกพอใจในสภาพแวดล้อมด้านเสียง สามารถได้ยินเสียงที่ต้องการฟัง และสื่อสารได้อย่างชัดเจน ในระดับเสียงที่พอเหมาะ ไม่ดังมากเกินไปและไม่เงียบเกินไป ตลอดจนสามารถควบคุมเสียงรบกวนให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะ ด้วยการป้องกันเสียง การดูดซับและการสะท้อนเสียง

มิติการเคลื่อนไหวของเสียง เกิดจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง คือ แหล่งกำเนิดเสียงอยู่นิ่ง (stationary) และแหล่งกำเนิดเสียงที่เคลื่อนที่ (moving) ในการออกแบบสภาพแวดล้อมด้านเสียงต้องคำนึงถึงการเคลื่อนที่เพราะเป็นส่วนหนึ่งของการสื่อสารระหว่างผู้พูดและผู้ฟัง ในห้องเรียนรูปแบบบรรยายทั่วไปส่วนมากจะมีแหล่งกำเนิดเสียงค่อนข้างอยู่นิ่ง

ความอึกทึก (lively) และความนิ่งเงียบ (dead) ของสภาพแวดล้อมทางเสียงเป็นคุณภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งของสภาพแวดล้อมทางเสียงในห้อง (room acoustics) ที่บอกคุณสมบัติของความก้องกังวาล และบอกถึงระดับความอึกทึกและความนิ่งเงียบภายในห้อง คุณสมบัตินี้ค้นพบวิธีการคำนวณและวิธีการประเมินโดย ซาบิน (Wallance Clement Sabine) ในปี 1895 คุณสมบัตินี้เรียกว่า รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (reverberation time, RT) หมายถึงช่วงเวลาเมื่อมีเสียงดังเกิดขึ้นและเสียงนั้นลดลง 60 เดซิเบลในสภาพแวดล้อม จึงมีอีกชื่อย่อว่า RT60

กรณีภายในห้องที่มีวัสดุดูดซับเสียงมากจะมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ต่ำ หมายถึงสภาพแวดล้อมด้านเสียงภายในห้องนั้นนิ่งเงียบ กรณีภายในห้องมีวัสดุสะท้อนเสียงมากจะมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์สูง หมายถึงสภาพแวดล้อมด้านเสียงภายในห้องนั้นอึกทึก รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ สามารถคำนวณหาได้ด้วยสมการ

$$T = 0.049\frac{V}{a}$$	(13)

เมื่อ T คือ รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (reverberation time, RT60) มีหน่วยเป็น วินาที

V คือ ปริมาตรห้อง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุต (ft^3)

a คือ การดูดซับเสียงรวมของห้อง มีหน่วยเป็นซาบิน (sabins)

(Egan, 1972)

ค่าการดูดซับเสียงรวมเกิดจากผลรวมของค่าการดูดซับของทุกพื้นที่ผิวภายในห้อง ตามสมการที่ 14

$a = \sum S\alpha$	(14)

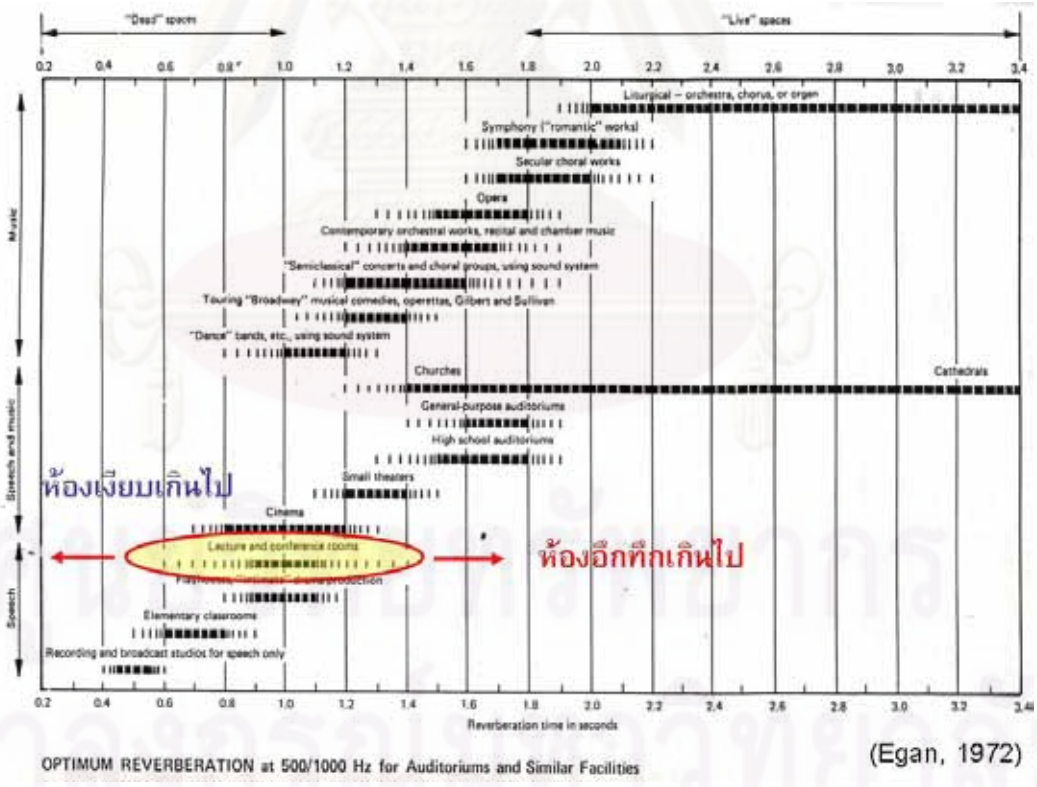
เมื่อ a คือ การดูดซับเสียงรวมของห้อง มีหน่วยเป็นซาบิน (sabins)

S คือ พื้นที่ผิวในห้อง มีหน่วยเป็นตารางฟุต

α คือ ค่าการดูดซับเสียงของผิววัสดุ

(Egan, 1972)

คุณสมบัติของรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ในแต่ละรูปแบบการใช้งานของห้องมีความต้องการที่แตกต่างกัน กรณีในห้องที่ต้องการความนิ่งเงียบเช่นห้องอัดเสียง ต้องการรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่ต่ำ กรณีห้องที่ต้องการความก้องกังวาลของเสียงเช่นห้องแสดงดนตรี ต้องการรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่สูง ตามแผนภูมิที่ 2-3 ห้องเรียนต้องการ รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ ประมาณ 0.7-1.2 วินาที



แผนภูมิที่ 2-3 แสดงรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่เหมาะสมแต่ละรูปแบบการใช้งาน ในย่านความถี่ 500 และ 1000 เฮิร์ซ (Egan, 1972)

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ จากสมการที่ 13 พบว่าปริมาตรห้องเรียนเป็นตัวแปรที่สำคัญเช่นเดียวกับค่าการดูดซับเสียงภายในห้อง กล่าวคือในห้องที่มีปริมาตรใหญ่จะมีปัญหารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์มากเกินไปได้ง่ายกว่าห้องที่มีปริมาตรเล็ก ดังนั้นในการออกแบบห้องเรียนขนาดใหญ่จะต้องคำนึงถึงตัวแปรด้านนี้เป็นพิเศษ

คุณภาพความชัดเจนของเสียง (sound sharpness) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการสื่อสาร โดยเฉพาะห้องเรียนที่ต้องการความชัดเจนของการออกเสียงเป็นพิเศษ เช่นห้องเรียนภาษา ปัญหาที่ทำให้เกิดความไม่ชัดเจนของเสียงได้แก่การเกิดเสียงก้อง (echo) ต่างๆ ในห้อง

ลักษณะกายภาพของเสียงที่เกี่ยวข้องกับการได้ยินของมนุษย์ ประกอบด้วยระดับของเสียง (sound-level) และความถี่ของเสียง (frequency) ระดับของเสียง (sound-level)บอกด้วยค่าระดับความเข้มเสียง (intensity level, IL) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel, dB) หมายถึงปริมาณระหว่างความเข้มเสียง (intensity) ของเสียงนั้นกับความเข้มเสียงฐานหรือความเข้มเสียงแรกที่คนรู้สึกได้ยิน (threshold of hearing) ที่มีค่าเท่ากับ 10^{-16} วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือเท่ากับ 1 dB เนื่องจากเสียงในสภาพแวดล้อมจริงมีความถี่หลายย่าน ดังนั้นในการวัดระดับความดังของเสียงที่ตอบสนองต่อการได้ยินของมนุษย์จะใช้มาตรวัดระดับ เอ (scale A) ซึ่งมีหน่วยคือเดซิเบลเอ (dBA)

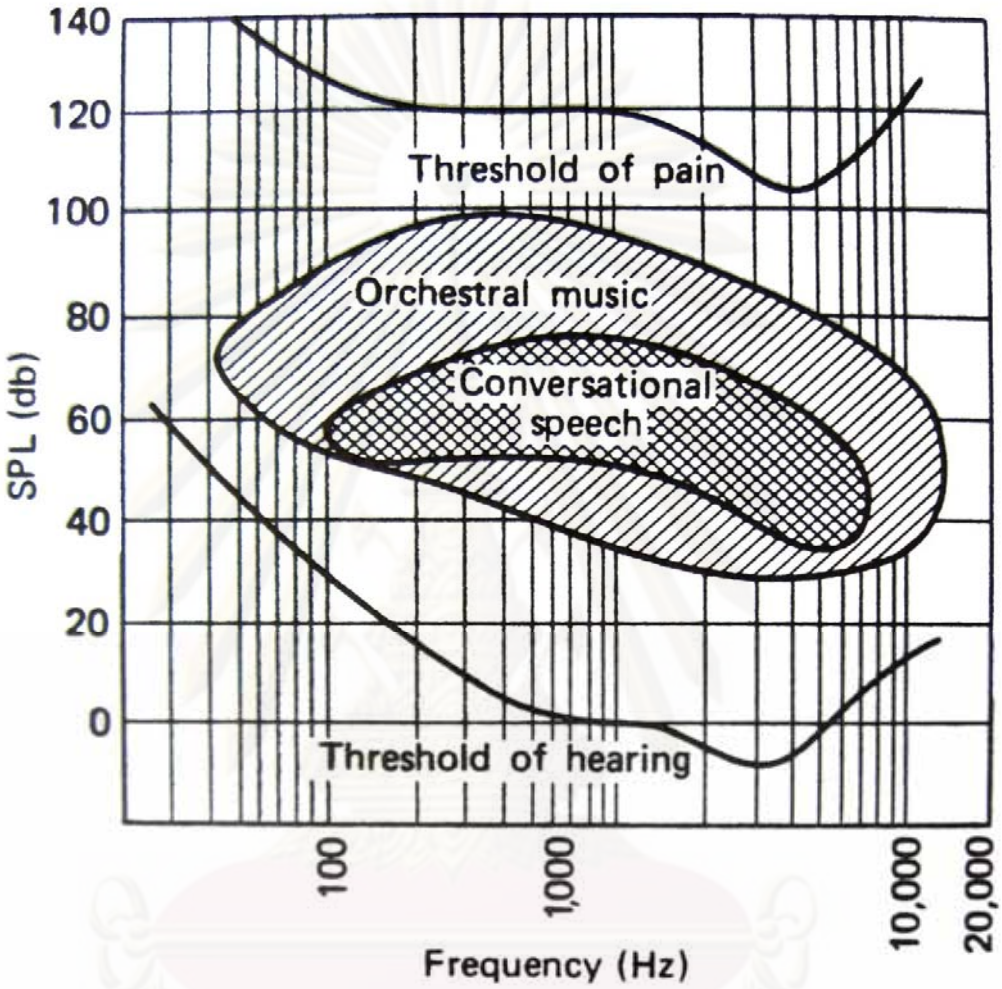
มนุษย์จะรู้สึกถึงความดังจากการรับรู้ในการได้ยินจากความต่างของเสียงที่ต่างกัน ตามตารางที่ 2-3 ในห้องเรียนหากค่าระดับของเสียงผู้พูด ที่ตำแหน่งของผู้ฟังมีค่ามากกว่าระดับเสียงพื้นหลัง (background noise) มากกว่า 6 dBA หมายความว่าผู้ฟังเพียงเริ่มรู้สึกถึงเสียงที่พูด (just noticeable difference, JND) หากต้องการให้เสียงพูดนั้นได้ยินชัดต้องใช้ความแตกต่างประมาณ 10-20 dBA หมายถึงดังกว่า 2-4 เท่า

ตารางที่ 2-3 แสดงความแตกต่างของระดับเสียงกับความรู้สึกของมนุษย์

ระดับเสียงที่แตกต่าง (เดซิเบล)	ความรู้สึกแตกต่าง	ระดับพลังงานเสียงที่แตกต่าง
1	หน่วยพื้นฐานของการวัดเสียง	1.25
3	ยากที่จะรับรู้ความแตกต่าง	2
6*	รับรู้ความแตกต่างได้ (JND)	4
10	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 2 เท่า	10
20	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 4 เท่า	100
30	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 8 เท่า	1000
40	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 16 เท่า	10^4
100	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 1000 เท่า	10^{10}

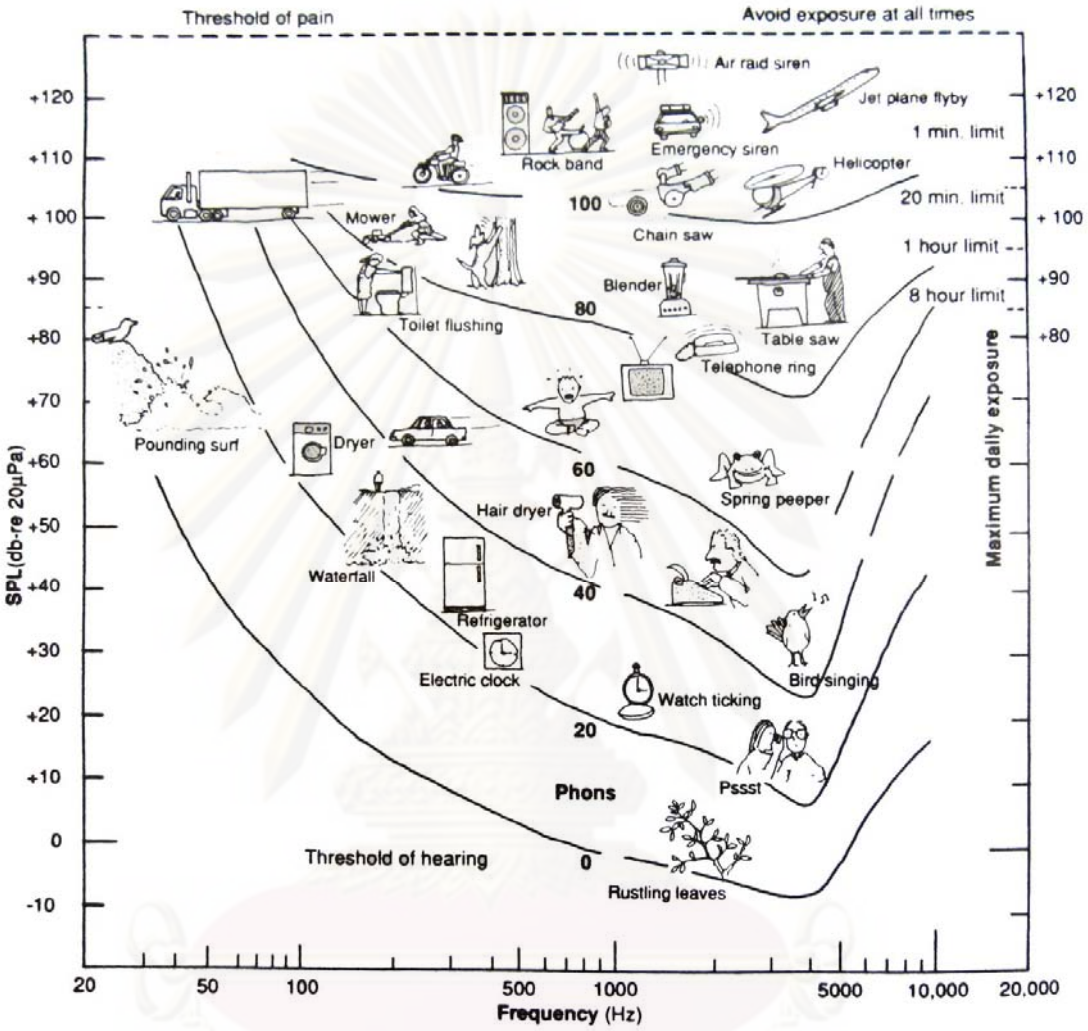
(Flynn, 1988)

ความถี่ของเสียงที่ต้องพิจารณาในการออกแบบสภาพแวดล้อมด้านเสียง คือ ความถี่ในย่านที่หูมนุษย์ตอบสนอง คือ 20-20,000 เฮิร์ทซ (Hertz, Hz) ในการออกแบบและคำนวณจะแยกย่านของความถี่ออกเป็น 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1000Hz 2000Hz และ 4000Hz โดยลักษณะของเสียงที่พูด (speech sound) มีลักษณะเป็นช่วงตามแผนภูมิที่ 2-4 และลักษณะเสียงในสภาพแวดล้อม ตามแผนภูมิ 2-5



The positions of speech and wide range music in the human ear's aural field are illustrated. Speech is in the nominally linear response area of the ear as is most music . Beyond these frequencies, the ear's action is effectively to attenuate the signal.

แผนภูมิที่ 2-4 แสดงลักษณะของเสียงที่พูด (Stein and Reynolds, 2000)



Common sound sources plotted at their dominant frequencies and levels as typically heard by the observer. The equal loudness curves (see Section 26.11) show why certain sounds seem louder than others, despite the pressure levels that would indicate the contrary [Reprinted with modification from F. A. White, Quieting: A Practical Guide to Noise Control *(1976).]*

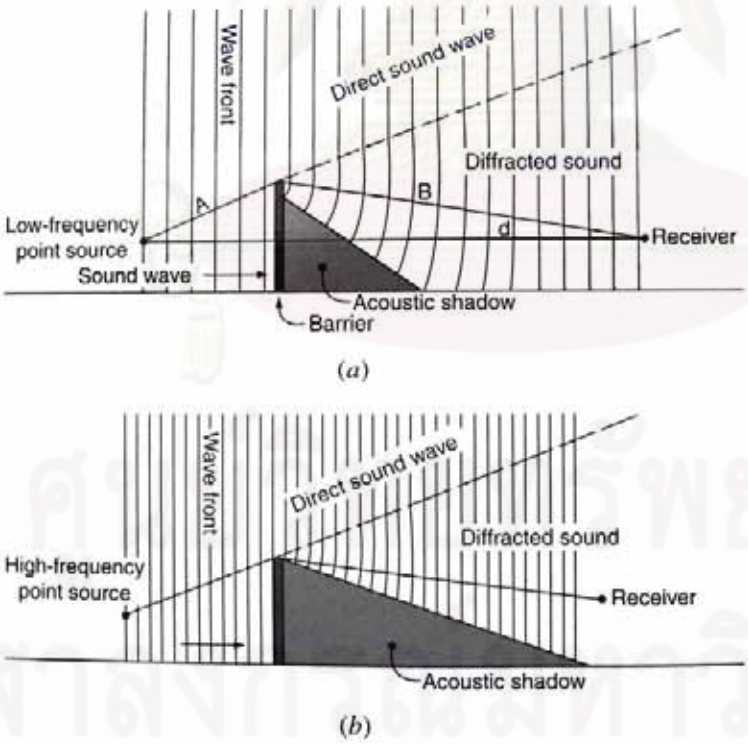
แผนภูมิที่ 2-5 แสดงลักษณะเสียงในสภาพแวดล้อม (Stein and Reynolds, 2000)

2.4.2 ปัจจัยด้านการได้ยินที่ปรุงแต่งโดยสภาพแวดล้อม

สถานที่ตั้ง (location) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากหากการก่อสร้างนั้นอยู่บนพื้นที่ที่มีความเหมาะสม คือ มีมลภาวะทางเสียงน้อย มีเสียงรบกวนน้อย มีเสียงที่พึงประสงค์ เช่นเสียงธรรมชาติต่าง ๆ ย่อมเป็นการง่ายต่อการออกแบบ และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเรียนการสอนอีกต่อหนึ่งด้วย

การป้องกันเสียงรบกวน (noise control) นั้น มีความสำคัญจากที่ได้กล่าวไปในหัวข้อเสียงรบกวนที่ผ่านมา ส่วนการป้องกันก็สามารถทำได้โดยการใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้วัสดุกันเสียง การใช้กำแพงกันเสียง การใช้เนินดิน การลดช่องหรือ รอยแตกต่าง ๆของผนัง ที่เสียงสามารถลอดผ่านได้ เป็นต้น

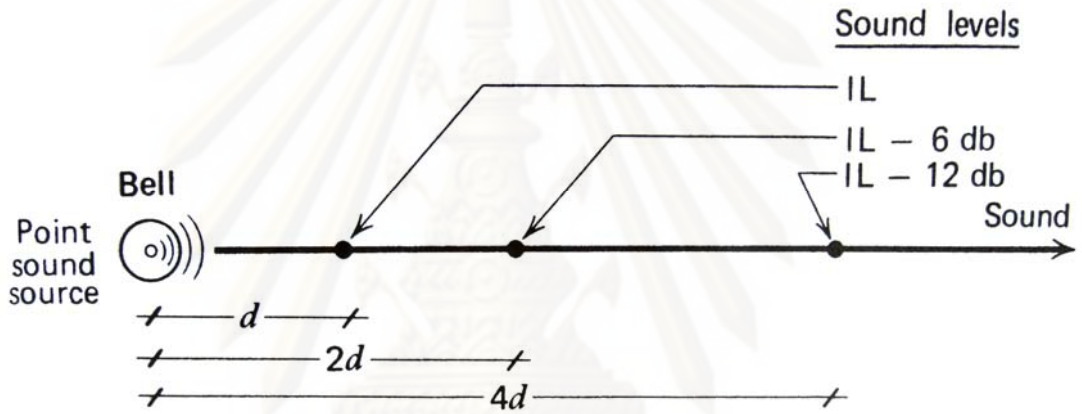
ตัวอย่างการป้องกันเสียงด้วยการใช้เนินดิน (Stein and Reynolds, 2000) ตามภาพที่ 2-16



Comparison of the effect of a barrier on sources of different frequencies. The low-frequency sound (a) *diffracts more readily over the barrier than the high-frequency sound* (b) *because of its longer wavelength. Thus the lower the frequency, the smaller the "acoustic shadow" and the lower the barrier attenuation. Of course, the "shadow" is not sharply defined; it represents increasing attenuation as the observer approaches the barrier.*

ภาพที่ 2-16 แสดงการป้องกันเสียงด้วยการใช้เนินดิน (Stein and Reynolds, 2000)

ระยะระหว่างผู้สอนและผู้เรียน (distance) สามารถกำหนดได้จาก ระยะการมองเห็นของผู้เรียนที่อยู่หลังสุดกับสิ่งที่ต้องการมอง หรือสามารถกำหนดได้จากระดับความดังของเสียงในกรณีที่ไม่ใช้เครื่องขยายเสียง นอกจากนี้ ระยะระหว่างผู้สอนและผู้เรียนนั้นต้องยังสามารถมองเห็นลักษณะสีหน้า หรือ อากัปกิริยาต่างๆ ของผู้สอนซึ่งมีความจำเป็นต่อการสื่อสารเช่นเดียวกัน เพราะทุกครั้งที่ระยะทางห่างเป็น 2 เท่า ค่าระดับความดังของเสียงจะลดลงเทียบเท่า 6 เดซิเบล ตามภาพที่ 2-17



Sound energy levels at varying distances from the source. Each doubling of distance reduces the level by 6 dB. These relationships hold true only in a free field.

ภาพที่ 2-17 **แสดงค่าระดับความดังของเสียงที่ลดลงเมื่อห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง** (Stein and Reynolds, 2000)

ขนาดและรูปร่างของห้อง (room size and shape) ควรออกแบบให้มีความสัมพันธ์กับจำนวนของผู้เรียนในชั้นเรียน ลักษณะการเรียนการสอนว่าเป็นแบบใด และมีการตอบสนองต่อการออกแบบการมองเห็นและการได้ยิน นอกจากนี้รูปร่างและขนาดห้องนั้นยังมีผลต่อจิตวิทยาของผู้ใช้อาคารอีกด้วย

การสะท้อนของเสียง (sound reflection) มุ่งเน้นการออกแบบเพื่อให้เกิดการรับรู้ทางเสียงของผู้ฟังได้เท่ากันทั่วทั้งห้อง โดยไม่มีการใช้เครื่องขยายเสียง หรือหากจะมีการใช้ก็เป็นการใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยหลักการแล้วคือเป็นการใช้วัสดุสะท้อนเสียง

จากบริเวณจุดของผู้สอนไปยังจุดของผู้ฟังทุกจุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดวิกฤต ซึ่งจะเป็นจุดที่ได้ยินเสียงจากผู้สอนน้อยกว่าปกติ

การดูดซับเสียง (sound absorption) จะต้องการออกแบบให้มีความสอดคล้องกับส่วนสะท้อนเสียง กล่าวคือส่วนดูดซับเสียงจะช่วยทำให้เสียงไม่เกิดการสะท้อนก้องไปมาซึ่งเป็นสาเหตุให้การรับรู้สิ่งที่ผู้สอนต้องการสื่อนั้นผิดเพี้ยนไปได้ รวมทั้งหากมีการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่มากเกินไป ก็จะทำให้ห้องเรียนมีความเงียบจนเกินไป

ตำแหน่งของวัสดุต่าง ๆ (position of material) ต้องมีการออกแบบให้สอดคล้องกันระหว่างวัสดุทั่วไป วัสดุสะท้อนเสียง และวัสดุดูดซับเสียง

ทิศทางของการติดตั้งวัสดุ (direction of material) เช่นเดียวกันกับปัจจัยที่ผ่านมา คือในส่วนนี้ต้องมีการออกแบบให้สอดคล้องกันระหว่างวัสดุทั่วไป วัสดุสะท้อนเสียง และวัสดุดูดซับเสียง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทิศทางของวัสดุสะท้อนเสียงต้องมีการพิจารณาค่าความเอียงของระนาบอย่างถี่ถ้วน

ระบบวิศวกรรมและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง (other mechanical systems and equipment) การออกแบบห้องเรียนนั้นต้องพิจารณาในเรื่องของระบบวิศวกรรมต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น ระบบของเครื่องฉายภาพ ระบบของสื่อการเรียนการสอน ระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบป้องกันอัคคีภัย เป็นต้น ที่ต้องมีการบูรณาการเข้าด้วยกันทั้งหมดทุกส่วน เพื่อการทำงานที่สอดคล้องกันอย่างเป็นระบบ

2.5 เขตสบายในระดับต่าง ๆ

กิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลายสามารถจำแนกออกเป็นระดับของพื้นที่ที่ต้องการการควบคุมที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ คือ พื้นที่ธรรมชาติ พื้นที่ควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ พื้นที่กึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม และพื้นที่ควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างสมบูรณ์ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้ (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

2.5.1 พื้นที่ธรรมชาติ

พื้นที่ธรรมชาติเป็นพื้นที่ภายนอกอาคาร ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามสภาพธรรมชาติ แต่จะไม่เกินจากเขตสบายของมนุษย์มากนักด้วยการปรุงแต่งสภาพแวดล้อม บริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่ติดต่อกับสภาพแวดล้อมธรรมชาติโดยตรง มีข้อดี คือ ผู้ใช้สามารถสัมผัสได้ถึงการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติและฤดูกาลได้เป็นอย่างดี พื้นที่ในระดับนี้เหมาะสำหรับกิจกรรมในลักษณะลำลอง (casual activities) ที่ไม่ต้องใช้ความคิดมากนัก ข้อด้อยของการใช้งานในพื้นที่ดังกล่าวคือ ไม่สามารถป้องกัน แสงแดด ลม ฝุ่น แมลง และความปลอดภัยได้อย่างสมบูรณ์

2.5.2 พื้นที่ควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ

พื้นที่ควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ (passive zone) เป็นสภาพแวดล้อมที่สภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติเหมาะสำหรับกิจกรรมทั่วไปที่ไม่จำเป็นต้องใช้สมาธิมาก มีระดับของความต้องการการควบคุมโดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 30-80 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเร็วลม 0-500 ฟุตต่อวินาที มีระดับการส่องสว่างเฉลี่ย 5-500 ฟุตแคนเดิล

2.5.3 พื้นที่กึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม

พื้นที่กึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม (semi-passive zone) เป็นสภาพแวดล้อมที่สภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าระดับที่ควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ เหมาะสำหรับกิจกรรมที่ใช้สมาธิมากขึ้น มีระดับของความต้องการการควบคุมโดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 22-28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 40-70 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเร็วลม 15-350 ฟุตต่อวินาที มีระดับการส่องสว่างเฉลี่ย 15-300 ฟุตแคนเดิล

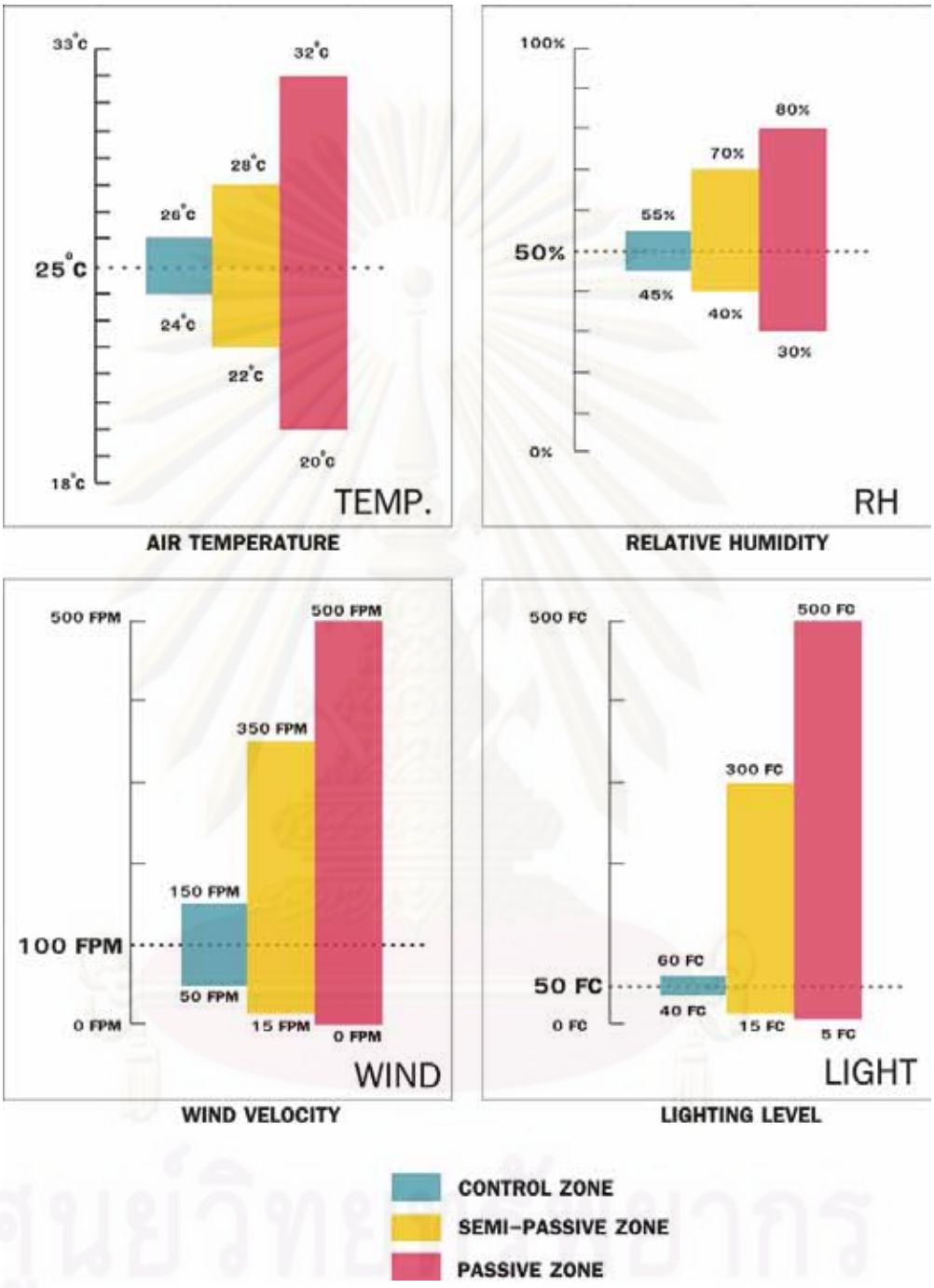
2.5.4 พื้นที่ควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างสมบูรณ์

พื้นที่ควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างสมบูรณ์ (control zone) เป็นสภาพแวดล้อมที่สภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เหมาะสำหรับกิจกรรมที่จำเป็นต้องใช้สมาธิมาก มีระดับของความต้องการการควบคุมโดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง24-26 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45-

55 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเร็วลม 50-150 ฟุตต่อวินาที มีระดับการส่องสว่างเฉลี่ย 40-60 ฟุตแคนเดิล

จากความต้องการดังกล่าวข้างต้นจะพบว่า พื้นที่มีกิจกรรมที่ยิ่งมีความเคร่งเครียด หรือต้องการใช้สมาธิมากขึ้นเท่าไร ก็ยิ่งมีความต้องการความควบคุมการแปรปรวนของสภาพแวดล้อมมากขึ้นเท่านั้น ยิ่งมีความต้องการในการควบคุมสภาพแวดล้อมสูงขึ้นเท่าไรยิ่งมีความต้องการระบบเครื่องกลมาช่วยในการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมสูงขึ้น และยิ่งต้องการใช้เครื่องกลมากขึ้น ก็ยิ่งต้องใช้พลังงานมากขึ้น ประเด็นนี้จะชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการออกแบบพื้นที่ดังกล่าวซึ่งจะต้องมีความรู้ความเข้าใจ และมีความละเอียดอ่อนอย่างมาก เพื่อให้การออกแบบพื้นที่นั้นมีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยแต่สามารถสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีให้กับกิจกรรมนั้น ๆ ได้อย่างเหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 2-6 แสดงระดับการควบคุมของพื้นที่ต่างๆ ในด้านอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และระดับแสงสว่าง (สุนทร บุญญาธิการ, 2545: 67)

2.6 มาตรฐานของห้องเรียนที่มีอยู่ในปัจจุบัน

มาตรฐานของห้องเรียนที่มีอยู่ในปัจจุบันตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคาร และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน กำหนดไว้ดังนี้

พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 หมวดที่ 3 ระบบการจัดแสงสว่างและการระบายอากาศ กำหนดให้ ความเข้มของแสงสว่างของห้องเรียน กำหนด 300 ลักซ์ (lux) และ อัตราการระบายอากาศ (กรณีที่มีเครื่องปรับอากาศ) ต้องระบายอากาศไม่ต่ำกว่า 4 ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง ต่อตารางเมตร

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำหนดประเภทอาคาร สถานศึกษา ต้องมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ไม่เกิน 50 วัตต์ต่อตารางเมตร (Wm-2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ไม่เกิน 15 วัตต์ต่อตารางเมตร (Wm-2) และกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดไม่เกิน 14 วัตต์ต่อตารางเมตร (Wm-2) ของพื้นที่ใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ตัวแปรที่ศึกษา

การออกแบบและสร้างห้องเรียนคุณภาพสูงโดยเน้นการควบคุมด้วยระบบธรรมชาติประกอบด้วยปัจจัยที่ส่งผลต่อความสบายทางด้านกายภาพ 4 กลุ่มตัวแปร ได้แก่

1. ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว
2. ความสบายด้านแสงสว่าง
3. ความสบายด้านการมองเห็น
4. ความสบายด้านการได้ยิน

กลุ่มตัวแปรต่าง ๆ ประกอบด้วยตัวแปรย่อย หรือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสบายทางด้านกายภาพที่นำมาศึกษา วิเคราะห์และประเมินผล ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แสดงรายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มของตัวแปร	ตัวแปรย่อย
ความสบายด้าน ความรู้สึกร้อนหนาว	- อุณหภูมิอากาศ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (^{O}C) - ความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%) - ความเร็วลม มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) - อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (^{O}C) - ความรู้สึกร้อนหนาวของคน
ความสบายด้าน แสงสว่าง	- ระดับความส่องสว่างของห้อง (ambient illumination) - ที่ระดับพื้นโต๊ะสูง 0.75 เมตร (working plane) มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux) - ระดับความส่องสว่างที่กระดาน (task illumination) มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux) - ความรู้สึกเพียงพอของแสงสว่าง

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มของตัวแปร	ตัวแปรย่อย
ความสบายด้านการมองเห็น	- ค่าความสว่าง (luminance) ที่กระดาน มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) - ค่าความสว่าง (luminance) ของสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในมุมมอง (visual field) มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) - ความรู้สึกสบายตาในมุมมอง - ความรู้สึกชัดเจนเมื่อมองกระดาน
ความสบายด้านการได้ยิน	- ระดับเสียงพื้นหลังที่รบกวนภายในห้อง (background noise) มีหน่วยเป็น เดซิเบลเอ (dBA) - ระดับเสียงภายในห้องเมื่อมีผู้พูด มีหน่วยเป็น เดซิเบลเอ (dBA) - ค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (Reverberation Time; RT60) มีหน่วยเป็นวินาที (s) - ความรู้สึกระดับเสียงดังภายในห้อง - ความรู้สึกเสียงฟังชัดภายในห้อง - ความรู้สึกเสียงก้องภายในห้อง

3.2 เครื่องมือที่ใช้วัดคุณสมบัติของสภาพแวดล้อมในห้องเรียนด้วย

3.2.1 เครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุ

เครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุเป็นเครื่องวัดอุณหภูมิผิวด้วยรังสีอินฟราเรด รุ่น testo 860-T2 สามารถเปลี่ยนค่าอีมิสซิวิตี (emissivity value) ของผิววัสดุได้ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (^{O}C)

- ระยะในการวัดมาตรฐาน (standard optical) มีความสัมพันธ์ 60:1
- ระยะในการวัดแบบใกล้ (close focus optical) มีความสัมพันธ์ 50:1
- ย่านในการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -50 ถึง 500 ^{O}C
- ย่านในการวัดอุณหภูมิระหว่าง -5 ถึง 500^{O}C มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 1% ของค่าที่อ่านได้ หรือ +/- 1 ^{O}C

- ย่านในการวัดอุณหภูมิระหว่าง -30 ถึง -5^{O}C มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 1.5 ^{O}C
- ย่านในการวัดอุณหภูมิระหว่าง -50 ถึง -30^{O}C มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 2 ^{O}C

วิธีการวัดอุณหภูมิของพื้นผิววัสดุทำได้โดยปรับตั้งค่าอีมิสซิวิตีตามลักษณะของพื้นผิวที่ต้องการวัด และให้การวัดตั้งฉากกับพื้นผิววัตถุ

ภาพที่ 3-1 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุ รุ่น testo 860-T2

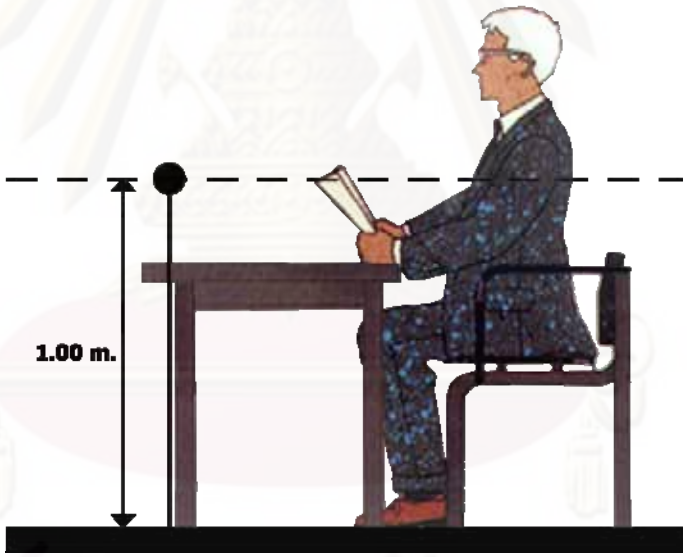
3.2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ รุ่น DIGICON Model: DL-TH-USB การวัดอุณหภูมิมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (^{O}C) และองศาฟาเรนไฮต์ (^{O}F) การวัดความชื้นสัมพัทธ์มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)

- ย่านในการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -35 ถึง 80 OC (-31 ถึง 176 OF) มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 0.5 ถึง +/- 2 OC (+/- 1 ถึง +/- 4 OF) ค่าความละเอียดภายในอยู่ที่ +/- 0.5 OC (+/- 1 OF)
- ย่านในการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 % มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 3 % (ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 20 ถึง 80 %) ค่าความละเอียดภายในอยู่ที่ 0.5 %
- ค่าอุณหภูมิแวดล้อมขณะใช้งานอยู่ระหว่าง -35 ถึง 80 OC (-31 ถึง 176 OF)

- อัตราการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 10 วินาที ถึง 12 ชั่วโมง

ภาพที่ 3-2 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น DIGICON Model : DL-TH-USB



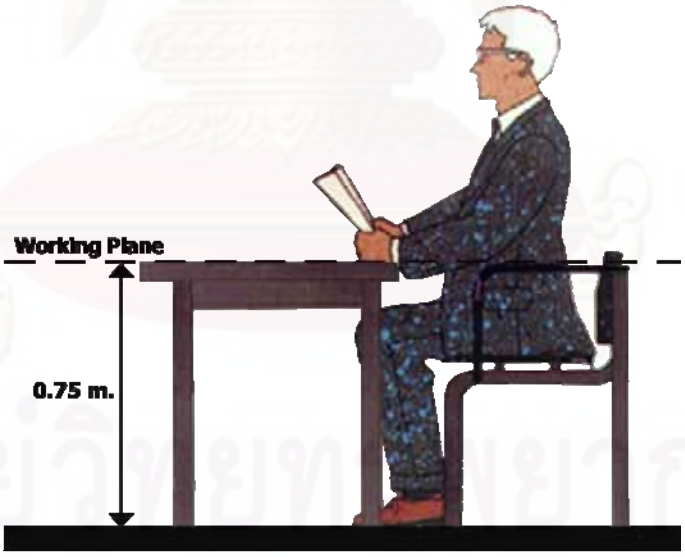
ภาพที่ 3-3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

3.2.3 เครื่องวัดความเข้มแสงแบบดิจิตอล

เครื่องวัดความเข้มแสงแบบดิจิตอล (illuminance meter)ใช้สำหรับวัดความเข้มระดับความส่องสว่าง และค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc) สามารถเลือกชนิดแสงได้ คือ ทังสเตน แสงอาทิตย์ ฟลูออเรสเซนต์ โซเดียม และปรอท

- ย่านในการวัดความเข้มแสงอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100,000 ลักซ์ แบ่งเป็น 3 ย่าน ดังนี้ ย่าน 0-2,000 ลักซ์ ย่าน 2,000-20,000 ลักซ์ และ ย่าน 20,000-100,000 ลักซ์
- ค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- (5%+2 หน่วย)

ภาพที่ 3-4 แสดงเครื่องวัดความเข้มแสงแบบดิจิตอล



ภาพที่ 3-5 แสดงระดับพื้นโต๊ะทำงาน สำหรับวัดความเข้มแสง กรณีโต๊ะในห้องเรียนสูง 0.75 ม.

การวัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงแบบดิจิตอล ทำโดยวัดปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุ และวัดปริมาณแสงที่สะท้อนจากวัตถุ และนำมาคำนวณหาสัดส่วนการสะท้อนแสง (Stein and Reynolds, 2000; 1062) ตามสมการที่ 15

$$reflect. = \frac{fc_{reflected}}{fc_{incident}}$$	(15)

เมื่อ **reflect.** คือ ค่าการสะท้อนแสง (reflectance)

$fc_{reflected}$ คือ ปริมาณแสงที่สะท้อนจากวัตถุ มีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล (fc)

$fc_{incident}$ คือ ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุ มีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล (fc)

3.2.4 เครื่องวัดค่าความสว่างของวัสดุ

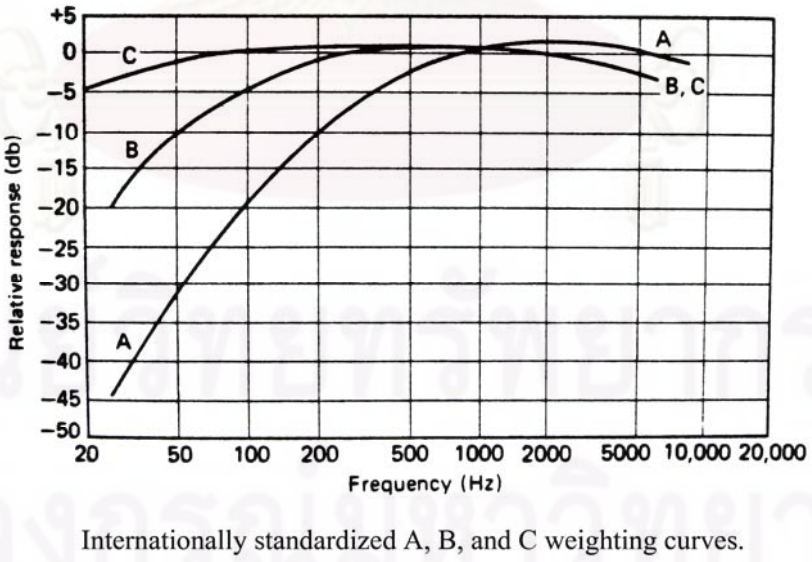
เครื่องวัดค่าความสว่างของวัสดุ (luminance meter หรือ telephoto meter)ใช้สำหรับวัดค่าความสว่างของผิววัสดุที่สะท้อนเข้าสู่สายตา รุ่น Minolta มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) หรือ ฟุตแลมเบิร์ต (FL)

ภาพที่ 3-6 แสดงเครื่องวัดค่าความสว่างของวัสดุ

3.2.5 เครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง

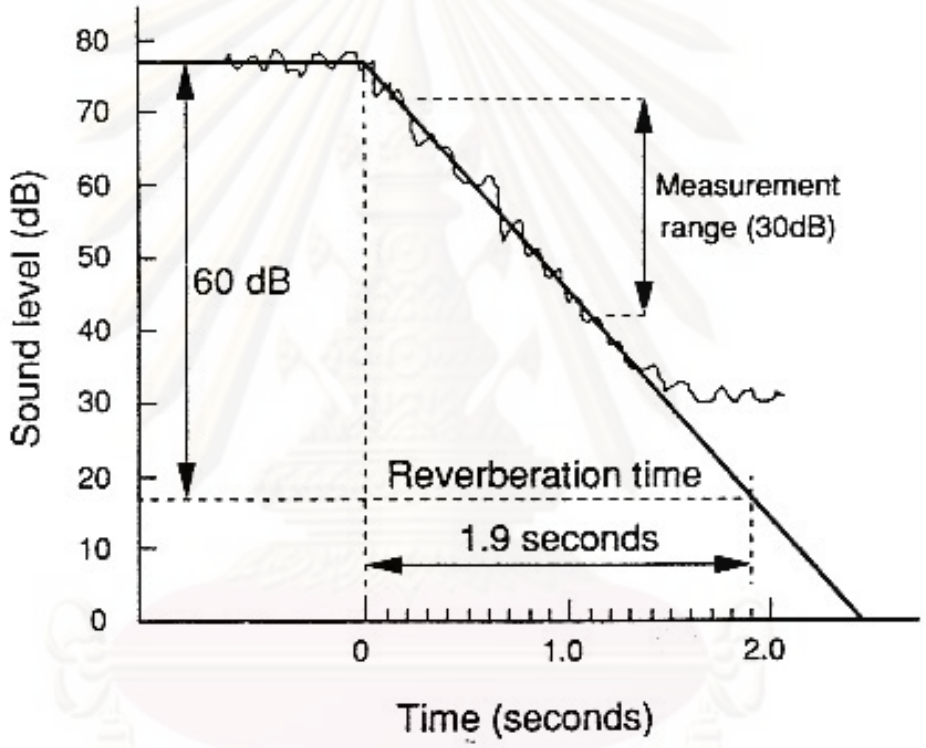
เครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง (audio analyzer) รุ่น PHONIC PAA3 สำหรับวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติด้านการได้ยินในสภาพแวดล้อม ในงานวิจัยนี้ใช้วัดระดับเสียงในมาตรวัดแบบเอ (scale A) ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักที่ตอบสนองต่อการได้ยินของมนุษย์ มีหน่วยเป็น เดซิเบลเอ (dBA) ในย่าน 30-90 dBA และวัดค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (RT60) มีหน่วยเป็น วินาที

ภาพที่ 3-7 แสดงเครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง



แผนภูมิที่ 3-1 แสดงการให้ค่าน้ำหนักของความถี่เสียงในแต่ละมาตรฐาน ประกอบด้วย A B C (Stein and Reynolds, 2000)

วิธีการวัดค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ในงานวิจัยนี้ใช้การสร้างเสียงที่ที่มีระดับเสียงที่ดังกว่าสภาพแวดล้อมประมาณ 40-50 dBA ซึ่งเป็นลักษณะเสียงไม่ต่อเนื่อง และใช้เครื่องวัดเสียงคำนวณค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ เมื่อเวลาที่ทำให้ระดับเสียงในสภาพแวดล้อมนั้นหายไป 30 dBA เครื่องวัดและวิเคราะห์เสียงจะคำนวณค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์



Reverberation time definition with a sample decay. The slope of the decay is, in practice, measured between −5 dB and −35 dB of the initial level.

แผนภูมิที่ 3-2 แสดงการวัดค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (Barron, 1993: 27)

3.3 เครื่องมือสำหรับการสัมภาษณ์และสร้างแบบสอบถาม

3.3.1 แบบการสัมภาษณ์

การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องคุณภาพของห้องเรียน มีประเด็นที่ใช้ในการสัมภาษณ์คือความร้อน ความชื้น แสงสว่าง การมองเห็น คุณภาพเสียง คุณภาพอากาศ ความสวยงาม บรรยากาศ ระบบเทคโนโลยีสนับสนุน และความคิดเห็นเพิ่มเติมอื่น ๆ ของผู้เชี่ยวชาญ (ดูภาคผนวก ก)

3.3.2 แบบสอบถามสำหรับสอบถามผู้เชี่ยวชาญในการศึกษาด้วยวิธีเดลฟาย

การสอบถามผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษาในรอบที่ 2 และรอบที่ 3 ของการศึกษาด้วยวิธีการศึกษาแบบเดลฟาย (Delphi Study) เกี่ยวกับเรื่องคุณภาพของห้องเรียน มีประเด็นที่ใช้ในการสัมภาษณ์คือความร้อน ความชื้น แสงสว่าง การมองเห็น คุณภาพเสียง คุณภาพอากาศ ความสวยงาม บรรยากาศ ระบบเทคโนโลยีสนับสนุน (ดูภาคผนวก ก)

3.3.3 แบบสอบถามสำหรับสอบถามการรับรู้ในห้องเรียน

การสอบถามใช้วิธีการสอบถามจากผู้ใช้ห้องเรียน (ดูภาคผนวก ข) โดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

1. ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม และสภาพกายภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

2. ความรู้สึกด้านความร้อนหนาว

ความรู้สึกด้านความร้อนหนาว ประกอบด้วยความพึงพอใจด้านความรู้สึกร้อนหนาว และระดับความรู้สึกร้อนหนาว (ASHRAE thermal sensation scale) ความรู้สึกถึงความชื้น ความรู้สึกของความเร็วลม และความรู้สึกการปรับตัวด้านความร้อนหนาวเมื่อเข้ามาในห้องเรียน

3. การรับรู้ด้านการมองเห็น

การรับรู้ด้านการมองเห็น ประกอบด้วยระดับแสงสว่างภายในห้องเรียน ความสบายตาที่จอภาพ และความชัดเจนในการมองจอภาพและผู้บรรยาย

4. การรับรู้ด้านการได้ยิน

การรับรู้ด้านการได้ยิน ประกอบด้วยระดับความดังของเสียง การได้ยินเสียงบรรยาย และการได้ยินเสียงก้องภายในห้องเรียน

5. เรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

เรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยความรู้สึกพึงพอใจกับคุณภาพของห้องเรียน ความรู้สึกประทับใจในห้องเรียน และข้อคิดเห็นอื่น ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพห้องเรียน

3.3.4 เทคนิคการคำนวณและจำลอง และเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสภาพแวดล้อม

การวิจัยนี้ต้องใช้เทคนิคการคำนวณและการจำลอง (simulation) เพื่อการวิเคราะห์ ทำนายและประเมินคุณภาพของสภาพแวดล้อมในการวิจัยนี้

การประเมินความรู้สึกสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ประกอบด้วย การดูดซับความร้อนในมวลสาร อุณหภูมิที่ลดลงเนื่องจากการระเหยของน้ำ ความรู้สึกเย็นลงเนื่องจากอิทธิพลของความเร็วลม การคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ และการคำนวณความรู้สึกร้อนหนาวเนื่องจากอิทธิพลการแผ่รังสี

การประเมินความสบายด้านแสงสว่าง ประกอบด้วยการวัดค่าความส่องสว่างบนพื้นที่ทำงานและวัดความรู้สึกความพอเพียงด้านแสงสว่างจากกลุ่มตัวอย่างในห้องเรียน

การประเมินความสบายด้านการมองเห็น ประกอบด้วยการวัดความสว่างในมุมมอง และตรวจสอบเงาสะท้อนจากกระดาน

การประเมินความสบายด้านการได้ยิน ประกอบด้วยการวัดระดับเสียงรบกวนภายในเปรียบเทียบกับระดับเสียงของผู้พูด และวัดค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ด้วยสมการที่ 13 และ 14 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง

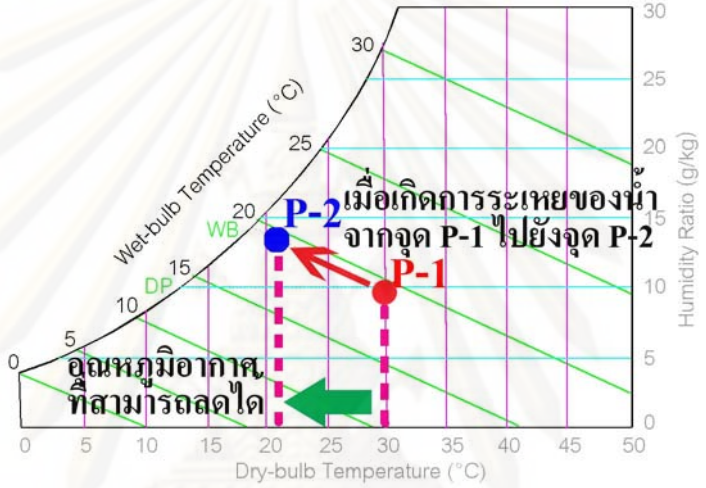
3.3.4.1 การดูดซับความร้อนในมวลสาร

การคำนวณการกักเก็บความร้อนในมวลสารใช้สมการที่ 1 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) ประเมินศักยภาพการดูดซับความร้อนจากผู้ใช้ห้องเรียนของมวลสารที่อยู่

ในห้องเรียน ได้แก่พื้นและผนังห้องที่สัมผัสกับดินที่เย็น และทำหน้าที่เป็นแหล่งดูดซับความร้อน (heat sink)

3.3.4.2 การคำนวณอุณหภูมิที่ลดลงของอากาศเนื่องจากการระเหยของน้ำ

การคำนวณอุณหภูมิที่ลดลงของอากาศเนื่องจากการระเหยของน้ำ ใช้เทคนิคการคำนวณจาก แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometrics chart) (ดูรายละเอียดในบทที่ 2)



แผนภูมิที่ 3-3 แสดงการคำนวณค่าจากแผนภูมิไซโครเมตริก

3.3.4.3 ความรู้สึกเย็นลงเนื่องจากอิทธิพลของความเร็วลม

การคำนวณความรู้สึกเย็นลงเมื่อใช้ความเร็วลมด้วยสมการที่ 2 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) โดยกำหนดให้ความเร็วลมอยู่ในเขตกึ่งควบคุมธรรมชาติ เท่ากับ 50-350 ฟุตต่อนาที และใช้ความชื้นสัมพัทธ์จากการวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

3.3.4.4 การคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ

การคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ ใช้การวัดอุณหภูมิผิวของห้องเรียนที่กระทำกับผู้ใช้ห้องเรียน และเฉลี่ยอุณหภูมิจากสัดส่วนของมุมของพื้นผิวต่าง ๆ ที่กระทำกับผู้ใช้ห้องเรียน แบ่งเป็นวิธีคิด 3 วิธี คือวิธีแรกเฉลี่ยพื้นผิวรอบตัวโดยไม่คิดมุมที่กระทำกับผู้ใช้ห้องเรียนตามสมการที่ 16 วิธีที่ 2 คิดมุมที่กระทำกับผู้ใช้อาคารเป็น 2 มิติ ตามสมการที่ 17 และวิธีที่ 3 คิดมุมที่กระทำกับผู้ใช้อาคารเป็น 3 มิติ

$$MRT = (T_1A_1 + T_2A_2 + \dots + T_nA_n) / A_1 + A_2 + \dots A_n \quad (16)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิผิว

A คือ พื้นที่ผิวของระนาบพื้นผิว

(Fanger, 1970: 148)

$$MRT = \sum T\theta / 360 = (T_1\theta_1 + T_2\theta_2 + \dots + T_n\theta_n) / 360 \quad (17)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิผิว

θ คือ มุมกระทำต่อผู้ใช้อาคารของพื้นผิววัสดุ (องศา)

(Bradshaw, 1993: 26)

3.3.4.5 การคำนวณความรู้สึกร้อนหนาวเนื่องจากอิทธิพลการแผ่รังสี

ความรู้สึกร้อนหนาวเนื่องจากอิทธิพลการแผ่รังสี กรณีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวโดยรอบเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้รู้สึกเสมือนหนึ่งว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้นเย็นลงกว่าเดิม 1.4 องศาเซลเซียส (สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 40) หรืออธิบายด้วยสมการที่ 18

$$\text{ความรู้สึกร้อนเย็นเนื่องจากอิทธิพลการแผ่รังสี} = 1.4(T_{air}-T_{mrt}) \quad (18)$$

เมื่อ T_{air} คือ อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)

T_{mrt} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (องศาเซลเซียส)

(สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 40)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 ขั้นตอนในการศึกษา

3.4.1 ศึกษาลักษณะตัวแปรด้านกายภาพและสำรวจสภาพของห้องเรียนทั่วไป

การศึกษาตัวแปรด้านกายภาพของห้องเรียนที่เกี่ยวข้องในสภาพแวดล้อม ได้แก่

- กลุ่มความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว
- กลุ่มความสบายด้านแสงสว่าง
- กลุ่มความสบายด้านการมองเห็น
- กลุ่มความสบายด้านการได้ยิน

การสำรวจสภาพห้องเรียนทั่วไป ได้แก่

- องค์ประกอบของเปลือกอาคารของวัสดุพื้น ผนัง เพดาน และหน้าต่าง
- การติดตั้งระบบปรับอากาศ
- การติดตั้งพัดลม
- ลักษณะการใช้แสงธรรมชาติของหน้าต่างและช่องแสง
- ลักษณะการใช้แสงประดิษฐ์ภายในพื้นที่ห้องเรียนทั่วไป (ambient)
- ลักษณะการให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน
- ลักษณะกระดานที่ใช้ และอุปกรณ์สื่อการสอนอื่น ๆ
- การใช้เครื่องขยายเสียงภายในห้องเรียน
- ลักษณะโต๊ะเรียน

3.4.2 สำรวจความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ

วิธีการสำรวจความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ โดยการศึกษาด้วยวิธีเดลฟาย (Delphi Study) ซึ่งเป็นกระบวนการวิจัยสำหรับการรวบรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ศึกษาวิจัยเพื่อใช้ในการกำหนดความเป็นไปได้ในอนาคต ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ความต้องการของกิจกรรมการเรียนรู้ในอนาคต

การสำรวจความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับตัวแปรด้านคุณสมบัติของห้องเรียนที่เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนการสอนในปัจจุบันแบ่งเป็น 3 รอบ ได้แก่

- รอบที่ 1 การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้วยคำถามปลายเปิด (ดูภาคผนวก ก)
- รอบที่ 2 การใช้แบบสอบถามในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับห้องเรียน (ดูภาคผนวก ก)
- รอบที่ 3 การใช้แบบสอบถามเพื่อยืนยันความคิดเห็นเฉพาะเรื่องที่มีผลสรุปไม่เป็นเอกฉันท์ เพื่อขอเหตุผลในการใช้เป็นข้อสรุป (ดูภาคผนวก ก)

3.4.3 วิเคราะห์ข้อได้เปรียบและข้อด้อยของห้องเรียนที่เป็นกรณีศึกษา

ผลการศึกษาลักษณะตัวแปรด้านกายภาพของห้องเรียน และสำรวจสภาพของห้องเรียนทั่วไป รวมทั้งผลการสำรวจความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ ยังไม่ได้ศึกษาถึงศักยภาพการใช้ปัจจัยธรรมชาติอย่างเต็มที่ เช่น การศึกษาตัวแปรด้านกายภาพกลุ่มความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวมีตัวแปรที่ใช้ป้องกันความร้อนเข้าสู่ห้องเรียน แต่ยังขาดตัวแปรของการสร้างความเย็นและนำความเย็นมาใช้ภายในห้องเรียน รวมถึงในการสำรวจขั้นตอนแรกยังไม่ได้ลงรายละเอียดด้านความรู้สึกและการรับรู้ของผู้เรียน ดังนั้นการศึกษาในขั้นตอนนี้จึงนำผลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบก่อสร้างห้องเรียนธรรมชาติและปรับปรุงห้องเรียน รวม 3 แห่งเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาให้ครอบคลุมทุกประเด็นที่เกี่ยวข้อง

- กรณีศึกษา 1 ห้องเรียนธรรมชาติที่ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี (กรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต)
- กรณีศึกษา 2 ห้องเรียนธรรมชาติที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ วิทยาเขตบางคล้า อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา (กรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯ วิทยาเขตบางคล้า)

กรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต และ กรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯ วิทยาเขตบางคล้า เป็นการแสวงหาศักยภาพของตัวแปรธรรมชาติที่อยู่โดยรอบอาคาร สถานที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียง โดยมีการทดลองก่อสร้างจริงด้วยโครงสร้างโฟมเคลือบไฟเบอร์กลาสรับแรง

- กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่ โรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม ถนนบางนา-ตราด กม. 16 อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ (กรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญฯ)

กรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญ เป็นกรณีศึกษาห้องเรียนที่มีปัญหารุนแรงเรื่องเสียงรบกวนจากภายนอก ซึ่งต้องการปรับปรุงคุณภาพของห้องเรียนด้านต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนการสอน โดยกรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญ จะวิเคราะห์รายละเอียดการปรับปรุงอาคารในด้านคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพภายในห้องเรียน และทำการทดสอบวัดผลการใช้งานของห้องเรียนเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของห้องเรียนและความรู้สึกของนักเรียนผู้ใช้ห้องเรียน

3.4.4 การออกแบบ ก่อสร้างและประเมินผลห้องเรียนธรรมชาติ

การออกแบบห้องเรียนธรรมชาติที่มีคุณภาพสูงด้วยการนำผลการวิเคราะห์จากห้องเรียนกรณีศึกษามาพัฒนา เลือกสถานที่ก่อสร้างห้องเรียนที่มีศักยภาพในการใช้ปัจจัยธรรมชาติเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเรียนรู้ที่โครงการ ดี เอ็น เอ รีสอร์ท เขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

ออกแบบห้องเรียนขนาด 300 ที่นั่ง พื้นที่ประมาณ 600 ตารางเมตร

ประเมินผลคุณภาพห้องเรียนในกลุ่มความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ได้แก่

- อุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียน
- ความรู้สึกเย็นลงเมื่อมีอิทธิพลของความเร็วลมภายในห้องเรียน
- อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ
- ความรู้สึกที่เกิดจากอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ

การประเมินผลคุณภาพห้องเรียนในกลุ่มความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวมีดังนี้ คือ

- การตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใช้เครื่องวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ส่วนการวัดอุณหภูมิพื้นผิววัสดุใช้เครื่องวัดอุณหภูมิผิวด้วยรังสีอินฟราเรด

- ความรู้สึกสบายใช้ข้อมูลของอุณหภูมิอากาศมาคำนวณความรู้สึกเย็นลงเนื่องจากความเร็วลม คำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ และคำนวณความรู้สึกเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ
- คำนวณศักยภาพการใช้ความเย็นจากการระเหยของน้ำโดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริก
- คำนวณศักยภาพการดูดซับความร้อนด้วยมวลสาร
- สอบถามความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวของผู้เรียนในการใช้งานห้องเรียนธรรมชาติ

การประเมินผลคุณภาพห้องเรียนในกลุ่มความสบายด้านแสงสว่างมีดังนี้

- วัดระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียน
- วิเคราะเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนด
- คำนวณเปรียบเทียบค่าการเปรียบต่างที่ตามนุษย์มองเห็น
- สอบถามความสบายด้านแสงสว่างของผู้เรียนในการใช้งานห้องเรียนธรรมชาติ

การประเมินผลคุณภาพห้องเรียนในกลุ่มความสบายด้านการมองเห็นมีดังนี้

- วัดค่าความสว่างที่อยู่ในมุมมองของผู้เรียน
- สอบถามความสบายด้านการมองเห็นของผู้เรียนในการใช้งานห้องเรียนธรรมชาติ

การประเมินผลคุณภาพห้องเรียนในกลุ่มความสบายด้านการได้ยินมีดังนี้

- วัดระดับเสียงพื้นฐานที่รบกวนภายในห้อง
- วัดค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์
- สอบถามความสบายด้านการได้ยินของผู้เรียนในการใช้งานห้องเรียนธรรมชาติ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยนวัตกรรมการสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงด้วยระบบธรรมชาติ ประกอบด้วย การแสวงหาตัวแปรกายภาพและตัวแปรกิจกรรม ตามขอบเขตการวิจัย และนำผลที่ได้จากการหาตัวแปรทั้ง 2 ด้านมาศึกษากรณีศึกษา 3 กรณีเพื่อหาศักยภาพของการใช้ตัวแปรระบบธรรมชาติ และเปรียบเทียบหาข้อได้เปรียบและข้อด้อยในแต่ละกรณี สุดท้ายคือการสร้างห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีศักยภาพการใช้ระบบธรรมชาติสูง ผลของการวิจัยเป็นดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพด้านกายภาพและการสำรวจห้องเรียน

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องเรียนพบว่า มีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลโดยตรงต่อกลุ่มตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้องกับความสบายทั้ง 4 กลุ่ม ได้แก่ ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ความสบายด้านแสงสว่าง ความสบายด้านการมองเห็น และความสบายด้านการได้ยิน ผลจากการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ตัวแปรเกี่ยวกับความสบายด้านรู้สึกความร้อนหนาว

กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกร้อนหนาวของมนุษย์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ ตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับบุคคล จากการศึกษาพบว่า การควบคุมการส่งผ่านความร้อนของเปลือกอาคาร เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่ออุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียน ในขณะที่การควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนจำเป็นต้องอาศัยระบบเครื่องกล เพราะการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในห้องเรียนนอกจากจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงแล้ว ยังทำหน้าที่ควบคุมระดับความชื้นภายในห้องเรียนอีกด้วย ถ้าห้องเรียนไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศก็จะไม่สามารถควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนได้ ในกรณีที่ห้องเรียนมีการใช้ระบบเครื่องกลเพื่อทำความเย็น เครื่องปรับอากาศจะทำหน้าที่ลดความชื้นของอากาศภายในห้องเรียน อย่างไรก็ตามเปลือกอาคารจะต้องมีความสามารถในการควบคุมการรั่วซึมของอากาศได้ดีด้วย จึงจะสามารถควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายใน

ห้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบเป็นอีกตัวแปรที่สำคัญมาก และส่งผลต่อความรู้สึกสบายของผู้เรียนโดยตรง การควบคุมอุณหภูมิผิวของสภาพแวดล้อมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในด้านการป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอก และมวลสารภายในห้องเรียนที่สามารถดูดซับความร้อนจากคนได้ ความเร็วลมเป็นตัวแปรสุดท้ายของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่ขึ้นอยู่กับการวางทิศทางอาคารและการเปิดช่องเปิดเพื่อรับลมจากภายนอก กรณีที่ความเร็วลมภายในห้องไม่เพียงพอที่จะสร้างความรู้สึกสบายให้กับผู้เรียน ก็สามารถเพิ่มความเร็วลมด้วยการใช้พัดลม ความรู้สึกเย็นลงคำนวณได้จากสมการที่ 2 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงอุณหภูมิอากาศของลมที่ใช้

ตารางที่ 4-1 แสดงตัวแปรสภาพแวดล้อมของห้องเรียนเกี่ยวกับความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว

ตัวแปร	สภาพแวดล้อม
(1) อุณหภูมิอากาศ	การควบคุมการส่งผ่านความร้อนของเปลือกอาคาร
(2) ความชื้นสัมพัทธ์	การควบคุมความชื้นภายในห้องเรียน - ถ้าไม่ใช้ระบบปรับอากาศความชื้นภายในห้องใกล้เคียงกับภายนอก - ถ้าใช้ระบบปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศจะทำหน้าที่ควบคุมระดับความชื้นภายในห้อง (เปลือกอาคารต้องสามารถป้องกันการรั่วซึมของอากาศได้ดี)
(3) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ	การควบคุมอุณหภูมิผิวของสภาพแวดล้อม โดยการป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกและมวลสารภายในห้อง
(4) ความเร็วลม	การวางทิศทางอาคารและการเปิดช่องเปิด ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิอากาศของลม

กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกร้อนหนาวที่ขึ้นอยู่กับบุคคลมี 2 ตัวแปร ได้แก่ เสื้อผ้าที่ผู้เรียนสวมใส่ และอัตราการเผาผลาญพลังงานที่แปรเปลี่ยนตามกิจกรรมของผู้เรียน จากการศึกษาพบว่าโดยทั่วไปผู้เรียนจะสวมใส่ชุดนักเรียนเป็นหลัก บางครั้งอาจสวมใส่ชุดพละ ชุดนักเรียนหญิงและชายมีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าไม่เท่ากัน โดยเฉลี่ยชุดนักเรียนหญิงจะมีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าประมาณ 0.56 clo ขณะที่ชุดนักเรียนชายมีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าประมาณ 0.49 clo ชุดพละหญิงมีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าประมาณ 0.66 clo และชุด

พละชายมีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าประมาณ 0.59 clo การคำนวณอัตราการเผาผลาญพลังงานในกรณีที่กิจกรรมของผู้เรียน คือ การนั่งเขียนหนังสือและฟังการบรรยายเป็นหลัก กิจกรรมดังกล่าวทำให้เกิดพลังงานความร้อนเทียบเท่า 510 บีทียูต่อชั่วโมง โดยแบ่งออกเป็นความร้อนสัมผัส (sensible heat) ประมาณ 255 บีทียูต่อคนต่อชั่วโมง และความร้อนแฝง (latent heat) ประมาณ 255 บีทียูต่อคนต่อชั่วโมง (ASHRAE, 1993)

ตารางที่ 4-2 แสดงตัวแปรสภาพแวดล้อมด้านบุคคลเกี่ยวกับความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว

ตัวแปร	สภาพแวดล้อมด้านบุคคล
(5) เสื้อผ้า (หรือค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า)	ชุดนักเรียนหญิง = 0.56 clo ชุดนักเรียนชาย = 0.49 clo ชุดพละหญิง = 0.66 clo ชุดพละชาย = 0.59 clo
(6) อัตราการเผาผลาญพลังงาน	- ความร้อนสัมผัส (sensible heat) = 255 บีทียูต่อคนต่อชั่วโมง - ความร้อนแฝง (latent heat) = 255 บีทียูต่อคนต่อชั่วโมง

4.1.2 ตัวแปรเกี่ยวกับความสบายด้านแสงสว่าง

การศึกษากลุ่มตัวแปรเกี่ยวข้องกับความสบายของผู้เรียนด้านแสงสว่างในการวิจัยครั้งนี้ พบว่า 2 ตัวแปรหลักที่มีผลต่อกิจกรรมการเรียนและการบรรยายในห้องเรียน คือ ระดับแสงสว่างภายในห้องเรียน และการปรับตัวของการม่านตา (eye adaptation) ของผู้เรียนในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ระดับแสงสว่างภายในห้องเรียนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ระดับแสงสว่างทั่วไปภายในห้อง (ambient) และระดับแสงสว่างบริเวณกระดานหน้าห้องเรียน จากการศึกษาพบว่าความสว่างภายในห้องเรียนขึ้นอยู่กับระดับความสว่างของแสงธรรมชาติภายนอก และการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียนผ่านทางช่องแสงเป็นหลัก ขนาดของช่องแสง ตำแหน่งของช่องแสง ตลอดจนค่าการสะท้อนแสงของพื้น ผนัง ฝ้าเพดาน และผิวโต๊ะเรียนล้วนแต่มีผลต่อระดับความสว่างภายในห้อง ในกรณีที่การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในห้องเรียนไม่เพียงพอต่อความต้องการทำให้จำเป็นต้องใช้แสงประดิษฐ์ช่วยเพิ่มระดับความสว่างภายในห้องเรียน สิ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการใช้แสงประดิษฐ์ ได้แก่ ชนิดของหลอดไฟ รูปแบบโคมไฟ ความสูงของหลอดไฟ รวมถึงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน และผิวโต๊ะ เป็นต้น ระดับแสง

สว่างบริเวณกระดานหน้าห้องเรียนโดยทั่วไปมักใช้การควบคุมด้วยแสงประดิษฐ์เป็นหลัก โดยขึ้นอยู่กับค่าความสว่างและทิศทางการให้แสงตกกระทบลงบนพื้นผิว การปรับตัวของม่านตาผู้เรียนเป็นสิ่งสำคัญอีกประการที่ต้องคำนึงถึง เพราะเป็นปัจจัยสำคัญต่อความรู้สึกสบายในการเข้าหรือออกจากห้องเรียน การออกแบบให้มีพื้นที่ปรับสภาพ (adaptive area) ก่อนเข้าหรือออกจากห้องเรียนจะส่งผลถึงการควบคุมการปรับตัวของม่านตา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความรุนแรงของระดับแสงสว่างจากภายนอกที่สว่างมากก่อนเข้าสู่ภายในห้อง ทั้งนี้เพื่อให้ม่านตาของผู้เรียนปรับตัวเปิดกว้างขึ้นทำให้แม้ว่าภายในห้องที่มีระดับแสงสว่างไม่มาก แต่ผู้เรียนจะรู้สึกว่ามีแสงสว่างเพียงพอต่อการมองเห็น

ตารางที่ 4-3 แสดงตัวแปรเกี่ยวกับความสบายที่เกี่ยวข้องกับระดับแสงสว่าง

ตัวแปร	สภาพแวดล้อม
ระดับแสงสว่างทั่วไป (ambient)	- แสงธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งช่องแสง และค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน ผิวโต๊ะ - แสงประดิษฐ์ ขึ้นอยู่กับหลอดไฟ โคมไฟ ความสูงของหลอดไฟ และค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน ผิวโต๊ะ
ระดับแสงสว่างที่กระดาน	ควบคุมด้วยแสงประดิษฐ์ ขึ้นอยู่กับความสว่างและทิศทางของแสง
การปรับตัวของม่านตา (eye adaptation)	มีพื้นที่ปรับสภาพ (adaptive area) เพื่อลดความรุนแรงของระดับแสงสว่างจากภายนอกก่อนเข้าห้องเรียน

4.1.3 ตัวแปรเกี่ยวกับความสบายด้านการมองเห็น

สิ่งที่สายตารับรู้ในสภาพแวดล้อมไม่ใช่พลังงานแสงสว่าง (illuminance) ที่วัดได้ แต่เป็นแสงที่สะท้อนจากวัตถุเข้าสู่ดวงตา ขึ้นอยู่กับระดับความส่องสว่างที่ตกกระทบและค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว ตามสมการที่10 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) ปัจจัยสำคัญที่ทำให้รู้สึกสบายต่อการมองเห็นมี 2 ประการ คือ ความเปรียบต่าง และความชัดเจน ค่าความเปรียบต่างระหว่างความสว่างของพื้นผิวที่อยู่ในมุมมอง (focus) ของผู้เรียนส่งผลโดยตรงต่อการมองเห็น โดยสามารถแบ่งมุมมองที่แตกต่างกันของผู้เรียนออกได้เป็น 4 ช่วงตามองศาในการมองไปที่กระดานบริเวณหน้าห้องเรียน คือ ช่วง 0 – 3 องศา ซึ่งเป็นบริเวณที่ผู้เรียนต้องให้ความสนใจมาก (มุมมอง foveal) ค่าความเปรียบต่างบริเวณนี้เป็นค่าระหว่างความสว่างของตัวหนังสือกับกระดานหรือฉาก

ค่าความเปรียบต่างช่วง 3 – 30 องศา (มุมมอง near field) ขึ้นอยู่กับค่าระหว่างกระดานกับผนังรอบกระดาน ช่วง 30 – 60 องศา (มุมมอง far field) และช่วง 60 – 90 องศา (มุมมอง Peripheral) ขึ้นอยู่กับค่าระหว่างระหว่างพื้นที่ผนัง หน้าต่าง เพดานและพื้นโดยรอบ ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงการปรับของม่านตาและการไม่เกิดแสงระคายเคืองตา (glare) อีกด้วย ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความชัดเจนในการมองเห็นขึ้นอยู่กับขนาดภาพ ซึ่งเกิดจากความเหมาะสมของตัวหนังสือกับจอภาพ และความเหมาะสมของจอภาพกับผนังห้อง ในขณะเดียวกันก็จะต้องคำนึงการป้องกันการเกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น (reflected glare) ที่บริเวณกระดานหน้าห้องเรียน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการสะท้อนแสงของผิวกระดาน และตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่สะท้อนไปยังกระดานกับมุมมองของนักเรียน

ตารางที่ 4-4 แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความเปรียบต่างของการมองเห็นในมุมมองต่าง ๆ

ตัวแปร	สภาพแวดล้อม
มุมมอง foveal (0^{O} – 30^{O})	ค่าความเปรียบต่างระหว่างตัวหนังสือกับกระดานหรือฉาก
มุมมอง near field (30^{O} - 60^{O})	ค่าความเปรียบต่างระหว่างกระดานกับผนังรอบกระดาน
มุมมอง far field (30^{O} - 60^{O}) และ Peripheral (60^{O} - 90^{O})	ค่าความเปรียบต่างระหว่างพื้นที่ผนัง หน้าต่าง เพดานและพื้นโดยรอบ

ตารางที่ 4-5 แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความชัดเจนในการมองเห็น

ตัวแปร	สภาพแวดล้อม
ขนาดภาพ	ความเหมาะสมของตัวหนังสือกับจอภาพ และจอภาพกับผนังห้อง
การป้องกันการเกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็นบริเวณกระดาน	ลักษณะการสะท้อนแสงของผิวกระดาน และตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่สะท้อนไปยังกระดานกับมุมมองของนักเรียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 ตัวแปรเกี่ยวกับความสบายด้านการได้ยิน

ความรู้สึกสบายของผู้เรียนด้านการได้ยินขึ้นอยู่กับความแตกต่างของระดับเสียงกับความรู้สึกของมนุษย์จากตารางที่ 2-3 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) จากการศึกษาวิจัยพบว่าต้องมีระดับเสียงที่แตกต่างกันตั้งแต่ 6 dBA ขึ้นไป ผู้เรียนจึงจะเริ่มสามารถรับรู้ความแตกต่างได้ (JND) ส่วนค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการได้ยิน ขึ้นอยู่กับปริมาตรห้องและค่าการดูดซับเสียงของพื้นผิวของห้อง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 13 และ 14 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2)

ตารางที่ 4-6 แสดงตัวแปรสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์

ตัวแปร	สภาพแวดล้อม
ความรู้สึกแตกต่าง	เริ่มรู้สึกตั้งแต่ 6 dBA ขึ้นไป และชัดเจนเมื่อแตกต่าง 10-20 dBA
ค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์	ปริมาตรห้อง และค่าการดูดซับเสียงของพื้นผิวของห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.5 ผลการสำรวจตัวแปรสภาพห้องเรียนทั่วไปจำนวน 12 โรงเรียน

ผลการสำรวจตัวแปรสภาพห้องเรียนทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรด้านรู้สึกความร้อนหนาว จำนวน 12 โรงเรียน มีรายละเอียดดังแสดงในตารางต่อไปนี้ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4-7 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย

โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	56 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3 เมตร
จำนวนนักเรียน	34 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวหินขัดสีขาว
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวทาสีขาว
ฝ้าเพดาน	ฝ้ายิปซั่มฉาบเรียบ ผิวทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ใช้ระบบปรับอากาศ ไม่มีพัดลม
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่างและช่องแสงด้านข้าง 1 ด้าน วัสดุเป็นกระจกใส กรอบเหล็ก มีกันสาดบังแดด ประตูบานไม้มีช่องแสง
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 18 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 6 หลอด
กระดานและสื่อการสอน	กระดานดำ จอฉายภาพ
อุปกรณ์ขยายเสียง	มีเครื่องขยายเสียง
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะผิวสีขาว

ตารางที่ 4-8 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนจิตรลดา

โรงเรียนจิตรลดา	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	150 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3.5 เมตร
จำนวนนักเรียน	50 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ปูกระเบื้องสีเทา
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวทาสีครีม
ฝ้าเพดาน	ฝ้าทีบาร์ ผิวทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ไม่มีระบบปรับอากาศ มีพัดลม จำนวน 6 เครื่อง
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่างและช่องแสงด้านข้าง 2 ข้าง วัสดุหน้าต่างเป็นบานเกล็ดกระจกปรับมุม ช่องแสงเป็นกระจกใส กรอบไม้ ใช้ระเบียงเป็นกันสาดบังแดด ประตูบานไม้ทึบ
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 12 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ไม่มี
กระดานและสื่อการสอน	กระดานดำ โทรทัศน์
อุปกรณ์ขยายเสียง	มีเครื่องขยายเสียง
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีขาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-9 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนเซนต์ดอมินิก

โรงเรียนเซนต์ดอมินิก	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	54 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3 เมตร
จำนวนนักเรียน	42 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวหินขัดสีเทา
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวทาสีครึ่งล่างสีเขียวอ่อน ครึ่งบนสีขาว
ฝ้าเพดาน	ฝ้ายิปซั่มฉาบเรียบ ผิวทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ใช้ระบบปรับอากาศ ไม่มีพัดลม
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่างและช่องแสงด้านข้าง 1 ด้าน วัสดุเป็นกระจกใส กรอบเหล็ก มีกันสาดบังแดด ประตูบานไม้ทึบครึ่งล่างครึ่งบนช่องแสงกระจกใส
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 8 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 6 หลอด
กระดานและสื่อการสอน	กระดานดำ โทรทัศน์
อุปกรณ์ขยายเสียง	มีเครื่องขยายเสียง
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีขาว

ตารางที่ 4-10 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนอาคารศิลปะโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	64 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3.5 เมตร
จำนวนนักเรียน	50 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ปูกระเบื้องสีเทาอ่อน
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวทาสีขาว
ฝ้าเพดาน	ท้องพื้น คสล. ผิวทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ไม่มีระบบปรับอากาศ มีพัดลม 8 เครื่อง
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่างและช่องแสงด้านข้าง 1 ด้าน บานหน้าต่างเป็นบานไม้ทึบ มีกันสาดบังแดด ประตูบานไม้ทึบเหนือช่องประตูมีช่องแสง กระจกใส
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 22 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ไม่มี
กระดานและสื่อการสอน	กระดานขาว และกระดานดำ
อุปกรณ์ขยายเสียง	มีเครื่องขยายเสียง
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีไม้เข้ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-11 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย

โรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	84 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3.5 เมตร
จำนวนนักเรียน	50 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวหินขัดสีเทา
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวทาสีขาว
ฝ้าเพดาน	ท้องพื้น คสล. ผิวทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ใช้ระบบปรับอากาศ มีพัดลม 8 เครื่อง
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่างและช่องแสงด้านข้าง 2 ด้าน วัสดุหน้าต่างเป็นกระจกใส กรอบอลูมิเนียม วัสดุช่องแสงเป็นบล๊อคคอนกรีต มีกันสาดบังแดด ประตูกระจกใส กรอบอลูมิเนียม
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 12 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ไม่มี
กระดานและสื่อการสอน	กระดานขาว
อุปกรณ์ขยายเสียง	ไม่มี
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีขาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-12 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนราชินี

โรงเรียนราชินี	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	48 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	2.7 เมตร
จำนวนนักเรียน	42 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวหินขัดสีเทาอ่อน
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวครึ่งล่างทาสีครีมเข้ม ครึ่งบนสีครีมอ่อน
ฝ้าเพดาน	ท้องพื้น คสล. ผิวทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ใช้ระบบปรับอากาศ มีพัดลม 4 เครื่อง
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่าง 2 ด้าน ไม่มีช่องแสงด้านบน วัสดุเป็นเกร็ดกระจกใสปรับมุม มีกันสาดบังแดด ประตูบานไม้ทึบ
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 16 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ไม่มี
กระดานและสื่อการสอน	กระดานขาว จอฉายภาพ โทรทัศน์
อุปกรณ์ขยายเสียง	มีเครื่องขยายเสียง
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะผิวลามิเนตสีไม้อ่อน

ตารางที่ 4-13 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสตรีวิทยา

โรงเรียนสตรีวิทยา	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	54 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3.2 เมตร
จำนวนนักเรียน	50 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวหินขัดสีเทาอ่อน
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวทาครึ่งล่างสีครีมเข้ม ครึ่งบนสีครีมอ่อน
ฝ้าเพดาน	ท้องพื้น คสล. ทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ใช้ระบบปรับอากาศ ไม่มีพัดลม
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่าง 1 ด้าน บานไม้ทึบ ด้านในทำชุดหน้าต่างกระจกใสกรอบอลูมิเนียมอีกชั้น ด้านบนเป็นช่องแสงกระจกใส ประตูบานไม้ทึบ ด้านบนมีช่องแสง ด้านในทำประตูกระจกกรอบอลูมิเนียมอีกชั้น
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 18 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ไม่มี
กระดานและสื่อการสอน	กระดานขาว โทรทัศน์
อุปกรณ์ขยายเสียง	ไม่มี
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีไม้เข้ม

ตารางที่ 4-14 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยฝ่ายมัธยม

โรงเรียนสาธิตแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยฝ่ายมัธยม	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	48 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3.3 เมตร
จำนวนนักเรียน	40 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวหินขัดสีขาว
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวทาสีขาว
ฝ้าเพดาน	ท้องพื้น คสล. ทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ไม่มีระบบปรับอากาศ มีพัดลม 6 เครื่อง
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่าง 1 ด้าน เป็นหน้าต่างพร้อมช่องแสง กระจกใส อีกด้านเป็นหน้าต่างบานเกล็ดไม้พร้อมช่องแสงด้านบน ประตูบานไม้ทึบ
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 16 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ไม่มี
กระดานและสื่อการสอน	กระดานดำ
อุปกรณ์ขยายเสียง	ไม่มี
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีไม้อ่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-15 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒปทุมวัน

โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒปทุมวัน	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	90 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	2.9 เมตร
จำนวนนักเรียน	60 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวหินขัดสีเทาเข้ม
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวทาสีขาว
ฝ้าเพดาน	ท้องพื้น คสล. ทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ใช้ระบบปรับอากาศ มีพัดลม 4 เครื่อง
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่างและช่องแสงด้านข้าง 1 ด้าน วัสดุเป็นกระจกใส กรอบเหล็ก ประตูบานไม้ทึบ
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 18 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 6 หลอด
กระดานและสื่อการสอน	กระดานขาว
อุปกรณ์ขยายเสียง	มีเครื่องขยายเสียง
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีไม้อ่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-16 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร ฝ่ายมัธยม

โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตรฝ่ายมัธยม	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	48 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3.5 เมตร
จำนวนนักเรียน	40 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวขัดมันลงสี
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวครึ่งล่างทาสีเทาครึ่งบนทาสีขาว
ฝ้าเพดาน	ท้องพื้น คสล. ทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ใช้ระบบปรับอากาศ มีพัดลม 6 เครื่อง
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่างและช่องแสงด้านข้าง 1 ด้าน วัสดุเป็นกระจกใส กรอบไม้ ประตูบานไม้ช่องแสงกระจก มีช่องแสงด้านบน
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 16 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ไม่มี
กระดานและสื่อการสอน	กระดานขาว
อุปกรณ์ขยายเสียง	ไม่มี
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีขาว

ตารางที่ 4-17 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนสามเสนวิทยาลัย

โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	48 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3.4 เมตร
จำนวนนักเรียน	40 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวปูกระเบื้องเซรามิคสีดินเผา
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวครึ่งล่างทาสีครีมเข้มครึ่งบนทาสีขาว
ฝ้าเพดาน	ท้องพื้น คสล. ทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	ไม่มีระบบปรับอากาศ มีพัดลม 4 เครื่อง
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่างด้านข้าง 1 ด้าน เป็นบานไม้ทึบ และมีช่องแสงสลับเกล็ดระบายอากาศไม้ด้านบน ประตูบานไม้ทึบ และมีช่องแสงสลับเกล็ดระบายอากาศไม้ด้านบน
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 8 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ไม่มี
กระดานและสื่อการสอน	กระดานดำ
อุปกรณ์ขยายเสียง	ไม่มี
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีไม้เข้ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-18 แสดงผลการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนอัสสัมชัญคอนแวนต์

โรงเรียนอัสสัมชัญคอนแวนต์	
ตัวแปร	ผลการสำรวจ
ขนาดห้องเรียน	64 ตารางเมตร
ความสูงฝ้าเพดาน	3.5 เมตร
จำนวนนักเรียน	50 คน
วัสดุพื้น	พื้น คสล. ผิวหินขัดสีเทา
วัสดุผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. ผิวครึ่งล่างทาสีเขียวอ่อนครึ่งบนทาสีขาว
ฝ้าเพดาน	ท้องพื้น คสล. ทาสีขาว
ระบบปรับอากาศและพัดลม	มีระบบปรับอากาศ มีพัดลม 2 เครื่อง
ลักษณะหน้าต่าง ช่องแสงและประตู	มีหน้าต่างด้านข้าง 2 ด้าน เป็นบานเกล็ดกระจกและมีช่องแสงกระจกด้านบน ประตูบานไม้ทึบ
จำนวนหลอดไฟ (ambient)	ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 42 วัตต์ จำนวน 16 หลอด
การให้แสงประดิษฐ์ที่กระดาน	ไม่มี
กระดานและสื่อการสอน	กระดานขาว โทรทัศน์
อุปกรณ์ขยายเสียง	ไม่มี
ลักษณะโต๊ะเรียน	โต๊ะไม้ผิวสีไม้อ่อน

ผลจากการสำรวจห้องเรียนโรงเรียนทั้ง 12 ห้อง พบว่าขนาดของห้องเรียนที่สำรวจมีขนาด 48-150 ตารางเมตร มีความสูงของพื้นถึงเพดาน 2.7-3.5 เมตร มีความหนาแน่นของนักเรียน 1.08-3 ตารางเมตรต่อคน

ตัวแปรของห้องเรียนที่เกี่ยวข้องกับความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว จากการสำรวจพบว่าห้องเรียนจำนวน 12 ห้อง มีห้องที่มีระบบปรับอากาศ 8 ห้อง และห้องที่ไม่มีระบบปรับอากาศ 4 ห้อง พื้นห้องเป็นพื้น คสล. ผนังห้องเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร หน้าต่างเป็นบานไม้ และบานกระจกใส 6 มม. เพดานมีทั้งแบบเปลือยโครงสร้างและแบบมีฝ้าเพดาน ในกรณีที่เป็นห้องชั้นบนสุดไม่มีการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน

ตัวแปรของห้องเรียนที่เกี่ยวข้องกับความสบายด้านแสงสว่าง จากการสำรวจพบว่าห้องเรียนทุกห้องมีช่องแสงด้านข้าง ประกอบด้วยส่วนที่เป็นช่องแสงด้านบนเป็นกระจกใส 6 มม. และส่วนที่เป็นบานหน้าต่างที่มีหลายลักษณะคือ บานกระจกใส 6 มม. กรอบเหล็ก บานกระจกใส 6 มม. กรอบอลูมิเนียม บานไม้ทึบสีเข้ม บานเกล็ดกระจก และบานเกล็ดไม้ ค่าการสะท้อนแสงภายในห้องส่วนใหญ่ พื้นห้องประกอบด้วย พื้นหินขัดสีขาว พื้นปูกระเบื้องสีอ่อน พื้นปูกระเบื้องดินเผา และพื้น คสล. ผสมสี ผนังห้องทั่วไปทาสีอ่อน แต่มีบางห้องที่มีบานหน้าต่างเป็นบานไม้จะมีค่าการสะท้อนแสงที่ต่ำ เพดานห้องทั่วไปทาสีอ่อน

ลักษณะการใช้แสงประดิษฐ์ภายในห้องเป็นชุดหลอดฟลูออเรสเซนท์ขนาด 42 วัตต์ ติดตั้งที่เพดาน จากการสำรวจพบการใช้พลังงงานด้านระบบแสงสว่างเท่ากับ 3.36-14.43 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานด้านระบบแสงสว่างเท่ากับ 10.45 วัตต์ต่อตารางเมตร

ตัวแปรของห้องเรียนที่เกี่ยวข้องกับความสบายด้านการมองเห็น จากการสำรวจพบว่ากระดานที่ใช้ในห้องเรียนที่สำรวจพบกระดานดำจำนวน 5 ห้อง และกระดานขาวจำนวน 7 ห้อง และมีอุปกรณ์อื่นที่เป็นสื่อการสอนคือ จอฉายภาพและโทรทัศน์

ตัวแปรของห้องเรียนที่เกี่ยวข้องกับความสบายด้านการได้ยิน จากการสำรวจพบว่าผนังห้องเรียนส่วนใหญ่เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. และมีหน้างต่างเป็นกระจกใส 6 มม. กรอบเหล็กและอลูมิเนียม บานเกล็ด และบานไม้ทึบ กรณีห้องปรับอากาศจะปิดประตูหน้าต่าง กรณีไม่ปรับอากาศจะเปิดประตูและหน้าต่าง

4.2 ผลการสำรวจตัวแปรจากผู้เชี่ยวชาญ

ผลการสำรวจตัวแปรจากผู้เชี่ยวชาญได้มาจากการสำรวจและสัมภาษณ์ 3 รอบ โดยมีคำถามที่ครอบคลุมทั้งตัวแปรด้านความรู้สึกร้อนหนาว ด้านแสงสว่าง ด้านการมองเห็น และด้านการได้ยิน รายละเอียดมีดังนี้

4.2.1 ผลการสำรวจรอบที่ 1

4.2.1.1 ลักษณะคำถาม

คำถามที่ทำการสัมภาษณ์เริ่มจาก การถามถึงห้องเรียนในอุดมคติที่ควรจะเป็นก่อน แล้วตามด้วยคำถามเกี่ยวกับการใช้ระบบธรรมชาติในห้องเรียน หากมีความเห็นว่าระบบธรรมชาติในห้องเรียนไม่สามารถทำให้ถึงระดับความต้องการในอุดมคติ จะถามคำถามเกี่ยวกับระบบการควบคุมด้วยเครื่องกลมาช่วยเสริม

คำถามเกี่ยวข้องกับตัวแปร 4 ตัวแปรหลัก และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับห้องเรียน รวมถึงความคิดเห็นเพิ่มเติมอื่น เป็นดังต่อไปนี้

1. ความร้อน-ความชื้น
2. แสงสว่าง
3. การมองเห็น
4. คุณภาพเสียง
5. คุณภาพอากาศ
6. ความสวยงามและบรรยากาศ
7. ระบบเทคโนโลยีสนับสนุนอื่น ๆ
8. ความเห็นเพิ่มเติมอื่น ๆ ของผู้เชี่ยวชาญ

ลักษณะคำถามจะเป็นคำถามว่าเห็นด้วยหรือไม่กับประเด็นต่าง ๆ และถามคำถามปลายเปิดเพื่อหาข้อแนะนำอื่น ๆ เพิ่มเติม

4.2.1.2 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

ได้ทำการสัมภาษณ์และรวบรวมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านการศึกษา ด้านการออกแบบ ด้านการก่อสร้าง ด้านเทคโนโลยีอาคาร และด้านเทคโนโลยีการสื่อสาร

4.2.1.3 คำตอบที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับประเด็นต่าง ๆ ที่ถามในแบบสัมภาษณ์ดังต่อไปนี้

<u>ด้านความร้อน-ความชื้น</u>

ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าเห็นด้วยที่ห้องเรียนต้องสามารถควบคุมความร้อน-ความชื้นให้อยู่ในสภาวะที่รู้สึกสบายได้ และต้องการให้เมื่อเข้ามาในห้องเรียนแล้วรู้สึกเย็นสบาย เพื่อนักเรียนจะได้ปรับตัวให้รู้สึกผ่อนคลายก่อนเริ่มต้นชั่วโมงเรียน

ส่วนทางด้านการใช้ระบบธรรมชาติ หากอากาศภายนอกอาคารมีคุณภาพดีก็อยากให้นำมาใช้ แต่ถ้าหากนำมาใช้แล้วก่อให้เกิดปัญหาควบคุมยากก็ไม่ควรนำมาใช้

<u>ด้านแสงสว่าง</u>

ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า เห็นด้วยที่ห้องเรียนต้องสามารถควบคุมแสงสว่าง ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การบรรยายธรรมดา การบรรยายพร้อมฉายภาพ ตลอดจนการฉายภาพที่มีคุณภาพสูง โดยที่จะต้องไม่มีแสงจากบริเวณอื่นรบกวนความคมชัดของภาพที่ฉายบนจอ

ส่วนทางด้านแสงธรรมชาติหากสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็เห็นว่าควรนำมาใช้

<u>ด้านการมองเห็น</u>

ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า เห็นด้วยที่ห้องเรียนต้องสามารถส่งเสริมให้เกิดการมองเห็นที่ชัดเจน โดยเฉพาะหน้าตาของผู้สอนควรต้องมีสีสันสดใส

ด้านคุณภาพเสียง

ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า เห็นด้วยที่ผู้ใช้ห้องเรียนต้องสามารถสอนหรืออภิปรายกันได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องขยายเสียง

ด้านคุณภาพอากาศ

ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า เห็นด้วยที่ห้องเรียนต้องสามารถควบคุมการไหลเวียนและการถ่ายเทของอากาศให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม รวมทั้งควบคุมกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และก๊าซพิษต่างๆ ที่มีผลต่อสุขภาพ

ด้านความสวยงามและบรรยากาศ (คำถามปลายเปิด)

ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ต้องการความสะอาด ต้องการความทันสมัย ต้องการบรรยากาศที่เงียบสงบแต่ไม่ทำให้ง่วง

ด้านระบบเทคโนโลยีสนับสนุนอื่น ๆ

ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า เห็นด้วยที่ห้องเรียนต้นแบบต้องมีระบบเทคโนโลยีการสื่อสารเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ ทั้งขณะเรียนรู้และสำหรับการทบทวนเพิ่มเติมที่เหมาะสมกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในยุคปัจจุบันและในอนาคตอันใกล้

ความเห็นเพิ่มเติมอื่น ๆ (คำถามปลายเปิด)

ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นเพิ่มเติมว่า

- ห้องเรียนควรสามารถสร้างบรรยากาศและควบคุมบรรยากาศภายในห้องได้อย่างเสมือนจริงและสามารถเปลี่ยนแปลงบรรยากาศได้ตามเจตนารมณ์ของผู้บรรยาย (dynamic simulation)
- ห้องเรียนควรสามารถปรับรูปแบบการจัดห้องได้ตามกิจกรรมการเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลง (adaptive classroom)
- ห้องเรียนควรสามารถขยายการศึกษาออกสู่ทางไกลได้
- ห้องเรียนควรสามารถเป็นสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนไม่รู้สึกเบื่อหน่ายจนไม่อยากมาเข้าห้องเรียน ทำให้บรรยากาศในห้างสรรพสินค้า โรงภาพยนตร์ ร้านเกมส์ ร้านอินเตอร์เน็ท มีอิทธิพลดึงดูดความสนใจมากกว่าการเรียนในห้องเรียน

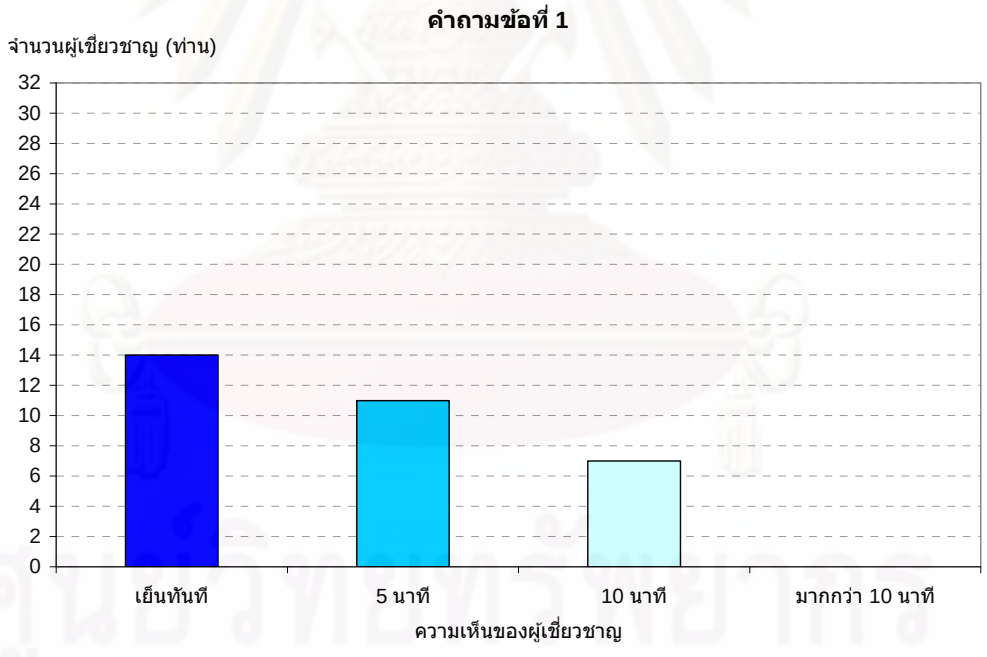
4.2.2 ผลการสำรวจรอบที่ 2

ผลการสำรวจรอบที่ 2 เป็นผลการสอบถามความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 32 ท่าน โดยแบบสอบถามมีลักษณะเป็นการแสวงหาระดับของความต้องการในคุณสมบัติของแต่ละตัวแปร ดังนี้

4.2.2.1 ความต้องการความรู้สึกร้อน-หนาวที่เหมาะสม

<u>คำถามข้อที่ 1</u>

เกี่ยวกับความต้องการความเย็นสบายภายในห้องเรียนและการปรับตัวของผู้ใช้ห้องเรียนในขณะเริ่มต้นชั่วโมงเรียน จากคำถาม “ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่ห้องเรียนควรจะรู้สึกเย็นทันทีเมื่อเข้ามาถึง หรือหากท่านไม่เห็นด้วยท่านจะยอมรับให้ห้องเรียน มีการปรับความเย็นในช่วงเริ่มต้นของชั่วโมงเรียนให้อยู่ในระยะเวลาประมาณเท่าไร”



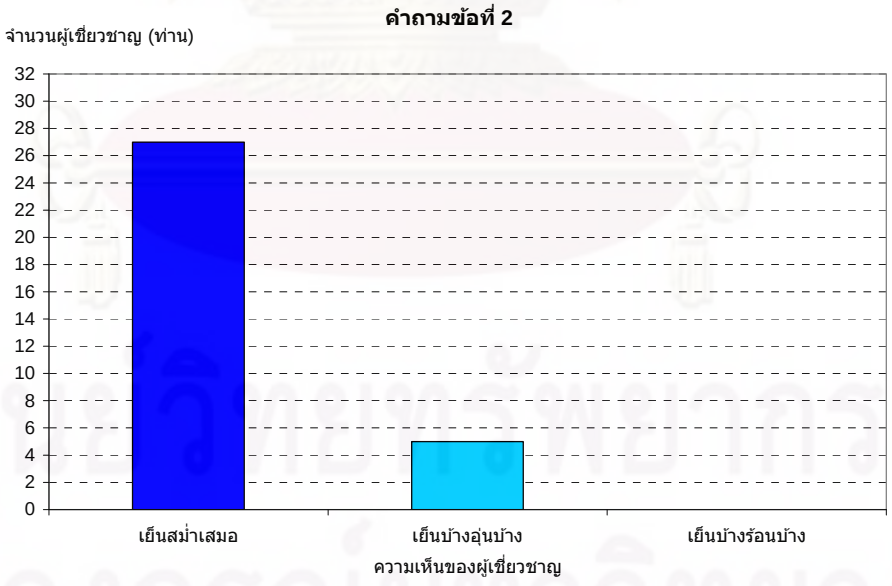
แผนภูมิที่ 4-1 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 1

จากคำถามในข้อที่ 1 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับหรือขอบเขตของการปรับตัวด้านความรู้สึกร้อนหนาวของการเข้าห้องเรียนเพื่อเตรียมความพร้อมในช่วงเริ่มของชั่วโมงเรียน จากแผนภูมิที่ 4-1 พบว่าผลจากการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่ต้องการให้รู้สึก

เย็นทันทีเมื่อเข้าสู่ห้องเรียน จนถึงระดับที่ยังยอมรับได้คือไม่ควรเกิน 10 นาทีดังจะเห็นว่ามีผู้เชี่ยวชาญบางส่วนยอมรับการปรับตัวของอุณหภูมิได้ถึง 10 นาที เมื่อสอบถามในเชิงลึกเกี่ยวกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเหล่านั้นจะพบว่า การที่ท่านเหล่านั้นเลือกตอบให้ยอมรับการปรับตัวของอุณหภูมิถึง 10 นาที เนื่องจากความเคยชินในการใช้ห้องเรียนทั่วไปที่ขณะเปิดเครื่องปรับอากาศตอนเริ่มต้นของชั่วโมงสอนจะต้องรอสักครู่เพื่อให้อากาศภายในห้องเย็นสบาย แต่เมื่อผู้วิจัยอธิบายถึงหลักการทำความเย็นที่สามารถทำให้ห้องเรียนเย็นได้อย่างรวดเร็วหากมีการออกแบบห้องเรียนที่ถูกต้อง โดยมีหลักการป้องกันความร้อนที่เข้ามาจากภายนอกอย่างถูกต้องและการเลือกใช้มวลสารอย่างถูกต้อง ผู้เชี่ยวชาญเหล่านั้นจึงมีความเชื่อมั่นในศักยภาพของเทคโนโลยีและเทคนิคการออกแบบที่สามารถทำความเย็นได้อย่างรวดเร็ว ในที่สุดผู้เชี่ยวชาญทั้งหลายได้ลงความเห็นใหม่ว่าห้องเรียนควรจะสามารถสร้างความเย็นให้เย็นได้ทันทีของการเริ่มต้นชั่วโมงเรียน

<u>คำถามข้อที่ 2</u>

เกี่ยวกับระดับของความต้องการในการควบคุมความร้อน-หนาวภายในห้องเรียน จากคำถาม “ท่านยอมรับให้ช่วงของระดับความรู้สึกสบายด้านความร้อน-หนาวอยู่ในช่วงใด”



แผนภูมิที่ 4-2 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 2

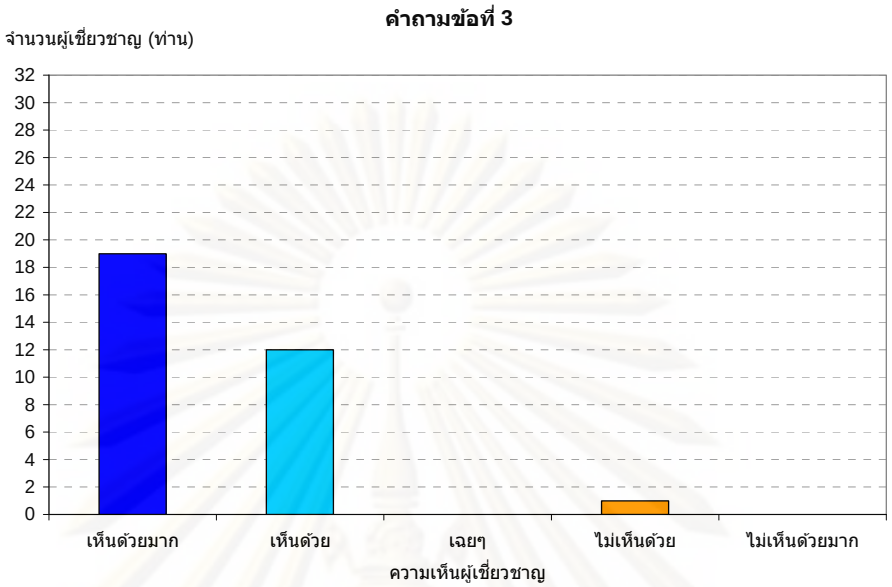
จากคำถามในข้อที่ 2 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับหรือขอบเขตของระดับความสบายภายในห้องเรียน จากแผนภูมิที่ 4-2 พบว่าผลของการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญส่วนมากต้องการระดับการควบคุมความเย็นที่มีความสม่ำเสมอคงที่ และมีเพียงบางส่วนที่ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย เมื่อสอบถามในเชิงลึกเกี่ยวกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเหล่านั้น จะพบว่า การที่ท่านเหล่านั้นยอมรับระดับของขอบเขตสบายที่ยอมให้อากาศภายในมีความแปรปรวนบ้างคือยอมให้มีความรู้สึกเย็นบ้างเล็กน้อยถึงอุ่นบ้างเล็กน้อย เนื่องจากห้องเรียนทั่วไปที่มีอยู่ไม่สามารถควบคุมความร้อนความชื้นได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ผู้เชี่ยวชาญเหล่านั้นเคยชินกับการยอมรับความแปรปรวนของความร้อนภายในห้องเรียนเดิม และมีความเห็นว่าการปรับอากาศเป็นเรื่องที่ใช้พลังงานสูง จึงทำให้มีความเห็นว่าสามารถยอมรับระดับของขอบเขตกว้าง แต่เมื่อผู้วิจัยอธิบายและแลกเปลี่ยนทัศนคติเกี่ยวกับการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในห้องที่ถูกต้อง รวมถึงอธิบายถึงหลักการออกแบบที่ถูกต้องที่สามารถสร้างสภาพแวดล้อมให้เย็นสบายได้โดยใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย ในที่สุดผู้เชี่ยวชาญลงความเห็นว่าห้องเรียนควรสามารถควบคุมความร้อน-หนาวภายในห้องให้อยู่สภาวะที่รู้สึกสบายอย่างสม่ำเสมอคงที่

4.2.2.2 ความต้องการแสงสว่างที่เหมาะสม

เรื่องของความต้องการระดับแสงสว่างที่เหมาะสมภายในห้องเรียนสามารถแบ่งบริเวณของห้องเรียนที่ทำการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ 1) บริเวณผู้เรียน 2) บริเวณผู้บรรยาย และ 3) บริเวณจอภาพและกระดาน ส่วนรูปแบบของการเรียนการสอนแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้ 1) บรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ 2) บรรยายด้วยการฉายภาพประกอบ และ 3) บรรยายด้วยการฉายภาพที่ต้องการความคมชัดสูง

<u>คำถามข้อที่ 3</u>

ท่านเห็นด้วยหรือไม่เกี่ยวกับเรื่องการควบคุมระดับแสงสว่างที่บริเวณผู้ฟัง ซึ่งขณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ ต้องมีระดับความส่องสว่าง ณ บริเวณผู้ฟังให้เพียงพอต่อการจดบันทึก



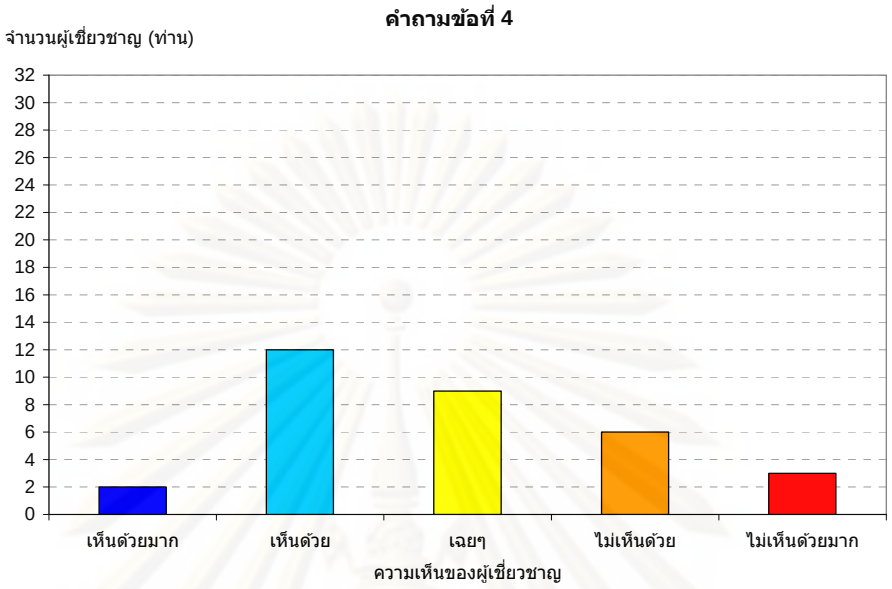
แผนภูมิที่ 4-3 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 3

จากคำถามในข้อที่ 3 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับของแสงสว่าง ณ บริเวณของผู้ฟัง กรณีที่มีรูปแบบการเรียนการสอนแบบบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ แผนภูมิที่ 4-3 พบว่าผลจากการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญส่วนมากมีความเห็นร่วมกันว่าควรมีระดับการส่องสว่างที่เหมาะสมกับการเขียนหนังสือ และมีเพียงผู้เชี่ยวชาญท่านเดียวที่ไม่เห็นด้วย ผู้วิจัยจึงได้อธิบายและแลกเปลี่ยนแนวคิดเกี่ยวกับความสำคัญของความต้องการของระดับแสงสว่างที่ผู้เรียนในการเขียนหนังสือทั้งทางด้านสุขภาพสายตาและประสิทธิภาพในการเรียนรู้ ผู้เชี่ยญชาญจึงมีความเห็นตรงกันว่าที่บริเวณผู้ฟังควรมีระดับความส่องสว่างที่สามารถเขียนหนังสือได้ขณะที่มีการสอนแบบบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ

<u>คำถามข้อที่ 4</u>

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องการควบคุมระดับแสงสว่างที่ผู้ฟังขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้ฟังต้องสามารถปรับให้มืดสนิทได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



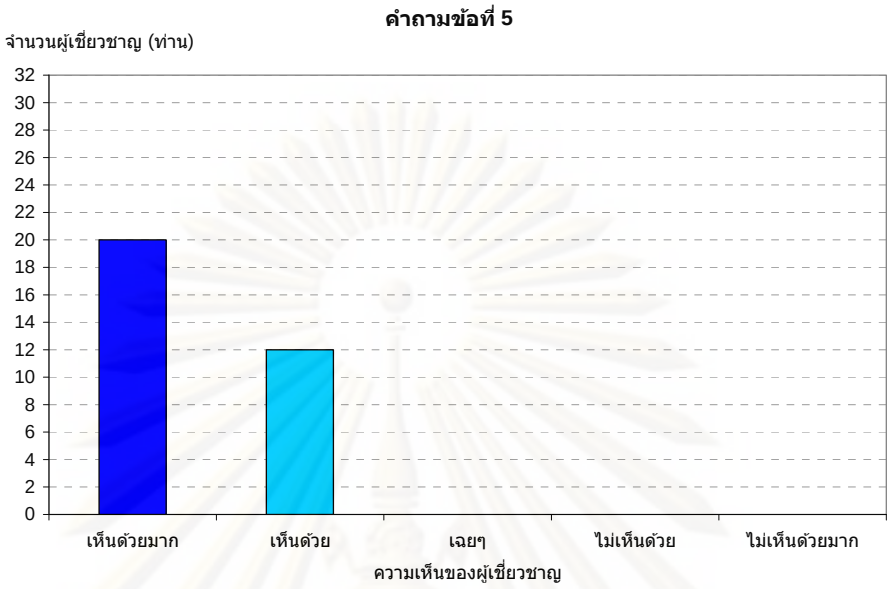
แผนภูมิที่ 4-4 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 4

จากคำถามในข้อที่ 4 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับของแสงสว่าง ณ บริเวณของผู้ฟัง กรณีที่มีรูปแบบการเรียนการสอนลักษณะที่มีการฉายภาพประกอบการบรรยาย จากแผนภูมิที่ 4-4 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความขัดแย้งกัน เนื่องจากมีความเข้าใจที่แตกต่างกัน

<u>คำถามข้อที่ 5</u>

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องการควบคุมระดับแสงสว่างที่ผู้ฟังขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้ฟังต้องสามารถปรับให้มีแสงสว่างเพื่อการเขียนหนังสือได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



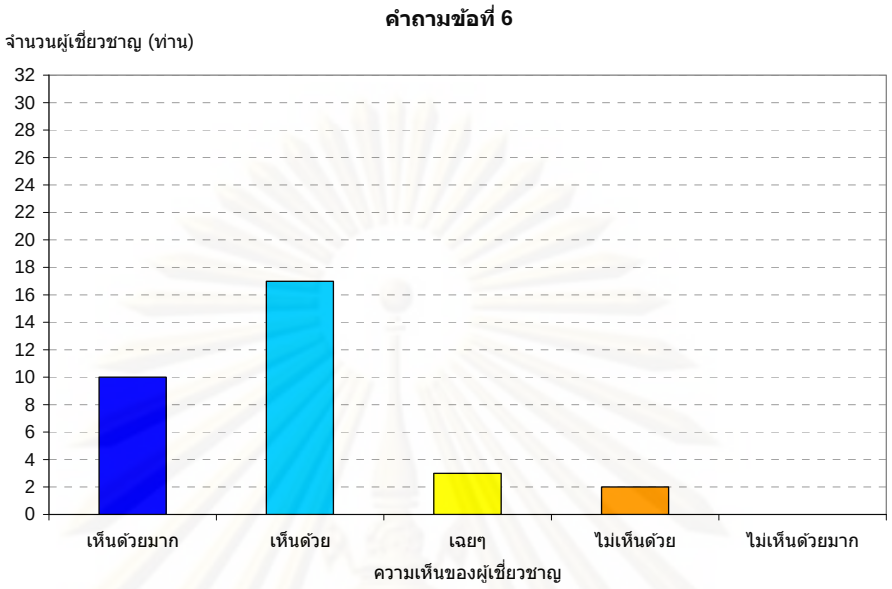
แผนภูมิที่ 4-5 **ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่** 5

จากคำถามในข้อที่ 5 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับของแสงสว่าง ณ บริเวณของผู้ฟัง กรณีที่มีรูปแบบการเรียนการสอนที่มีการฉายภาพคุณภาพสูงประกอบการบรรยายจากแผนภูมิที่ 4-5 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นตรงกัน เรื่องระดับของแสงสว่างที่บริเวณผู้ฟังต้องเพียงพอที่สามารถเขียนหนังสือได้

<u>คำถามข้อที่ 6</u>

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องการควบคุมระดับแสงสว่างที่ผู้บรรยายขณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้บรรยายต้องเพียงพอที่จะเห็นผู้บรรยายได้ชัดเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



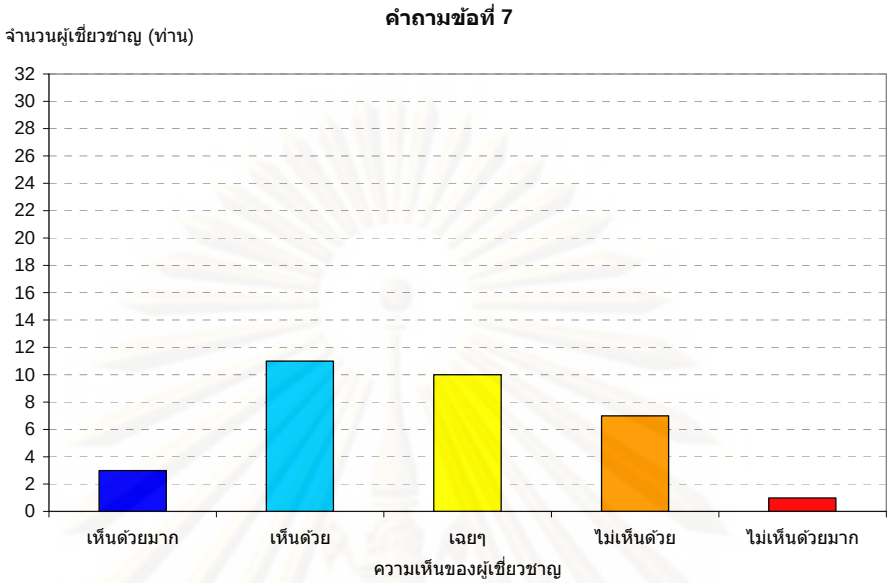
แผนภูมิที่ 4-6 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 6

จากคำถามในข้อที่ 6 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับของแสงสว่าง ณ บริเวณของผู้บรรยาย กรณีที่มีรูปแบบการเรียนการสอนลักษณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ จากแผนภูมิที่ 4-6 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความขัดแย้งกัน เนื่องจากมีความเข้าใจที่แตกต่างกันในเรื่องของระดับการส่องสว่างที่ผู้บรรยาย

คำถามข้อที่ 7

ท่านเห็นด้วยหรือไม่เกี่ยวกับเรื่องการควบคุมระดับแสงสว่างที่ผู้บรรยาย ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้บรรยายต้องสามารถปรับให้มืดสนิทได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



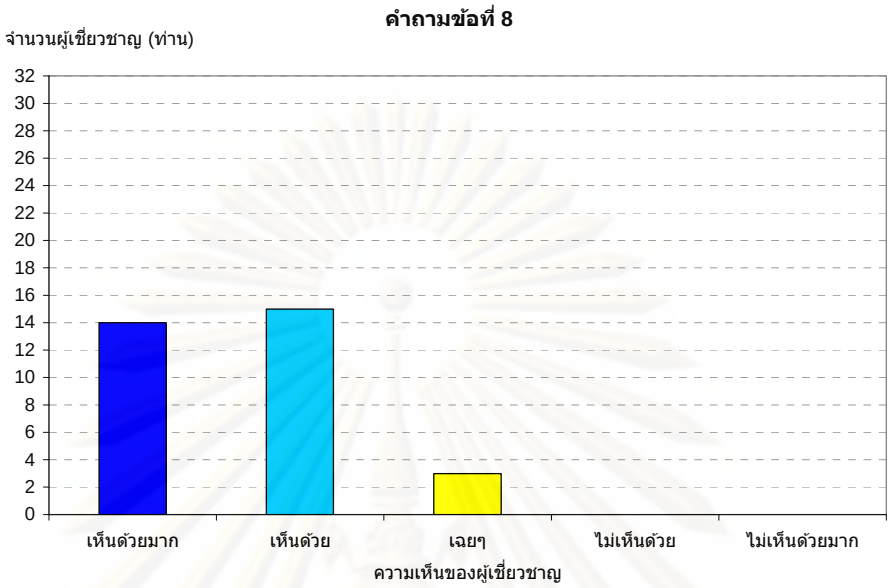
แผนภูมิที่ 4-7 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 7

จากคำถามในข้อที่ 7 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับของแสงสว่าง ณ บริเวณของผู้บรรยาย กรณีที่มีรูปแบบการเรียนการสอนที่มีการฉายภาพประกอบการบรรยาย จากแผนภูมิที่ 4-7 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความขัดแย้งกัน เนื่องจากมีความเข้าใจที่แตกต่างกันในเรื่องของระดับการส่องสว่างที่ผู้บรรยาย

<u>คำถามข้อที่ 8</u>

ท่านเห็นด้วยหรือไม่เกี่ยวกับเรื่องการควบคุมระดับแสงสว่างที่ผู้บรรยาย ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้บรรยายต้องสามารถปรับให้มีแสงสว่างเพื่อการเขียน-อ่านหนังสือได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

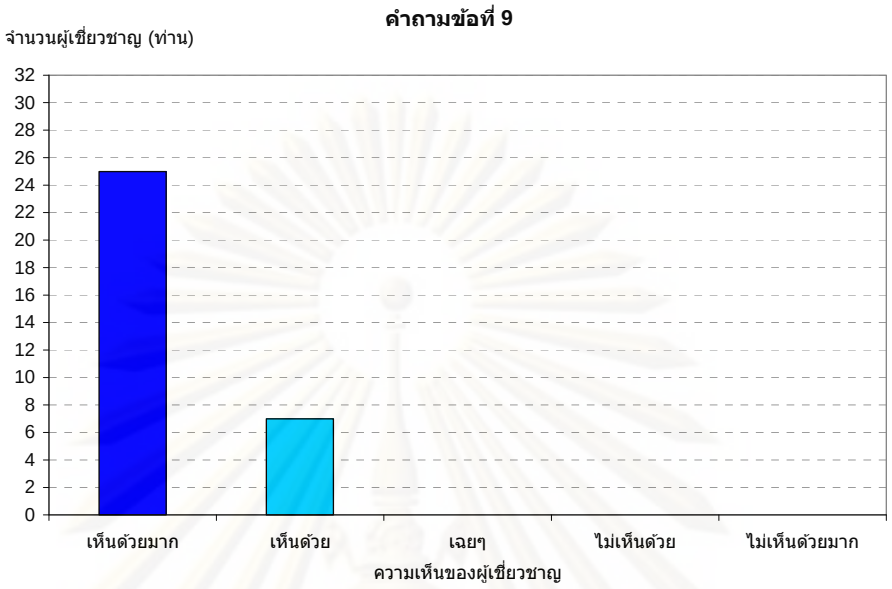


แผนภูมิที่ 4-8 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 8

จากคำถามในข้อที่ 8 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับของแสงสว่าง ณ บริเวณผู้บรรยาย กรณีที่มีรูปแบบการเรียนการสอนที่มีการบรรยายพร้อมการฉายภาพ จากแผนภูมิที่ 4-8 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญส่วนมากเห็นด้วยกับระดับความส่องสว่าง ณ บริเวณผู้บรรยายให้เพียงพอต่อการเขียน-อ่านหนังสือได้ มีเพียงผู้เชี่ยวชาญบางท่านที่มีความเห็นเป็นกลาง เมื่อผู้วิจัยสอบถามในเชิงลึกพบว่าผู้เชี่ยวชาญบางท่านให้ความสนใจน้อย ในเรื่องของระดับแสงสว่างที่บริเวณผู้บรรยายขณะบรรยายพร้อมการฉายภาพ ผู้วิจัยจึงอธิบายและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นถึงความสำคัญของบริเวณผู้บรรยายขณะบรรยายพร้อมการฉายภาพ เพื่อสุขภาพของสายตาของผู้บรรยาย อีกทั้งอธิบายเพิ่มเติมถึงหลักการและเทคโนโลยีในการออกแบบระดับแสงสว่าง ณ บริเวณผู้บรรยายได้โดยระดับแสงสว่างนั้นไม่รบกวนความคมชัดของภาพที่ฉาย

<u>คำถามข้อที่ 9</u>

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องการควบคุมระดับแสงสว่างที่กระดาน ขณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่กระดานต้องสว่างเพียงพอให้สามารถเห็นกระดานได้ชัดเจน



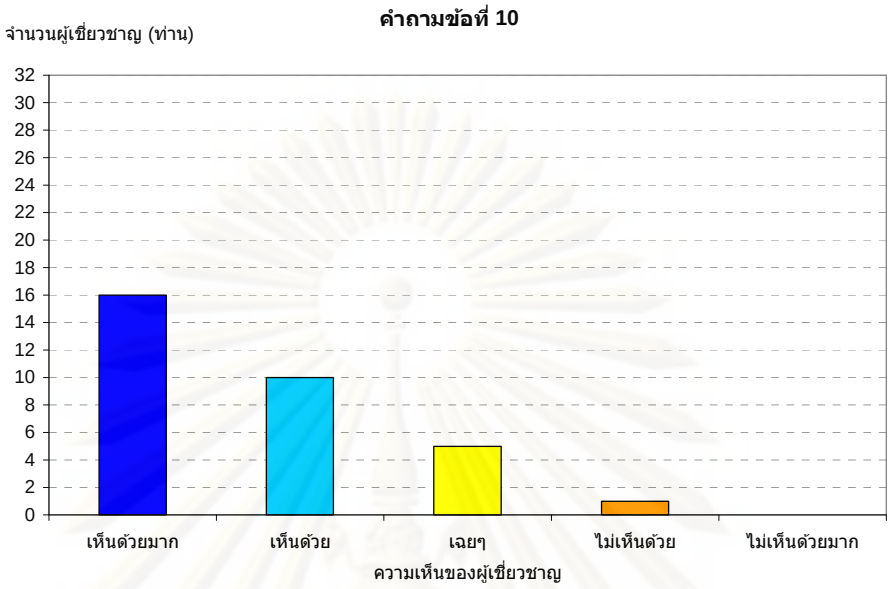
แผนภูมิที่ 4-9 **ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่** 9

จากคำถามในข้อที่ 9 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับของแสงสว่าง ณ บริเวณกระดาน กรณีที่มีรูปแบบการเรียนการสอนลักษณะการบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ จากแผนภูมิที่4-9 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องกันเรื่องระดับความส่องสว่างที่กระดานควรสามารถควบคุมความสว่างให้เพียงพอที่จะทำให้สามารถเห็นกระดานได้ชัดเจน

คำถามข้อที่ 10

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องการควบคุมระดับแสงสว่างที่จอภาพและกระดาน ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่จอภาพต้องสามารถปรับให้มืดสนิทได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-10 **ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่** 10

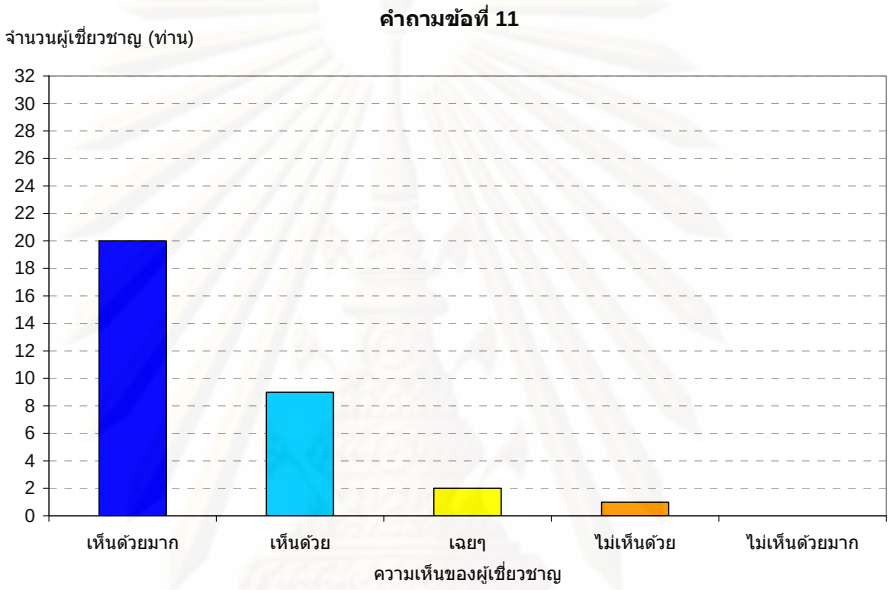
จากคำถามในข้อที่ 10 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาระดับของ แสงสว่าง ณ บริเวณของผู้บรรยาย กรณีที่มีรูปแบบการเรียนการสอนลักษณะการบรรยายด้วยการฉายภาพ จากแผนภูมิที่ 4-10 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความขัดแย้งกัน เนื่องจากมีความเข้าใจที่แตกต่างกันในเรื่องของระดับการส่องสว่างที่ผู้บรรยาย

จากผลการสัมภาษณ์เรื่องความต้องการระดับแสงสว่างที่เหมาะสมภายในห้องเรียนจากคำถามข้อที่ 3 – 10 พบว่ามีประเด็นบางประเด็นที่สามารถสรุปความเห็นเป็นเอกฉันท์ได้ และบางประเด็นที่ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นขัดแย้งกัน เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญมาจากหลากหลายสาขาและมีแนวคิดรวมถึงความสนใจในเรื่องที่ละเอียดอ่อนไม่เหมือนกัน ดังนั้นจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 เกี่ยวกับความต้องการแสงสว่างที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาในรอบที่ 3 ต่อไป

4.2.2.3 คุณภาพของแสงสว่าง

<u>คำถามข้อที่ 11</u>

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องที่ในห้องเรียนควรมีการใช้แสงธรรมชาติ

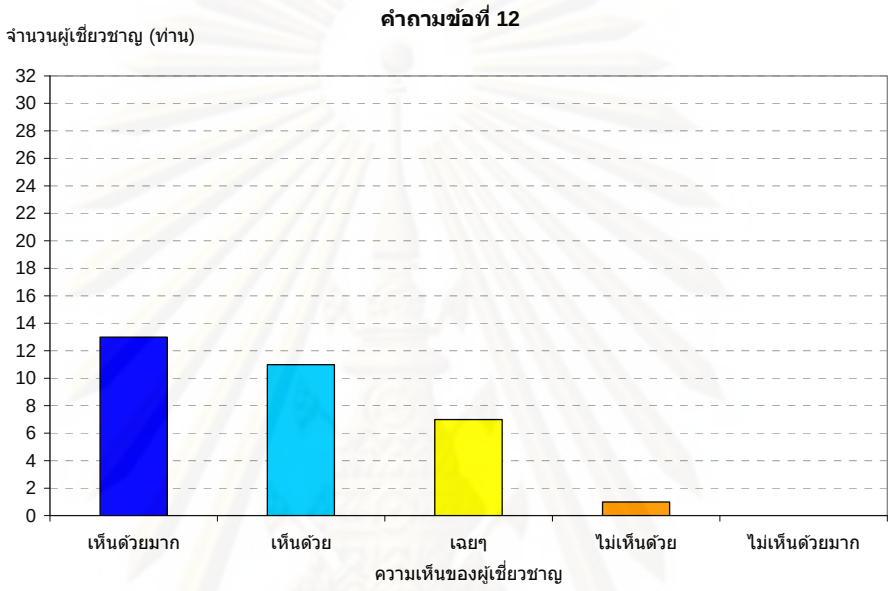


แผนภูมิที่ 4-11 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 11

จากคำถามในข้อที่ 11 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเรื่องการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องเรียน จากแผนภูมิที่ 4-11 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ส่วนมากมีความเห็นร่วมกันว่าควรมีการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนอย่างถูกต้องและเหมาะสม และมีผู้เชี่ยวชาญบางท่านที่ไม่เห็นด้วย ผู้วิจัยจึงได้อธิบายและแลกเปลี่ยนแนวคิดเกี่ยวกับความสำคัญของการนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในห้องเรียน เนื่องจากแสงธรรมชาติเป็นแสงที่มีประสิทธิภาพสูง ประกอบกับอธิบายถึงเทคนิคการออกแบบที่สามารถนำศักยภาพของแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียน ในที่สุดผู้เชี่ยวชาญลงความเห็นว่าห้องเรียนต้นแบบควรสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนได้

คำถามข้อที่ 12

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องแสงสีที่ส่องไปยังบริเวณผู้บรรยายควรช่วยส่งเสริมให้ผู้บรรยายดูสดใส



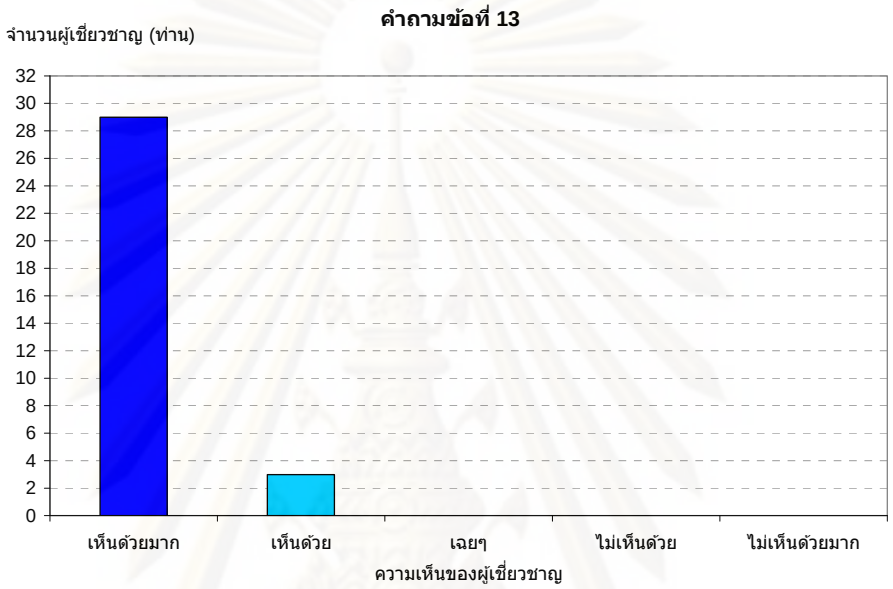
แผนภูมิที่ 4-12 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 12

จากคำถามในข้อที่ 12 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาความต้องการเรื่องคุณภาพแสงในห้องเรียนโดยเฉพาะบริเวณของผู้บรรยาย เพื่อสร้างบรรยากาศ ความประทับใจและภาพลักษณ์ที่ดีให้กับผู้เรียน จากแผนภูมิที่ 4-12 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญส่วนมากมีความเห็นร่วมกันว่า บริเวณผู้บรรยายควรมีการออกแบบจัดรูปแบบของแสงสี เพื่อช่วยส่งเสริมให้ผู้บรรยายมีภาพลักษณ์ที่ดีและมีผู้เชี่ยวชาญบางท่านที่ไม่เห็นด้วย ผู้วิจัยจึงได้อธิบายและแลกเปลี่ยนแนวคิดเกี่ยวกับความสำคัญของการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับผู้บรรยาย ที่ช่วยส่งเสริมแรงกระตุ้นที่ดีให้กับการเรียนรู้ ประกอบกับอธิบายถึงหลักการในการออกแบบระบบแสงสว่างที่ถูกต้องที่มีความเป็นไปได้ในงบประมาณปกติ ในที่สุดผู้เชี่ยวชาญลงความเห็นว่าห้องเรียนต้นแบบควรมีการออกแบบระบบแสงสว่างที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้บรรยายมีภาพลักษณ์ที่ดี

4.2.2.4 ความต้องการทัศนวิสัยที่สบายตา

<u>คำถามข้อที่ 13</u>

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องการออกแบบห้องเรียนให้ สามารถเห็นภาพหรือตัวหนังสือบนกระดานหรือจอชัดเจน โดยไม่มีเงาสะท้อนมารบกวนการมอง



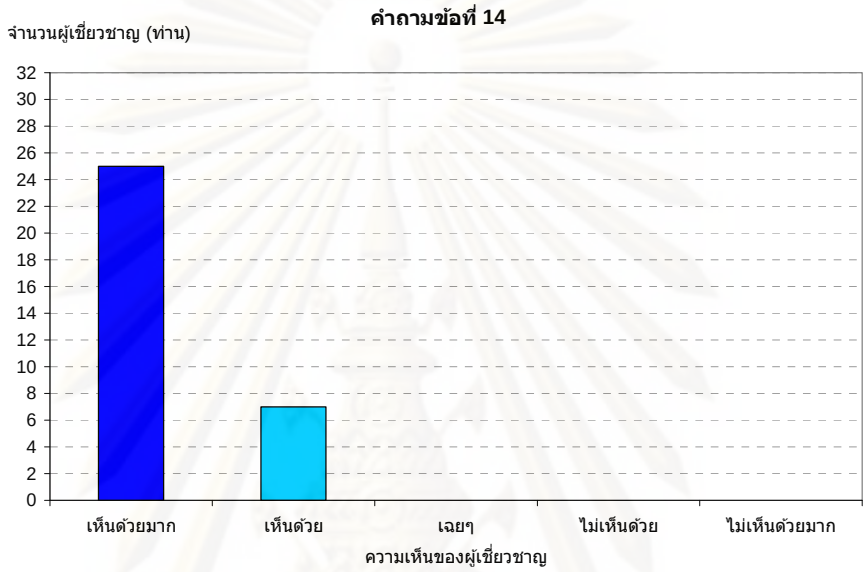
แผนภูมิที่ 4-13 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 13

จากคำถามในข้อที่ 13 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาความต้องการเรื่องทัศนวิสัยที่สบายตาในการมองเห็นภายในห้องเรียน เป็นเรื่องของความสามารถในการมองเห็นภาพหรือตัวหนังสือบนกระดานหรือจอชัดเจน โดยไม่มีเงาสะท้อนมารบกวนการมอง จากแผนภูมิที่ 4-13 พบว่า ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันเรื่องการเห็นภาพหรือตัวหนังสือบนกระดานหรือจอชัดเจน โดยไม่มีเงาสะท้อนมารบกวนการมอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำถามข้อที่ 14

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องการออกแบบห้องเรียนให้ไม่มีแสงบาดตา ทั้งจากมุมมองของผู้บรรยายและผู้เรียน



แผนภูมิที่ 4-14 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 14

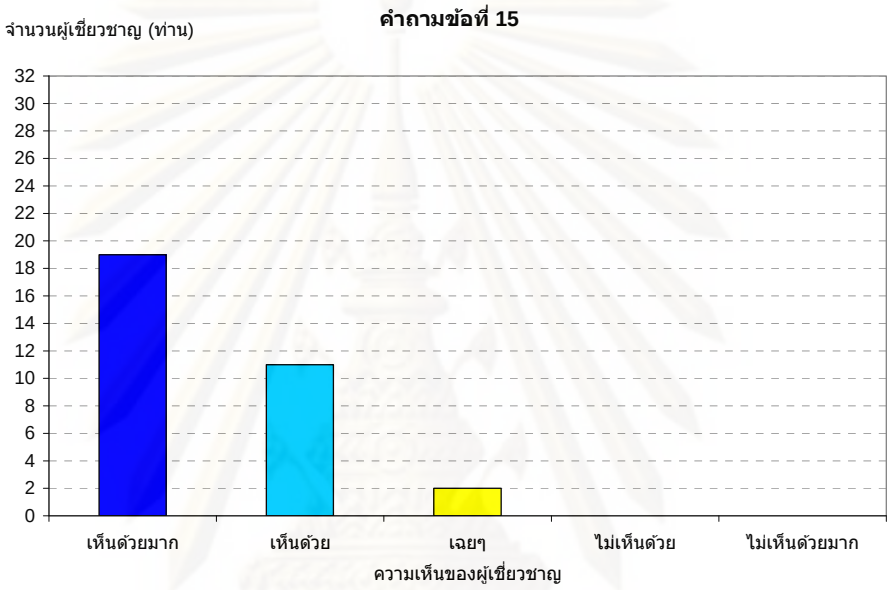
จากคำถามในข้อที่ 14 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาความต้องการเรื่องทัศนวิสัยที่สบายตา ในการมองเห็นภายในห้องเรียน เป็นเรื่องของการไม่มีแสงบาดตาทั้งจากมุมมองของผู้บรรยายและผู้เรียน จากแผนภูมิที่ 4-14 พบว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันเรื่องการเห็นภาพหรือตัวหนังสือบนกระดานหรือจอชัดเจนโดยไม่มีแสงบาดตา ทั้งจากมุมมองของผู้บรรยายและผู้เรียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.5 ความต้องการคุณภาพของเสียง

<u>คำถามข้อที่ 15</u>

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องการออกแบบห้องเรียนให้ สามารถได้ยินเสียงบรรยายได้ชัดเจนโดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง

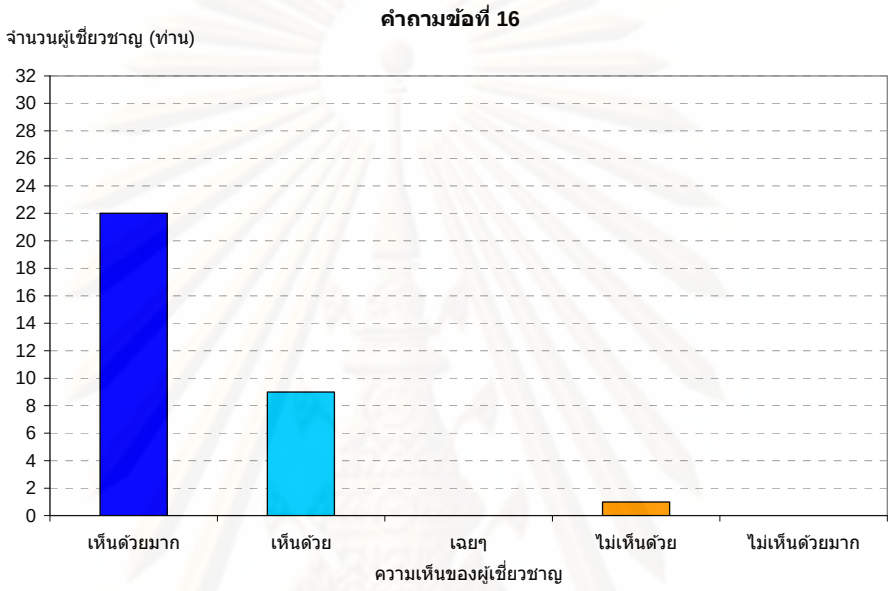


แผนภูมิที่ 4-15 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 15

จากคำถามในข้อที่ 15 ของการสอบถามรอบที่ 2 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาความต้องการเรื่องคุณภาพเสียงภายในห้องเรียน จากแผนภูมิที่ 4-15 พบว่า ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันเรื่องคุณภาพของเสียงภายในห้องเรียนให้สามารถได้ยินเสียงบรรยายได้ชัดเจนโดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง มีเพียงผู้เชี่ยวชาญบางท่านที่มีความเห็นเป็นกลาง ผู้วิจัยจึงได้อธิบายถึงคุณภาพของเสียงสด หมายถึงเสียงที่ไม่ผ่านเรื่องขยายเสียงจะมีคุณภาพในน้ำเสียงดี และสามารถช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ที่ชัดเจนได้ ตลอดจนอธิบายเพิ่มเติมถึงความสามารถในการออกแบบที่สามารถใช้ความเข้าใจในเทคโนโลยีการสร้างห้องเรียนที่สามารถพูดให้ได้ยินได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียงและโดยที่ไม่ต้องออกแรงตะโกน ในที่สุดผู้เชี่ยวชาญลงความเห็นว่าห้องเรียนต้นแบบควรมีการออกแบบระบบเสียงที่ดีให้สามารถบรรยายได้โดยไม่ใช้เครื่องขยายเสียง

คำถามข้อที่ 16

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องการออกแบบห้องเรียนให้ไม่มีเสียงรบกวนจากภายนอก



แผนภูมิที่ 4-16 **ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่** 16

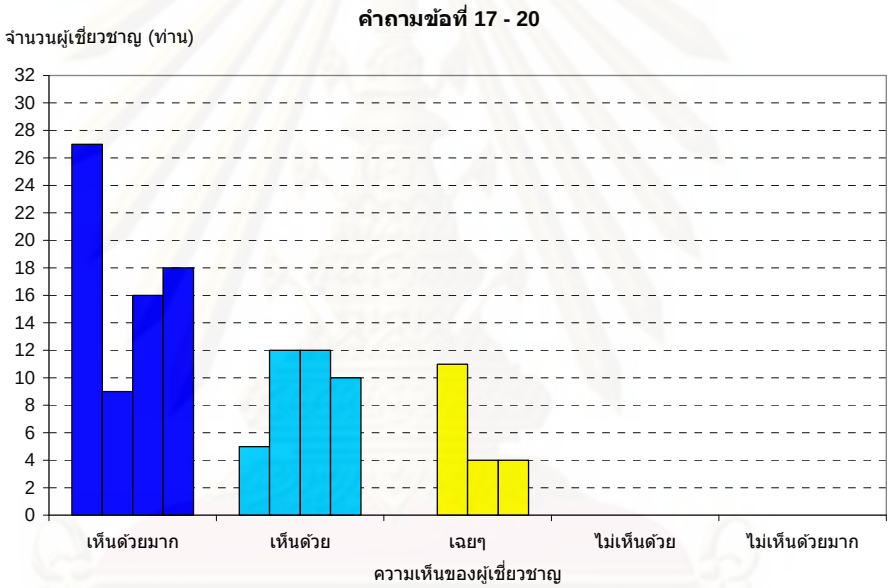
จากคำถามในข้อที่ 16 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาความต้องการเรื่องคุณภาพของเสียงภายในห้องเรียน จากแผนภูมิที่ 4-16 พบว่า ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันเรื่องคุณภาพเสียงภายในห้องเรียนที่ไม่มีเสียงรบกวนจากภายนอก มีเพียงผู้เชี่ยวชาญบางท่านที่มีความเห็นขัดแย้ง ผู้วิจัยจึงได้อธิบายถึงความจำเป็นในการกันเสียงรบกวนภายนอก และเทคนิคการกันเสียงภายนอกอย่างถูกต้อง ในที่สุดผู้เชี่ยวชาญลงความเห็นว่าห้องเรียนต้นแบบควรมีการออกแบบไม่ให้มีเสียงรบกวนจากภายนอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.6 ความต้องการอื่นๆ

<u>คำถามข้อที่ 17-20</u>

- ท่านเห็นด้วยหรือไม่ เกี่ยวกับเรื่องของความต้องการในปัจจัยต่างๆ ของห้องเรียนดังนี้
- ความต้องการคุณภาพอากาศภายในที่ดี
- ความต้องการบรรยากาศและความงาม
- ความต้องการความปลอดภัย
- ความต้องการเทคโนโลยีสารสนเทศ



แผนภูมิที่ 4-17 ผลคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามข้อที่ 17-20

จากคำถามในข้อที่ 17-20 เป็นคำถามเพื่อแสวงหาความต้องการในปัจจัยต่างๆของห้องเรียน จากแผนภูมิที่ 4-17 พบว่า ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญส่วนมากเห็นด้วยในความจำเป็นของปัจจัยต่างๆ ข้างต้นมีเพียงผู้เชี่ยวชาญบางท่านที่มีความเห็นเป็นกลางในบางปัจจัย เช่น ความต้องการบรรยากาศและความงาม ความต้องการความปลอดภัย และความต้องการเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งเป็นปัจจัยความต้องการที่เป็นวิสัยทัศน์ใหม่มากสำหรับห้องเรียนปัจจุบัน แต่เมื่อผู้วิจัยทำความเข้าใจกับผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับแนวคิด วิสัยทัศน์ในอนาคตของห้องเรียนรวมถึงมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นถึงความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีที่สามารถสร้างห้องเรียนที่มีปัจจัยเหล่านั้น ในที่สุดผู้เชี่ยวชาญลงความเห็นว่าห้องเรียนต้นแบบควรสามารถตอบสนองความต้องการต่าง ๆ ข้างต้นได้

4.2.3 ผลการสำรวจรอบที่ 3

จากผลการสำรวจในรอบที่ 2 พบว่าตัวแปรต่างๆ ที่ทำการศึกษา โดยสอบถามผู้เชี่ยวชาญ และมีการแลกเปลี่ยนแนวคิด ทัศนคติ ความเข้าใจ ระหว่างผู้วิจัยกับผู้เชี่ยวชาญจนได้ข้อสรุปที่เป็นเอกฉันท์ในหลายตัวแปร แต่พบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียน ยังมีความเห็นที่ขัดแย้งกันเนื่องจากเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนมาก
ดังนั้นในการสอบถามผู้เชี่ยวชาญรอบที่ 3 จึงมุ่งประเด็นที่การทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในเรื่องของระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียน และพัฒนาเป็นแบบสอบถามสำหรับการสอบถามในรอบที่ 3 เพื่อใช้ในการสอบถามผู้เชี่ยวชาญที่มีความเกี่ยวข้อง ความคิดเห็นเป็นดังนี้

จากคำถาม “ในกรณีที่รูปแบบของกิจกรรมการเรียนมีลักษณะการบรรยายแบบทั่วไปที่ผู้พูดมีการบรรยายและมีการเขียนกระดาน ท่านเห็นว่าควรมีลักษณะการส่องสว่างอย่างไร”

- บริเวณผู้ฟังควรมีระดับแสงสว่างเพียงพอต่อการอ่านหนังสือและการจดบันทึก
- บริเวณผู้บรรยายควรมีระดับความส่องสว่างที่เพียงพอให้ผู้ฟังมองเห็นผู้บรรยายได้สว่างสดใสโดยอาจมีการออกแบบระบบแสงสว่างในบริเวณนั้นเป็นพิเศษเพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพของแสงบริเวณส่วนของผู้บรรยาย
- บริเวณจอภาพหรือกระดานควรมีระดับความส่องสว่างมากพอที่จะสามารถช่วยทำให้ผู้ฟังสามารถมองเห็นกระดานได้ชัดเจนและต้องไม่มีแสงสะท้อนแยงตา

จากคำถาม “ในกรณีที่รูปแบบของกิจกรรมการเรียนมีลักษณะการบรรยายแบบใช้เครื่องฉายภาพ (projector) หรือ เครื่องฉายแผ่นทึบ (visualizer) หรือ เครื่องฉายแผ่นใส (overhead) ท่านเห็นว่าควรมีลักษณะการส่องสว่างอย่างไร”

- บริเวณผู้ฟังควรมีระดับแสงสว่างเพียงพอต่อการอ่านหนังสือและการจดบันทึกและต้องไม่สว่างจนทำให้ภาพที่ฉายไม่ชัดเจน
- บริเวณผู้บรรยายควรมีระดับความส่องสว่างที่เพียงพอให้ผู้ฟังมองเห็นผู้บรรยายได้อย่างชัดเจน และต้องไม่สว่างจนทำให้ภาพที่ฉายไม่ชัดเจน

- บริเวณจอภาพหรือกระดานควรสามารถปรับลดระดับความส่องสว่างลงได้เพียงพอที่จะทำให้ภาพที่ฉายปรากฏชัดเจนและต้องไม่มีแสงสะท้อนแยงตา

จากคำถาม “ในกรณีที่รูปแบบของกิจกรรมการเรียนมีลักษณะการบรรยายแบบที่ผู้บรรยายต้องการฉายภาพหรือภาพยนตร์ ที่ต้องการคุณภาพความคมชัดสูง เพื่อให้ผู้ฟังได้รับอรรถรสของภาพนั้น ๆ ท่านเห็นว่าควรมีลักษณะการส่องสว่างอย่างไร”

- บริเวณผู้ฟังควรสามารถปรับระดับความส่องสว่างลดลงให้มืดสนิทได้ เพื่อไม่ให้มีแสงรบกวนภาพที่จะฉาย
- บริเวณผู้บรรยายควรสามารถปรับระดับความส่องสว่างลดลงให้มืดสนิทได้ เพื่อไม่ให้มีแสงรบกวนภาพที่จะฉาย
- บริเวณจอภาพหรือกระดานควรสามารถปรับระดับความส่องสว่างลดลงให้มืดสนิทได้ เพื่อให้ภาพที่ฉายปรากฏได้อย่างชัดเจน

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำความเข้าใจประเด็นต่างๆ ในเรื่องของระดับการส่องสว่างภายในห้องเรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นที่ห้องเรียนต้นแบบต้องสามารถปรับระดับความสว่างให้มืดสนิทได้ เนื่องจากเดิมประเด็นนี้มีความขัดแย้งในแนวคิดของผู้เชี่ยวชาญเรื่องของการปรับให้ห้องมืดสนิท แต่เมื่ออธิบายถึงความจำเป็นในการฉายภาพที่ต้องการอรรถรสในการฉายภาพ จึงจำเป็นที่จะต้องสามารถปรับให้ห้องมืดสนิทได้เพื่อให้ภาพที่ฉายมีความสวยสดตามเจตนารมณ์ของผู้บรรยาย ในที่สุดผลจากการตอบพบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นด้วยเป็นเอกฉันท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อได้เปรียบ-ข้อด้อยของกรณีศึกษา

4.3.1 ผลกรณีศึกษา 1 ห้องเรียนธรรมชาติธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต

ห้องเรียนธรรมชาติกรณีศึกษา 1 เป็นห้องเรียนขนาด 60 ที่นั่งมีพื้นที่ประมาน 100 ตารางเมตร ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่โล่งหน้าคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต พื้นที่เดิมมีเนินดินด้านข้างเพื่อเป็นรั้วกันขอบเขตของคณะ และทางทิศใต้ติดกับถนนที่มีคูระบายน้ำ

4.3.1.1 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว

- ใช้การสร้างความเย็นด้วยการระเหยของน้ำภายนอกอาคาร
- ใช้มวลสารของที่นั่งในห้องเรียนที่สัมผัสกับเนินดินที่ได้รับการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมภายนอก ทำหน้าที่ดูดซับความร้อนจากผู้เรียน
- ใช้หลังคาที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง คือโฟมหนา 0.10 เมตร ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากหลังคา และลดความร้อนของอุณหภูมิผิวด้านในอาคาร
- ใช้กระจกลามิเนตที่สามารถตัดรังสียูวีจากภายนอก และเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคาร

4.3.1.2 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านแสงสว่าง

- การใช้แสงสว่างธรรมชาติจากช่องแสงด้านบนเป็นหลัก
- ควบคุมมุมแสงบริเวณหน้าห้องเพื่อป้องกันแสงสว่างที่มากเกินไปบริเวณจอภาพ กรณีมีการฉายภาพ

4.3.1.3 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการมองเห็น

- ควบคุมการสะท้อนแสงบริเวณหน้าจอและกระดานไม่ให้เกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น (reflected glare)
- ควบคุมระดับความสว่างในมุมมองไม่ให้เกิดความเปรียบต่างมากเกินไป เช่นมุมมองที่เห็นภูมิทัศศน์ภายนอกผ่านหน้าต่าง เลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสงที่เหมาะสมและจัดภูมิทัศน์

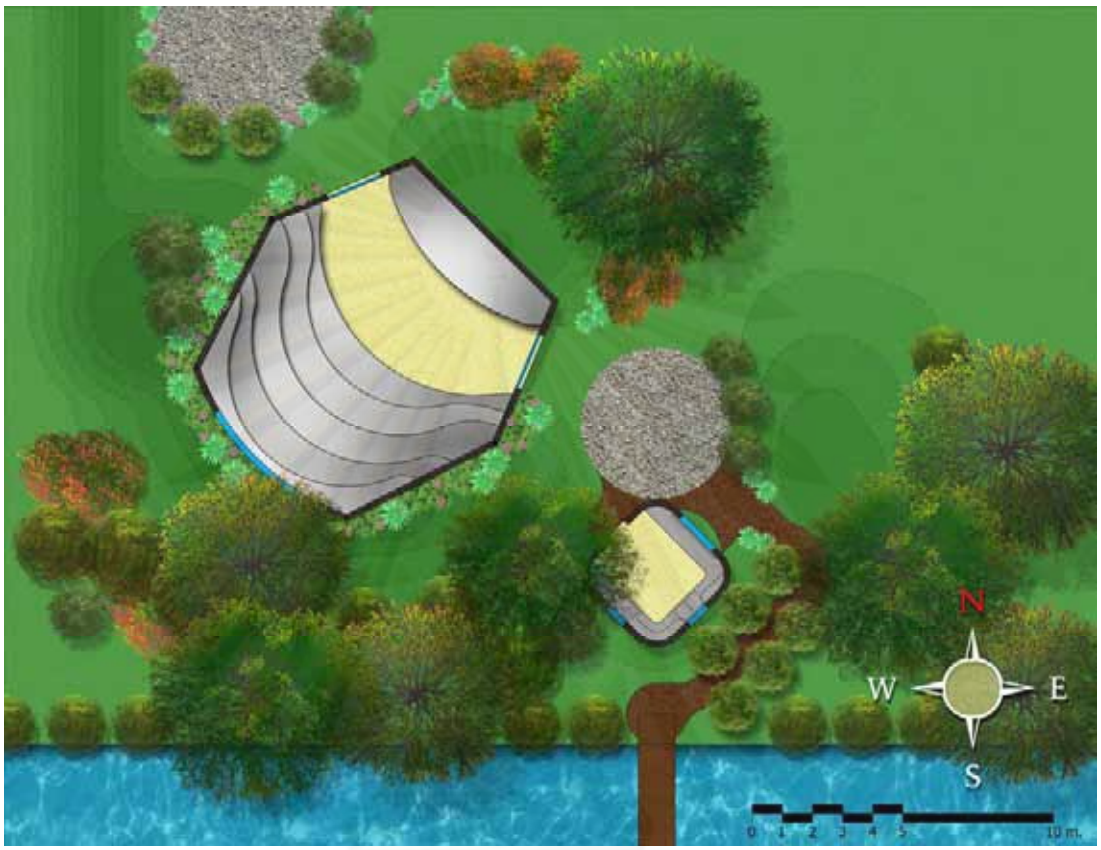
ภายนอกให้เห็นหญ้าและต้นไม้ ที่มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 0.05 เป็นส่วนใหญ่

4.3.1.4 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการได้ยิน

- ใช้เนินดินในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อม
- เลือกใช้วัสดุพื้นผิวภายในให้มีส่วนที่สะท้อนเสียงและดูดซับเสียงอย่างเหมาะสม หมายถึงพื้นผิวด้านหน้าห้องเป็นวัสดุสะท้อนเสียงเพื่อสะท้อนเสียงของผู้สอนไปยังผู้เรียน ส่วนพื้นที่หลังห้องใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อปรุงแต่งให้ห้องเรียนมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่เหมาะสม

ภาพที่ 4-1 แสดงบรรยากาศภายนอกห้องเรียนกรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต

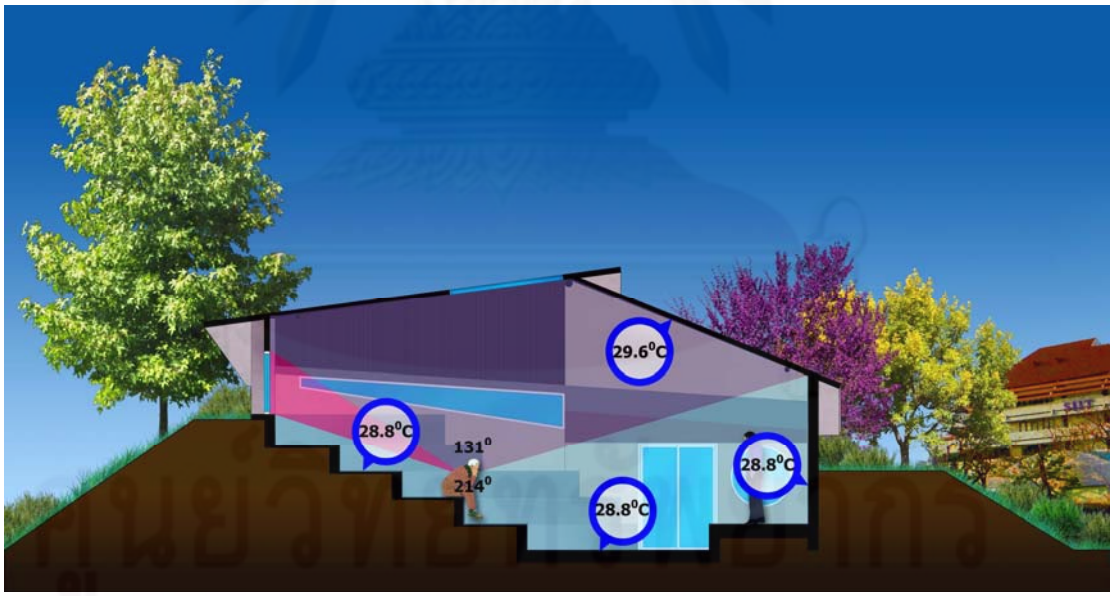
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



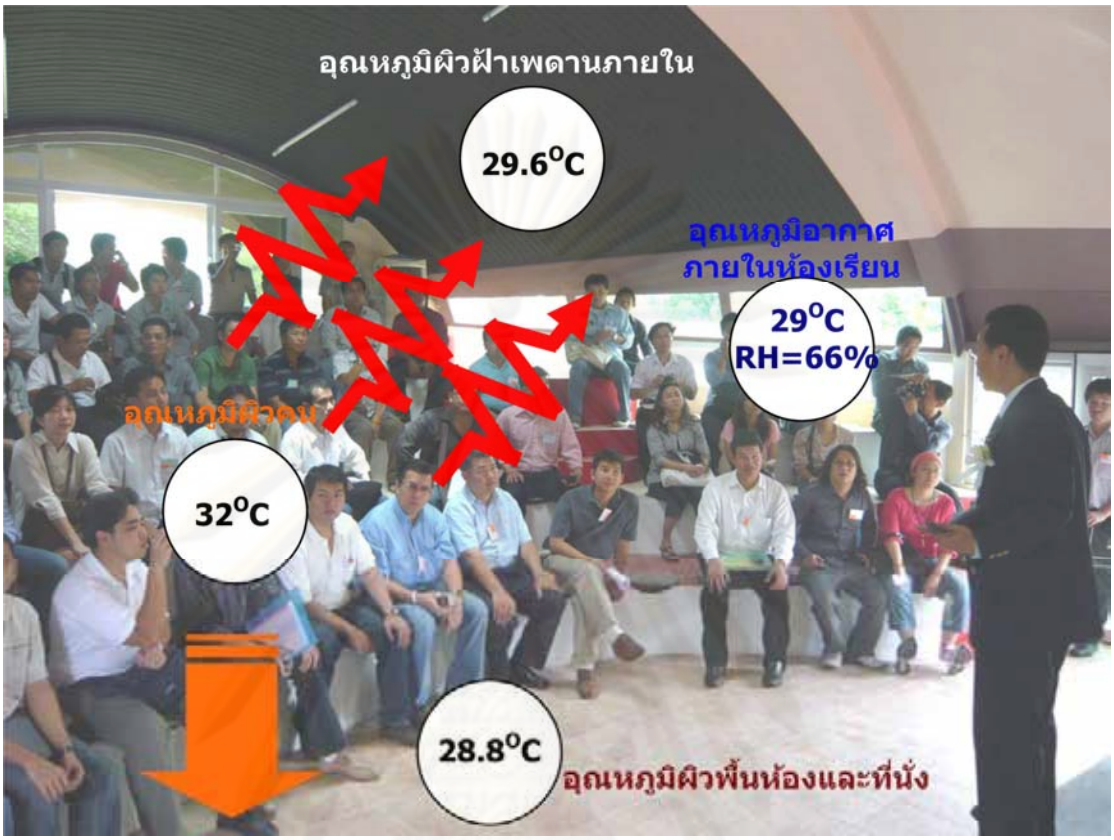
ภาพที่ 4-2 แสดงผังบริเวณ กรณีศึกษา 1

ภาพที่ 4-3 แสดงรูปด้าน 1 กรณีศึกษา 1

ภาพที่ 4-4 แสดงรูปด้าน 2 กรณีศึกษา 1



ภาพที่ 4-5 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 1 แสดงอุณหภูมิภายในห้อง



ภาพที่ 4-6 แสดงบรรยากาศภายในกรณีศึกษา 1 แสดงอุณหภูมิภายในห้อง

ภาพที่ 4-7 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 1 แสดงการให้แสงธรรมชาติภายในห้อง

ภาพที่ 4-8 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 1 แสดงการสะท้อนและดูดซับเสียงภายในห้อง

ภาพที่ 4-9 แสดงการสร้างการระเหยของน้ำภายนอกห้องเรียนกรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต

4.3.2 ผลกรณีศึกษา 2 ห้องเรียนธรรมชาติราชภัฏฯ บางคล้า

ห้องเรียนธรรมชาติกรณีศึกษา 1 เป็นห้องเรียนขนาด 80 ที่นั่งขนาดประมาน 120 ตารางเมตร ตั้งอยู่มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ วิทยาเขตบางคล้า ในบริเวณที่เป็นสนามหญ้าทางทิศใต้และทิศตะวันตกเป็นถนน พื้นที่เดิมมีต้นมะพร้าวให้ร่มเงา

4.3.2.1 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว

- ใช้การสร้างความเย็นด้วยการระเหยของน้ำภายนอกอาคาร
- ใช้มวลสารของที่นั่งในห้องเรียนที่สัมผัสกับเนินดินที่ได้รับการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมภายนอก ทำหน้าที่ดูดซับความร้อนจากผู้เรียน
- ใช้หลังคาที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง คือโฟมหนา 0.20 เมตร ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากหลังคา ลดความร้อนของอุณหภูมิผิวด้านในอาคาร และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของหลังคา
- ใช้กระจกลามิเนตที่สามารถตัดรังสียูวีจากภายนอก และเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคาร

4.3.2.2 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านแสงสว่าง

- การใช้แสงสว่างธรรมชาติจากช่องแสงติดตายด้านข้างที่อยู่ข้างบนเป็นหลัก
- ควบคุมมุมแสงบริเวณหน้าห้องเพื่อป้องกันแสงสว่างที่มากเกินไปบริเวณจอภาพ กรณีมีการฉายภาพ

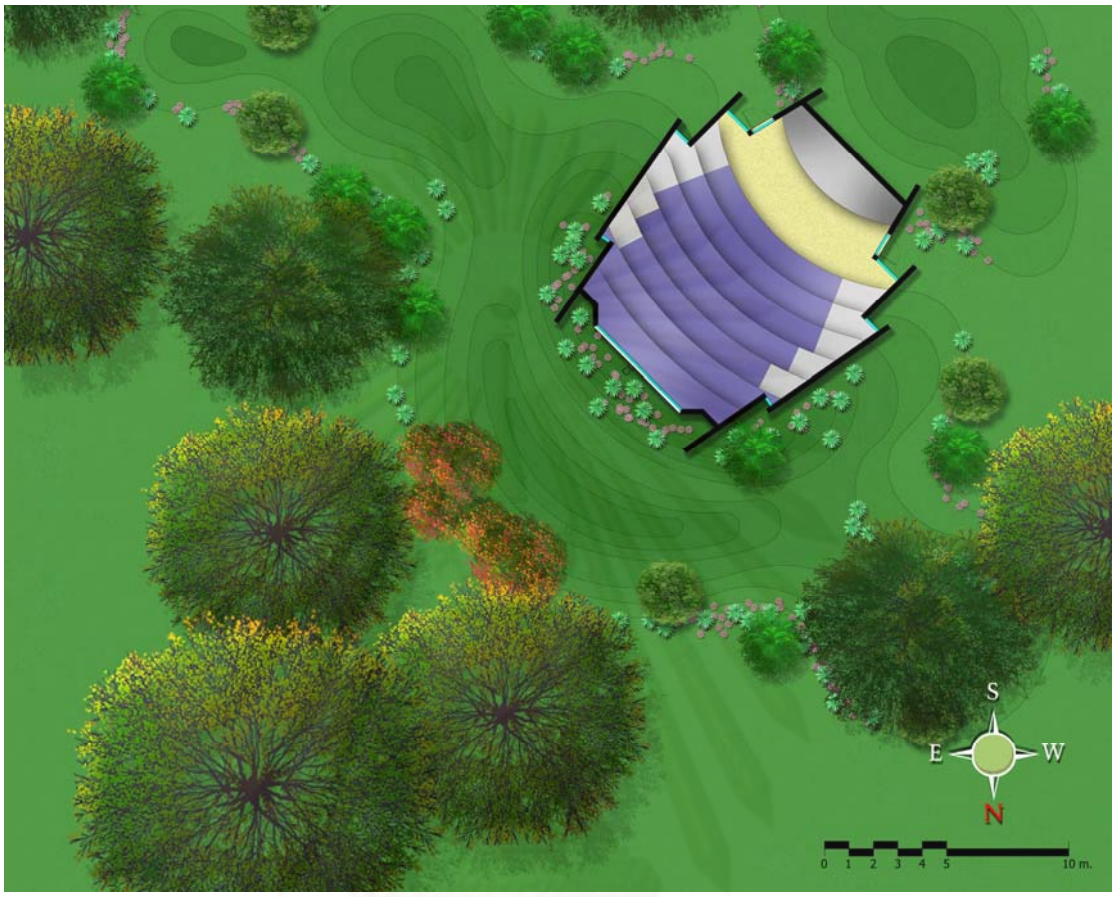
4.3.2.3 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการมองเห็น

- ควบคุมการสะท้อนแสงบริเวณหน้าจอและกระดานไม่ให้เกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น (reflected glare)
- ควบคุมระดับความสว่างในมุมมองไม่ให้เกิดความเปรียบต่างมากเกินไป เช่นมุมมองที่เห็นภูมิทัศศน์ภายนอกผ่านหน้าต่าง เลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสงที่เหมาะสมและจัดภูมิทัศน์ภายนอกให้เห็นหญ้าและต้นไม้ ที่มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 0.06 เป็นส่วนใหญ่

4.3.2.4 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการได้ยิน

- ใช้เนินดินในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อม
- เลือกใช้วัสดุพื้นผิวภายในให้มีส่วนที่สะท้อนเสียงและดูดซับเสียงอย่างเหมาะสม หมายถึงพื้นผิวด้านหน้าห้องเป็นวัสดุสะท้อนเสียงเพื่อสะท้อนเสียงของผู้สอนไปยังผู้เรียน ส่วนพื้นที่หลังห้องใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อปรุงแต่งให้ห้องเรียนมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่เหมาะสม

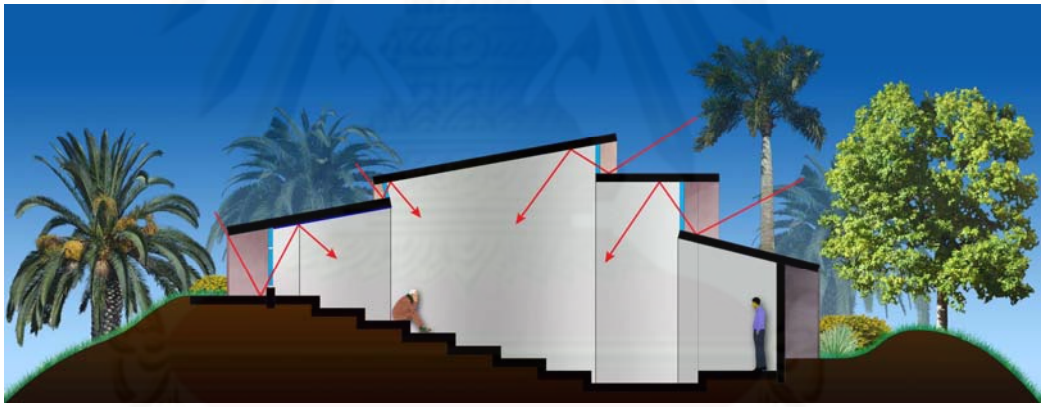
ภาพที่ 4-10 **แสดงบรรยากาศภายนอกห้องเรียนกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า**



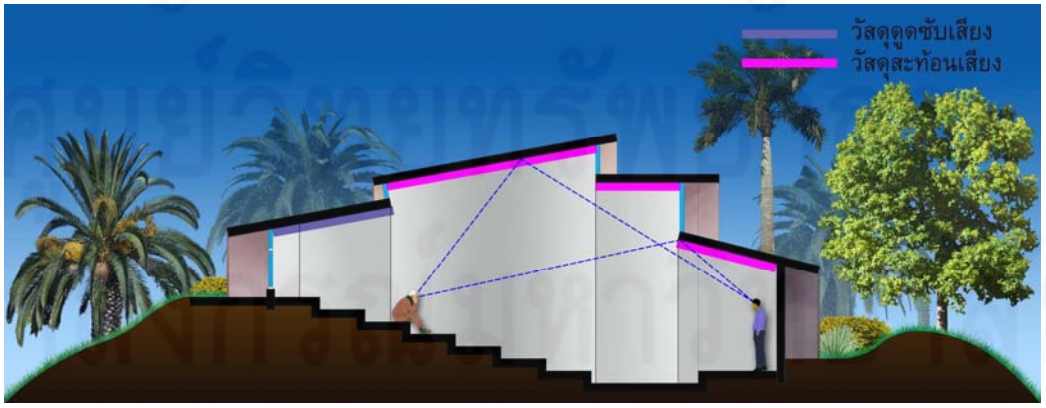
ภาพที่ 4-11 แสดงผังบริเวณ กรณีศึกษา 2

ภาพที่ 4-12 แสดงรูปด้าน 1 กรณีศึกษา 2

ภาพที่ 4-13 แสดงรูปด้าน 2 กรณีศึกษา 2



ภาพที่ 4-14 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 2 แสดงการให้แสงธรรมชาติภายในห้อง



ภาพที่ 4-15 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 2 แสดงการสะท้อนและดูดซับเสียงภายในห้อง

4.3.3 ผลกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ

โรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมตั้งอยู่ในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบทางเสียงจากสนามบินนานาชาติสุวรรณภูมิ เนื่องจากตั้งอยู่ในแนวเครื่องบินขึ้นและลง จากการสำรวจพบว่าขณะที่มีเครื่องบิงขึ้นหรือลงบริเวณโรงเรียนจะมีระดับเสียงรบกวนประมาณ 85-90 dBA ประกอบกับลักษณะของห้องเรียนในโรงเรียนพูลเจริญฯมีลักษณะการเปิดประตูหน้าต่างเพื่อระบายอากาศด้วยระบบธรรมชาติ ปัญหาเรื่องเสียงจึงเป็นอุปสรรคที่สำคัญสำหรับการเรียนรู้ในกรณีศึกษา 3 นี้

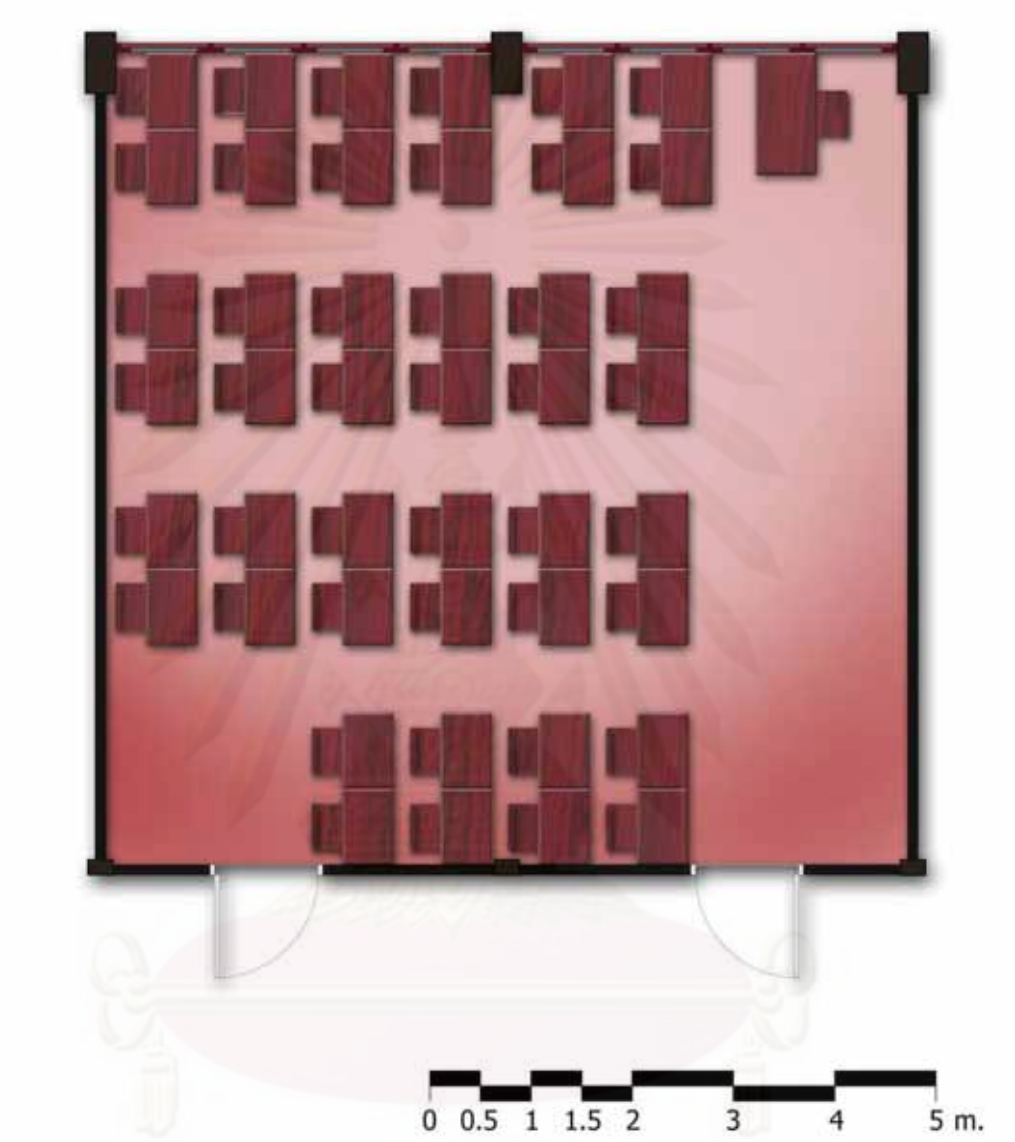
ก่อนการปรับปรุงห้องเรียนกรณีศึกษา 3 การแก้ปัญหาของห้องเรียนคือการใช้เครื่องขยายเสียง เพื่อให้เสียงที่ครูพูดมีระดับความดังกว่าเสียงเครื่องบินทำให้ภายในห้องเรียนมีระดับเสียงที่สูงมาก จากตารางที่ 1-1 (ดูรายละเอียดในบทที่ 1) พบว่าหากได้รับเสียงที่ดังเกิน 90 dBA ติดต่อกันเกิน 8 ชั่วโมงต่อวันจะทำให้เกิดอันตรายต่อประสาทสัมผัสด้านการได้ยิน

แนวทางการแก้ปัญหาเดิมที่เคยเสนอคือ การให้ทุนสนับสนุนการแก้ไขปัญหาด้วยการปิดประตูและหน้าต่างห้องเรียนเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากเครื่องบิน และติดตั้งเครื่องปรับอากาศแทนการเปิดหน้าต่างระบายอากาศด้วยระบบธรรมชาติ แต่ทุนอุดหนุนที่ให้ไม่ได้ให้ต่อเนื่องถึงค่าดูแลรักษาและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการติดตั้งระบบปรับอากาศ โรงเรียนตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวคิดการแก้ปัญหาด้านสภาพแวดล้อมของการเรียนรู้ที่เป็นลักษณะประสานระบบและเป็นระบบที่ยั่งยืน

แนวทางการปรับปรุงห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ จึงเริ่มต้นด้วยการแก้ปัญหาที่สาเหตุแบบประสานระบบด้วยการแก้ไขปัญหาคุณภาพของเปลือกอาคาร และติดตั้งระบบปรับอากาศที่จะไม่เป็นภาระต่อไปในอนาคต เริ่มต้นด้วยการป้องกันเสียงพร้อมกับการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร ด้วยการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ซ้อนกันติดตั้งฉนวนโฟมหนา 4 นิ้วโดยรอบอาคาร ส่วนพื้นอาคารที่มีลักษณะใต้ถุนโล่งติดตั้งฉนวนใยแก้ว เปลี่ยนหน้าต่างโดยรอบอาคารด้วยกระจกและกรอบที่มีคุณภาพด้านการประหยัดพลังงานและการป้องกันเสียงที่ดี กล่าวคือเป็นกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนต่ำ มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ แต่มีค่าการส่งผ่านของแสงที่ตามองเห็นสูง และสามารถป้องกันรังสียูวีกับรังสีอินฟราเรดได้

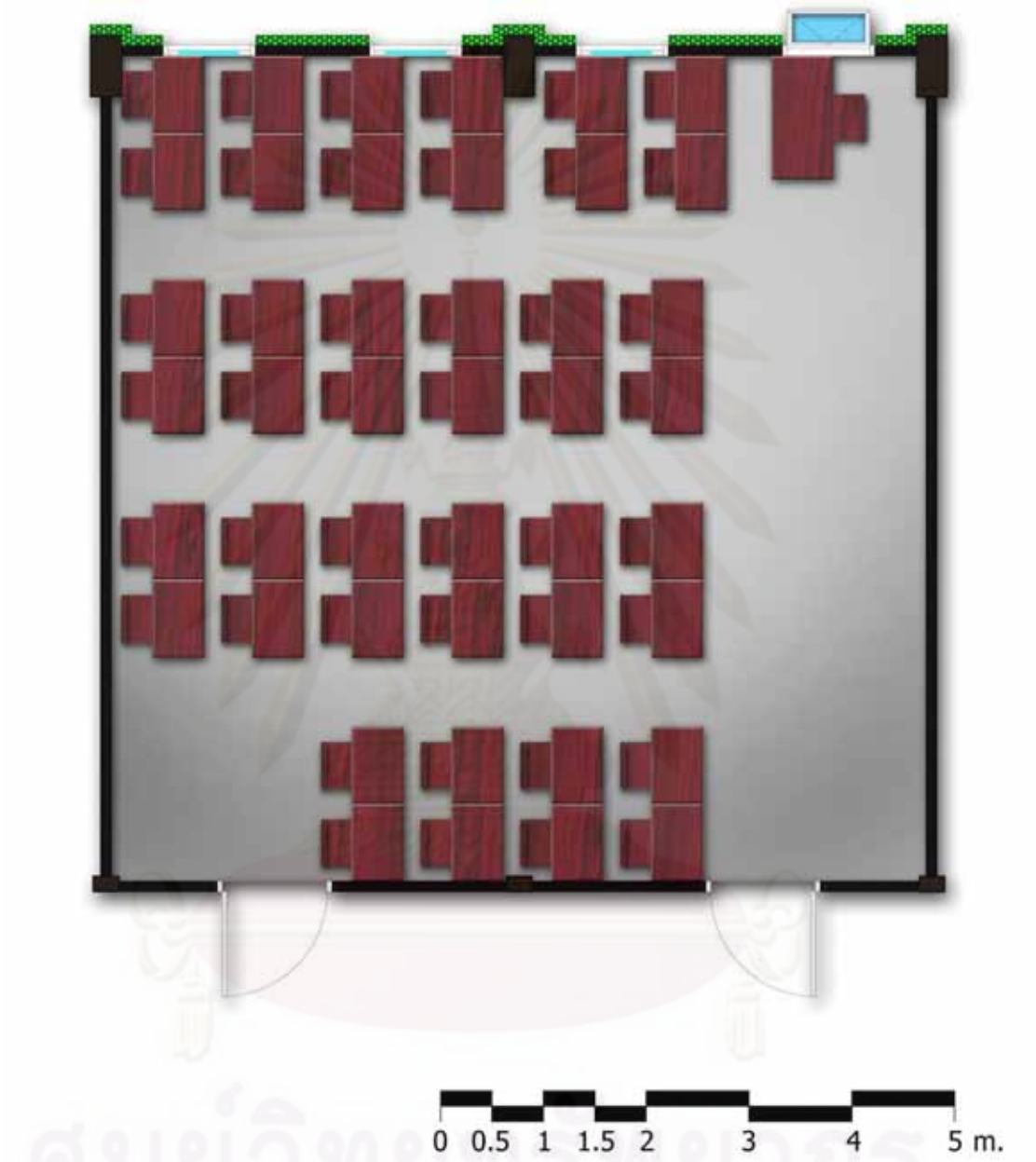
ภาพที่ 4-16 แสดงกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง

ภาพที่ 4-17 แสดงกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว



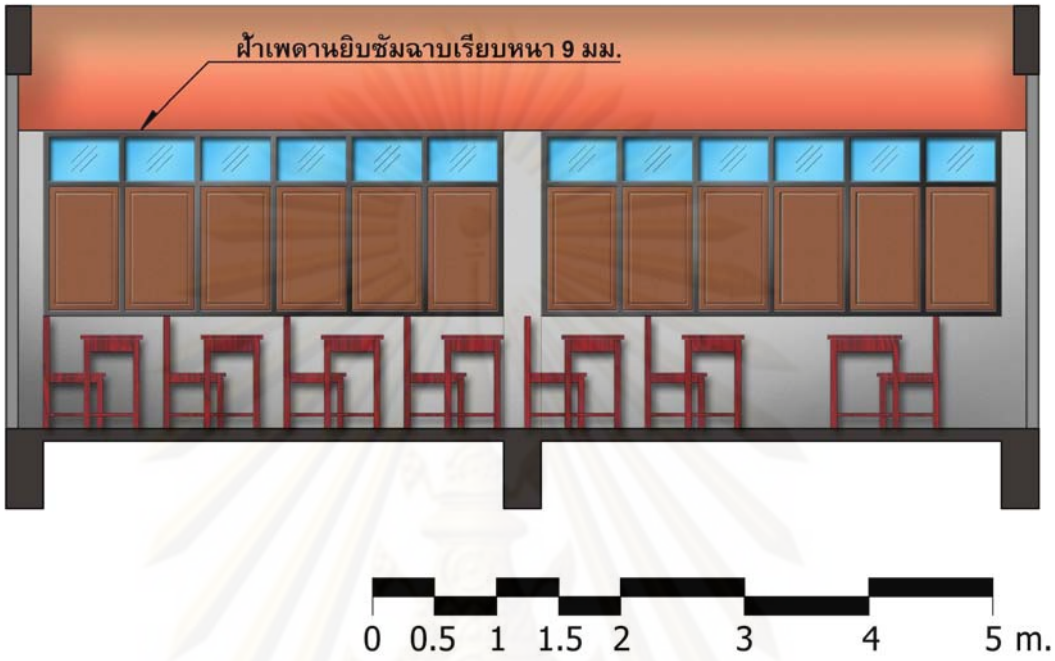
ภาพที่ 4-18 **แสดงผังพื้น กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง**

ผลจากการแก้ปัญหาที่สาเหตุนี้คือ สามารถป้องกันเสียงรบกวนจากเครื่องบิน รวมถึงยังสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ห้องเรียน ทำให้ภาระการทำความเย็นในแต่ละห้องมีปริมาณน้อย การติดตั้งระบบปรับอากาศจึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งขนาดใหญ่ นอกจากจะเป็นการประหยัดค่าระบบปรับอากาศ ค่าพลังงานที่ต้องใช้แล้ว ขนาดของพัดลมในระบบปรับอากาศก็ลดลงเป็นผลให้เสียงรบกวนภายในจากพัดลมของระบบปรับอากาศลดลงเช่นกัน

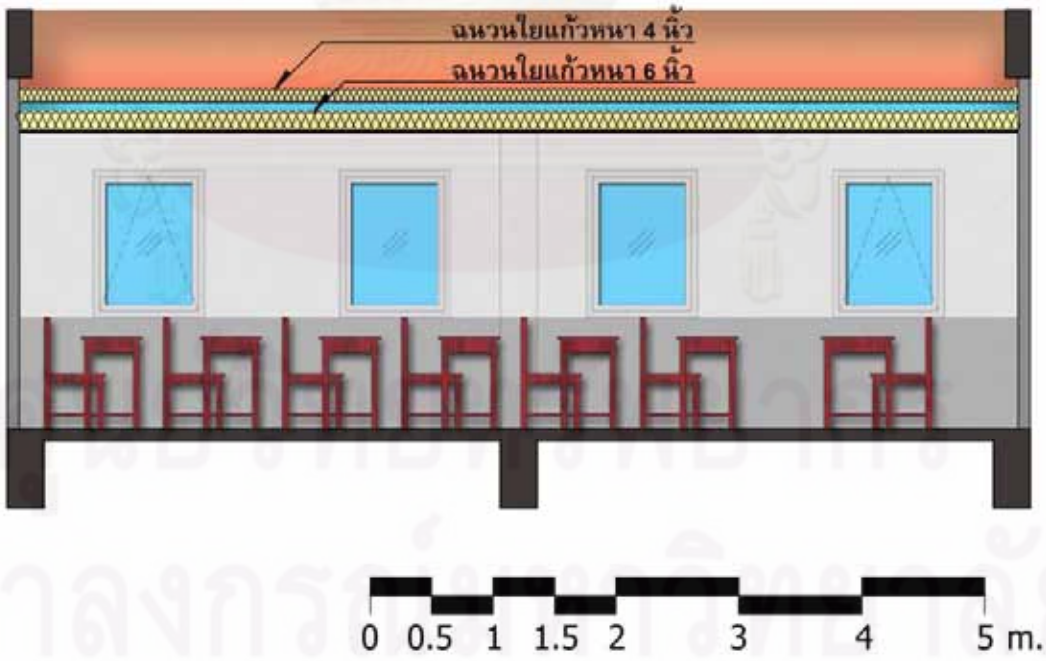


ภาพที่ 4-19 แสดงผังพื้น กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว

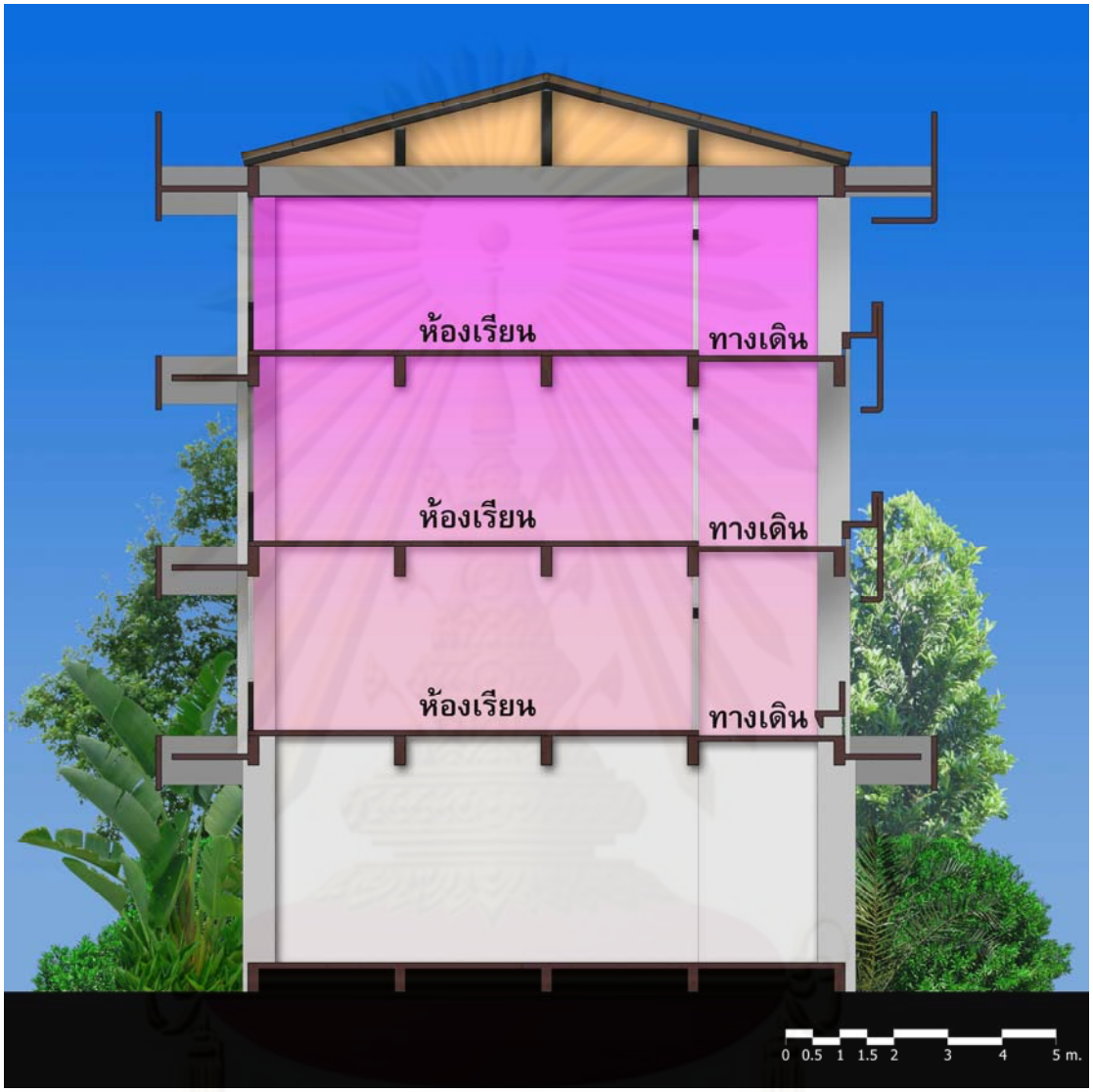
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-20 แสดงรูปด้านภายในด้านหน้าต่าง กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง

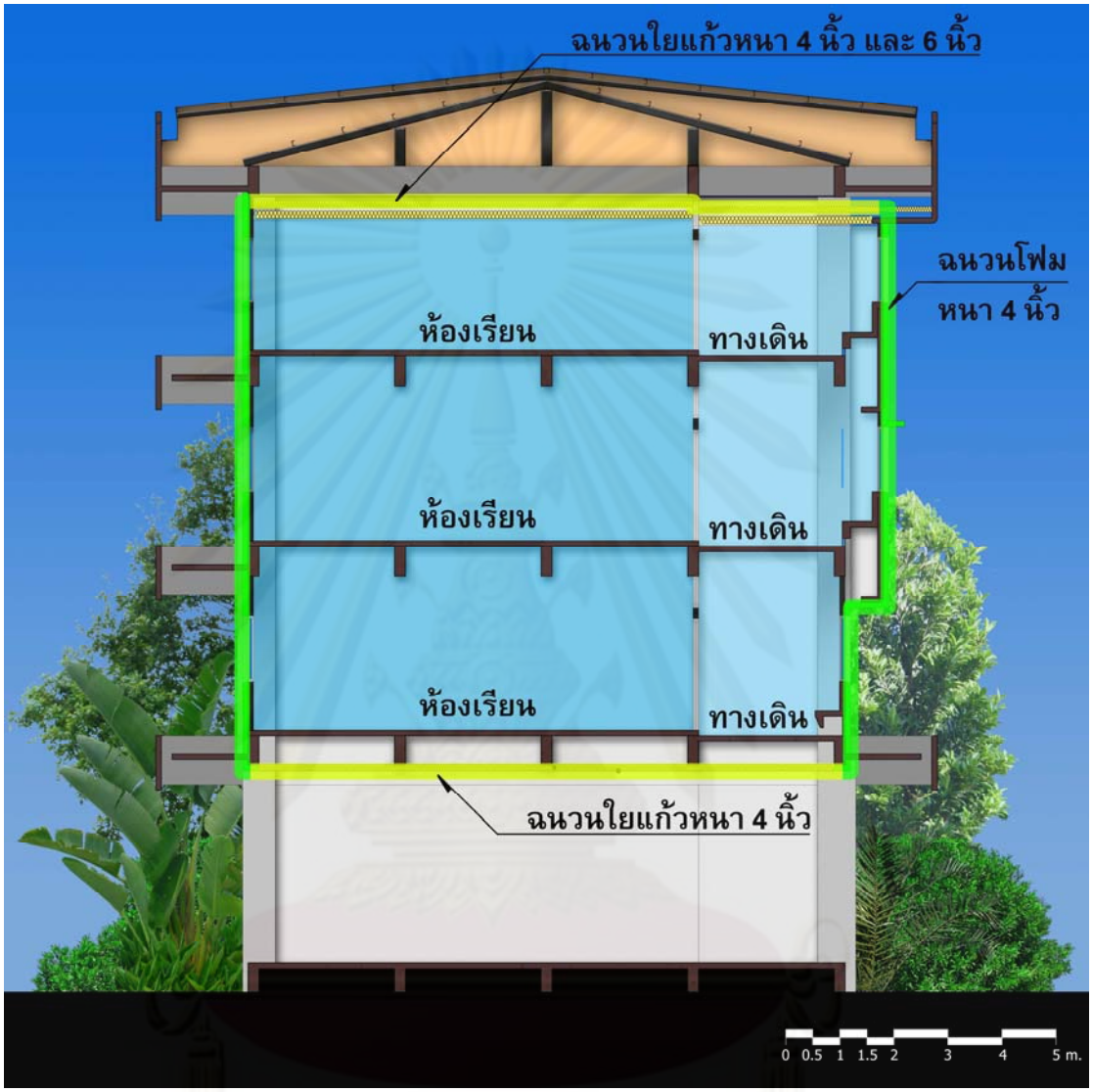


ภาพที่ 4-21 แสดงรูปด้านภายในด้านหน้าต่าง กรณีศึกษา 3 ห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว



ภาพที่ 4-22 แสดงรูปตัดอาคาร กรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-23 แสดงรูปตัดอาคาร กรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสบายด้านแสงสว่างและความสบายด้านการมองเห็น การออกแบบช่องแสงของห้องเรียนนี้มีข้อจำกัด คือลักษณะของช่องแสงเป็นช่องแสงด้านข้างซึ่งต้องยอมรับว่ามีศักยภาพของการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนค่อนข้างต่ำ และมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของช่องแสงเพราะพื้นที่ของช่องแสงนอกจากจะเป็นพื้นที่ที่นำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในห้องซึ่งถือว่าเป็นใช้พลังงานจากธรรมชาติ แต่พื้นที่นี้ยังเป็นพื้นที่ที่รับพลังงานความร้อนจากภายนอกที่สูงเมื่อเทียบกับผนังทึบ หรือเรียกว่าพื้นที่ช่องแสงเป็นตัวแปรที่ทำให้ต้องสูญเสียพลังงานในการกำจัดความร้อน ดังนั้นการออกแบบช่องหน้าต่างจึงออกแบบให้มีขนาดที่เล็กที่สุดแต่ไม่สูญเสียศักยภาพของการนำแสงธรรมชาติมาใช้เมื่อเทียบกับห้องเรียนก่อนการปรับปรุง การเลือกสีสันภายในห้องเลือกใช้สีสว่างที่มีค่าการสะท้อนแสงมาก เพื่อให้มีระดับแสงสว่างภายในห้องสูงและทำให้รู้สึกสว่างเพิ่มขึ้น

ความสบายด้านการได้ยินจากการปรับปรุงเปลือกอาคารโดยรอบและปิดประตูหน้าต่างแล้วพบว่าสามารถแก้ปัญหาเรื่องเสียงรบกวนจากภายนอกได้ แต่เนื่องจากพื้นผิววัสดุภายในห้องส่วนใหญ่เป็นวัสดุสะท้อนเสียง เมื่อปิดประตูและหน้าต่างจะทำให้ค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์สูงขึ้น เกิดปัญหาเสียงก้องอึกทึกภายในห้อง กรณีก่อนการปรับปรุงไม่มีปัญหานี้เนื่องจากช่องประตูและหน้าต่างที่เปิดเพื่อระบายอากาศด้วยระบบธรรมชาติ จะทำหน้าที่เสมือนพื้นที่ดูดซับเสียงทั้งหมด เพราะเมื่อเสียงเดินทางไปถึงช่องประตูหน้าต่างที่เปิดอยู่เสียงจะเดินทางทะลุออกไปโดยไม่สะท้อนกลับเข้ามาในห้องอีก การแก้ไขปัญหานี้ทำโดยการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงซึ่งทำจากฉนวนใยแก้วหุ้มด้วยผ้าที่มีสีสันสวยงาม ติดตั้งบนฝ้าเพดานบริเวณหลังห้องเพื่อดูดซับเสียง ส่วนในบริเวณหน้าห้องเว้นพื้นที่ไว้เป็นพื้นที่สำหรับการสะท้อนเสียงจากครูสู่นักเรียน

การใช้พื้นที่ระเบียงทางเดินหน้าห้องร่วมกันในกรณีศึกษานี้ใช้เป็นพื้นที่สำหรับปรับสภาพความพร้อมของร่างกายก่อนเข้าห้องเรียน ทั้งทางความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ความสบายด้านแสงสว่าง ความสบายด้านการมองเห็น และความสบายด้านการได้ยิน

4.3.3.1 ผลการสำรวจความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวกรณีศึกษาที่ 3

ตารางที่ 4-19 แสดงผลการสำรวจด้านความรู้สึกร้อนหนาวกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ

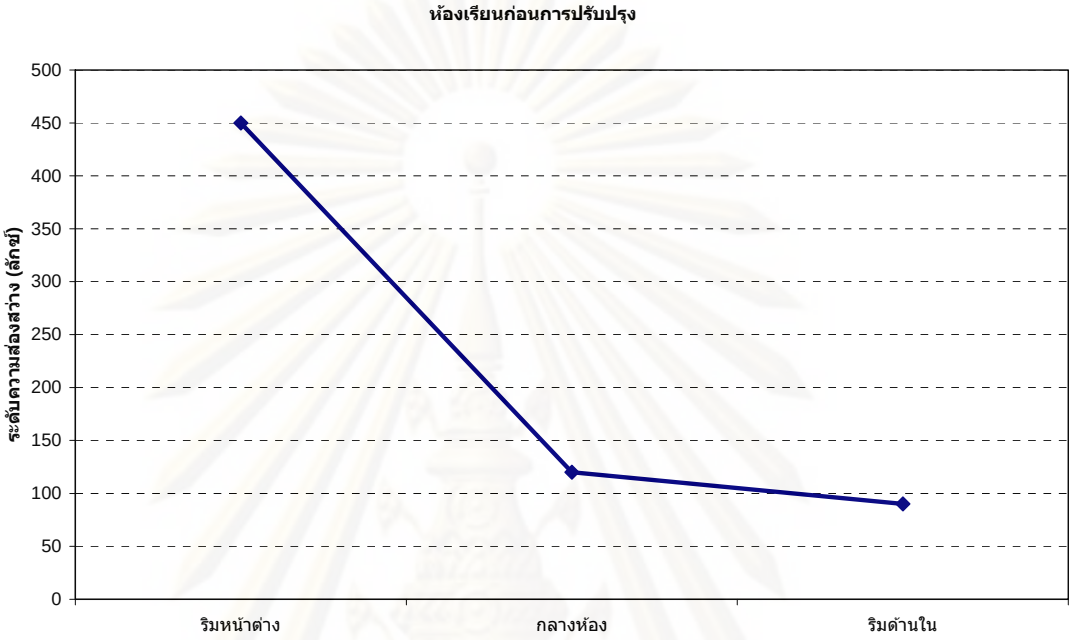
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
อุณหภูมิอากาศ (^{O}C)	32.5	25 (ปรับอากาศ)
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	54	50 (ปรับอากาศ)
อุณหภูมิเฉลี่ยวผิวโดยรอบ (^{O}C)	35.24-35.61	-

ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่าความรู้สึกพึงพอใจกับสภาพความรู้สึกร้อนหนาวในห้อง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่พอใจมากและ 7 หมายถึงพอใจมาก ก่อนปรับปรุงกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.95 และเมื่อปรับปรุงแล้วให้คะแนนเท่ากับ 4.92

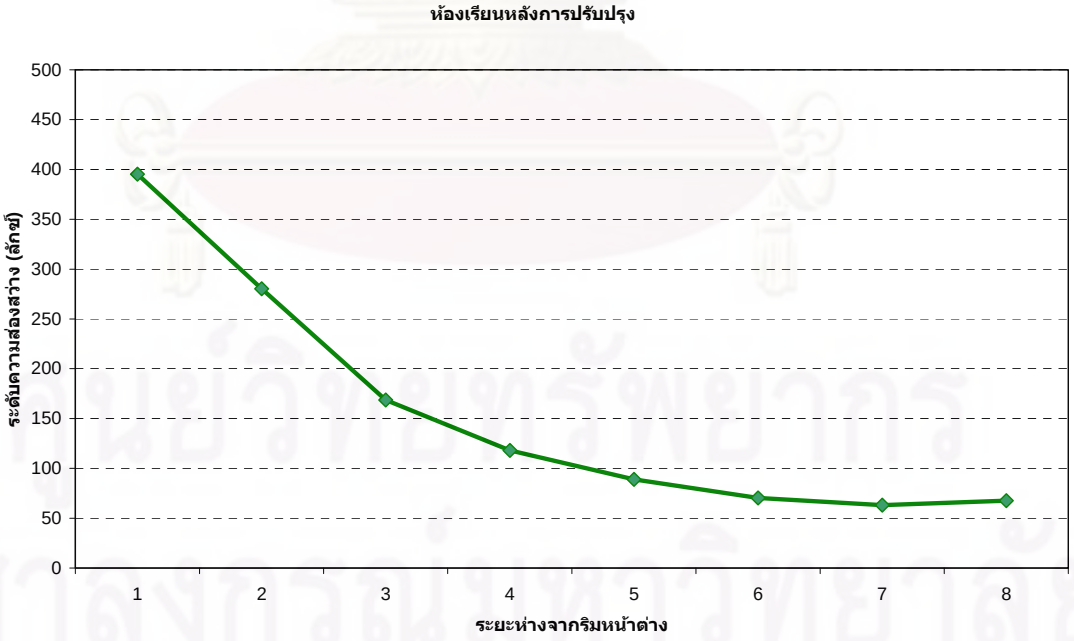
และเมื่อสอบถามเกี่ยวกับความรู้สึกร้อนหนาวในห้อง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงร้อนเกินไปและ 7 หมายถึงหนาวเกินไป ก่อนปรับปรุงกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.12 และเมื่อปรับปรุงแล้วให้คะแนนเท่ากับ 4.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3.2 ผลการสำรวจความสบายด้านแสงสว่างกรณีศึกษาที่ 3



แผนภูมิที่ 4-18 แสดงระดับแสงสว่างภายในกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ ก่อนปรับปรุง



แผนภูมิที่ 4-19 แสดงระดับแสงสว่างภายในกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ เมื่อปรับปรุงแล้ว

ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่าความรู้สึกระดับแสงสว่างภายในห้องสว่างภายในห้อง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงมืดมากเกินไปและ 7 หมายถึงสว่างมากเกินไปก่อนปรับปรุงกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 และเมื่อปรับปรุงแล้วให้คะแนนเท่ากับ 4.32

4.3.3.3 ผลการสำรวจความสบายด้านการมองเห็นกรณีศึกษาที่ 3

ตารางที่ 4-20 แสดงผลการสำรวจด้านการมองเห็นกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญ

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ค่าความสว่าง (luminance) ที่กระดานดำ (fL)	3.12	2.40
ค่าความสว่าง (luminance) ที่พื้นที่รอบกระดานดำ (fL)	12.75	8.42

ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่าความรู้สึกสบายตาเมื่อมองไปที่บริเวณเวทีและจอภาพ มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่สบายตาเลย และ 7 หมายถึงสบายตามาก ก่อนปรับปรุงกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.57 และเมื่อปรับปรุงแล้วให้คะแนนเท่ากับ 3.74

และเมื่อสอบถามความชัดเจนในการมองภาพบนจอภาพและผู้บรรยาย มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่ชัดเจนเลยและ 7 หมายถึงชัดเจนมาก ก่อนปรับปรุงกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.02 และเมื่อปรับปรุงแล้วให้คะแนนเท่ากับ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4-24 **แสดงการเกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น** (reflected glare) **ที่กระดานขาวในกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ หลังปรับปรุง**

4.3.3.4 ผลการสำรวจความสบายด้านการได้ยินกรณีศึกษาที่ 3

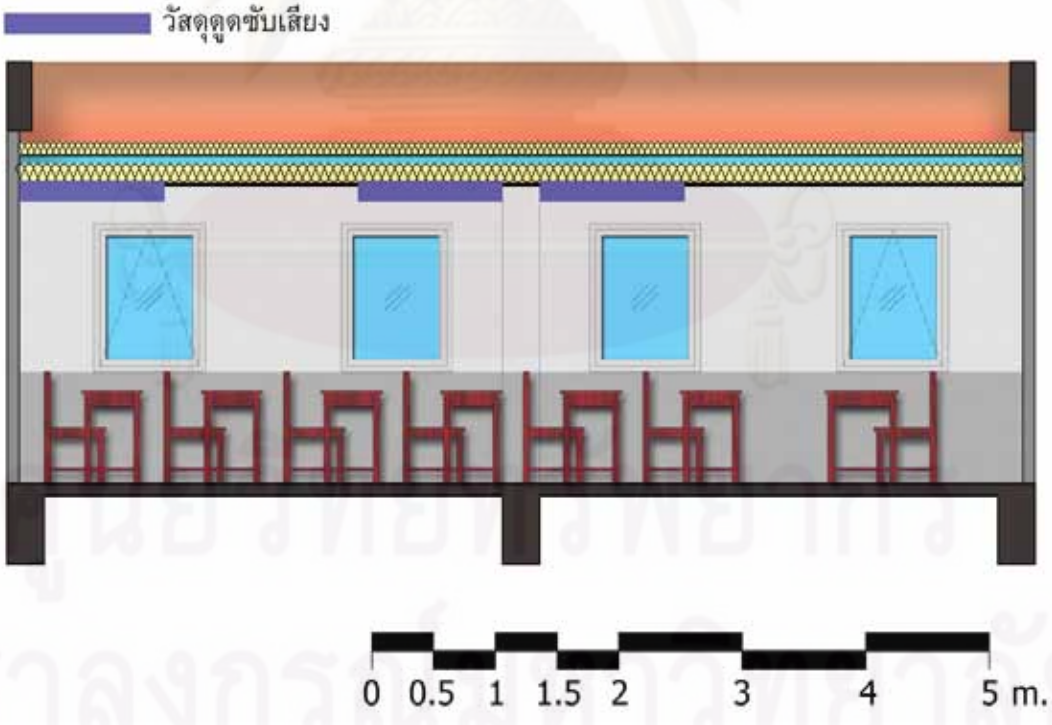
ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่าความรู้สึกว่าระดับความดังของเสียงภายในห้อง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงเงียบมากเกินไปเลยและ 7 หมายถึงดังมากเกินไป ก่อนปรับปรุงกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.32 และเมื่อปรับปรุงแล้วให้คะแนนเท่ากับ 4.16

เมื่อสอบถามความชัดเจนในการฟังบรรยายในห้อง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่ชัดเจนเลยและ 7 หมายถึงชัดเจนมากก่อนปรับปรุงกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.91 และเมื่อปรับปรุงแล้วให้คะแนนเท่ากับ 5.32

และเมื่อสอบถามความก้องของเสียงบรรยายในห้อง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่มีเสียงกังวานจนเกินไปและ 7 หมายถึงเสียงก้องมากเกินไป ก่อนปรับปรุงกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 และเมื่อปรับปรุงแล้วให้คะแนนเท่ากับ 5.06

ตารางที่ 4-21 แสดงผลการสำรวจด้านการได้ยินกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญ

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
Background noise (dBA) (ไม่มีเครื่องบินบินผ่าน)	65-70	55-58
Background noise (dBA) (มีเครื่องบินบินผ่าน)	78-82	65-70
รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (วินาที)	0.33-0.52	0.76



ภาพที่ 4-25 แสดงรูปตัด กรณีศึกษา 3 แสดงการสะท้อนและดูดซับเสียงภายในห้อง

4.4 ผลการออกแบบ ก่อสร้าง ประเมินผลห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

การออกแบบและสร้างห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเป็นขั้นตอนพิสูจน์การประยุกต์ใช้ระบบธรรมชาติในการสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงที่มีความจุประมาณ 300 คนมีพื้นที่ประมาณ 600 ตารางเมตร ในการวิจัยนี้เน้นคุณภาพห้องเรียนที่เกี่ยวกับความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ความสบายด้านแสงสว่าง ความสบายด้านการมองเห็น และความสบายด้านการได้ยิน เพื่อสร้างห้องเรียนให้มีคุณภาพทั้ง 4 กลุ่มตัวแปรดังกล่าว การเลือกสถานที่ตั้งห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบจึงเป็นเรื่องสำคัญ เพราะจากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษาพบข้อจำกัดของที่ตั้งห้องเรียนที่ไม่สามารถสร้างสรรค์คุณภาพได้ตามความต้องการที่ได้ผลจากการศึกษาตัวแปรกายภาพและตัวแปรกิจกรรมในขั้นตอนที่ 1 และ 2

ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบจึงเลือกสถานที่ก่อสร้างในบริเวณ ดี เอ็น เอ รีสอร์ท เขาใหญ่ ที่มีความสมบูรณ์ของธรรมชาติและมีศักยภาพในการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมโดยรอบได้ และสถานที่ตั้งนี้ยังมีระดับสูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 300 เมตร ทำให้สามารถใช้ข้อได้เปรียบในเรื่องระดับความสูงของที่ตั้ง นอกจากนี้สถานที่ตั้งยังอยู่ใกล้กับบริเวณอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ที่มีลักษณะเป็นผืนป่าดงดิบขนาดใหญ่ที่มีความสมบูรณ์

ลักษณะที่ตั้งของห้องเรียนทางด้านหน้าของที่ดินหรือทางทิศใต้ของห้องเรียนมีลักษณะเป็นที่ราบมีความลาดชันเล็กน้อย ด้านหลังของที่ดินหรือทางทิศเหนือของห้องเรียนมีลักษณะเป็นภูเขาที่มีความลาดชันสูงซึ่งเป็นลักษณะพิเศษอีกอย่างหนึ่งของสถานที่ สามารถใช้ประโยชน์จากการไหลของอากาศเย็นลงจากภูเขาในเวลากลางคืน ประกอบกับบริเวณที่ตั้งของห้องเรียนมีลักษณะเป็นบ่อดินจึงมีลักษณะเป็นพื้นที่กักเก็บความเย็น

4.4.1 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว

- ป้องกันความร้อนจากภายนอก โดยการเลือกใช้หลังคาโฟมหนา 0.25 เมตร ที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบาสามารถใช้เป็นโครงสร้างหลังคาได้
- นำความเย็นจากสภาพแวดล้อม ปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อให้อุณหภูมิดินโดยรอบห้องเรียนธรรมชาติมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลากลางวัน เพื่อดูดซับความร้อนจากผู้ใช้ในเวลากลางวัน สร้างความเย็นจากการระเหย

ของน้ำทางด้านทิศเหนือของอาคาร และนำความเย็นจากการระเหยของน้ำมาใช้โดยไม่นำความชื้นเข้าสู่อาคาร

- สร้างความรู้สึกเสมือนเย็นลง ด้วยความเร็วลม และอิทธิพลของการแผ่รังสีจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ผิวโดยรอบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศ

4.4.2 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านแสงสว่าง

- การใช้แสงสว่างธรรมชาติจากช่องแสงติดตายด้านข้างที่อยู่ข้างบนเป็นหลัก
- ควบคุมมุมแสงบริเวณหน้าห้องเพื่อป้องกันแสงสว่างที่มากเกินไปบริเวณจอภาพ กรณีมีการฉายภาพ
- สร้างความรู้สึกว่าระดับแสงสว่างเพียงพอโดยเพิ่มพื้นที่ปรับสภาพ (adaptive area) เพื่อเพิ่มเวลาในการปรับสายตาของผู้ใช้ห้อง

4.4.3 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการมองเห็น

- ควบคุมการสะท้อนแสงบริเวณหน้าจอและกระดานไม่ให้เกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น (reflected glare)
- ควบคุมระดับความสว่างในมุมมองไม่ให้เกิดความเปรียบต่างมากเกินไป เช่น มุมมองที่เห็นภูมิทัศน์ภายนอกผ่านหน้าต่าง เลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสงที่เหมาะสมและจัดภูมิทัศน์ภายนอกให้เห็นหญ้าและต้นไม้ ที่มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 0.06 เป็นส่วนใหญ่
- ตกแต่งภายในด้วยการใช้ต้นไม้ที่มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 0.06 และวัสดุธรรมชาติอื่นๆ เพื่อให้การสะท้อนแสงภายในห้องมีความนุ่มนวล

4.4.4 เทคนิคการออกแบบเพื่อสร้างความสบายด้านการได้ยิน

- ใช้การขุดอยู่ในดินในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อม และมีพื้นที่ปรับสภาพ (adaptive area) เพื่อกันเสียงรบกวนจากภายนอกผ่านช่องประตูห้อง
- เลือกใช้วัสดุพื้นผิวภายในให้มีส่วนที่สะท้อนเสียงและดูดซับเสียงอย่างเหมาะสม หมายถึงพื้นผิวด้านหน้าห้องเป็นวัสดุสะท้อนเสียงเพื่อสะท้อนเสียงของผู้สอนไปยังผู้เรียน ส่วนพื้นที่หลังห้องใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อปรุงแต่งให้ห้องเรียนมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่เหมาะสม

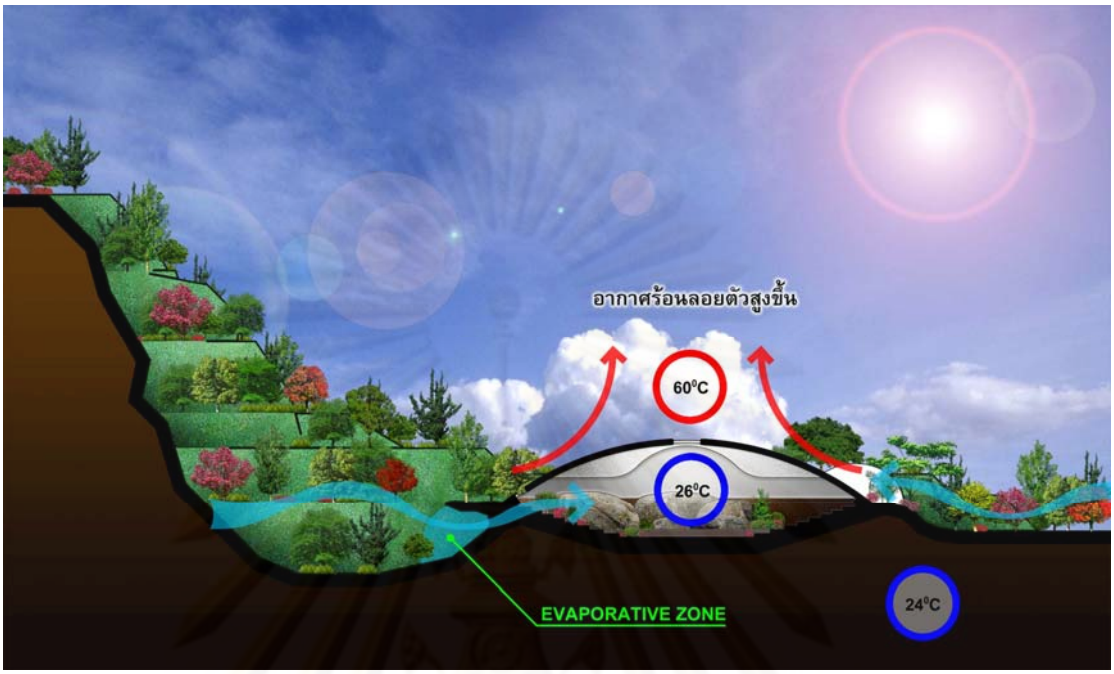
ภาพที่ 4-26 แสดงบรรยากาศภายนอกห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบก่อนปรุงแต่งทางเข้าภายนอก

ภาพที่ 4-27 แสดงบรรยากาศภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบก่อนการตกแต่งภายใน

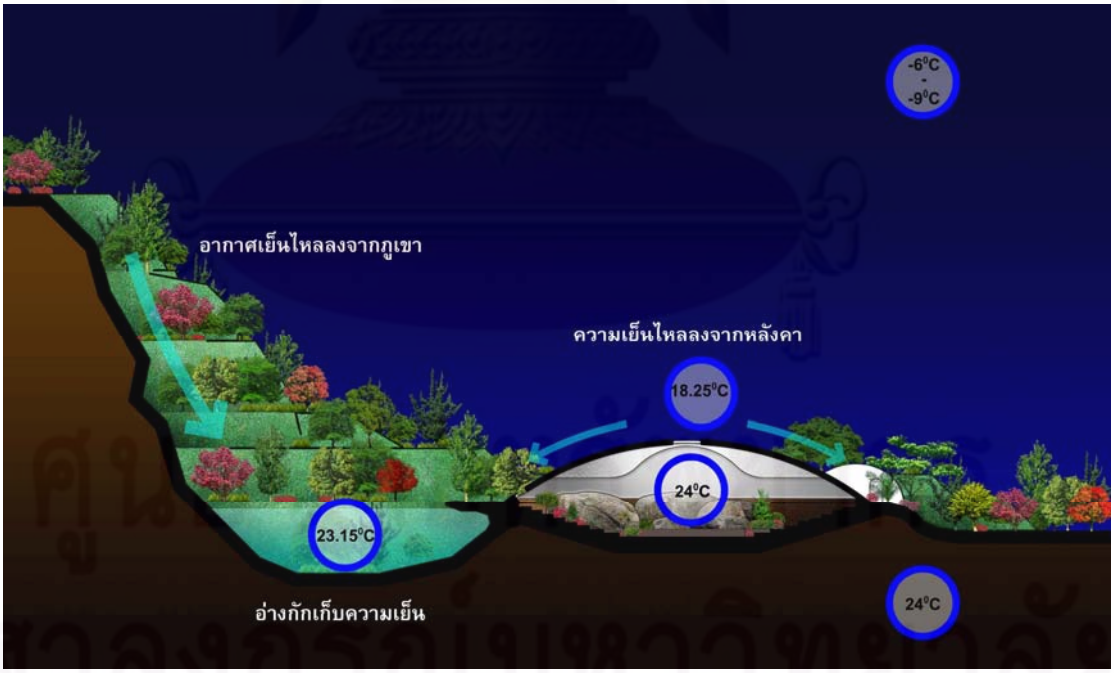
ภาพที่ 4-28 แสดงบรรยากาศภายนอกห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเมื่อมีการปรุงแต่งทางเข้าภายนอก

ภาพที่ 4-29 แสดงบรรยากาศภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเมื่อมีการตกแต่งภายใน

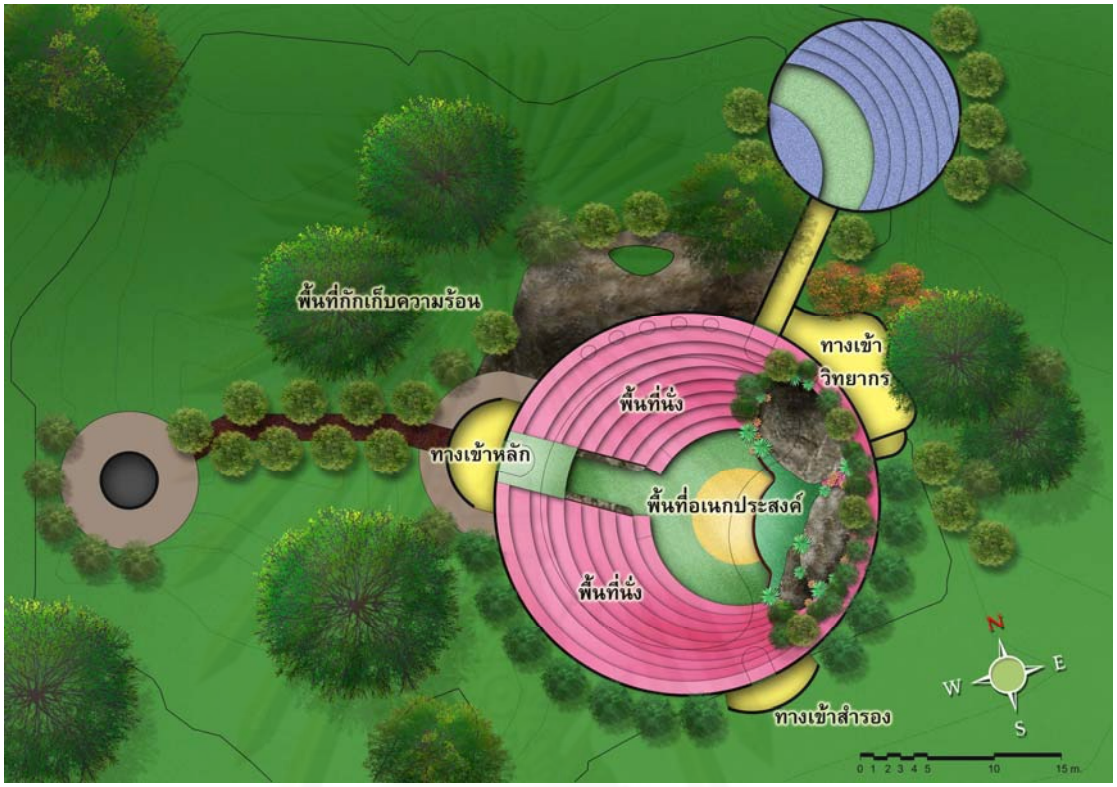
ภาพที่ 4-30 **แสดงผังบริเวณห้องเรียนธรรมชาติ ที่เขาใหญ่**



ภาพที่ 4-31 แสดงในเวลากลางวันผิวโฟมภายนอกมีอุณหภูมิสูงทำให้อากาศลอยตัวสูงขึ้นและเกิดการไหลเวียนของอากาศโดยรอบ ในขณะเดียวกันพื้นที่บริเวณทิศเหนือของห้องเรียนสร้างพื้นที่ทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำมาใช้ในห้องเรียนโดยไม่เอาความชื้นเข้ามา



ภาพที่ 4-32 แสดงในเวลากลางคืนอุณหภูมิท้องฟ้าต่ำทำให้ผิวหลังคาภายนอกที่มีค่าการแผ่รังสีความร้อนกลับ (emissivity) สูงและมวลสารน้อยจะมีอุณหภูมิผิวต่ำ ทำให้อากาศเย็นบนหลังคาไหลมากักเก็บบริเวณรอบห้องเรียน ผสมกับความเย็นที่ไหลลงมาจากภูเขาในเวลากลางคืน

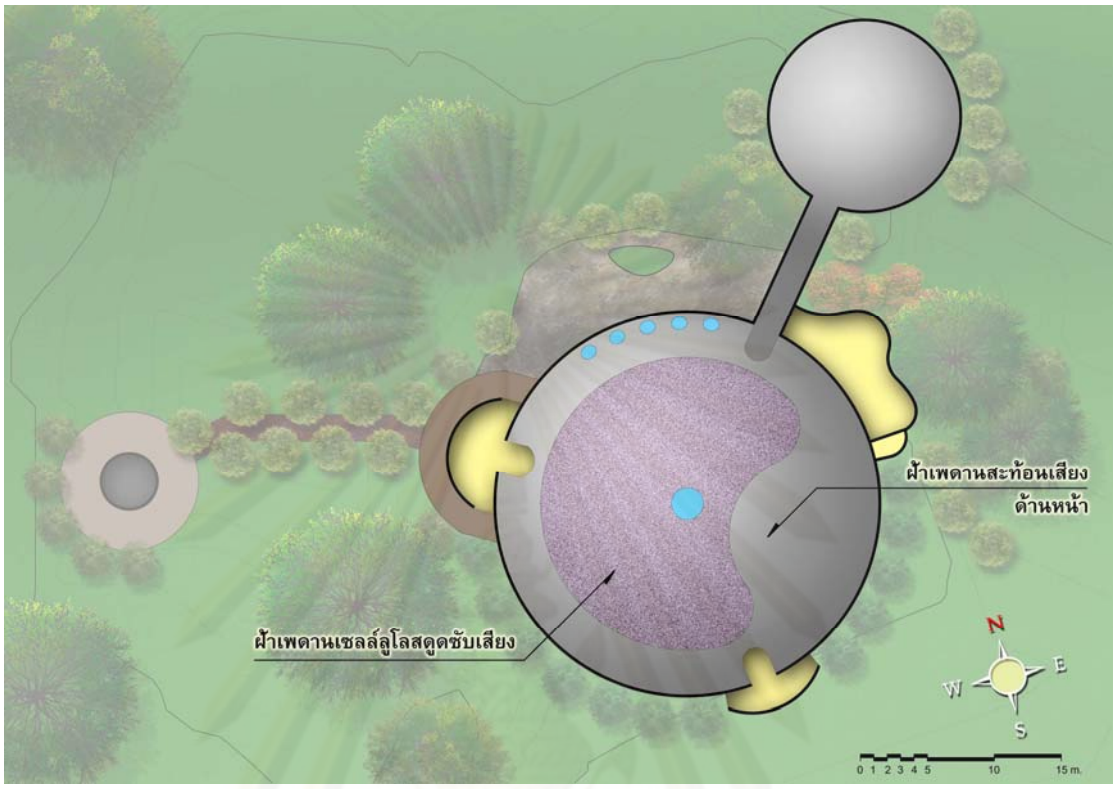


ภาพที่ 4-33 แสดงผังพื้นห้องเรียนธรรมชาติ ที่เขาใหญ่

ลักษณะผังพื้นของห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเป็นรูปทรงกลมจัดพื้นที่นั่งเรียนล้อมรอบพื้นที่อเนกประสงค์ตรงส่วนกลางและหน้าเวที ที่นั่งจัดเป็นขั้นบันไดตามรูปทรงของบ่อดินเดิมที่มีอยู่ จัดให้บริเวณที่นั่งมีมุมมองเห็นเวทีชัดเจนและสบายตา

มีทางเข้าออก 3 ทาง แบ่งเป็นทางเข้าใหญ่อยู่บริเวณหลังห้องสามารถเข้าได้ทั้งจากชั้นบนและชั้นล่าง ทางเข้าที่ 2 สำหรับวิทยากรอยู่ทางซ้ายของเวทีพร้อมมีห้องพักวิทยากรและทางเข้าที่ 3 สำหรับเป็นทางเข้าออกสำรองอยู่ทางด้านขวามือของเวที พื้นที่ทางเข้าทั้ง 3 ทางเข้าออกแบบให้เป็นพื้นที่ปรับสภาพความพร้อมก่อนเข้าห้องเรียน

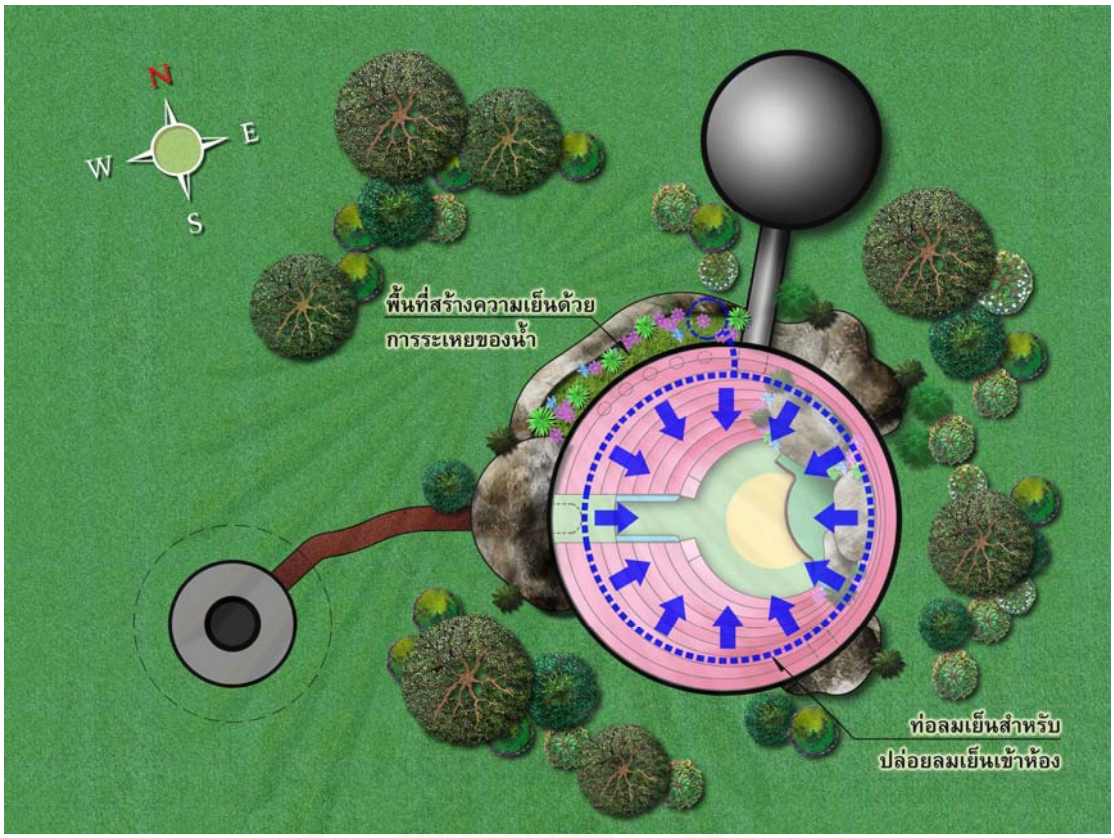
พื้นที่โดยรอบปรับปรุงให้เป็นธรรมชาติที่ร่มรื่นสร้างบรรยากาศที่ดีก่อนเข้าสู่ห้องเรียน



ภาพที่ 4-34 แสดงผังฝ้าเพดานห้องเรียนธรรมชาติ ที่เขาใหญ่

การออกแบบวัสดุฝ้าเพดานเนื่องจากห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบมีปริมาตรสูง ประกอบกับการมีรูปทรงกลม จึงทำให้มีปัญหาเรื่องเสียงก้องกังวาลอึกทึกภายในห้องสูง หรือมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์สูงเกินไป จึงต้องออกแบบวัสดุดูดซับเสียงเพื่อลดค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ด้วยการพ่นเซลลูโลส (cellulose) แต่ตำแหน่งและรูปร่างของวัสดุดูดซับเสียงมีผลต่อการสะท้อนเสียงของผู้บรรยายไปสู่ผู้ฟัง ดังนั้นจึงเกิดรูปร่างของฝ้าเพดานดูดซับเสียงที่โค้งเว้นด้านหน้าให้เป็นพื้นที่สะท้อนเสียงและด้านหลังเป็นพื้นที่ดูดซับเสียง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-35 **แสดงพื้นที่สร้างความเย็นด้วยการระเหยของน้ำและนำความเย็นมาใช้ในห้องโดยไม่เอาความชื้น**

การออกแบบพื้นที่สร้างความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ เพื่อเพิ่มศักยภาพการนำความเย็นจากระบบธรรมชาติมาใช้ในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ โดยไม่นำความชื้นเข้า ด้วยการสร้างพื้นที่ที่ให้เกิดการระเหยของน้ำอยู่ทางทิศเหนือของห้องเรียนซึ่งในเวลากลางวันจะไม่โดนแดดที่พื้นที่บริเวณนี้เมื่อเกิดการระเหยของน้ำจะทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำสูงและใช้พัดลมเพื่อนำอากาศนั้นมาโปรยสร้างความเย็นภายในห้องเรียนธรรมชาติ โดยออกแบบท่อลมให้เป็นวงกลมโดยรอบห้องเรียนเนื่องจากเป็นท่อที่มีความฝืดน้อยที่สุด

4.4.5 ผลการสำรวจความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

การสำรวจความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบใช้การเก็บอุณหภูมิอากาศและความชื้นของอากาศภายในห้องเรียนบริเวณกลางห้องเรียน และเก็บอุณหภูมิอากาศและความชื้นของอากาศภายนอกห้องเรียนข้อมูลเป็นรายชั่วโมง และคำนวณอุณหภูมิเสมือนความรู้สึกเย็นลงด้วยสมการที่ 2 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) โดยกำหนดความเร็วลมเท่ากับ 350 ฟุตต่อนาที หรือ 6.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

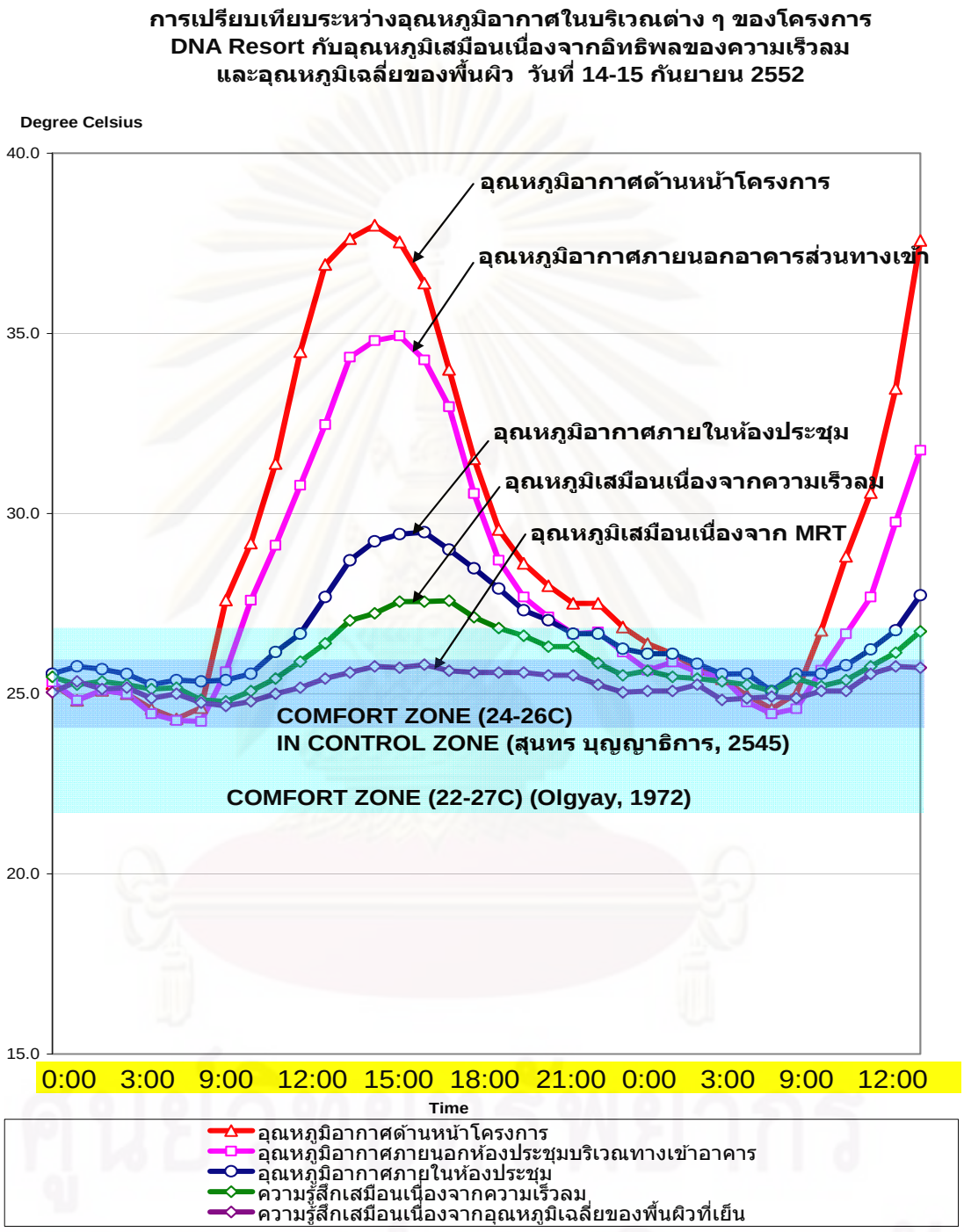
เก็บอุณหภูมิผิวภายในห้องเรียนเป็นรายชั่วโมงและนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวโดยรอบด้วยสมการที่ 17 (ดูรายละเอียดในบทที่ 3) และนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวโดยมาคำนวณอุณหภูมิเสมือนเมื่อได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีโดยรอบจากสมการที่ 18 (ดูรายละเอียดในบทที่ 3)

เกณฑ์ของความสบายใช้เขตสบายเมื่ออุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 22-27 องศาเซลเซียส (Olgyay, 1973)

ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่าความรู้สึกพึงพอใจกับสภาพความรู้สึกร้อนหนาวในห้อง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่พอใจมากและ 7 หมายถึงพอใจมาก กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5.30

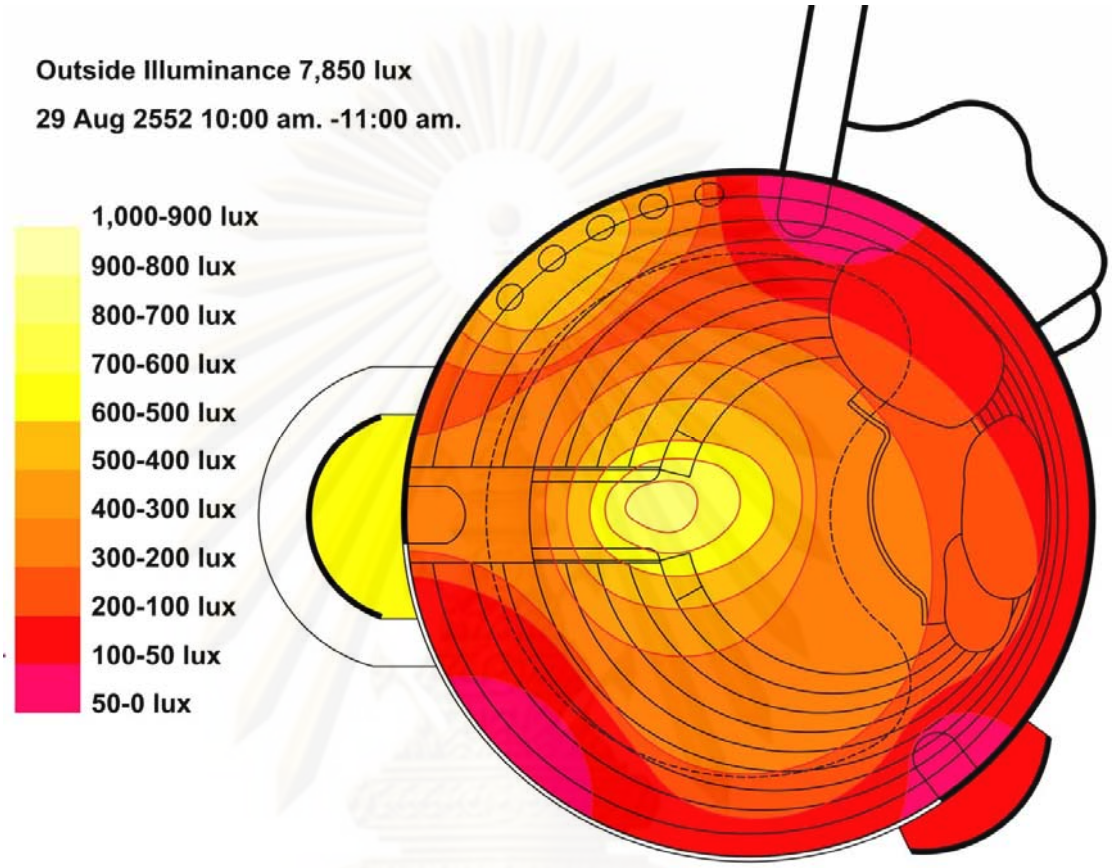
และเมื่อสอบถามเกี่ยวกับความรู้สึกร้อนหนาวในห้อง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงร้อนเกินไปและ 7 หมายถึงหนาวเกินไป กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-20 แสดงอุณหภูมิอากาศด้านหน้าโครงการ อุณหภูมิอากาศบริเวณภายนอกห้องเรียนธรรมชาติ อุณหภูมิอากาศในห้องเรียนธรรมชาติ ความรู้สึกเสมือนเนื่องจากความเร้วลม และความรู้สึกเสมือนเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิผิวโดยรอบในห้องเรียนธรรมชาติ วันที่ 14-15 กันยายน 2552

4.4.6 ผลการสำรวจความสบายด้านแสงสว่างห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ



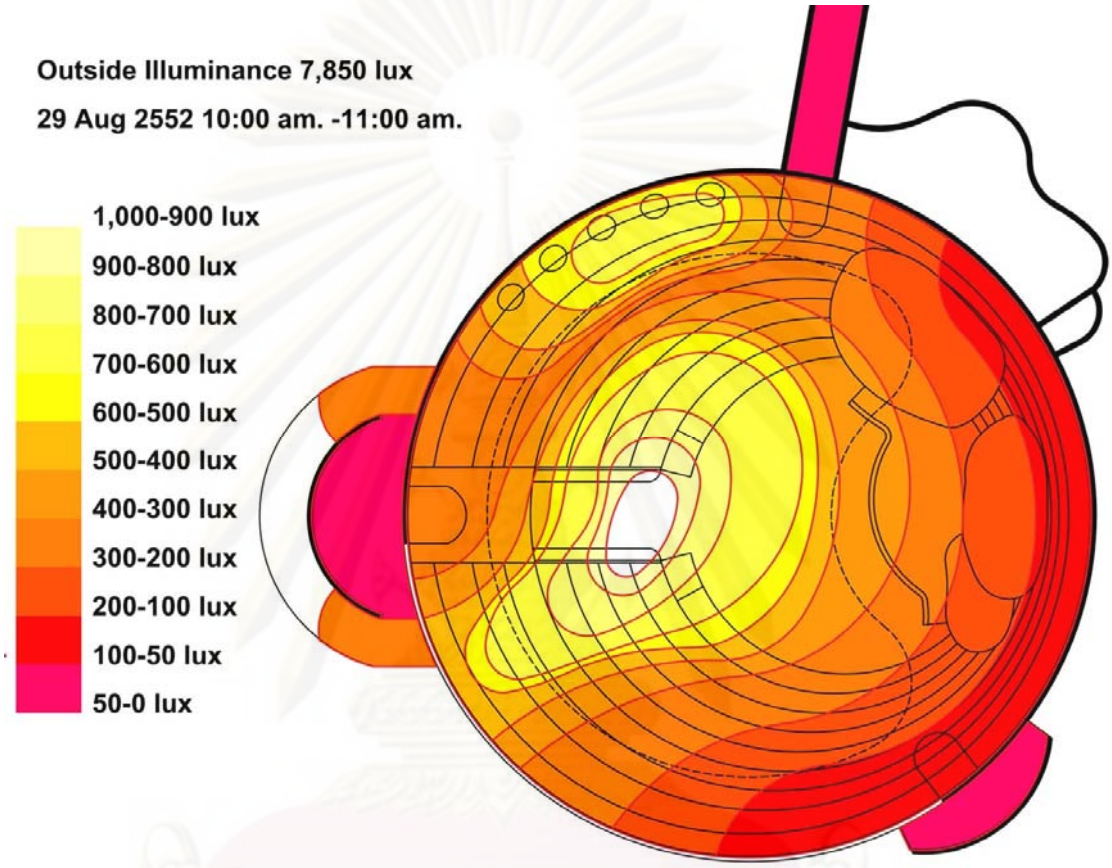
แผนภูมิที่ 4-21 **แสดง** daylight curve **ในห้องเรียนธรรมชาติครั้งที่** 1 **วันที่** 29 **สิงหาคม** 2552 **เวลา** 10:00-11:00**น.**)

ตารางที่ 4-22 **แสดงค่าการสะท้อนแสงของห้องเรียนธรรมชาติต้อนแบบ (วันที่** 29 **สิงหาคม** 2552)

พื้นผิววัสดุ	ค่าการสะท้อนแสง
พื้นปูน	0.22
ผนังปูน	0.22
เพดานปูน	0.22
เพดานเซลลูโลส	0.40

ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่าความรู้สึกระดับแสงสว่างภายในห้อง สว่างภายในห้อง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงมืดมากเกินไปและ 7 หมายถึงสว่างมาก

เกินไป ในเวลากลางวันกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.09 และในเวลาเย็นถึงค่ำ กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.00



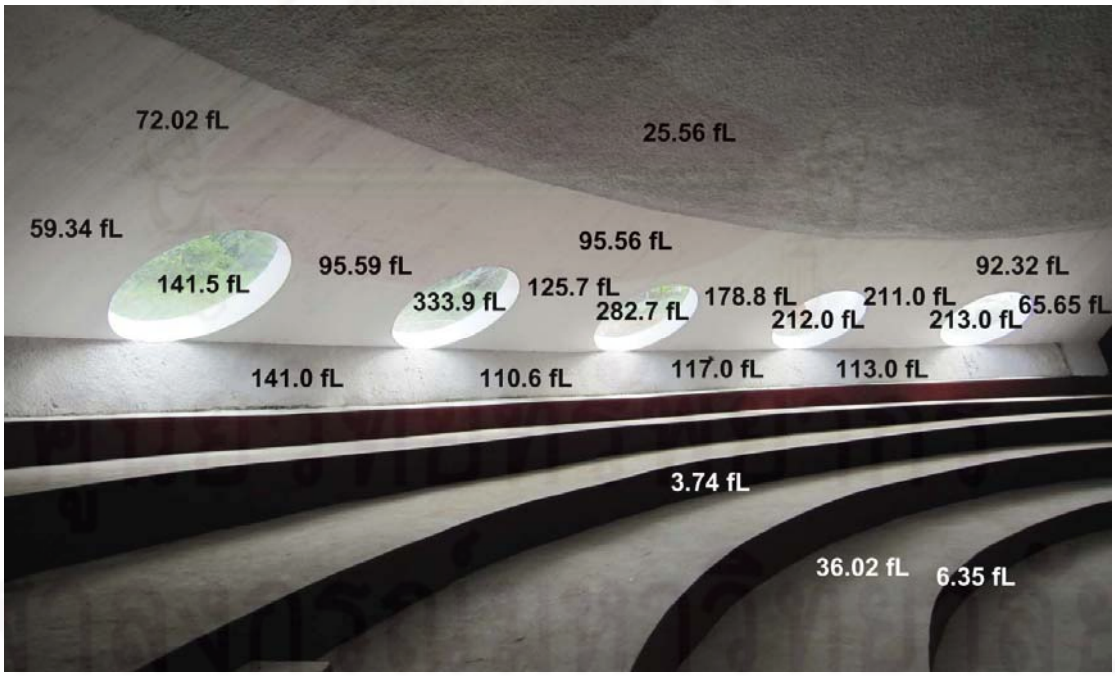
แผนภูมิที่ 4-22 **แสดง** daylight curve **ในห้องเรียนธรรมชาติครั้งที่** 2 **วันที่** 4 **ตุลาคม** 2552 **เวลา** 9:00-10:00**น.**)

ตารางที่ 4-23 **แสดงค่าการสะท้อนแสงของห้องเรียนธรรมชาติต้อนแบบ (วันที่** 4 **ตุลาคม** 2552)

พื้นผิววัสดุ	ค่าการสะท้อนแสง
พื้นพรมแดง	0.12
พื้นขาว	0.56
ผนังพรมแดง	0.12
ผนังขาว	0.69
เพดานขาว	0.69
เพดานเซลลูโลส	0.40

4.4.7 ผลการสำรวจความสบายด้านการมองเห็นห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

ภาพที่ 4-36 **แสดงค่าความสว่างในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบบริเวณเวที**



ภาพที่ 4-37 **แสดงค่าความสว่างในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบบริเวณหน้าต่างด้านข้าง**

ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่าความรู้สึกสบายตาเมื่อมองไปที่บริเวณเวทีและจอภาพ มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่สบายตาเลยและ 7 หมายถึงสบายตามาก ในเวลากลางวันกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 และในเวลาเย็นถึงค่ำ กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.10

และเมื่อสอบถามความชัดเจนในการมองภาพบนจอภาพและผู้บรรยาย มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่ชัดเจนเลยและ 7 หมายถึงชัดเจนมาก ในเวลากลางวันกลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 และในเวลาเย็นถึงค่ำ กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.43

4.4.8 ผลการสำรวจความสบายด้านด้านการได้ยินห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

ผลการสำรวจระดับเสียงรบกวนภายในห้อง (background noise) และรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ เปรียบเทียบระหว่างก่อนพ่นเซลลูโลส หลังพ่นเซลลูโลส และหลังปูพรม ตามตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-24 แสดงผลการสำรวจด้านการได้ยิน ห้องเรียนธรรมชาติ เขาใหญ่

	Background noise (dBA)	รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (วินาที)
ก่อนพ่น cellulose	60-68	3.73
หลังพ่น cellulose	30-35	1.85
ปูพรม	30-35	1.75

ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่าความรู้สึกว่าระดับความดังของเสียงภายในห้องก่อนพ่นเซลลูโลสดูดซับเสียง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงเงียบมากเกินไปเลยและ 7 หมายถึงดังมากเกินไป กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5.16

เมื่อสอบถามความชัดเจนในการฟังบรรยายในห้องก่อนพ่นเซลลูโลสดูดซับเสียง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่ชัดเจนเลยและ 7 หมายถึงชัดเจนมาก กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.56

และเมื่อสอบถามความก้องของเสียงบรรยายในห้องก่อนพ่นเซลลูโลสดูดซับเสียง มีค่าทั้งหมด 7 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่มีเสียงกังวานจนเกินไปและ 7 หมายถึงเสียงก้องมากเกินไป กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5.58

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายผลการวิจัยนี้ประกอบด้วย การอภิปรายตัวแปรกายภาพที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานคุณภาพห้องเรียน ด้วยการนำผลจากการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกลุ่มความสบายทั้ง 4 กลุ่มตามขอบเขตของการวิจัย มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของห้องเรียนที่สำรวจ

การอภิปรายตัวแปรห้องเรียนที่เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาแบบเดลฟาย

การอภิปรายการศึกษากรณีศึกษา เป็นการวิเคราะห์หาข้อได้เปรียบและข้อด้อยของกรณีศึกษา ด้วยการวิเคราะห์และคำนวณศักยภาพการนำระบบธรรมชาติมาใช้กับตัวแปรต่างๆ ในกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษา แบ่งการอภิปรายกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 เป็นกลุ่มของกรณีศึกษาห้องเรียนธรรมชาติที่ประยุกต์ใช้ระบบธรรมชาติมาใช้ในการสร้างห้องเรียนคุณภาพสูง ในกรณีศึกษา 3 เป็นการปรับปรุงห้องเรียนของโรงเรียนพูลเจริญฯ ที่มีข้อจำกัดทางปัจจัยพื้นฐานทางธรรมชาติเพราะเป็นอาคารเดิมและมีปัญหาเสียงที่รุนแรง

การอภิปรายผลการออกแบบและสร้างห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ ที่ใช้ตัวแปรพื้นฐานทางกายภาพจากขั้นตอนที่ 1 ตัวแปรความต้องการด้านกิจกรรมจากขั้นตอนที่ 2 และประยุกต์ใช้ข้อได้เปรียบรวมถึงหลีกเลี่ยงและแก้ไขข้อด้อย จากขั้นตอนที่ 3

5.1 อภิปรายตัวแปรกายภาพที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานคุณภาพห้องเรียน

5.1.1 อภิปรายตัวแปรกายภาพของห้องเรียนที่มีอิทธิพลต่อความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว

ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวประกอบด้วยตัวแปรหลัก 6 ตัวแปร คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ ความเร็วลม เสื้อผ้าที่สวมใส่ อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย แบ่งเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับบุคคล

คุณสมบัติทางกายภาพของห้องเรียน ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรมีอิทธิพลต่อความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวทางสภาพแวดล้อม คือการควบคุมการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร การใช้ระบบเครื่องกลเพื่อเพิ่มความรู้สึกสบาย ได้แก่การใช้พัดลม และระบบรับอากาศ

การควบคุมการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิผิวภายในห้องเรียน เพราะปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาในปริมาณที่มาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงขึ้นตามสภาพอากาศภายนอก และส่งผลให้อุณหภูมิผิวภายในสูงขึ้น การมีอุณหภูมิผิวภายในที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศจะทำให้ผู้ใช้ห้องเรียนรู้สึกร้อนกว่าอุณหภูมิอากาศ ตามสมการที่ 18 (ดูรายละเอียดในบทที่ 3)

กรณีใช้พัดลมเพื่อเพิ่มความรู้สึกสบายภายในห้องเรียน ความรู้สึกเย็นลงที่ได้จากความเร็วลมมีข้อจำกัด กรณีใช้ระบบปรับอากาศเพื่อสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวสามารถลดอุณหภูมิและความชื้นได้ แต่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิผิวภายในได้ทำให้รู้สึกเสมือนร้อนกว่าอุณภูมิอากาศ

กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับบุคคลจากการสำรวจพบว่าห้องเรียนที่สำรวจตัวแปรกลุ่มนี้ค่อนข้างคงที่ คือลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่เป็นดังนี้ ชุดนักเรียนหญิงประกอบด้วยชุดชั้นใน เสื้อแขนสั้น กระโปรง ถุงเท้าและรองเท้า ชุดนักเรียนชายประกอบด้วยชุดชั้นใน เสื้อแขนสั้น กางเกงขาสั้น ถุงเท้าและรองเท้า มีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าจากการคำนวณได้ประมาณ 0.49-0.66 clo

อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายของกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียนแบบบรรยายจัดอยู่ในกลุ่มการทำงานไม่หนักมีอัตราการเผาผลาญพลังงาน เทียบเท่า 510 บีทียูต่อชั่วโมง แบ่งเป็นความร้อนสัมผัสเท่ากับ 255 บีทียูต่อชั่วโมง ความร้อนแฝงเท่ากับ 255 บีทียูต่อชั่วโมง ความร้อนจากอัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายในส่วนความร้อนสัมผัสจะถูกดูดซับด้วยมวลสารภายในห้องเรียน

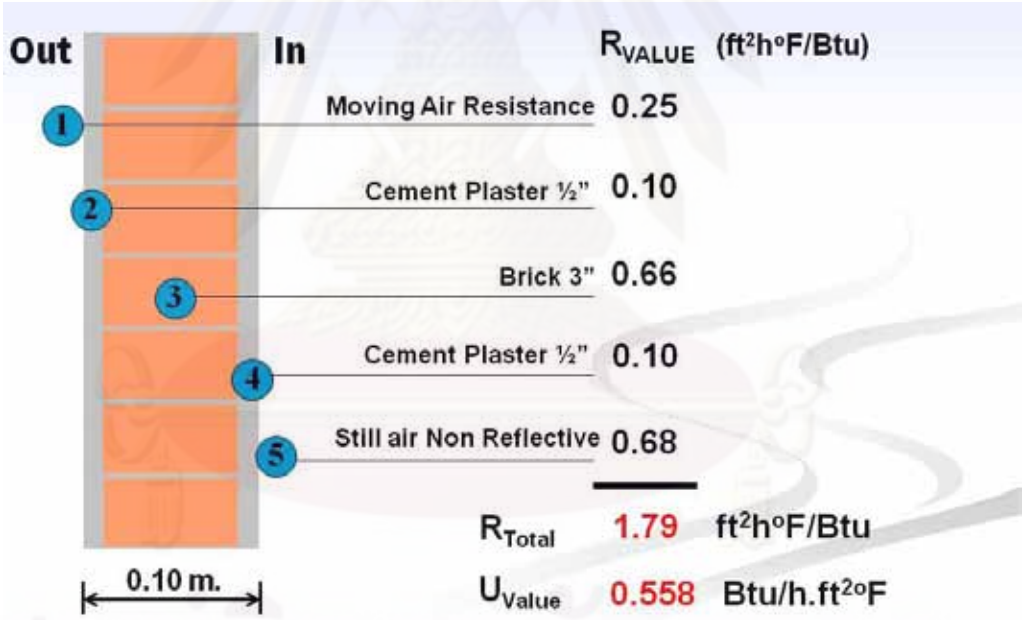
ตัวแปรเปลือกอาคารที่มีอิทธิพลต่อการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร ได้แก่

- ผนังห้องเรียน
- หลังคาห้องเรียนกรณีเป็นห้องชั้นบนสุด
- พื้นห้องเรียนกรณีใต้ถุนโล่ง
- พื้นห้องเรียนกรณีพื้นสัมผัสดิน

- หน้าต่างและช่องแสง

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารส่วนผนังขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม พื้นที่ของผนังและอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างภายนอกกับภายใน ตามสมการที่ 4 และ 6 (ดูรายละเอียดบทที่ 2) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังแปรผันตามความต้านทานความร้อนรวมของผนัง ตามสมการที่ 5 (ดูรายละเอียดบทที่ 2)

การสำรวจห้องเรียนในการวิจัยพบว่าผนังห้องเรียนเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. มีค่าความต้านทานความร้อนรวมเท่ากับ 1.79 ft^2h^OF/Btu และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 0.558 $Btu/h\ ft^{2\ O}F$ ตามภาพที่ 5-1



ภาพที่ 5-1 แสดงการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวมและค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังก่ออิฐฉาบปูน

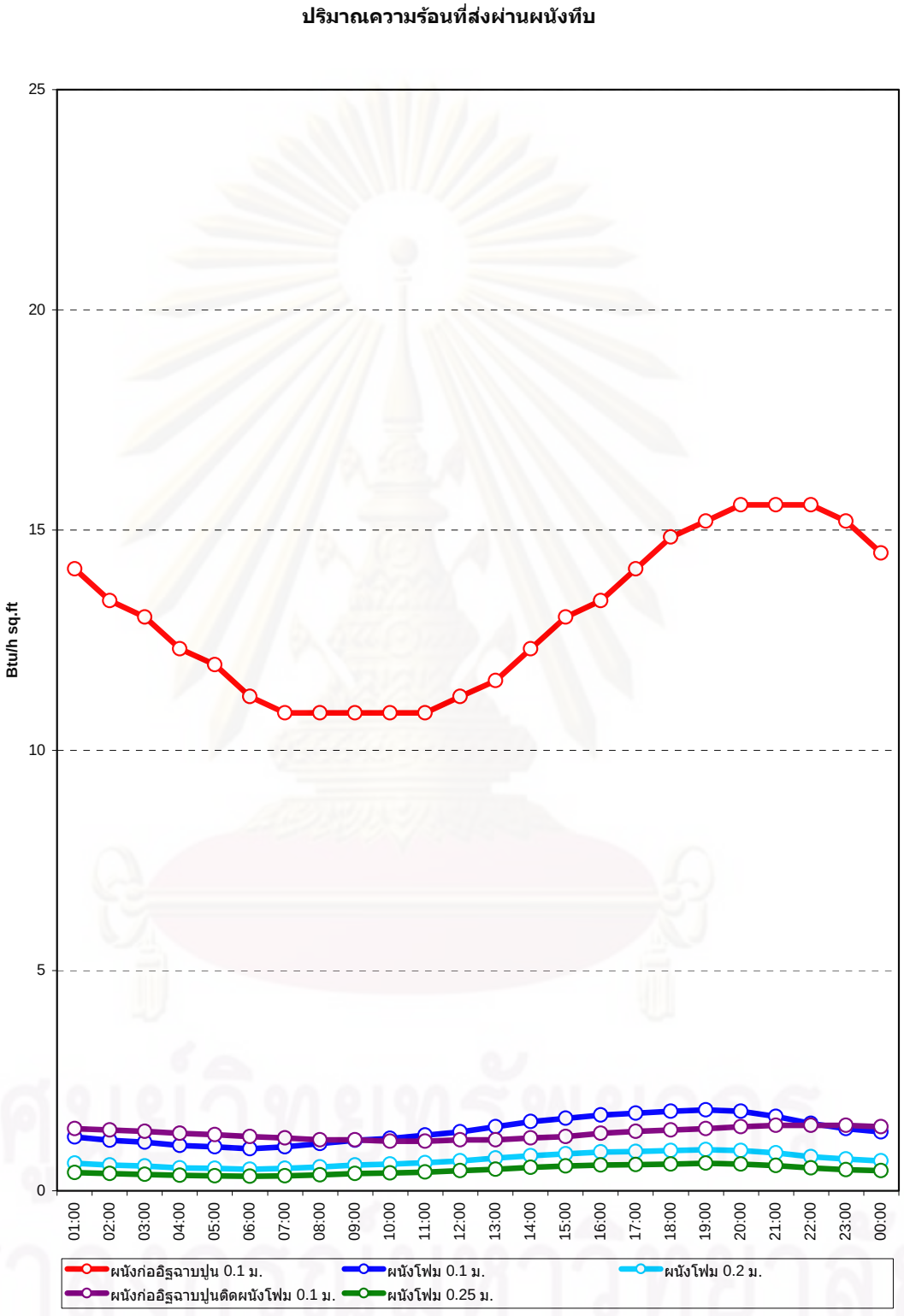
เมื่อเปรียบค่าความต้านทานความร้อนรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถายเทความร้อนรวมของผนังห้องเรียนจากการสำรวจกับกรณีศึกษาทั้ง 3 และห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ ตามตารางที่ 5.1 พบว่าค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังก่ออิฐฉาบปูน 0.10 ม. มีค่าน้อยกว่าผนังโฟม 0.10 ม. ในกรณีศึกษา 1 เท่ากับ 15.14 ft^2h^OF/Btu และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความ

ร้อนรวมมากกว่าผนังโฟม 0.10 ม. ในกรณีศึกษา 1 เท่ากับ 0.499 Btu/h $ft^{2\ O}F$ ในขณะที่ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังโฟม 0.1 ม. ในกรณีศึกษา 1 มีค่าน้อยกว่าผนังโฟม 0.25 ม.ของห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเท่ากับ 24 ft^2h^OF/Btu แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมากกว่าผนังโฟม 0.25 ม.ของห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเพียง 0.039 ft^2h^OF/Btu นั้นคือยิ่งมีค่าความต้านทานความร้อนรวมเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลงแต่การลดลงจะเปลี่ยนไม่มากหากมีค่าความต้านทานความร้อนรวมมากอยู่แล้ว

ตารางที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบผนังห้องเรียนที่สำรวจ กรณีศึกษา1 2 3 และ กรณีห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบฯ

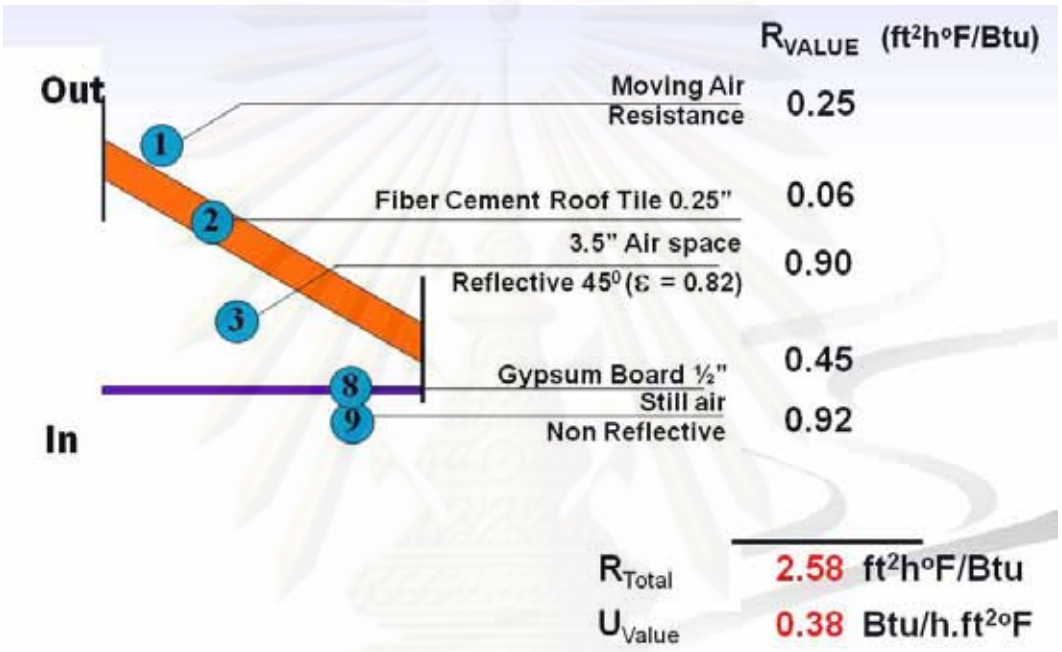
ห้องเรียน	ผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนi;, (ft^2h^OF/Btu)	ค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวม (Btu/h $ft^{2O}F$)
ห้องเรียนจากการสำรวจ	ก่ออิฐฉาบปูน 0.1 ม.	1.79	0.558
กรณีศึกษา 1	ผนังโฟม 0.1 ม.	16.93	0.059
กรณีศึกษา 2	ผนังโฟม 0.2 ม.	32.93	0.03
กรณีศึกษา 3	ผนังก่ออิฐฉาบปูนติดโฟม 0.1 ม.	17.85	0.056
ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบฯ	ผนังโฟม 0.25 ม.	40.93	0.02

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารต่อพื้นที่ผนังอาคารเปรียบเทียบระหว่างผนังก่ออิฐฉาบปูน 0.1 ม.ของห้องเรียนจากการสำรวจ กับกรณีศึกษาทั้ง 3 และห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบด้วยวิธีการคำนวณโดยใช้อุณหภูมิแตกต่างของภาระการทำความเย็น (CLTD) ตามสมการที่ 6 (ดูรายละเอียดบทที่ 2) ผลการคำนวณตามแผนภูมิที่ 5-1 พบว่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของผนังก่ออิฐฉาบปูน 0.10 ม. สูงกว่า ผนังโฟม 0.10 ม. ในช่วงเวลาสูงสุดเท่ากับ 8.47 เท่า และผนังโฟม 0.1 ม.มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังต่างกับผนังโฟม 0.25 ม.เพียง 2.95 เท่า ดังนั้นยิ่งมีค่าความต้านทานความร้อนรวมเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังลดลงแต่การลดลงจะเปลี่ยนไม่มากหากมีค่าความต้านทานความร้อนรวมมากอยู่แล้ว



แผนภูมิที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังต่อพื้นที่ผนัง (Btu/h ft^2) ของผนัง ด้วยวิธี CLTD กรณีผนังทิศเหนือเดือนมิถุนายน อุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

การสำรวจห้องเรียนในการวิจัยพบว่าหลังคากรณีเป็นห้องชั้นบนสุดของห้องเรียนเป็นหลังคากระเบื้องลอนคู่มีช่องว่างอากาศและฝ้าเพดานยิปซัมหนา 9 มม. มีค่าความต้านทานความร้อนรวมเท่ากับ 2.58 ft^2h^OF/Btu และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 0.38 $Btu/h\ ft^{2O}F$ ตามภาพที่ 5-2



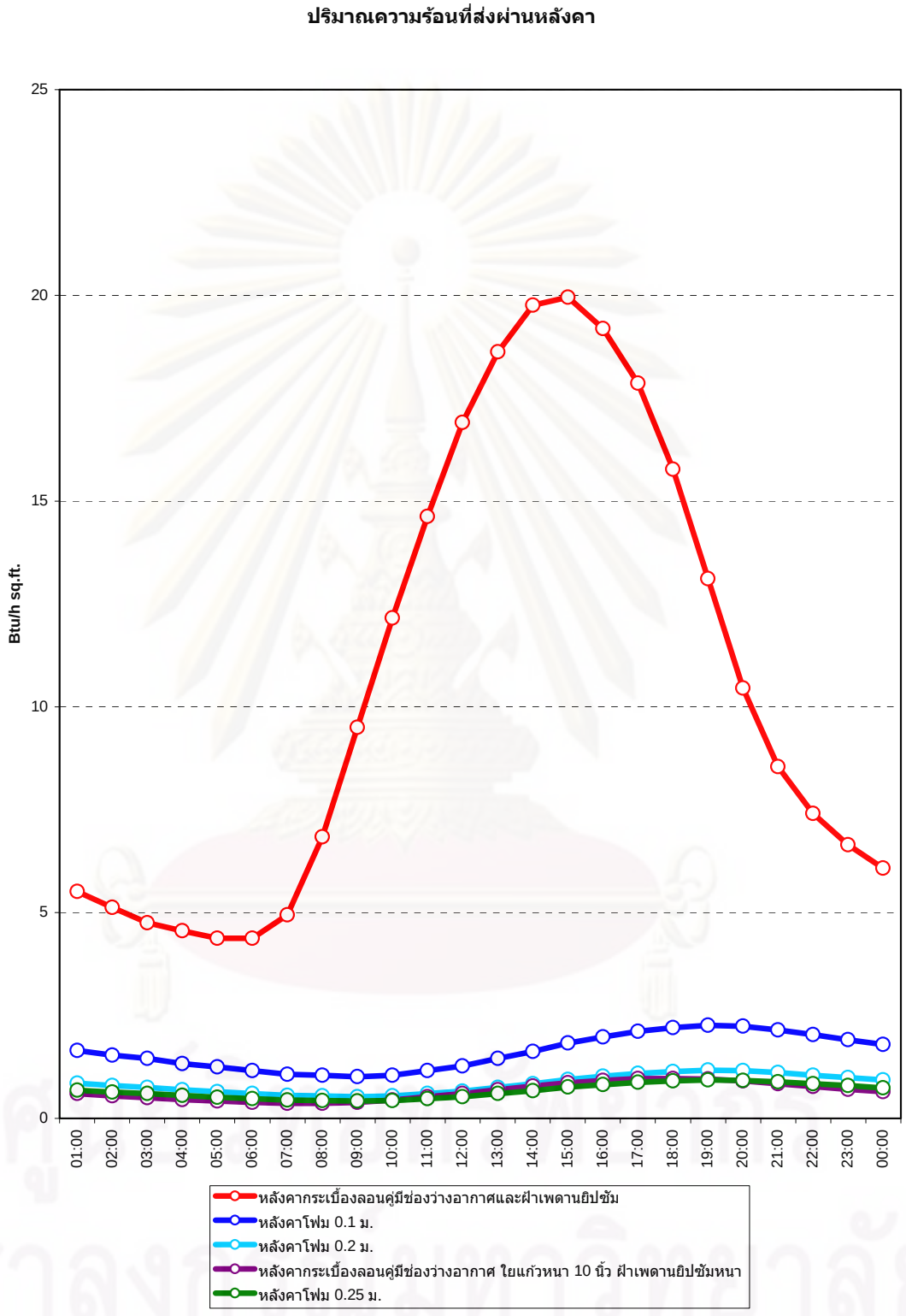
ภาพที่ 5-2 แสดงการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคากระเบื้องลอนคู่มีช่องว่างอากาศและฝ้าเพดานยิปซัมหนา 9 มม.

เมื่อเปรียบค่าความต้านทานความร้อนรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาห้องเรียนจากการสำรวจกับกรณีศึกษาทั้ง 3 และห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบตามตารางที่ 5.2 พบว่าค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคากระเบื้องลอนคู่มีช่องว่างอากาศและฝ้าเพดานยิปซัมหนา 9 มม. มีค่าน้อยกว่าหลังคาโฟม 0.10 ม. ในกรณีศึกษา 1 เท่ากับ 14.59 ft^2h^OF/Btu และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมากกว่าหลังคาโฟม 0.10 ม. ในกรณีศึกษา 1 เท่ากับ 0.322 $Btu/hft^{2O}F$ ในขณะที่ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคาโฟม 0.10 ม. ในกรณีศึกษา 1 มีค่าน้อยกว่าหลังคาโฟม 0.25 ม.ของห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเท่ากับ 24 ft^2h^OF/Btu แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมากกว่าผนังโฟม 0.25 ม.ของห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเพียง 0.034 ft^2h^OF/Btu นั้นคือยิ่งมีค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลงแต่การลดลงจะเปลี่ยนไม่มากหากมีค่าความต้านทานความร้อนรวมมากอยู่แล้ว

ตารางที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบหลังคา ห้องเรียนจากการสำรวจ กรณีศึกษา1 2 3 และกรณีห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบฯ

ห้องเรียน	หลังคา	ค่าความต้านทานความร้อนรวม (ft^2h^OF/Btu)	ค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวม ($Btu/h\ ft^{2O}F$)
ห้องเรียนจากการสำรวจ	หลังคากระเบื้องลอนคู่มีช่องว่างอากาศและฝ้าเพดานยิปซัมหนา 9 มม.	2.58	0.38
กรณีศึกษา 1	หลังคาโฟม 0.1 ม.	17.17	0.058
กรณีศึกษา 2	หลังคาโฟม 0.2 ม.	33.17	0.030
กรณีศึกษา 3	หลังคากระเบื้องลอนคู่มีช่องว่างอากาศ ใยแก้วหนา 10 นิ้ว ฝ้าเพดานยิปซัมหนา 9 มม.	42.20	0.023
ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบฯ	หลังคาโฟม 0.25 ม.	41.17	0.024

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาอาคารต่อพื้นที่หลังคาเปรียบเทียบระหว่างหลังคากระเบื้องลอนคู่มีช่องว่างอากาศและฝ้าเพดานยิปซัมหนา 9 มม. ของห้องเรียนจากการสำรวจ กับกรณีศึกษาทั้ง 3 และห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบด้วยวิธีการคำนวณโดยใช้อุณหภูมิแตกต่างของภาระการทำความเย็น (CLTD) ตามสมการที่ 6 (ดูรายละเอียดบทที่ 2) ผลการคำนวณตามแผนภูมิที่ 5-2 พบว่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคากระเบื้องลอนคู่มีช่องว่างอากาศและฝ้าเพดานยิปซัมหนา 9 มม. สูงกว่าหลังคาโฟม 0.1 ม. ในช่วงเวลาสูงสุดเท่ากับ 8.81 เท่า และหลังคาโฟม 0.1 ม.มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาต่างกับหลังคาโฟม 0.25 ม.เพียง 2.40 เท่า ดังนั้นยิ่งมีค่าความต้านทานความร้อนรวมเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาลดลงแต่การลดลงจะเปลี่ยนไม่มากหากมีค่าความต้านทานความร้อนรวมมากอยู่แล้ว



แผนภูมิที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาต่อพื้นที่หลังคา (Btu/h ft^2) ด้วยวิธี CLTD กรณีเดือนมิถุนายน อุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

การสำรวจห้องเรียนในการวิจัยพบว่าพื้นห้องเรียนเป็นพื้น คสล. หนา 0.10ม. กรณี ใต้ถุนโล่ง ปริมาณการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม พื้นที่ของพื้น และความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกกับภายใน ตามสมการที่ 4 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบพื้นห้องเรียนทั่วไป กับหร้องเรียนกรณีศึกษา 3 ที่มีลักษณะใต้ถุนโล่งเช่นเดียวกันพบว่าพื้น คสล. หนา 0.10ม. มีค่าความต้านทานความร้อนรวมของเท่ากับ 1.67 ft^2h^OF/Btu และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 0.598 $Btu/hft^{2O}F$ พื้นห้องเรียนกรณีศึกษา 3 มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 0.10 ม.ด้านล่าง มีค่าความต้านทานความร้อนรวมเท่ากับ 17.67 ft^2h^OF/Btu และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.056 $Btu/h\ ft^{2O}F$

ในกรณีที่ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในต่างกัน 18 องศาฟาเรนไฮต์ ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นห้องเรียนที่สำรวจเท่ากับ 10.764 $Btu/h\ \ ft^2$ และปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นห้องเรียนกรณีศึกษาที่ 3 เท่ากับ 1.008 $Btu/h\ ft^2$ ซึ่งแตกต่างกันประมาณ 10.67 เท่า

กรณีพื้นห้องเรียนที่ติดพื้นดินหากพื้นดินนั้นไม่มีการปรุงแต่งสภาพแวดล้อม จะทำให้ดินมีอุณหภูมิสูงกว่าในห้องเรียน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ที่ใช้ประโยชน์จากดินที่มีการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมพบว่าสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 มีอุณหภูมิผิวดินเท่ากับ 28.8 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบพบว่าดินที่มีการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมพบว่าสภาพแวดล้อมของห้องเรียนต้นแบบ มีอุณหภูมิผิวดินเท่ากับ 24 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าหากพื้นห้องเรียนอยู่ติดกับพื้นดิน ดินนั้นจะต้องมีการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งความเย็นให้กับห้องเรียน และควรมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่สูงเพื่อถ่ายเทความร้อนจากในห้องออกสู่ดินที่เย็นกว่า

การสำรวจลักษณะหน้าต่างและช่องแสงของห้องเรียนในการวิจัยพบว่า หน้าต่างและช่องแสงของห้องเรียน พบว่าเป็นช่องแสงด้านข้าง สามารถแบ่งช่องหน้าต่างออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของบานหน้าต่าง และส่วนของช่องแสงด้านบน

ลักษณะบานหน้าต่างที่พบ คือ

- บานไม้ทึบ
- บานกระจกใส
- บานเกล็ดกระจกใส
- บานเกล็ดไม้ระบายอากาศ

ลักษณะบานช่องแสงที่พบ คือ

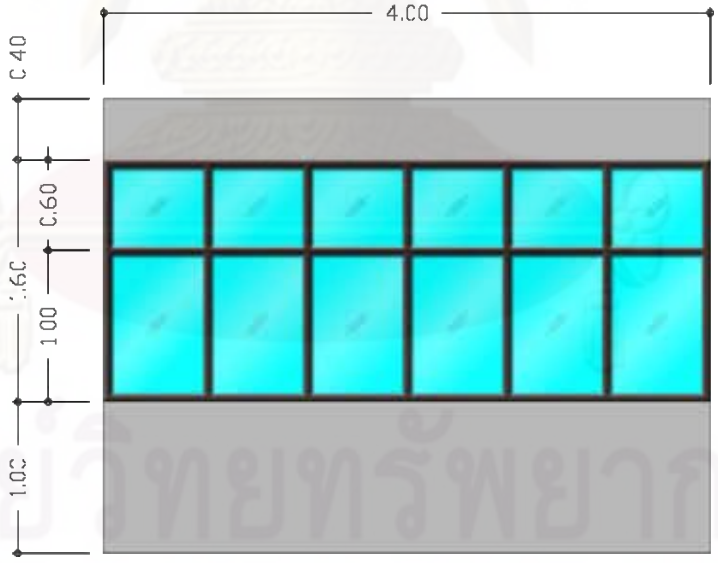
- บานกระจกใส
- บานเกล็ดไม้ระบายอากาศ

หน้าต่างและช่องแสงเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทั้งจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ตามสมการที่ 7 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) เมื่อพิจารณากรณีหน้าต่าง 3 กรณี ในช่องผนังยาว 4 เมตร ดังต่อไปนี้

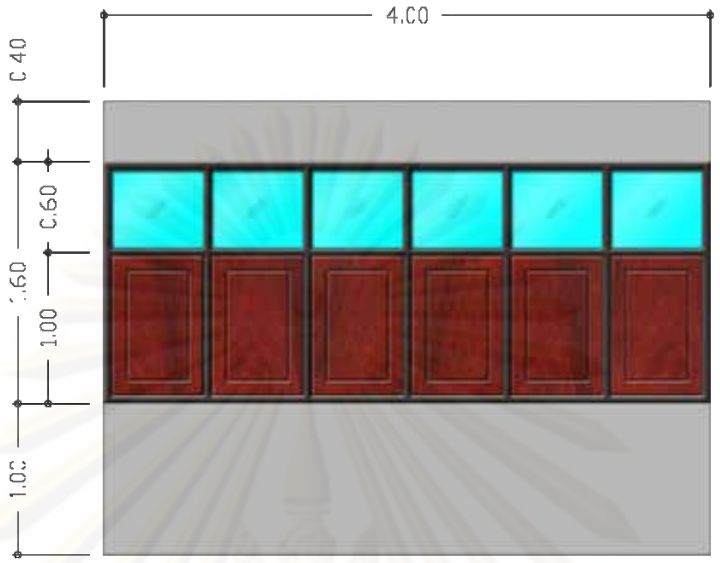
หน้าต่างแบบที่ 1 ตังอย่างหน้าต่างห้องเรียนจากการสำรวจบานหน้าต่างเป็นบานกระจกใส 6 มม. มีช่องแสงกระจกใส 6 มม. ด้านบน และมีผนังทึบเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน 0.10 ม.

หน้าต่างแบบที่ 2 ตัวอย่างหน้าต่างห้องเรียนจากการสำรวจบานหน้าต่างเป็นบานไม้ทึบ มีช่องแสงกระจกใส 6 มม. ด้านบน และมีผนังทึบเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน 0.10ม.

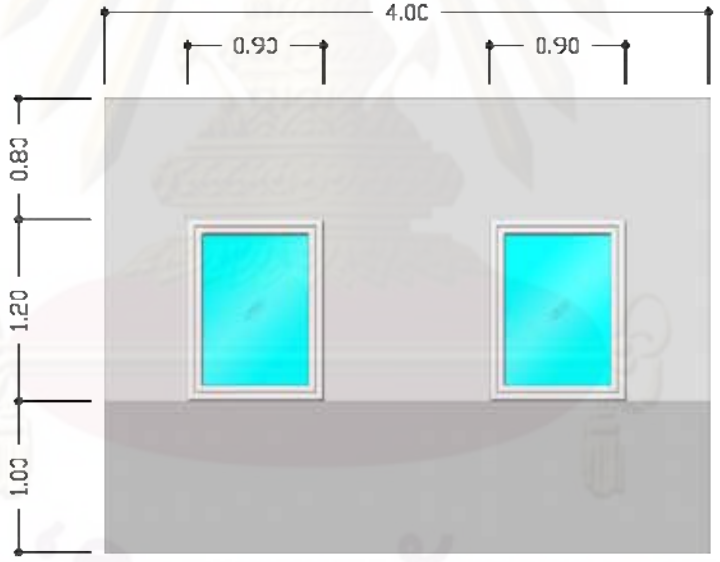
หน้าต่างแบบที่ 3 จากกรณีศึกษาที่ 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญ



ภาพที่ 5-3 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแบบที่ 1



ภาพที่ 5-4 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแบบที่ 2



ภาพที่ 5-5 แสดงตัวอย่างหน้าต่างแบบที่ 3

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงจากการนำความร้อนขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม พื้นที่ของช่องแสง และอุณหภูมิที่แตกต่าง ตามสมการที่ 8 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) ส่วนปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงจากการแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับ พื้นที่ของช่องแสง ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด และรังสีดวงอาทิตย์ ตามสมการที่ 9 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2)

เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนังพบว่าหน้าต่างแบบที่ 1 มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนังมากที่สุดคือ 0.53 และหน้าต่างแบบที่ 3 มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนังน้อยที่สุดคือ 0.18 ตามตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนัง

แบบหน้าต่าง	อัตราส่วนพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนัง
หน้าต่างแบบที่ 1	0.53
หน้าต่างแบบที่ 2	0.20
หน้าต่างแบบที่ 3	0.18

เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ของกระจกและผนังทึบที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบหน้าต่างทั้ง 3 แบบ ตามตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ของกระจกและผนังทึบที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบหน้าต่างทั้ง 3 แบบ

วัสดุ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนi;, (Btu/h $ft^{2O}F$)
ผนังก่ออิฐแบปูนหนา 0.10 ม.	0.558
ผนังกรณีศึกษาที่ 3	0.056
กระจกใส 6 มม.	1.06
กระจกฉนวน (heat stop)	0.31

เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด ระหว่างกระจกใส 6 มม. กับกระจกฉนวน (heat stop) ที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 3 ตามตารางที่ 5-5

ตารางที่ 5-5 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิการบังแดด ของกระจกใส 6 มม. กับกระจกฉนวน (heat stop) ที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 3

กระจก	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด
กระจกใส 6 มม.	0.95
กระจกฉนวน (heat stop)	0.37

คำนวณเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องหน้าต่างระหว่างหน้าต่างทั้ง 3 แบบในกรณีอากาศภายนอกและภายในแตกต่างกัน 18 องศาเซลเซียส ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวกระจกกรณีมีร่มเงาประมาณ 80 Btu/h ตามตารางที่ 5-6

ตารางที่ 5-6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและกระจกของหน้าต่าง 3 แบบ

	ปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Btu/h)			
	ผ่านผนังทึบ	การนำความร้อนของกระจก	การแผ่รังสีความร้อนของกระจก	รวมผนังและกระจก
หน้าต่างแบบที่ 1	56.25	122.11	486.40	721.01
หน้าต่างแบบที่ 2	95.35	45.79	172.80	313.94
หน้าต่างแบบที่ 3	9.91	12.05	63.93	85.89

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหน้าต่างทั้ง 3 แบบจะพบว่าสัดส่วนของปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ห้องเรียนคือปริมาณการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก พบว่าหน้าต่างแบบที่ 1 และหน้าต่างแบบที่ 3 ในกรณีการคำนวณนี้มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนต่างกันประมาณ 8.39 เท่า เนื่องจากแบบที่ 1 มีพื้นที่ช่องแสงมากกว่า และมีคุณสมบัติของกระจกที่ด้อยกว่า แต่ทั้ง 2 แบบนี้มีปริมาณแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในห้องเรียนใกล้เคียงกัน (ดูในกรณีศึกษาที่ 3)

ส่วนหน้าต่างแบบที่ 2 และหน้าต่างแบบที่ 3 ในกรณีการคำนวณนี้มีปริมาณความร้อนต่างกับ 3.65 เท่า แต่หน้าต่างแบที่ 2 มีแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารเรียนได้น้อยกว่าหน้าต่างแบบที่ 3 เพราะหน้าต่างแบบที่ 2 มีบานหน้าต่างเป็นบานไม้ทึบ

การวิเคราะห์การใช้ความเร็วลมภายในห้องเพื่อเพิ่มความรู้สึกสบาย กรณีอากาศภายในห้องเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์ 50%จากสมการความรู้สึกเย็นลงเนื่องจากความเร็วลม และขอบเขตสูงสุดที่รับได้ของกิจกรรมในการเรียนรู้ ไม่เกิน 350 ฟุตต่อนาที (6.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ซึ่งอยู่ในพื้นที่กึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

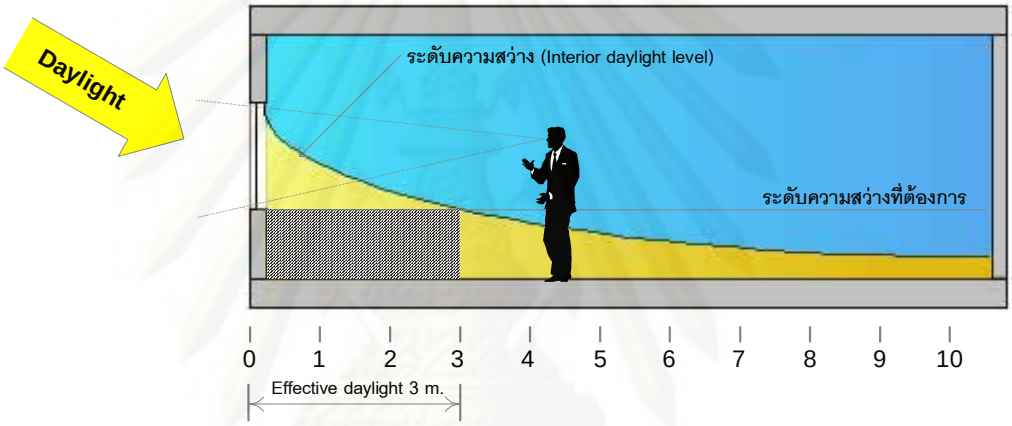
ความรู้สึกเย็นลง = (0.381)(6.4)+(0.016)(50)

= 3.23 องศาเซลเซียส

จะพบว่าคนจะรู้สึกเสมือน อุณหภูมิ 28.77 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับเขตสบายเล็กน้อย

5.1.2 อภิปรายตัวแปรกายภาพของห้องเรียนที่มีอิทธิพลต่อความสบายด้านแสงสว่าง

ช่องแสงห้องเรียนที่สำรวจเป็นหน้าต่างด้านข้างที่มีช่องแสงด้านบนซึ่งทำให้มีข้อจำกัดในการให้แสงสว่างเข้าสู่อาคาร จะมีพื้นที่ที่ใช้งานได้เพียงประมาณ 2-3 เมตร ดังนั้นต้องใช้แสงประดิษฐ์ผสมผสาน



ภาพที่ 5-6 แสดงการใช้ช่องแสงด้านข้าง ซึ่งมีแสงธรรมชาติในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งานในระยะจากขอบหน้าต่างประมาณ 2-3 เมตร(สุนทร บุญญาธิการ, 2541)

5.1.3 อภิปรายตัวแปรกายภาพของห้องเรียนที่มีอิทธิพลต่อความสบายด้านการมองเห็น

วัสดุกระดานที่มีการสะท้อนแสงแบบมัน จะเกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น (reflected glare) ทำให้มองกระดานไม่ชัด และกระดานมีการใช้แสงประดิษฐ์เพื่อช่วยเพิ่มระดับความส่องสว่างที่กระดาน แต่พบว่ามีมุมของแสงที่ไม่เหมาะสม

5.1.4 อภิปรายตัวแปรกายภาพของห้องเรียนที่มีอิทธิพลต่อความสบายด้านการได้ยิน

วัสดุผนังห้องเรียนที่สำรวจเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน มีวัสดุหน้าต่างเป็นกระจก และบานไม้ ที่มีค่าการสูญเสียการส่งผ่านของเสียง (sound transmission loss, TL) ดังนี้

ตารางที่ 5-7 แสดงค่าการสูญเสียการส่งผ่านของเสียง (sound transmission loss) วัสดุเปลือกอาคาร

	TL (dB)						STC
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
ผนังก่ออิฐ (0.10ม.)	34	34	41	50	56	58	42
หน้าต่างกระจก	18	21	26	31	33	22	26
บานไม้	29	31	31	31	39	43	34

(Egan, 1972)

จากวัสดุดังกล่าวเมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียการส่งผ่านของเสียง (TL) กรณีเสียงรบกวนจากภายนอกเท่ากับ 80 dB ที่มีความถี่ 500Hz จากการคำนวณพบว่าเสียงรบกวนจากผ่านนอกดังต่อไปนี้

- ผ่านผนังเข้ามาเท่ากับ 80 – 41 = 39 dB
- ผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาเท่ากับ 80 – 26 = 54 dB
- ผ่านหน้าต่างบานไม้เข้ามาเท่ากับ 80 – 31 = 49 dB

พบว่าด้วยวัสดุผนังดังกล่าวเสียงรบกวนจากภายนอกสามารถผ่านเข้ามาภายในได้ ทำให้ระดับเสียงพื้นหลังในห้องมีระดับความดังค่อนข้างสูง และเมื่อเปิดหน้าต่างเพื่อการระบายอากาศด้วยระบบธรรมชาติ เสียงจากภายนอกจะเข้าสู่ห้องได้โดยตรง

ค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ในห้องขนาด 64 ตารางเมตร สูง 3 เมตร ผิววัสดุภายในเป็นวัสดุสะท้อนเสียง มีค่าการดูดศับเสียงระหว่าง 0.04-0.07 เมื่อคำนวณแล้วค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์เท่ากับ 1.95-3.42 วินาที ซึ่งมากกว่าระดับที่ยอมรับได้ แต่เนื่องจากห้องเรียนที่มีการเปิดหน้าต่างพื้นที่หน้าต่างนั้นจะทำหน้าที่เสมือนเป็นวัสดุดูดซับเสียงทำให้ห้องเรียนทั่วไปที่เปิดหน้าต่างไม่มีปัญหาเรื่องรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์

5.2 อภิปรายตัวแปรห้องเรียนที่เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้

5.2.1 ด้านความรู้สึกด้านร้อนหนาว

ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางด้านความรู้ร้อนหนาวที่เชื่อมโยงกับการเรียนรู้และระบบสมอง พบว่าความรู้สึกร้อนหนาวนั้นมีความเกี่ยวข้องกับระบบของประสาทสัมผัสด้านผิวสัมผัส และส่งผลไปยังสมองส่วนไฮโปทาลามัส (hypothalamus) ที่ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในร่างกาย ผลจาการสัมภาษณ์และสอบถามผู้เชี่ยวชาญ พบว่าในรอบที่ 1 ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าเนื่องจากกิจกรรมการเรียนรู้เป็นกิจกรรมที่มีความเครียดต้องอาศัยสมาธิสูง ดังนั้นความรู้สึกร้อนหนาวจึงมีอิทธิพลต่อกิจกรรมการเรียนรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยที่มีอากาศค่อนข้างร้อนตลอดเวลา หากนักเรียนต้องทนเรียนในสภาพอากาศเช่นนั้น จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของนักเรียน

เมื่อสอบถามผู้เชี่ยวชาญถึงลักษณะของความต้องการด้านความรู้สึกร้อนหนาว พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นตรงกันว่าต้องการให้ห้องเรียนสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมด้านความรู้สึกร้อนหนาวให้อยู่ในสภาวะที่รู้สึกสบายได้ กล่าวคือเมื่ออยู่ภายในห้องเรียนแล้วต้องรู้สึกสบายไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวจนเกินไป และเมื่อสอบถามถึงรายละเอียดด้านระดับของการควบคุมสภาวะที่รู้สึกสบายภายในห้องเรียนด้วยการสอบถามในรอบที่ 2 ในข้อที่ 2 พบว่าผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่เห็นว่าห้องเรียนควรสามารถควบคุมสภาวะที่รู้สึกสบายได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งหมายถึงสภาพแวดล้อมที่สามารถควบคุมความรู้สึกร้อนหนาวได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ ควบคุมอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 24 -26 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 45-55 เปอร์เซนต์ ซึ่งตามทฤษฎี กล่าวไว้ว่าพื้นที่ที่มีการควบคุมในระดับนี้เหมาะสมกับกิจกรรมที่ต้องการคุณภาพชีวิตสูง ต้องการกิจกรรมที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น พื้นที่กิจกรรมการเรียนรู้ที่ต้องใช้สมาธิและมีความเครียด

อย่างไรก็ตามจากการเดินทางของทั้งผู้เรียนและผู้บรรยายเข้าสู่ห้องเรียนจะพบว่าในช่วงเริ่มต้นของชั่วโมงเรียนสภาวะร่างกายของทั้งผู้เรียนและผู้บรรยายจะมีความร้อนสะสมในร่างกาย (heat built up) สูงเนื่องจากกิจกรรมการเดินทางมาสู่ห้องเรียน เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเผาผลาญพลังงานระหว่างกิจกรรมการเดิน กับกิจกรรมการนั่งเรียนจะพบว่ากิจกรรมการเดินจะมีอัตราการเผาผลาญพลังงานสูงกว่าการนั่งเรียน ดังนั้นความรู้สึกร้อนหนาวในขณะที่เริ่มต้นของชั่วโมงเรียนจะพบว่าจะไม่อยู่ในสภาวะที่รู้สึกสบายอันเนื่องมาจากอิทธิพลของความร้อนสะสมใน

ร่างกาย (heat built up) จากการเดินทางสู่ห้องเรียน เมื่อสอบถามในรอบที่ 2 ในข้อที่ 1 ในประเด็นดังกล่าว ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่าควรลดอิทธิพลของความร้อนสะสมในร่างกาย (heat built up) ในช่วงเริ่มต้นชั่วโมงเรียน และเห็นว่าระยะเวลาในการปรับตัวไม่ควรเกิน 10 นาทีแต่หากเป็นไปได้ความปรับความรู้สึกร้อนหนาวให้อยู่ในสภาวะที่รู้สึกสบายได้ทันทีที่เริ่มต้นชั่วโมง

อิทธิด้านความร้อนสะสมในร่างกาย (heat built up) ที่สูงของผู้เรียนและผู้บรรยายขณะที่เดินทางมาถึงห้องเรียน การสร้างห้องเรียนต้นแบบที่สามารถปรับลดอิทธิพลนี้ได้ควรมีพื้นที่ปรับสภาวะที่รู้สึกสบายก่อนที่จะเข้าห้อง เช่น การออกแบบโถงก่อนเข้าสู่ห้องเรียน ให้สามารถปรับความเร็วลมเพื่อลดความร้อนสะสมในร่างกาย (heat built up)

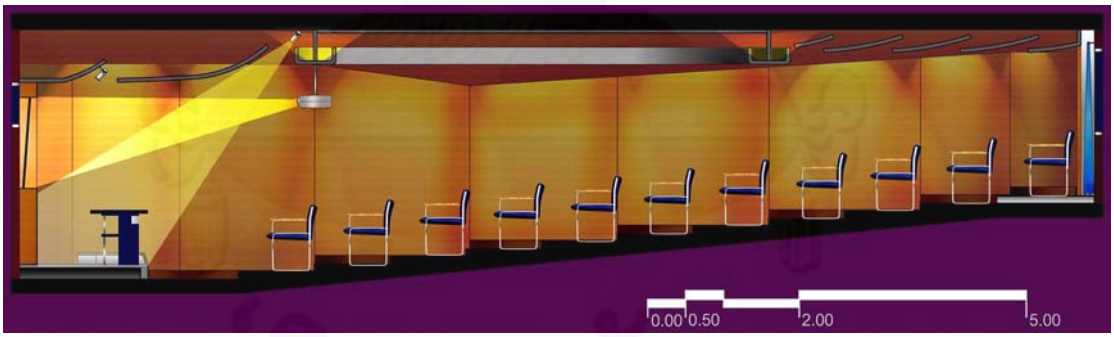
5.2.2 ด้านแสงสว่าง

ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางด้านแสงสว่างที่เชื่อมโยงกับการเรียนรู้และระบบสมอง พบว่าตัวแปรด้านแสงสว่างนั้นมีความเกี่ยวข้องกับระบบของประสาทสัมผัสทางการมองเห็น ที่เป็นหนึ่งในการรับรู้ในกิจกรรมการเรียนรู้ที่สำคัญ ซึ่งตามทฤษฎีความต้องการระดับในการส่องสว่างนั้นขึ้นอยู่กับกิจกรรม ซึ่งการวิจัยนี้ได้แบ่งรูปแบบการบรรยายออกเป็น 3 รูปแบบการบรรยายตามลักษณะของสื่อการสอน ดังนี้ รูปแบบที่ 1 คือรูปแบบการบรรยายทั่วไปโดยการใช้กระดานในการเขียน รูปแบบที่ 2 คือ การบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายแผ่นใส เครื่องฉายแผ่นทึบ และเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ และรูปแบบที่ 3 คือ การบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความละเอียดและคมชัด (resolution) ของภาพค่อนข้างสูง เพื่อสร้างความประทับใจในการรับรู้ด้านการมองเห็น หรือสร้างบรรยายกาศและอารมณ์ (mood) ต่างๆ ตามความต้องการของผู้สอน

ในการสัมภาษณ์และสอบถามของตัวแปรทางด้านแสงสว่างเนื่องจากเป็นเรื่องที่ละเอียดซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องของคุณภาพสีของแสงรวมถึงการสร้างจุดสนใจให้กับผู้บรรยายที่เป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนมากและมักจะถูกละเลย นอกจากนี้ในด้านรูปแบบการบรรยายในรูปแบบที่ 3 ซึ่งเป็นรูปแบบที่โดยทั่วไปในปัจจุบันมีการใช้น้อย แต่มีแนวโน้มที่จะมีการใช้ในอนาคตสูงเพราะเป็นรูปแบบที่สามารถให้ความประทับในในการเรียนรู้ได้สูง ในการสอบถามในด้านแสงสว่างนี้ต้องมีการสอบถามถึง 3 รอบจึงได้ข้อสรุปที่เป็นเอกฉันท์ตรงกันจากผู้เชี่ยวชาญ

ดังนี้ความต้องการด้านแสงสว่างของห้องเรียนโดยแบ่งตามรูปแบบการบรรยายทั้ง 3 รูปแบบ พบว่ามีความต้องการระดับความสว่างในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันดังนั้นการสร้างห้องเรียนต้นแบบจึงต้องสามารถควบคุมระดับความสว่างของแต่ละพื้นที่ได้สอดคล้องกับความต้องการด้านแสงสว่าง

ภาพที่ 5-7 แสดงลักษณะการจัดแสงสว่างในห้องเรียนรูปแบบที่ 1 คือรูปแบบการบรรยายทั่วไปโดยการใช้กระดานในการเขียน



ภาพที่ 5-8 แสดงลักษณะการจัดแสงสว่างในห้องเรียนรูปแบบที่ 2 คือ การบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายแผ่นใส เครื่องฉายแผ่นทึบ และเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 5-9 แสดงลักษณะการจัดแสงสว่างในห้องเรียนรูปแบบที่ 3 คือ การบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความละเอียดและคมชัด (resolution) ของภาพค่อนข้างสูง

ผลจากการสอบถามในรอบที่ 2 ข้อ 3-12 และผลจากการสอบถามในรอบที่ 3 พบว่า

ในกรณีรูปแบบการบรรยายทั่วไปโดยการใช้กระดานในการเขียน ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่า รูปแบบของแสงสว่างที่เหมาะสม คือที่บริเวณผู้เรียนควรมีแสงสว่างเพียงพอในการจดบันทึก ที่บริเวณผู้สอนควรมีระดับความส่องสว่างเพียงพอในการอ่านและเขียนหนังสือและต้องการระดับความส่องสว่างมากกว่าบริเวณผู้เรียนเล็กน้อยเพื่อเน้นจุดเด่น (high light) ของห้อง และมีคุณภาพของแสงสีที่ช่วยส่งเสริมสีสันของผู้บรรยาย ส่วนที่บริเวณกระดานควรมีระดับการส่องสว่างที่กระดานที่สามารถมองภาพหรืออักษรบนกระดานได้ชัดเจน การควบคุมแสงสว่างให้ได้ตามความต้องการดังกล่าวจะต้องมีการคำนึงถึงมุมและทิศทางการตกระทบของแสงโดยตรง ให้ทำมุมใกล้เคียงมุมตั้งฉากของระนาบที่ต้องการความส่องสว่างมากที่สุดเพื่อให้ได้แสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

กรณีรูปแบบการบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายแผ่นใส เครื่องฉายแผ่นทึบ และเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่า รูปแบบของแสงสว่างที่เหมาะสม คือที่บริเวณผู้เรียนควรมีแสงสว่างเพียงพอในการจดบันทึก และที่บริเวณผู้สอนควรมีระดับความส่องสว่างเพียงพอในการอ่านและเขียนหนังสือและต้องการระดับความส่องสว่างมากกว่าบริเวณผู้เรียนเล็กน้อยเพื่อเน้นจุดเด่น (high light) ของห้อง และมีคุณภาพของแสงสีที่ช่วยส่งเสริมสีสันของผู้บรรยาย เช่นเดียวกับรูปแบบแรก แต่ต้องคำนึงถึงแสงสว่างที่จะรบกวนจอภาพ เพราะที่

บริเวณจอภาพสำหรับการฉายภาพที่ชัดเจนนั้นต้องมีค่าการเปรียบต่างแสง (contrast) ระหว่างเครื่องฉายกับจอภาพสูงพอที่จะเกิดภาพที่ชัดเจนและไม่รุนแรงเกินไปจนเกิดความรู้สึกไม่สบายตา

กรณีรูปแบบการบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความละเอียดและคมชัด (resolution) ของภาพค่อนข้างสูง ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่า การบรรยายในรูปแบบนี้เน้นที่ความชัดเจนของภาพที่ฉายบนจอภาพดังนั้น เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนที่สุด ดังนั้นการควบคุมแสงที่สะท้อนบนจอจึงต้องมีความสมบูรณ์ที่สุด คือสามารถปรับหรี่แสงสว่างภายในห้องได้มืด เพื่อเพิ่มค่าค่าการเปรียบต่างแสง (contrast) ระหว่างเครื่องฉายกับจอภาพให้สูง

จากความเห็นทั้งหมดของผู้เชี่ยวชาญในด้านแสงสว่าง พบว่ามีความต้องการในการปรับเปลี่ยนและควบคุมระดับของแสงสว่างในบริเวณต่างๆของห้องเรียนตามลักษณะการใช้สอยของกิจรรมกล่าวคือในบริเวณผู้เรียน และผู้บรรยายต้องสามารถควบคุมระดับความเข้มแสงได้ตั้งแต่มืดที่สุดสำหรับรูปแบบการบรรยายที่ใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความละเอียดและคมชัด (resolution) ของภาพค่อนข้างสูง และสามารถปรับระดับความเข้มแสงให้พอเพียงกับการอ่านและการเขียนหนังสือได้สำหรับรูปแบบการบรรยายทั่วไปโดยการใช้กระดานในการเขียน และรูปแบบการบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายแผ่นใส เครื่องฉายแผ่นทึบ และเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ แต่ในส่วนผู้บรรยายต้องคำนึงพิเศษในเรื่องของดัชนีความถูกต้องของสีหลอดไฟเพื่อคุณภาพของแสงสีที่ดีและมีความเข้มแสงสูงกว่าบริเวณผู้เรียนเพื่อเน้นจุดสนใจภายในห้อง แต่มีการควบคุมมุมแสงให้มีแสงที่ตกกระทบบนจอฉายภาพน้อยที่สุดทั้งแสงโดยตรงและแสงสะท้อนเพื่อป้องกับการรบกวนการฉายภาพ

ส่วนบริเวณกระดานหรือจอภาพระบบแสงสว่างต้องสามารถควบคุมระดับความเข้มแสงได้ตั้งแต่มืด รวมถึงการออกแบบพื้นผิวโดยรอบที่ป้องกันการสะท้อนของแสงเข้าสู่จอภาพสำหรับรูปแบบการบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายแผ่นใส เครื่องฉายแผ่นทึบ และเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ และรูปแบบการบรรยายที่ใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความละเอียดและคมชัด (resolution) ของภาพค่อนข้างสูง ซึ่งมีเทคนิคการควบคุมแสงทั้งแสงโดยตรงและแสงสะท้อนดังนี้

- ด้านแสงโดยตรง ควรมีระบบแสงสว่างที่สามารถควบคุมทิศทางมุมแสง (lighting beam) ที่ไม่มีปริมาณแสงที่รั่วไหลไปตกกระทบจอฉายภาพ
- ด้านแสงสะท้อน ได้ใช้ผนัง พื้น และเฟอร์นิเจอร์ เช่น เฟอร์นิเจอร์สีค่อนข้างเข้ม ไม่เป็นเงามัน มีค่าการสะท้อนแสงน้อย ไม่ไปตกกระทบหรือฟอกจอให้สว่าง จึงทำให้จออยู่ในมุมมืด ขณะที่ผู้ฟังอยู่ในที่สว่างที่เพียงพอต่อการเรียนรู้และอาจารย์ได้เห็นหน้านักศึกษาชัดเจน จึงเกิดปฏิสัมพันธ์ต่อการเรียนรู้ที่ดี กล่าวคือ นักศึกษาเรียนในห้องสว่างปกติแต่สามารถเห็นภาพที่ฉายบนจอได้ชัดเจน เมื่ออาจารย์เดินมาอยู่บริเวณหน้าจอที่ฉายภาพก็จะไม่บังทัศนียภาพของการเรียนรู้ แต่แสงสว่างที่ตกกระทบผู้บรรยายก็ยังเห็นชัดเจนเพียงพอ

5.2.3 ด้านมุมมองและทัศนวิสัย

ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางด้านมุมมองและทัศนวิสัยที่เชื่อมโยงกับการเรียนรู้และระบบสมอง พบว่าตัวแปรด้านแสงสว่างนั้นมีความเกี่ยวข้องกับระบบของประสาทสัมผัสทางการมองเห็น ที่เป็นหนึ่งในการรับรู้ในกิจกรรมการเรียนรู้ที่สำคัญ ผลจากการสอบถามในรอบที่ 2 ข้อ 13 และข้อ 14 พบว่า ด้านมุมมองและทัศนวิสัยในห้องเรียนผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นด้วยอย่างมากให้ผู้เรียนต้องสามารถเห็นภาพหรือตัวหนังสือบนกระดานหรือจอชัดเจน และต้องไม่มีแสงบาดตา ทั้งจากมุมมองของผู้บรรยายและผู้เรียน

ด้านมุมมองและทัศนวิสัยที่สามารถมองเห็นภาพหรือตัวหนังสือบนกระดานหรือจอชัดเจน นั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้ คือ มุมมองสูงสุดในการมองเห็น (visual field) ของนักเรียนจะต้องไม่เกิน 135 องศา และจะต้องมีระดับความเข้มแสงและค่าการเปรียบต่างที่เหมาะสมในการมองเห็น ดังที่ได้อภิปรายในเรื่องแสงส่วางข้างต้นแล้ว แลต้องคำนึงถึงการสะท้อนแสงของวัสดุมันเงาที่อาจก่อให้เกิดการมองเห็นที่ไม่ชัด นอกจากการมองเห็นกระดานหรือจอภาพได้ชัดเจนของผู้เรียนแล้วจากการสัมภาษณ์ในรอบที่ 1 ที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นได้มีผู้เชี่ยวชาญบางท่านให้ความเห็นว่ามุมมองที่เกิดขึ้นในห้องเรียนระหว่างนักเรียนและผู้บรรยายควรมองเห็นซึ่งกันและกันได้อย่างชัดเจนเพื่อเป็นการส่งเสริมปฏิสัมพันธ์และการสื่อสารที่ดีภายในห้องเรียน

ด้านมุมมองและทัศนวิสัยที่ต้องไม่มีแสงบาดตา ทั้งจากมุมมองของผู้บรรยายและผู้เรียนจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ปริมาณของแสงที่มองเห็นทั้งแสงโดยตรงและแสงสะท้อนในมุมมองของทั้งผู้เรียนและผู้วิจัย จะต้องมีปริมาณที่ไม่มากเกินไป จนทำให้ระบบการรับรู้ของการมองเห็นต้องมีการปรับ เช่น ในมุมมอมของนักเรียนเมื่อมองจอภาพจะต้องไม่มีแสงสะท้อนที่มีปริมาณมากเกินไปหรือแสงจากช่องหน้าต่างเข้าสู่มุมในการมองเห็น (visual field) และในทางกลับกันด้านผู้บรรยายเมื่อบรรยายจะต้องไม่มีแสงสะท้อนที่มีปริมาณมากเกินไปหรือแสงจากช่องหน้าต่างเข้าสู่มุมในการมองเห็น (visual field) เช่นเดียวกัน ในกรณีของผู้บรรยายมักจะเกิดปัญหานี้กับห้องเรียนที่มีช่องหน้าต่างทางด้านหลังผู้เรียนโดยตรง และไม่มีการออกแบบช่องหน้าต่างที่ถูกต้อง เช่น การใช้ม่านบังแสง หรือการเลือกชยิดกระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสงที่เหมาะสม

ทางด้านแสงบาดตาที่เกิดขึ้นในห้องเรียนทั่วไปจะพบว่าขาดการออกแบบช่องหน้าต่างและพื้นผิวบริเวณจอภาพที่เหมาะสม จึงมีโอกาสเกิดแสงบาดตาได้ทั้งในมุมมองของนักเรียนและผู้บรรยาย

5.2.4 ด้านคุณภาพเสียงและการได้ยิน

ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางด้านคุณภาพเสียงและการได้ยินที่เชื่อมโยงกับการเรียนรู้และระบบสมอง พบว่าตัวแปรด้านเสียงนั้นมีความเกี่ยวข้องกับระบบของประสาทสัมผัสทางการได้ยิน ที่เป็นหนึ่งในการรับรู้ในกิจกรรมการเรียนรู้ที่สำคัญ ผลจากการสอบถามในรอบที่ 2 ข้อ 15 และข้อ 16 พบว่า ห้องเรียนมีความต้องการคุณภาพของเสียงที่ดีและสามารถบรรยายได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง รวมถึงการได้ยินเสียงที่ชัดเจนปราศจากเสียงรบกวน

ทางด้านความต้องการคุณภาพของเสียงที่ดีและได้ยินทั่วทั้งห้องได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง จะต้องคำนึงถึงรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของห้องและการสะท้อนเสียง การดูดซับเสียงอย่างเหมาะสม ทั้งนี้คณะที่ปรึกษาได้ให้ข้อคิดว่าควรจะมีระดับของการได้ยินที่ดี ในทุกย่านความถี่เสียง (octave band) โดยใช้เทคนิคการคำนวณประกอบที่เรียกว่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (reverberation time) ซึ่งค่าที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียนอยู่ในช่วงประมาณ 0.8 – 1.2 วินาที อย่างไรก็ตามหากจะใช้ห้องเรียนห้องนี้เป็นห้องเล่นดนตรีหรือแสดงละคร จำเป็นต้องมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (reverberation time) สูงกว่านี้ ซึ่งห้องเรียนนี้อาจไม่เหมาะสมเพราะค่าตัวแปรที่

เกี่ยวกับคุณภาพของเสียงที่เรียกว่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (reverberation time) มีลักษณะแตกต่างกันไป

ทางด้านความต้องการการไม่มีเสียงรบกวนจะต้องคำนึงถึงทั้งเสียงรบกวนจากภายนอก และเสียงรบกวนภายใน ให้มีค่าเสียงรบกวนในสภาพแวดล้อม (background noise) ในระดับต่ำ ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่า หากพูดในเชิงเทคนิค คือ น่าจะอยู่ในระดับไม่เกิน 45 dBA ในทุกย่านความถี่เสียง (octave band) โดยเห็นว่าควรลดเสียงรบกวนจากภายนอกจากภายนอกด้วยการเลือกใช้วัสดุของห้องรวมถึงช่องประตูและหน้าต่างที่มีค่าการกันเสียงที่ดี และลดเสียงรบกวนภายใน ด้วยการปรับปรุงระบบปรับอากาศให้เป็นท่อเก็บเสียง

5.2.5 ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

จากผลการวิจัย ประเด็นสำคัญทางด้านนี้ที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 1 และการสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 ข้อ 20 พบว่า ห้องเรียนที่เหมาะสมกับการเรียนรู้ในยุคใหม่ต้องสามารถรองรับเทคโนโลยีสารสนเทศ และช่วยส่งเสริมให้สัญญาณต่างๆของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.6 ด้านคุณภาพอากาศ

จากผลการวิจัย ประเด็นสำคัญทางด้านนี้ที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 1 และการสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 ข้อ 17 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญบางท่านให้ข้อสังเกตเรื่องคุณภาพอากาศภายในห้องเรียน (indoor air quality) มีความสัมพันธ์กับประสาทการรับรู้ทางจมูก หมายรวมถึงคุณภาพของก๊าซและสิ่งเจือปนที่อยู่ในอากาศและกลิ่นเป็นหลัก ผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านให้ข้อสังเกตว่า เรื่องคุณภาพอากาศ นั้นมีทั้งที่มีผลกระทบต่อการเรียนรู้และสุขภาพ เช่น เชื้อโรค เชื้อรา บางชนิดที่อยู่ในอากาศ หรือก๊าซบางชนิดที่ประสาทสัมผัสทางจมูกไม่สามารถรับรู้ถึงกลิ่นได้แต่ส่งผลต่อระบบสมองในการเรียนรู้ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์

นอกจากนี้ศักยภาพทางด้านกลิ่นที่ช่วยในการกระตุ้นการรับรู้ อาจนำมาช่วยในการปรับบรรยากาศหรืออารมณ์ (mood) ภายในห้องเรียนได้ เช่น การสร้างกลิ่นหอมของดอกไม้

ในการสร้างบรรยากาศภายในห้องเรียน แต่เนื่องจากเป็นเรื่องที่ซับซ้อน ในงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญทางด้านคุณภาพอากาศในเรื่องพื้นฐาน คือ นำไปประยุกต์ในห้องเรียนต้นแบบในการคำนึงถึงคุณภาพการไหลเวียนของอากาศได้ตามมารตฐานที่กฎหมายกำหนด ประมาณ 10 – 15 ลูกบาศ์กฟุตต่อนาที (cfm) และได้นำข้อสังเกตต่างๆเกี่ยวกับการศึกษาในเรื่องคุณภาพอากาศต่อไปในส่วนของข้องเสนอแนะต่อไป

5.2.7 ด้านบรรยากาศและความสวยงาม และด้านความปลอดภัย

จากผลการวิจัย ประเด็นสำคัญทางด้านนี้ที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 1 และการสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 ข้อ 18 และข้อ 19 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญบางท่านให้ข้อสังเกตว่าเรื่องบรรยากาศและความสวยงามเป็นเรื่องที่จำเป็นสำหรับห้องเรียนเพื่อสร้างสิ่งเร้าที่ดีและเกิดความประทับใจที่ดีในการเรียนรู้ แต่เป็นเรื่องที่มีความเป็นส่วนตัวมากดังนั้นจึงแนะนำว่าการสร้างห้องเรียนต้นแบบในงานวิจัยนี้น่าจะมีรูปแบบที่มีความสวยระดับหนึ่งตามศักยภาพของห้องที่มีอยู่น่าจะเพียงพอสำหรับเรื่องความสวยงามในห้องเรียน

ทางด้านความปลอดภัยผู้เชี่ยวชาญให้ข้อสังเกตว่าเป็นเรื่องที่จำเป็นสำหรับห้องเรียน ทั้งในเรื่องของความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ตลอดจนความปลอดภัยทางด้านข้อมูลเพื่อสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีสำหรับการเรียนรู้ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของห้องเรียนตัวอย่างที่ทำการปรับปรุง ผู้เชี่ยวชาญจึงเห็นว่าควรสร้างห้องเรียนต้นแบบให้ได้ความปลอดภัยตามที่กำหนดไว้ในกฎหมายอาคาร ในเรื่องอัคคีภัยและความแข็งแรงน่าจะเพียงพอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 อภิปรายผลการศึกษากรณีศึกษา

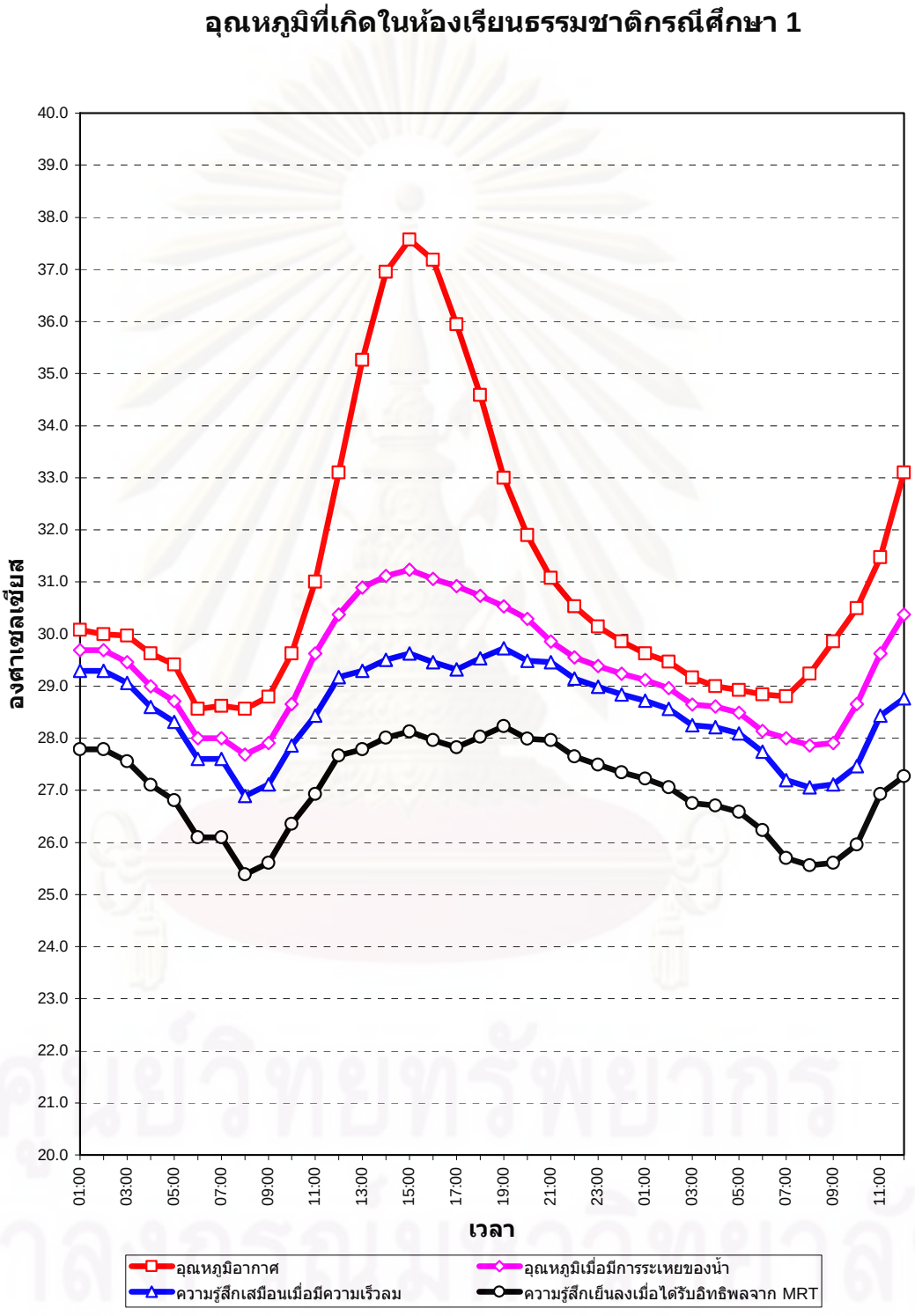
การอภิปรายผลการศึกษากรณีศึกษาในการวิจัยนี้ประกอบด้วยกรณีศึกษา 3 กรณี ในกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 เป็นกรณีศึกษาการสร้างห้องเรียนด้วยการใช้ระบบธรรมชาติ ตามศักยภาพธรรมชาติที่มีอยู่ที่สถานที่ตั้งห้องเรียน ส่วนกรณีที่ 3 เป็นการปรับปรุงห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ ดังนั้นการอภิปรายผลการศึกษากรณีศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 อภิปรายผลกรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์รังสิตและกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า และส่วนที่ 2 อภิปรายผลกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ

5.3.1 อภิปรายผลกรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์รังสิตและกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า

5.3.1.1 อภิปรายผลความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า

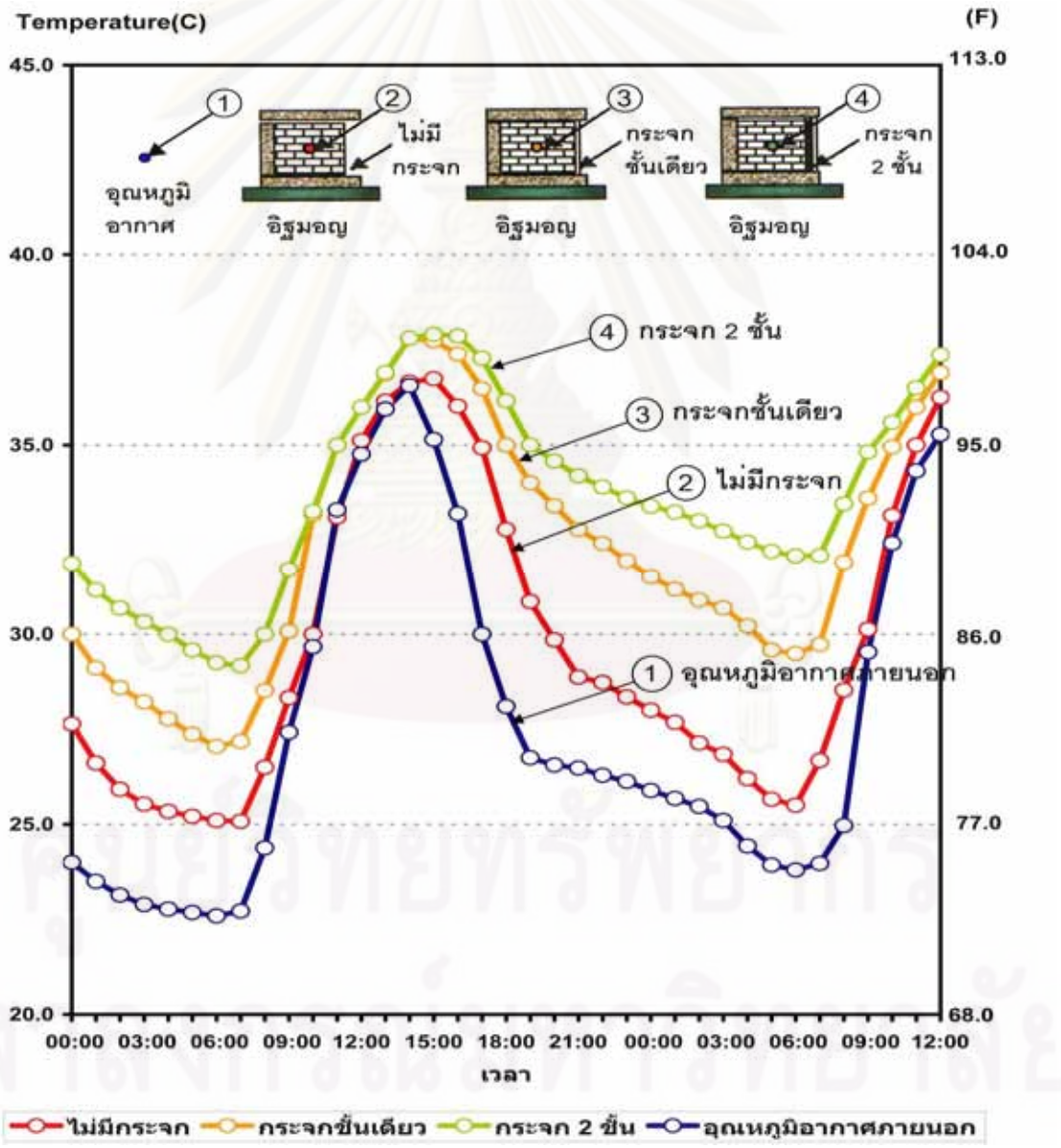
วิเคราะห์ผลการใช้เทคนิคการออกแบบการปรุงแต่งสภาแวดล้อมเพื่อสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ด้วยการสร้างความเย็นด้วยการระเหยน้ำภายนอกอาคาร ป้องกันความร้อนจากหลังคาด้วยการใช้หลังคาที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง คือโฟมหนา 0.10 เมตร สามารถลดอุณหภูมิอากาศให้กับภายในห้องเรียน สร้างความรู้สึกเสมือนเย็นลงด้วยอิทธิพลของลม และใช้อิทธิพลอุณหภูมิผิวรอบที่เย็นกว่ามาใช้ประโยชน์ และเมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิอากาศของวันที่ร้อนที่สุดในปี 2548 มาจำลองสถานะการณ์ การออกแบบห้องเรียนธรรมชาติกรณีที่ 1 พบว่าอุณหภูมิเสมือนภายในห้องเรียนจะรู้สึกสบายในเขตกึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม (semi-passive) คือมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 22-28 องศาเซลเซียส ตามผังภูมิที่ 5-3 ในกรณีศึกษา 2 มีการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมภายนอกที่สมบูรณ์น้อยกว่ากรณีศึกษาที่ 1 ทำให้ผลความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวในกรณีที่ 2 ยังต้องปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 5-3 แสดงจำลองอุณหภูมิและความรู้สึกด้านความร้อนหนาวในห้องเรียนธรรมชาติกรณีที่ 1

การเลือกใช้กระจกในกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 เลือกใช้กระจกลามิเนต จากการศึกษาของ พรรณจิรา ทิศาวิภาต ในปี 2541 เรื่องผลของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงโดยการหมุนหลบ พบว่าหากเป็นอาคารไม่ปรับอากาศการใช้กระจกฉนวน 2 ชั้นจะทำให้อุณหภูมิภายในสูงกว่าการใช้ประจกชั้นเดียว และกระจกลามิเนตที่เลือกใช้ในกรณีศึกษานี้ยังมีคุณสมบัติการตัดรังสียูวีจากภายนอก และมีความปลอดภัย



แผนภูมิที่ 5-4 แสดงการจำลองกล่องทดลองติดตั้งกระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 หันช่องแสงด้านข้างไปทางทิศใต้ (พรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2541)

การดูดซับความร้อนเมื่อคำนวณ มวลสารของพื้นที่นั่งพื้นที่ 100 ตารางเมตร ที่ดูดซับความร้อนลึกลงไปเทียบเท่า 0.05 เมตร และยอมให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 องศาเซลเซียส (1.8 องศาฟาเรนไฮต์) ความหนาแน่นของคอนกรีตเท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าความจุความร้อน 0.2 บีทียูต่อปอนด์ต่อองศาฟาเรนไฮท์

จากสมการที่ 3 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2)

พลังงานความร้อนที่ดูดซับได้

= (100)(0.05)(2400)(2.2) * (0.2) * (1.8)

= 9,504 บีทียู

กรณีผู้ใช้ห้องเรียนมีการเผาผลาญพลังงาน 255 บีทียูต่อชั่วโมงต่อคน

ดังนั้นห้องเรียนกรณีศึกษา 1 และ 2 จะสามารถรองรับผู้ใช้อาคารได้ประมาณ 37 คน จึงไม่เพียงพอต่อการรับการดูดซับความร้อนของผู้ใช้ห้อง

การปรับตัวของผู้เรียนในอาคาร จากการทดลองใช้ห้องเรียนพบว่าขาดพื้นที่ในส่วนดังกล่าว พื้นที่นี้นอกจากจะเป็นที่พักของผู้ใช้อาคารก่อนเข้าถึงกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อเป็นการปรับความพร้อมของร่างกาย

5.3.1.2 อภิปรายผลความสบายด้านแสงสว่างกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า

การให้แสงสว่างภายในด้วยช่องแสงจากด้านบน ที่ให้ความสว่างภายในห้องเพียงพอแต่บริเวณจอภาพและเวที กรณีศึกษาที่ 1 ต้องการให้ห้องเรียนไม่มีมุมอับของสายตาจึงเจาะหน้าต่างรูปวงกลมด้านข้างเวที ทำให้การควบคุมแสงสว่างบริเวณจอและเวทียังไม่สมบูรณ์ ดูภาพที่ 5-10 ในกรณีศึกษา 2 แก้ไขปัญหาการควบคุมระดับแสงสว่างบริเวณหน้าจอด้วยการใช้ช่องแสงด้านข้างและไม่เปิดโดยตรงสู่เวที สามารถควบคุมความสว่างบริเวณเวทีและจอภาพได้มากขึ้น

ด้านการปรับสภาพของดวงตาก่อนเข้าห้องเรียนธรรมชาติ ในกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ยังไม่มีพื้นที่ปรับสภาพ (adaptive area) ก่อนเข้าห้อง

ภาพที่ 5-10 แสดงช่องเปิดรูปวงกลมที่อยู่ด้านข้างเวที กรณีศึกษา 1 ห้องเรียนธรรมชาติธรรมศาสตร์รังสิต

ภาพที่ 5-11 แสดงช่องเปิดที่เลี่ยงบริเวณเวทีโดยตรง กรณีศึกษา 2 ห้องเรียนธรรมชาติราชภัฏฯบางคล้า

5.3.1.3 อภิปรายผลความสบายด้านการมองเห็นกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า

การมองเห็นภายในห้องควบคุมมุมมองภายในห้องไม่เกิดแสงสว่างที่จ้าเกินไปในมุมมอง ด้วยการใช้สภาพแวดล้อมภายนอกที่อยู่ในมุมมองเป็นธรรมชาติที่มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 0.06 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมทั่วไปที่มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 0.50 จากการคำนวณด้วยสมการที่ 10 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) กรณีมีแสงสว่าง 6,000 ฟุตแคนเดิล ตกกระทบพื้นผิวดังกล่าวและสะท้อนเข้าสู่มุมมองระดับสายตา พบว่าความสว่างที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมธรรมชาติที่เป็นต้นไม้ใบไม้ จะมีค่าเท่ากับ 360 ฟุตแลมเบิร์ต และความสว่างที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมทั่วไป จะมีค่าเท่ากับ 3,000 ฟุตแลมเบิร์ต ในกรณีความสว่างที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมธรรมชาติมีค่าไม่เกิดค่าความสว่างสูงสุดที่ดวงตารับได้ในมุมมองระดับสายตา คือมากที่สุดไม่ควรเกิน 495 ฟุตแลมเบิร์ต แต่ในกรณีความสว่างที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมทั่วไปจะมีค่าสูงกว่ามากจึงทำให้เกิดความระคายเคืองในมุมมองได้

การควบคุมไม่ให้เกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็นในมุมมองควบคุมดดยการเลือกใช้วัสดุที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบฟุ้งกระจาย

5.3.1.4 อภิปรายผลความสบายด้านการได้ยินกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯบางคล้า

ผลการควบคุมเสียงรบกวนจากภายนอกด้วยการใช้เนินดิน และควบคุมคุณภาพเสียงภายในด้วยการเลือกใช้วัสดุพื้นผิวภายในให้มีส่วนที่สะท้อนเสียงและดูดซับเสียงอย่างเหมาะสม หมายถึงพื้นผิวด้านหน้าห้องเป็นวัสดุสะท้อนเสียงเพื่อสะท้อนเสียงของผู้สอนไปยังผู้เรียน ส่วนพื้นที่หลังห้องใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อปรุงแต่งให้ห้องเรียนมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่เหมาะสม และสามารถบรรยายภายในห้องได้ดดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2 อภิปรายผลกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ

5.3.2.1 อภิปรายผลความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ

การปรับปรุงเปลือกอาคารกรณีศึกษา 3 ห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญฯ ประกอบด้วย ผนัง หลังคา พื้น และหน้าต่าง ดังต่อไปนี้

- ปรับปรุงผนังจากก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 ม. โดยติดตั้งฉนวนโฟมหนา 4 นิ้วภายนอก
- ปรับปรุงหลังคาจากกระเบื้องลอนคู่ฝ้าเพดานยิปซัมหนา 9 มม. โดยการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 2 ชั้นขนาด 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว
- ปรับปรุงพื้นจากพื้น คสล.หนา 0.10 ม. โดยการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว เพิ่มด้านล่าง
- ปรับปรุงกระจกจากกระจกใสหนา 6 มม. โดยเปลี่ยนเป็นกระจกฉนวน (heat stop)

ผลการปรับปรุงเปลือกอาคารดังกล่าวทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง หลังคา พื้น และกระจก ลดลงตามตารางที่ 5-4 และมีค่าสัมประสิทธิการบังแดดลดลงตามตารางที่ 5-5

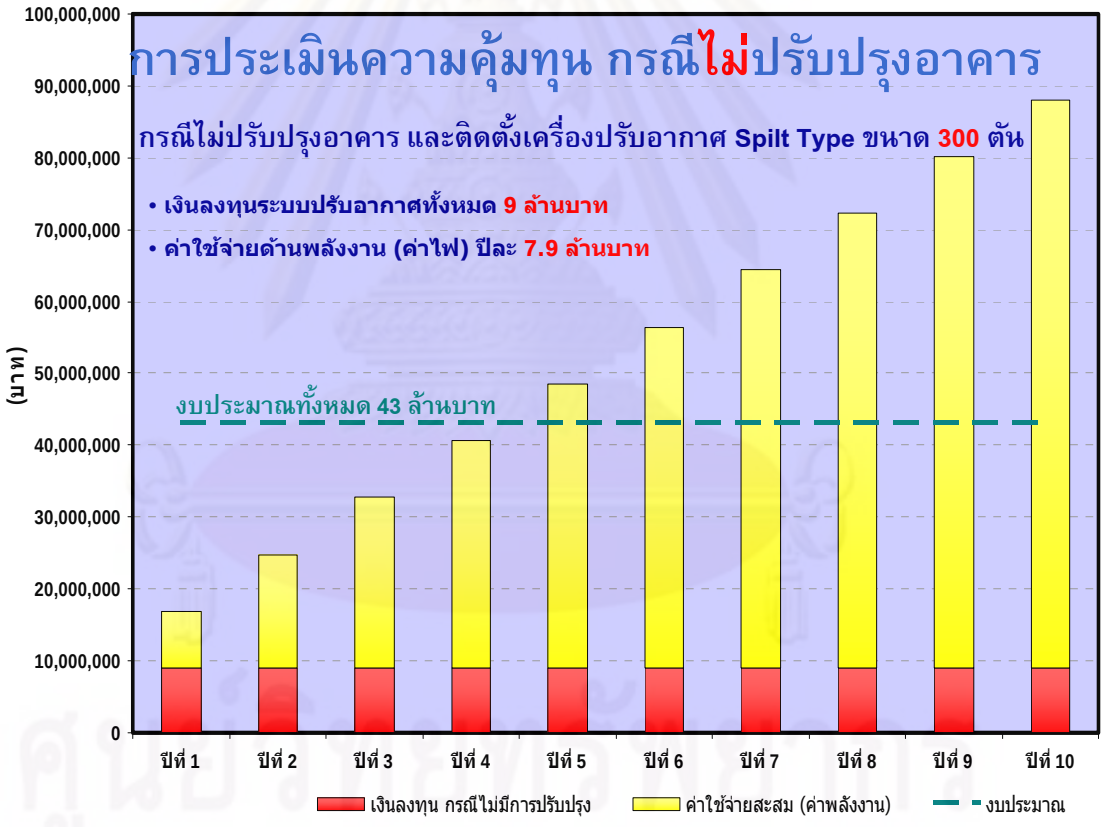
ตารางที่ 5-8 การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของห้องเรียนกรณีศึกษา 3

U value	ก่อนปรับปรุง (Btu/h $ft^{2O}F$)	หลังปรับปรุง (Btu/h $ft^{2O}F$)
ผนัง	0.558	0.056
หลังคา	0.38	0.023
พื้น	0.598	0.079
กระจก	1.06	0.53

ตารางที่ 5-9 แสดงการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกห้องเรียนกรณีศึกษา 3

SC	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
กระจก	0.95	0.53

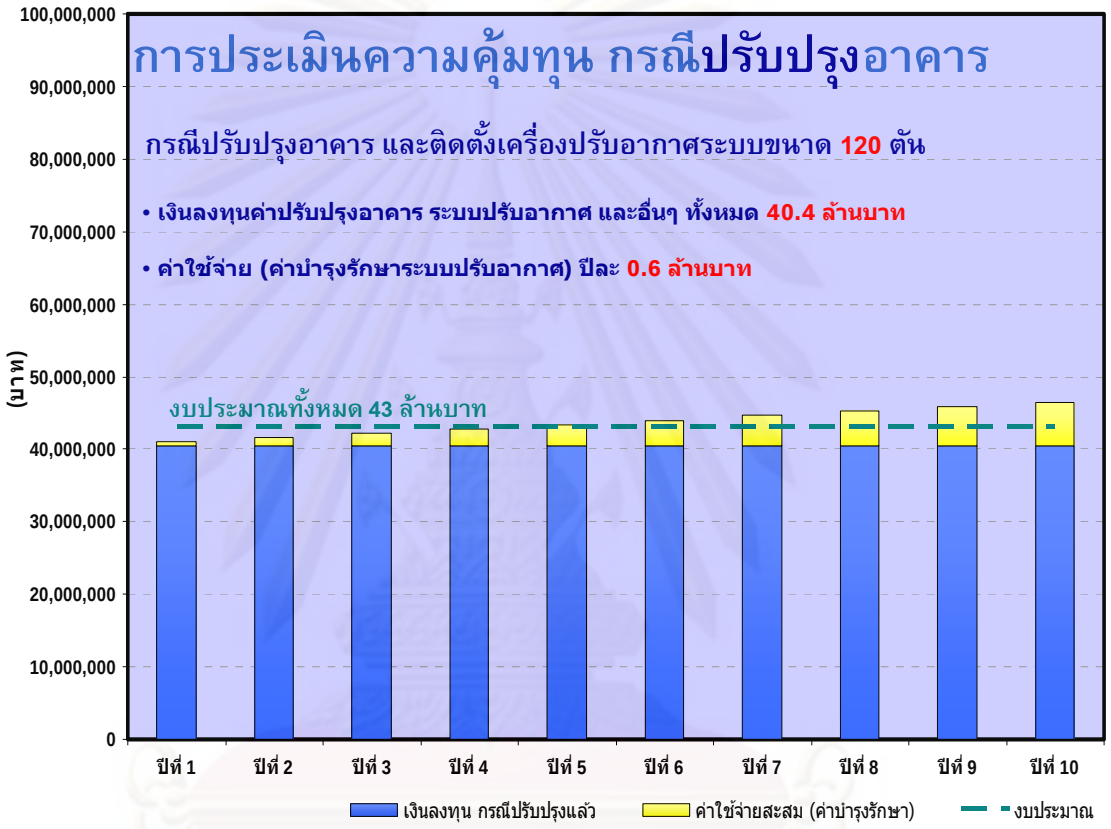
หลังจากปรับปรุงเปลือกอาคารห้องเรียนพูลเจริญฯ ให้มีค่าการส่งผ่านความร้อนลดลง จะสามารถติดตั้งระบบปรับอากาศที่มีขนาดเล็กและประหยัดพลังงาน และผลของการลดปริมาณการส่งผ่านความร้อนของเปลือกอาคารทำให้อุณหภูมิผิวภายในห้องเรียนไม่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศมาก ดังนั้นการปรับอุณหภูมิของระบบปรับอากาศจึงสามารถปรับอุณหภูมิที่ 26 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วลมจากพัดลมภายในห้องเพื่อช่วยสร้างความรู้สึกเสมือนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ทำให้ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามเรื่องความรู้สึกพึงพอใจกับสภาพความรู้สึกร้อนหนาวในห้องพบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้สึกพึงพอใจเพิ่มขึ้น และมีความรู้สึกร้อนหนาวในห้องที่เย็นสบายเพิ่มขึ้น



แผนภูมิที่ 5-5 แสดงการใช้ไฟฟ้าของห้องเรียนเมื่อไม่มีการปรับปรุงเปลือกอาคารอาคาร

เมื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในอนาคตเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอาคารที่ต้องลงทุน เปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่ปรับปรุงเปลือกอาคารกับกรณีปรับปรุงเปลือกอาคารพบว่ากรณีไม่ปรับปรุงเปลือกอาคารจะมีการลงทุนเริ่มต้นที่น้อยกว่าแต่

มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมากกว่า ตามแผนภูมิที่ 5-5 กรณีปรับปรุงเปลือกอาคารจะมีการลงทุนเริ่มต้นที่มากกว่าแต่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานน้อยกว่า ตามแผนภูมิที่ 5-6 และมีจุดคุ้มทุนประมาณ 3-4 ปี



แผนภูมิที่ 5-6 แสดงการใช้ไฟฟ้าของห้องเรียนเมื่อมีการปรับปรุงเปลือกอาคารอย่างถูกต้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2.2 อภิปรายผลความสบายด้านแสงสว่างกรณีศึกษา 3

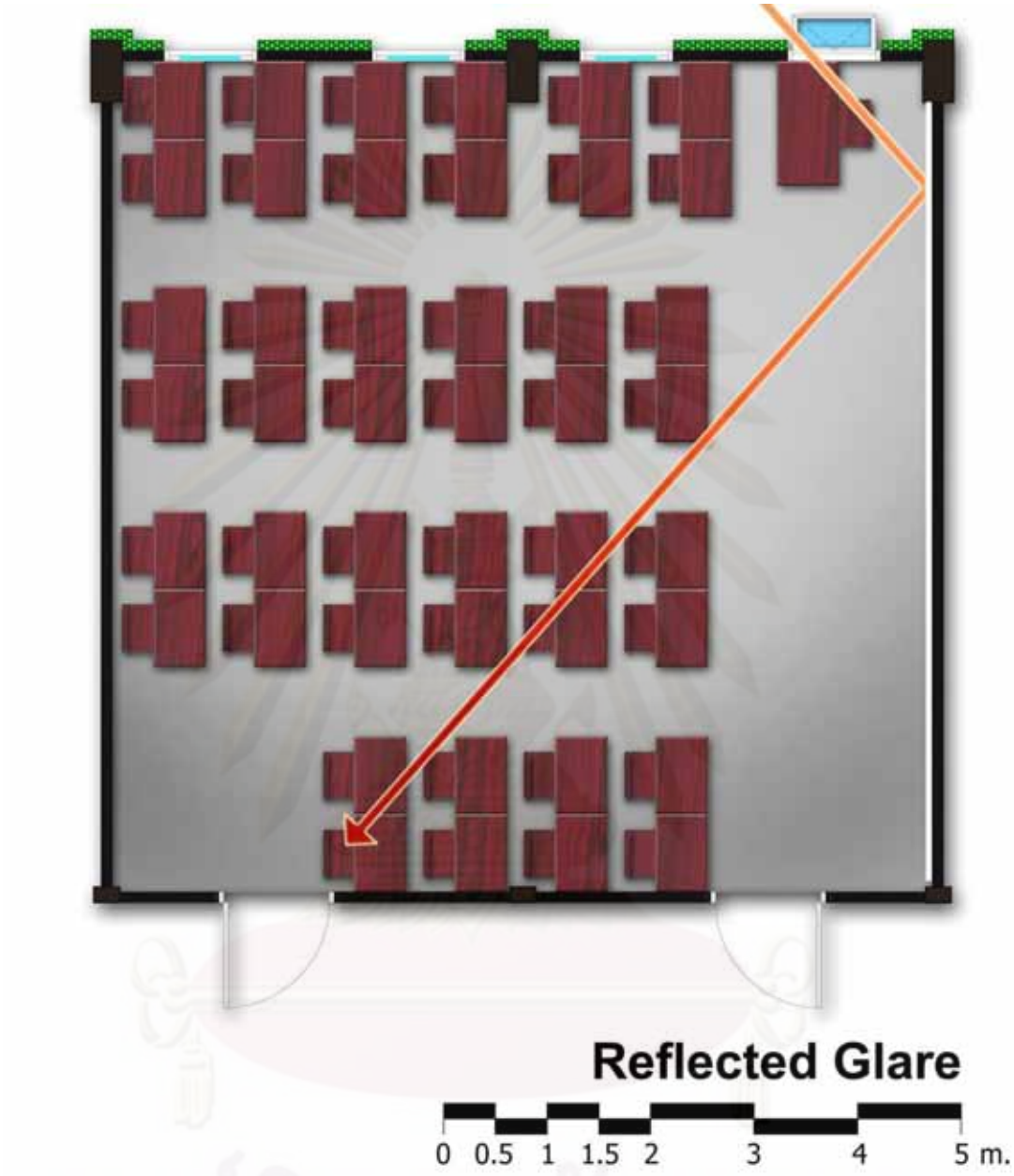
การปรับปรุงหน้าต่างของห้องเรียนกรณีศึกษา 3 ด้วยการเปลี่ยนขนาดหน้าต่างและใช้กระจกที่มีคุณสมบัติการประหยัดพลังงงาน จากการสำรวจระดับความส่องสว่างภายในห้องพบว่า แม้ช่องหน้าต่างจะมีขนาดเล็กลงแต่ให้แสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในห้องได้ใกล้เคียงห้องเรียนก่อนการปรับปรุงที่มีช่องหน้าต่างใหญ่กว่า เนื่องจากช่องแสงห้องเรียนในกรณีศึกษามีข้อจำกัด คือเป็นช่องแสงด้านข้างทำให้สามารถนำแสงเข้ามาใช้ในห้องได้เพียง 2-3 เมตร และต้องใช้แสงประดิษฐ์ผสมผสานเพื่อสร้างความสบายด้านแสงสว่าง โดยใช้ชุดหลอดไฟฟลูออเรนต์ ที่5 (T5) ที่มีการใช้พลังงานด้านแสงสว่างเท่ากับ 5.25 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีระดับการส่องสว่างประมาณ 300 ลักซ์ และทำให้ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามเรื่องความรู้สึกระดับแสงสว่างภายในห้องสว่างภายในห้องเพิ่มขึ้น

5.3.2.3 อภิปรายผลความสบายด้านการมองเห็นกรณีศึกษา 3

การปรับปรุงห้องโดยการปรับปรุงช่องแสง ปรับปรุงพื้นผิวและสีสันภายในห้องช่วยสร้างความสบายด้านการมองเห็น พบว่าค่าการเปรียบต่างระหว่างกระดานกับผนังห้อง ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 4.08:1 หลังการปรับปรุงเท่ากับ 3.50:1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 3:1 และไม่เกิน 5:1 ที่ทำให้มองกระดานเห็นชัด ทำให้ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามเรื่องความรู้สึกสบายตาเมื่อมองไปที่บริเวณเวทีและจอภาพพบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายตาเพิ่มขึ้น และมีความรู้สึกชัดเจนในการมองภาพบนจอภาพและผู้บรรยายเพิ่มขึ้น

การสำรวจการมองเห็นที่กระดานเนื่องจากกระดานขาวมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเป็นลำแสงทำให้เกิดเงาสะท้อนของช่องหน้าต่างที่กระดานขาวรบกวนการมองเห็นตามภาพที่ 5-12 และภาพที่ 5-13 วิธีการแก้ไขปัญหาในกรณีนี้สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนทิศทางของเงาสะท้อนที่กระดานด้วยการเอียงมุมของกระดานขาวกดลง ทำให้เงาสะท้อนของหน้าต่างถูกกดลงต่ำกว่ามุมมองของนักเรียนตามภาพที่ 5-14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5-12 แสดงผังพื้นการเกิดแสงสะท้อนรบกวนการมองเห็นจากกระดานขาวที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบสาดเป็นลำแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 5-13 แสดงรูปตัดการเกิดแสงสะท้อนรบกวนการมองเห็นจากกระดานขาวที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบสาดเป็นลำแสง

ภาพที่ 5-14 แสดงรูปตัดการแก้ปัญหาการเกิดแสงสะท้อนรบกวนการมองเห็นจากกระดานขาวที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบสาดเป็นลำแสง ด้วยการเอียงมุมกระดานเพื่อให้แสงสะท้อนไม่อยู่ในมุมมองที่มองเห็น

5.3.2.4 อภิปรายผลความสบายด้านการได้ยินกรณีศึกษา 3

การปรับปรุงห้องเรียนกรณีศึกษา 3 ด้วยการปรับปรุงเปลือกอาคารให้มีค่าการสูญเสียของการส่งผ่านเสียง (TL) เพิ่มขึ้นทั้งผนัง หลังคาและหน้าต่าง รวมถึงการปิดหน้าต่างเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอก ทำให้สามารถลดระดับเสียงรบกวนภายในห้อง (background noise) ในกรณีไม่มีเครื่องบินผ่านลดจาก 65-70 dBA เหลือ 55-58 dBA และในกรณีมีเครื่องบินผ่านลดจาก 78-82 dBA เหลือ 65-70 dBA ทำให้ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามเรื่องความรู้สึกระดับความดังของเสียงภายในห้องพบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้สึกระดับความดังของเสียงภายในห้องลดลง และทำให้ให้ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามเรื่องความชัดเจนในการฟังบรรยาย พบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้สึกได้ยินเสียงที่ชัดเจนขึ้นเนื่องจากมีระดับเสียงรบกวนภายในห้องที่ลดลงทำให้มีความแตกต่างของค่าระดับความดังของเสียงผู้บรรยายกับเสียงรบกวนภายในห้องเพิ่มขึ้น

การปรับปรุงคุณภาพภายในด้วยการออกแบบพื้นผิวดูดซับเสียงและสะท้อนเสียงที่เหมาะสมทำให้มีคุณภาพด้านสภาพแวดล้อมทางเสียงที่เหมาะสมกับห้องเรียนคือมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์เท่ากับ 0.76 วินาที ทำให้ให้ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามเรื่องความก้องของเสียงบรรยายพบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้สึกเสียงก้องเพิ่มขึ้น เนื่องจากก่อนการปรับปรุงช่องเปิดของหน้าต่างเป็นพื้นที่เสมือนดูดซับเสียงทำให้มีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์เท่ากับ 0.33-0.52 วินาที จึงทำให้รู้สึกเสียงก้องเพิ่มขึ้นแต่ยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับห้องเรียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 อภิปรายผลห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

การอภิปรายผลของห้องเรียนธรรมขาติต้นแบบคือการอภิปรายระบบธรรมชาติที่ใช้ในการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมทำให้เกิดคุณภาพภายในห้องเรียนทั้ง 4 กลุ่มตัวแปรตามขอบเขตการวิจัย คือความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ความสบายด้านแสงสว่าง ความสบายด้านการมองเห็น และความสบายด้านการได้ยิน

ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวอภิปรายการใช้ระบบธรรมชาติเพื่อปรุงแต่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาว โดยใช้ 4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการปรุงแต่งสภาพแวดล้อม ให้อยู่ในเขตสบาย โดยการลดอุณหภูมิอากาศ ควบคุมความชื้น ใช้ความเร็วลมเพื่อสร้างความรู้สึกเย็นลง และใช้อิทธิพลอุณหภูมิผิวรอบที่เย็นกว่าอุณหภูมิอากาศ

ความสบายด้านแสงสว่างอภิปรายการการใช้แสงธรรมชาติและการสะท้อนแสงภายในห้องเพื่อควบคุมระดับความส่องสว่าง (illuminance) ค่าความสว่าง (luminance) ระยะเวลาในการปรับสายตา (time)

ความสบายด้านการมองเห็นอภิปรายการควบคุมมุมมองภายในห้องเรียนเพื่อให้เกิดความสบายตาในมุมมอง สามารถมองสื่อได้ชัดเจนจากการใช้ขนาดวัตถุในมุมมอง (size) และค่าการเปรียบต่าง (contrast) ที่เหมาะสม และไม่เกิดการระคายเคืองในสายตา (direct glare) และเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น เพื่อให้มองเห็นภาพได้ชัดเจน

ความสบายด้านการได้ยินอภิปรายการควบคุมสภาพแวดล้อมด้านเสียงในห้องเรียนเพื่อให้สามารถใช้เสียงในการสื่อสารได้อย่างสมบูรณ์ สามารถควบคุมเสียงรบกวนจากภายนอกและการควบคุมคุณภาพเสียงภายในด้วยการใช้พื้นที่ดูดซับเสียงและสะท้อนเสียงอย่างเหมาะสม

5.4.1 อภิปรายผลความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวของห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

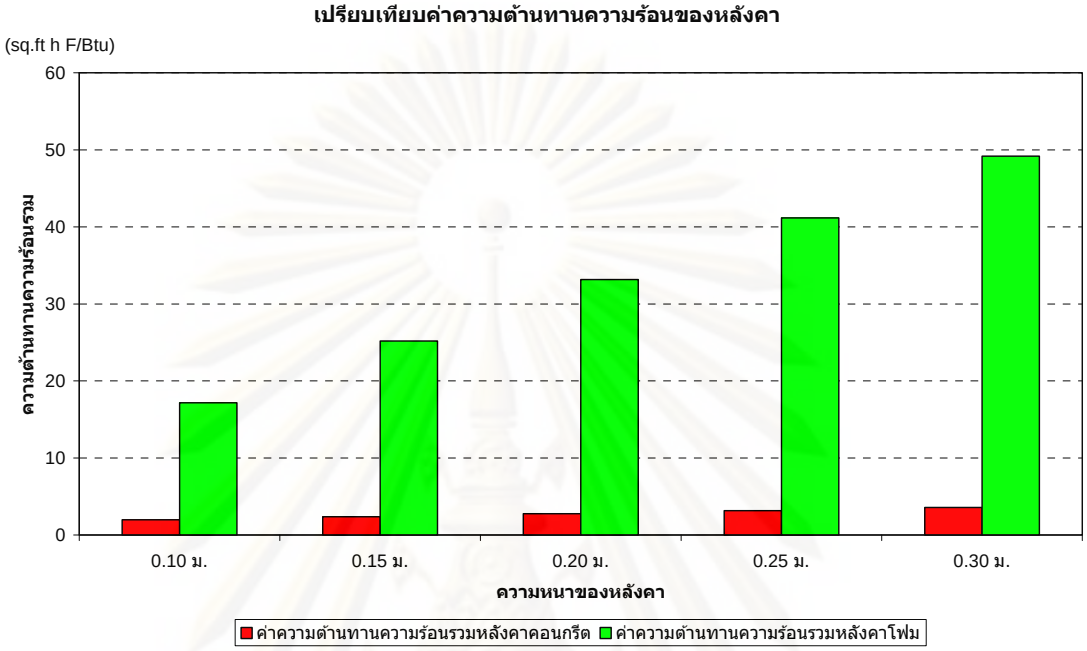
ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวของห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบสร้างโดย ลดอุณหภูมิอากาศในห้องเรียนธรรมชาติด้วยการเลือกที่สถานที่ตั้งที่มีศักยภาพในการปรุงแต่ง

สภาพแวดล้อม การเลือกใช้วัสดุป้องกันความร้อนที่เหมาะสม การหาความเย็นและการสร้างความรู้สึกเย็นมาใช้ในห้องเรียน

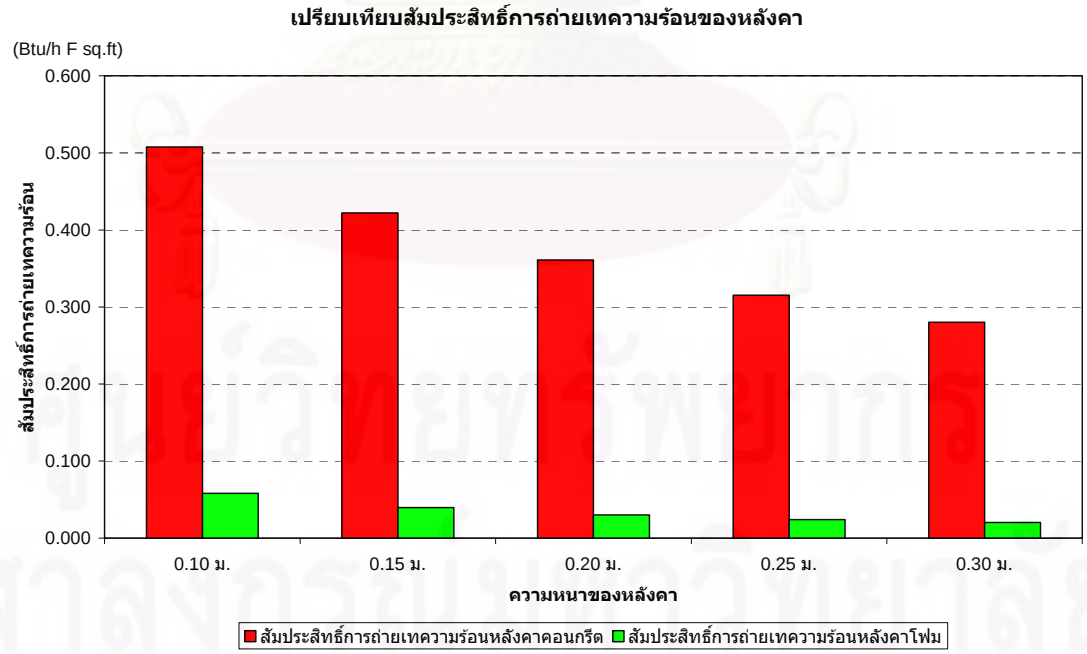
การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมโดยรอบสถานที่ช่วยลดอิทธิพลความรุนแรงของอุณหภูมิอากาศ ทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณภายนอกห้องเรียนมีอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้คือ 34.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศบริเวณที่ไม่มีการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้คือ 38.0 องศาเซลเซียส แสดงว่าการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมสามารถลดอิทธิพลความรุนแรงของอุณหภูมิอากาศ

การเลือกใช้วัสดุหลังคาและผนังที่มีค่าความเป็นฉนวนสามารถป้องกันความร้อนจากหลังคา โดยเลือกใช้โฟมหนา 0.25 ม. ใช้เป็นวัสดุเปลือกหลังคาและโครงสร้างหลังคา เกิดจากการพัฒนาข้อได้เปรียบของกรณีศึกษา 1 ห้องเรียนธรรมชาติธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต และกรณีศึกษา 2 ห้องเรียนธรรมชาติราชภัฏฯบางคล้า ที่พบว่าการใช้โฟมหนา 0.10 ม. ในกรณีศึกษา 1 สามารถป้องกันความร้อนจากผนังและหลังคาได้ แต่การใช้โฟมเป็นเปลือกหลังคาทำงานร่วมกับโครงสร้างหลังคามีความยุ่งยากและสิ้นเปลือง ในกรณีศึกษา 2 จึงพัฒนาใช้โฟมความหนาแน่นสูงและมีความหนา 0.20ม. เพื่อใช้โฟมทำหน้าที่เป็นทั้งโครงสร้างหลังคาและเปลือกหลังคา ทำให้โครงสร้างและเปลือกทำงานเป็นวัสดุชิ้นเดียวกัน

เปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของโฟมกับโครงสร้างหลังคาคอนกรีต ที่ความหนาดังต่อไปนี้ 0.10ม. 0.15ม. 0.20ม. 0.25ม. 0.30ม. ตามแผนภูมิที่ 5-7 และแผนภูมิที่ 5-8 พบว่าค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคาโฟมมีค่าสูงกว่าหลังคาคอนกรีตมาก ในกรณีหลังคาหนา 0.25ม. หลังคาโฟมจะมีค่าความต้านทางความร้อนสูงกว่าคอนกรีต 12.98 เท่า หรือแตกต่างเท่ากับ 38 ft^2h^OF/Btu และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนหลังคาโฟมมีค่าน้อยกว่าหลังคาคอนกรีต 12.98 เท่า หรือแตกต่างเท่ากับ 0.291 (Btu/h $ft^{2O}F$) หลังคาโฟมมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมน้อยทำให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่อาคารจึงมีน้อยเช่นกัน



แผนภูมิที่ 5-7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา



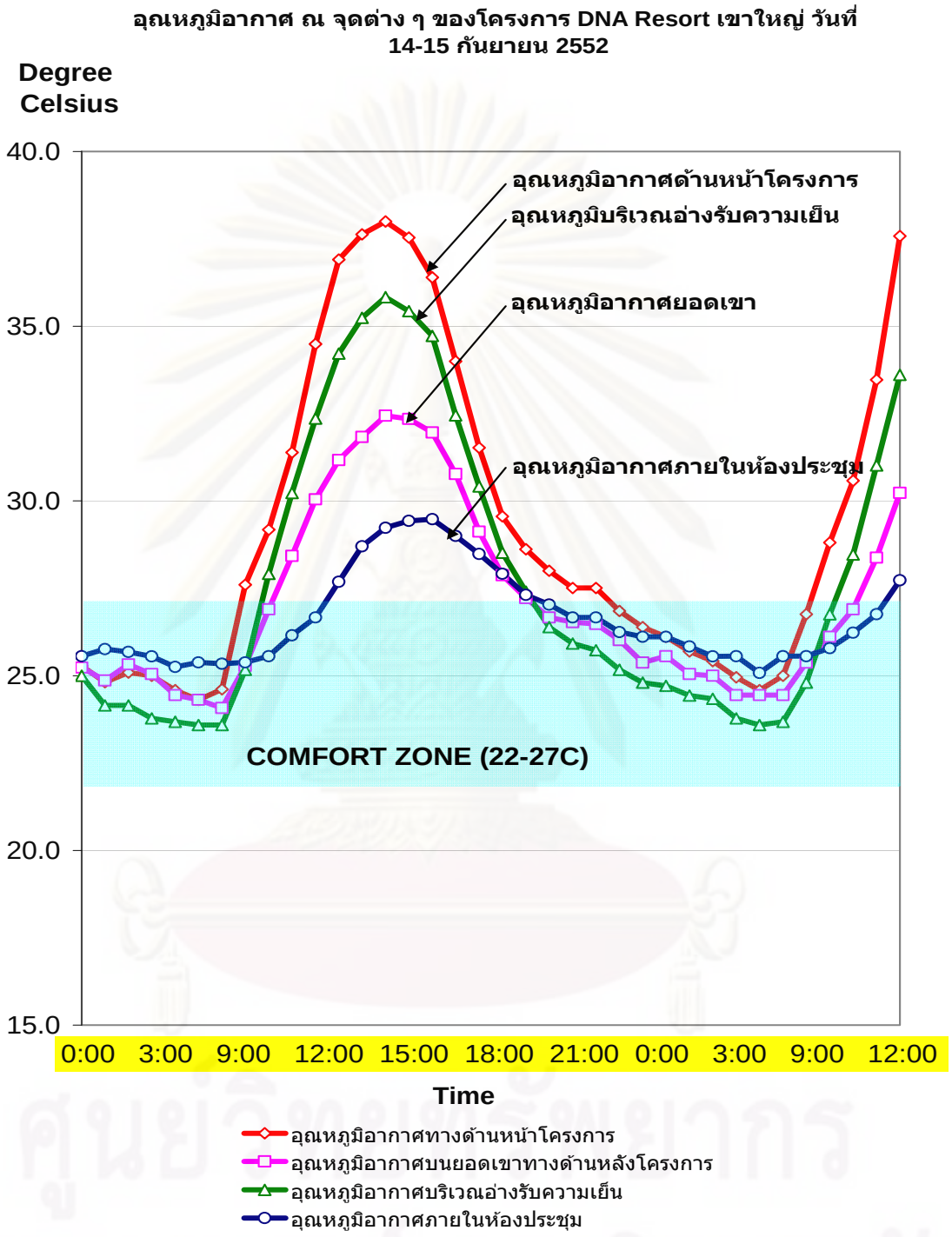
แผนภูมิที่ 5-8 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา

การใช้ประโยชน์จากความเย็นของสภาพแวดล้อมบริเวณแอ่งกักเก็บความเย็นที่ได้จากความเย็นที่ไหลลงมาจากภูเขาและความเย็นที่ไหลลงมาจากผิวหลังคาในเวลากลางคืน ตามแผนภูมิที่ 5-9 พบว่าอุณหภูมิอากาศบนภูเขาที่เย็นกว่าอุณหภุมิอากาศจะไหลลงมาที่บริเวณแอ่งกับเก็บความเย็นที่อยู่ด้านหน้าห้องเรียนธรรมชาติ

การใช้เทคนิคการสร้างความเย็นกักเก็บไว้ในมวลสารของดินที่เป็นองค์ประกอบหลักของห้องเรียนธรรมชาติที่ใช้สำหรับสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว เพราะดินมีมวลสารมากและสัมผัสโดยตรงกับพื้นและผนังของห้องเรียนธรรมชาติมีอิทธิพลทั้งช่วยควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียน สร้างพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำและคงที่ และดูดซับความร้อนจากผู้ใช้ห้องเรียน จากกรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2 พบข้อจำกัดในการสร้างความเย็นของเนินดินโดยรอบห้องเรียนธรรมชาติ ที่สารมารถทำให้ผิวดินมีอุณหภูมิเท่ากับ 28.8 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิดินที่ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเมื่อขุดดินลึกลงไปประมาณ 1 เมตรวัดอุณหภูมิดินได้เท่ากับ 24 องศาเซลเซียส

การมีความเย็นกักเก็บไว้ในมวลสารของดินได้ นอกจากจะใช้อิทธิพลของการสะสมความเย็นจากการแลกเปลี่ยนความเย็นของท้องฟ้าในเวลากลางคืน ความเย็นที่ไหลลงมาจากภูเขา และการมีความเย็นไหลจากหลังคาห้องเรียนธรรมชาติในเวลากลางคืน ยังมีอิทธิพลจากการระเหยของน้ำค้างบริเวณโดยรอบห้องเรียนธรรมชาติสร้างให้เกิดความเย็นและกักเก็บไว้ในมวลสารของดิน

กรณีมีน้ำค้างปริมาณ 10 ลิตร ในแต่ละวันระเหยในบริเวณพื้นที่รอบห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบจะมีการดูดพลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อมเทียบเท่า 22,000 บีทียู เนื่องจากต้องใช้พลังงานความร้อนประมาณ 2,200 บีทียูเพื่อทำให้น้ำ 1 ลิตรกลายเป็นไอ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)



แผนภูมิที่ 5-9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศบริเวณบนภูเขา แอ่งกักเก็บความเย็น และอุณหภูมิอากาศภายนอกบริเวณห้องเรียนธรรมชาติและภายในห้องเรียนธรรมชาติ วันที่ 14-15 กันยายน 2552

การควบคุมความชื้นภายในห้องเรียนธรรมชาติเนื่องจากห้องเรียนธรรมชาติใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติดังนั้นจึงไม่สามารถควบคุมความชื้นได้สมบูรณ์ ประกอบกับอุณหภูมิอากาศภายในห้องต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนธรรมชาติสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องเรียนธรรมชาติ

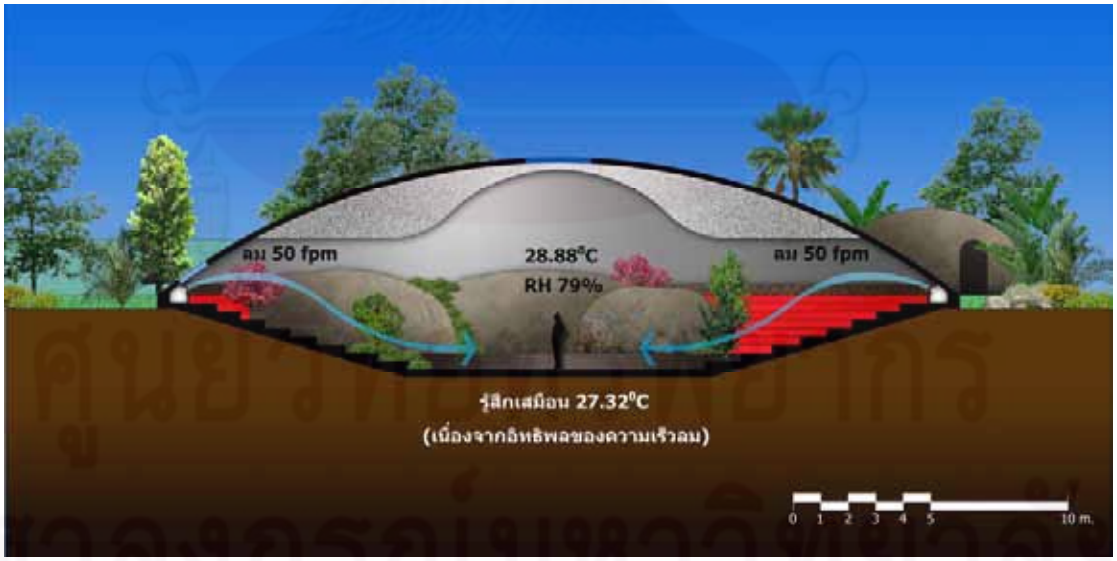
การใช้ความเร็วลมภายในห้องเรียนธรรมชาติเพื่อสร้างความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว วิเคราะห์จากสมการที่ 2 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) กรณีอุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 28.88 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79% (อุณหภูมิสูงสุดของวันที่ 15 กันยายน 2552 เวลา 14:30น) และใช้ความเร็วลม 50 ฟุตต่อนาที 150 ฟุตต่อนาทีและ 350 ฟุตต่อนาที ในการประเมินความรู้สึกเสมือนที่อยู่ในเขตสบาย

กรณีใช้ความเร็วลม 50 ฟุตต่อนาที (0.91 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) อยู่ในเขตสบายระดับควบคุม (control zone) (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

ความรู้สึกเย็นลง (^{O}C) = 0.31(0.91) + 0.016(79)

= 1.54 ^{O}C

ทำให้ผู้ใช้ห้องเรียนจะรู้สึกเสมือน 27.34 องศาเซลเซียส (ตามภาพที่ 5-15)



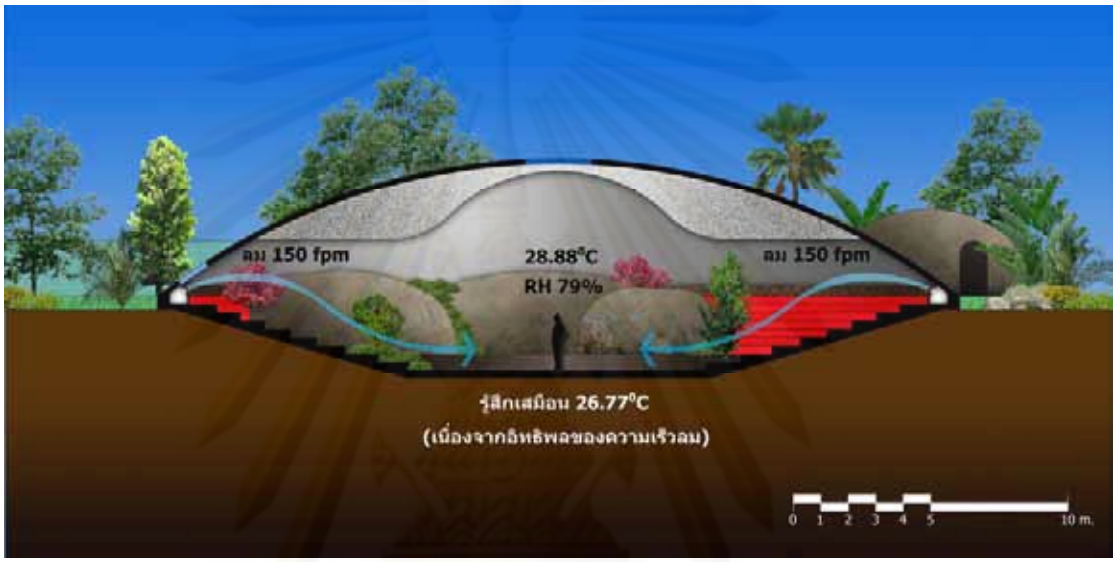
ภาพที่ 5-15 แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติกรณีใช้ความเร็วลมขนาด 50 ฟุตต่อนาทีสร้างความรู้สึกเย็นลงจากอุณหภูมิอากาศ 28.88 องศาเซลเซียส จะรู้สึกเสมือน 27.34 องศาเซลเซียส

กรณีใช้ความเร็วลม 150 ฟุตต่อนาที (2.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) อยู่ในเขตสบายระดับควบคุม (control zone) (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

ความรู้สึกเย็นลง (^{O}C) = 0.31(2.74) + 0.016(79)

= 2.11 ^{O}C

ทำให้ผู้ใช้ห้องเรียนจะรู้สึกเสมือน 26.77 องศาเซลเซียส(ตามภาพที่ 5-16)



ภาพที่ 5-16 **แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติกรณีใช้ความเร็วลมขนาด 150 ฟุตต่อนาทีสร้างความรู้สึกเย็นลงจากอุณหภูมิอากาศ 28.88 องศาเซลเซียส จะรู้สึกเสมือน 26.77 องศาเซลเซียส**

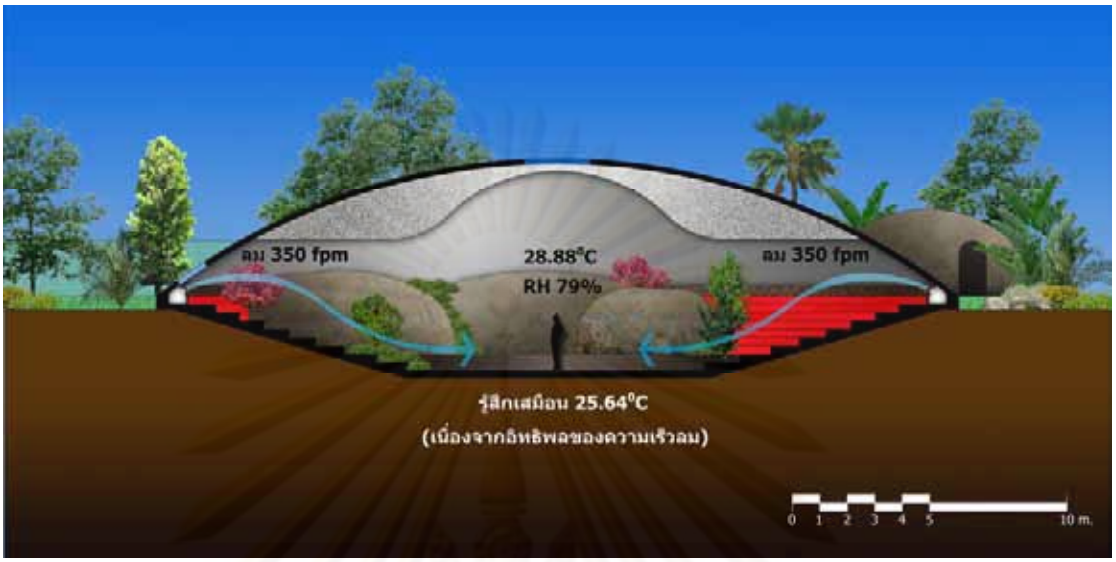
กรณีใช้ความเร็วลม 350 ฟุตต่อนาที (6.40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) อยู่ในเขตสบายระดับกึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม (semi-passive zone) (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

ความรู้สึกเย็นลง (^{O}C) = 0.31(6.40) + 0.016(79)

= 3.24 ^{O}C

ทำให้ผู้ใช้ห้องเรียนจะรู้สึกเสมือน 25.64 องศาเซลเซียส (ตามภาพที่ 5-17)

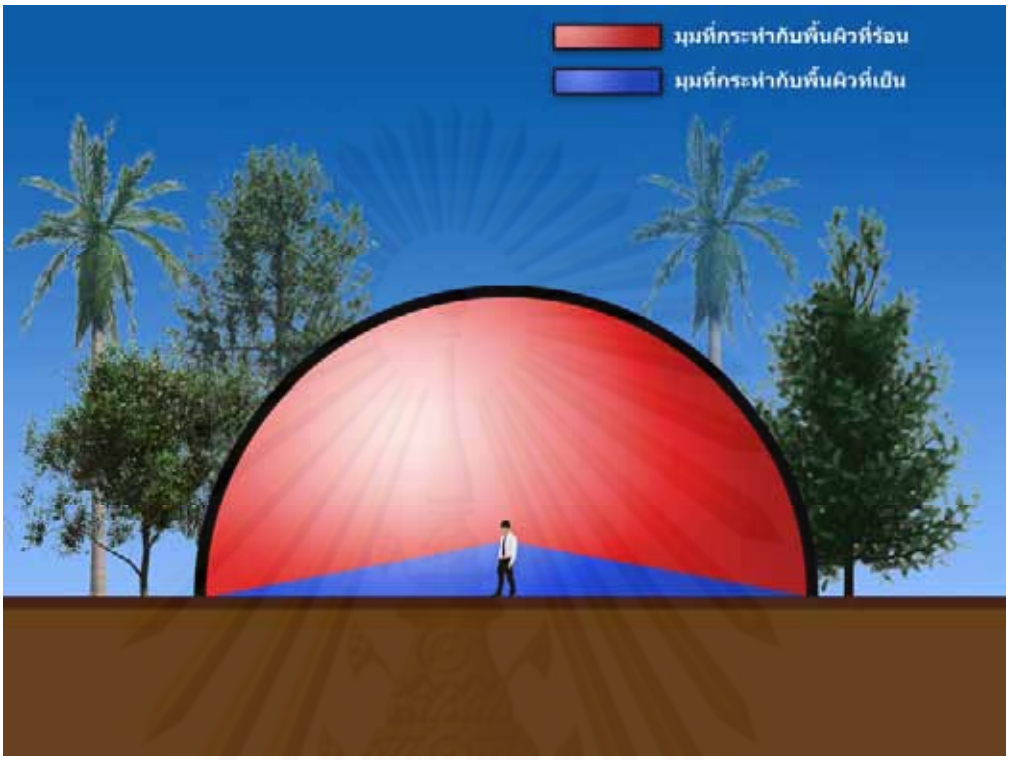
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5-17 **แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติกรณีใช้ความเร็วลมขนาด** 350 **ฟุตต่อนาทีสร้างความรู้สึกเย็นลงจากอุณหภูมิอากาศ** 28.88 **องศาเซลเซียส จะรู้สึกเสมือน** 25.64 **องศาเซลเซียส**

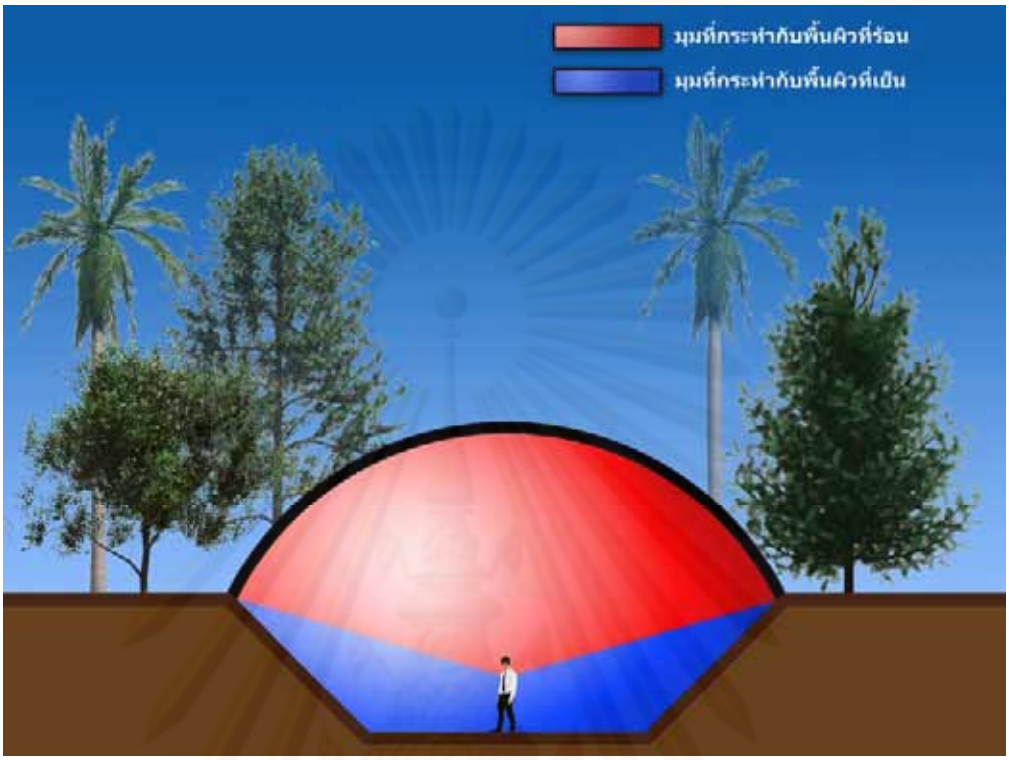
ผลการวิเคราะห์ความรู้สึกเย็นลงจากอิทธิพลของความเร็วลมพบว่ากรณีที่อุณหภูมิอากาศ 28.88 องศาเซลเซียส สามารถสร้างความรู้สึกเสมือนอุณภูมิอยู่ในเขตสบายในระดับกึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม (semi-passive zone) (22-28 องศาเซลเซียส) ด้วยการใช้ความเร็วลม 50 ฟุตต่อนาทีและ150 ฟุตต่อนาที และสามารถสร้างความรู้สึกเสมือนอุณภูมิอยู่ในเขตสบายในระดับควบคุม (control zone) (24-26 องศาเซลเซียส) ด้วยการใช้ความเร็วลม 350 ฟุตต่อนาที

การสร้างความรู้สึกเย็นด้วยอิทธิพลจากอุณหภูมิผิวโดยรอบที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ เนื่องจากดินมีอุณภูมิค่อนข้างคงที่และมีมวลสารมากคือมีอุณหภูมิดินประมาณ 24 องศาเซลเซียส การออกแบบห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบจึงใช้ข้อได้เปรียบของอุณหภูมิผิวที่สัมผัสดินที่เย็นกว่าอุณหภูมิอากาศมาใช้ โดยทำให้มุมของพื้นผิวที่เย็นทำมุมกับผู้ใช้ห้องเรียนมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบมุมของผิวห้องเรียนที่สัมผัสดินพบว่าห้องเรียนที่ตั้งอยู่บนดินจะมีมุมกระทำกับผิวห้องเรียนที่สัมผัสดินน้อยกว่าห้องเรียนที่ถมดินและห้องเรียนที่ขุดอยู่ในดิน ตามภาพที่ 5-18 ถึงภาพที่ 5-20



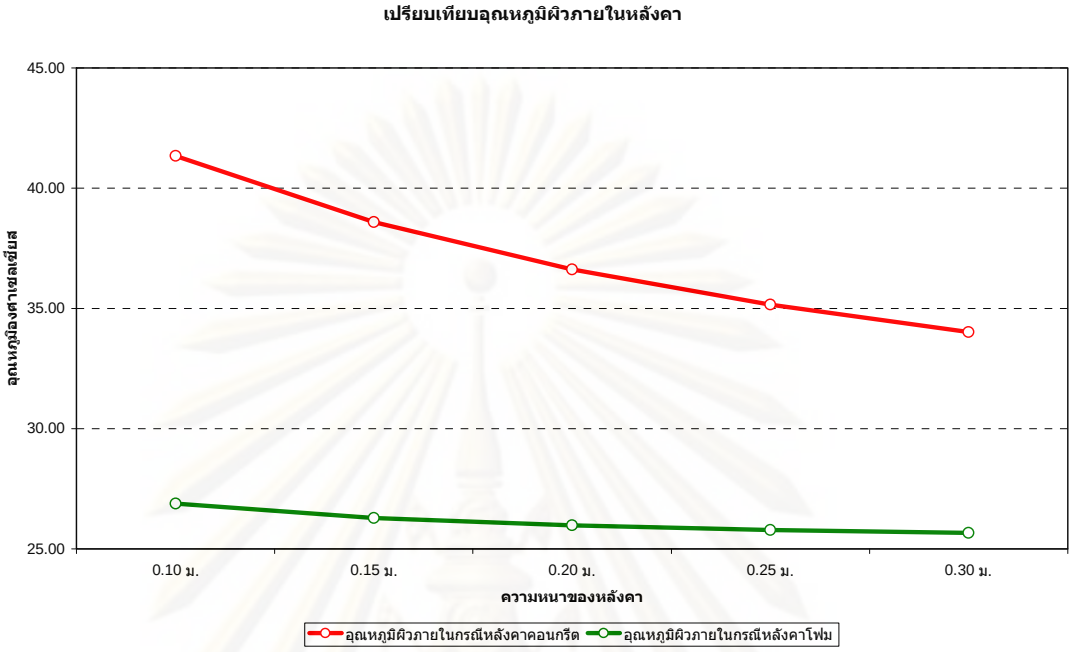
ภาพที่ 5-18 แสดงมุมของพื้นผิวที่กระทำกับผู้ใช้ห้องเรียน กรณีห้องเรียนตั้งอยู่บนดิน

ภาพที่ 5-19 แสดงมุมของพื้นผิวที่กระทำกับผู้ใช้ห้องเรียน กรณีห้องเรียนที่ถมดิน



ภาพที่ 5-20 แสดงมุมของพื้นผิวที่กระทำกับผู้ใช้ห้องเรียน กรณีห้องเรียนที่ขุดอยู่ในดิน

การควบคุมอุณหภูมิผิวภายในห้องเรียนธรรมชาติให้มีอุณหภูมิผิวเฉลี่ยภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ต้องพิจารณาหาพื้นผิวที่เย็นกว่าอากาศคือผิวพื้นและผนังที่สัมผัสดิน และพิจารณาพื้นที่ผิวที่สูงกว่าอุณภูมิอากาศมีค่าที่แตกต่างกับอุณหภูมิอากาศให้น้อยที่สุด คือพื้นผิวหลังคา ในห้องเรียนธรรมชาติเลือกใช้วัสดุโฟมหนา 0.25ม. ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำ เปรียบเทียบกับหลังคาคอนกรีตที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำ จากการคำนวณกรณีอุณหภูมิผิวภายนอกเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ตามแผนภูมิที่ 5-10 หลังคาโฟม 0.25ม. จะอุณหภูมิผิวภายในเท่ากับ 25.78 องศาเซลเซียส ในขณะที่หลังคาคอนกรีต 0.25ม. จะอุณหภูมิผิวภายในเท่ากับ 35.16 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้หลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำจะทำให้อุณหภูมิผิวภายในไม่ขึ้นสูงมาก



แผนภูมิที่ 5-10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจากการคำนวณ

การดูดซับความร้อนเมื่อคำนวณ มวลสารของพื้นที่นั่งพื้นที่ 810 ตารางเมตร ที่ดูดซับความร้อนลึกลงไปเทียบเท่า 0.05 เมตร และยอมให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 องศาเซลเซียส (1.8 องศาฟาเรนไฮต์) ความหนาแน่นของคอนกรีตเท่ากับ 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าความจุความร้อน 0.2 บีทียูต่อปอนด์ต่อองศาฟาเรนไฮท์ ตามภาพที่ 5-21

จากสมการที่ 3 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2)

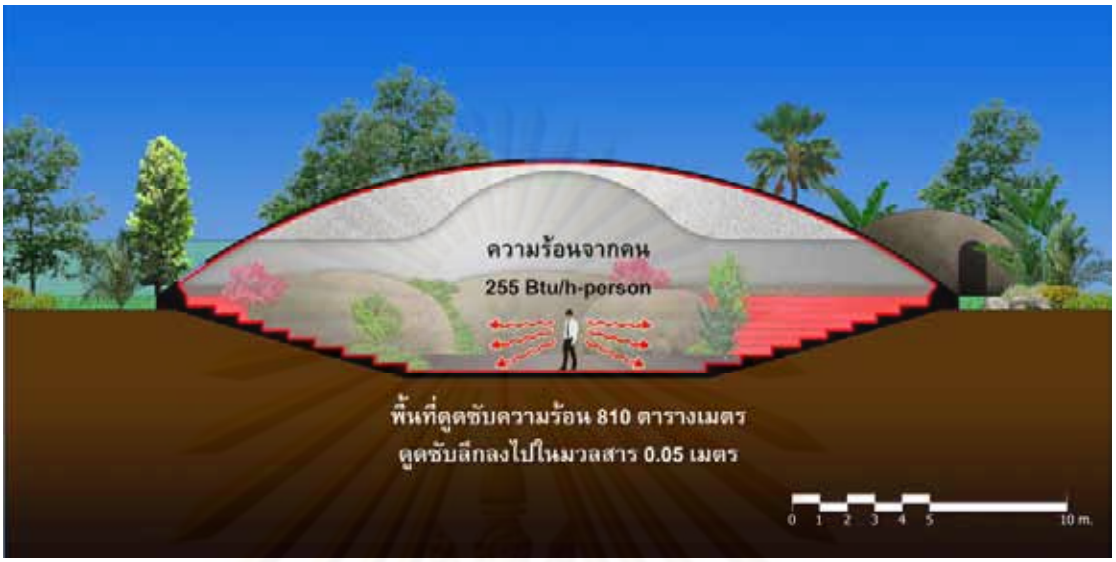
พลังงานความร้อนที่ดูดซับได้

= (810)(0.05)(2400)(2.2) * (0.2) * (1.8)

= 76,982.4 บีทียู

กรณีผู้ใช้ห้องเรียนมีการเผาผลาญพลังงาน 255 บีทียูต่อชั่วโมงต่อคน

ดังนั้นห้องเรียนกรณีห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ จะสามารถรองรับผู้ใช้อาคารได้ประมาณ 301 คน เพียงพอต่อการรับการดูดซับความร้อนของผู้ใช้ห้องเรียน



ภาพที่ 5-21 **แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติการดูดซับความร้อน**

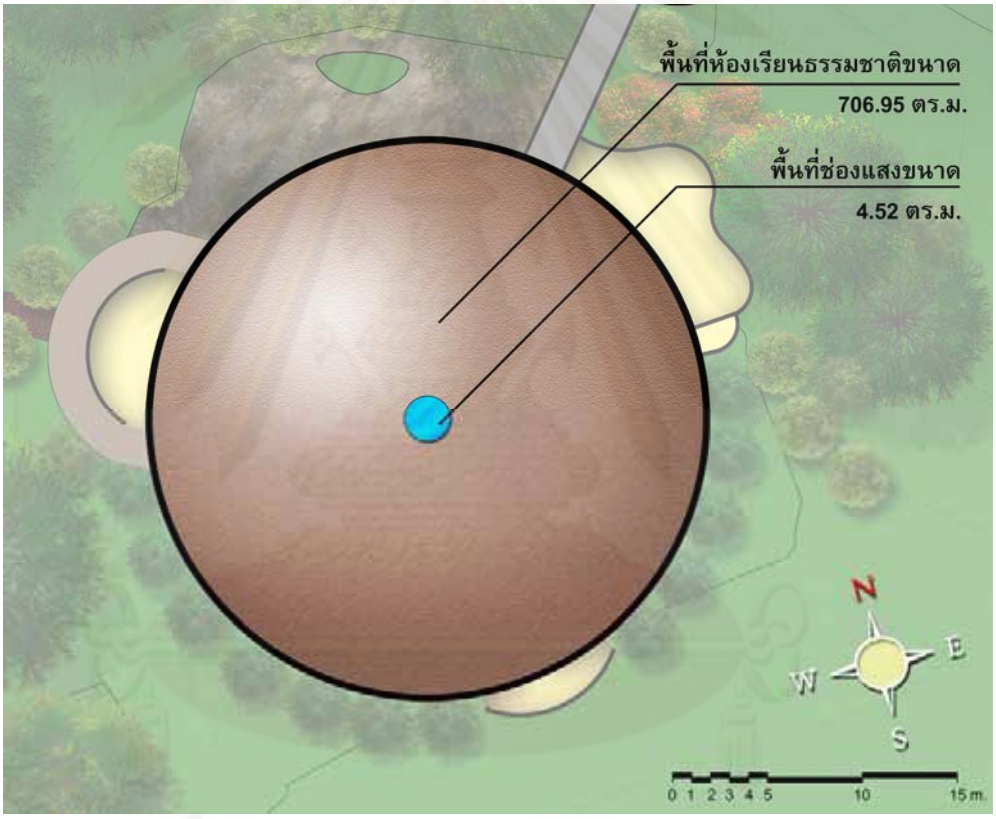
ผลจากการออกแบบและปรุงแต่งสภาพแวดล้อมด้านความรู้สึกร้อนหนาวทำให้ผลจากการประเมินความรู้สึกสบายด้านความร้อนหนาวของห้องเรียนธรรมชาติจากการตรวจวัดและจำลองอิทธิพลความรู้สึกเสมือนจากอิทธิพลของความเร็วลมและอิทธิพลอุณหภูมิผิวรอบที่เย็นกว่าอุณหภูมิอากาศทำให้สภาพอากาศภายในห้องเรียนสามารถปรุงแต่งให้อยู่ในเขตสบายในระดับควบคุม (24-26 องศาเซียลเซียส) และได้ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้สึกพึ่งพอใจมาก และรู้สึกเย็นสบาย

5.4.2 อภิปรายผลความสบายด้านแสงสว่างภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

ความสบายด้านแสงสว่างห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบสร้างโดยการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในห้องเรียนเพื่อสร้างระดับความส่องสว่าง (illuminance) และความสว่าง (luminance) ให้เพียงพอต่อกิจกรรมการเรียนรู้ ออกแบบพื้นที่สำหรับปรับสายตาเพื่อทำให้เกิดความรู้สึกสว่างของห้องที่เหมาะสม

การใช้แสงธรรมชาติในห้องเรียนธรรมชาติสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการเจาะช่องแสงทางด้านบนที่มีค่ามุมตกกระทบของแสงธรรมชาติ (incident angle) ใกล้ 0 จากสมการที่ 12 (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) พบว่าหากค่าโคซายน์ของมุมตกกระทบ ($\cos \theta$) มากจะทำ

ให้ระดับแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นที่นั้นจะมีระดับการส่องสว่างมาก ทำให้ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบที่มีช่องแสงเพียง 4.52 ตารางเมตร สามารถให้แสงสว่างภายในห้องขนาด 706.95 ตารางเมตร ได้อย่างเพียงพอ ประมาณ 100-900 ลักซ์ จากการตรวจสอบวันที่ 29 สิงหาคม 2552 เวลา 10:00-11:00น. และวันที่ 4 ตุลาคม 2552 เวลา 9:00-10:00น. เลือกใช้ค่าการสะท้อนแสงภายในที่ค่อนข้างสูง แต่บริเวณจอภาพและเวทีมีวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงน้อยเพื่อควบคุมระดับความสว่างบริเวณด้านหน้าสำหรับการฉายภาพ



ภาพที่ 5-22 แสดงสัดส่วนช่องแสงกับพื้นที่ห้องเรียนธรรมชาติ

การปรับสายตาขณะเดินเข้าสู่ภายในห้องเรียนธรรมชาติออกแบบให้มีพื้นที่ปรับสภาพ (adaptive area) ที่มีค่าความส่องสว่างน้อย จากตรวจวัดวันที่ 4 ตุลาคม 2552 มีค่าความส่องสว่างประมาณ 10-15 ลักซ์ เมื่อเดินเข้าห้องเรียนธรรมชาติจากภายนอกที่มีระดับความส่องสว่างประมาณ 12,000 ลักซ์ ผ่านช่วงที่มืดของพื้นที่ปรับสภาพม่านตาจะปรับขยายขึ้นเพื่อรับแสงมากขึ้น เมื่อเข้าสู่ห้องที่มีความส่องสว่างแค่ 200 ลักซ์จะพบว่ารู้สึกสว่างเพียงพอ หากไม่มีพื้นที่

ปรับสายตาเมื่อเดินจากภายนอกที่มีค่าความส่องสว่างสูงเขาสู่ภายในห้องที่มีค่าความส่องสว่างน้อยจะทำให้รู้สึกว่าห้องนั้นมืด

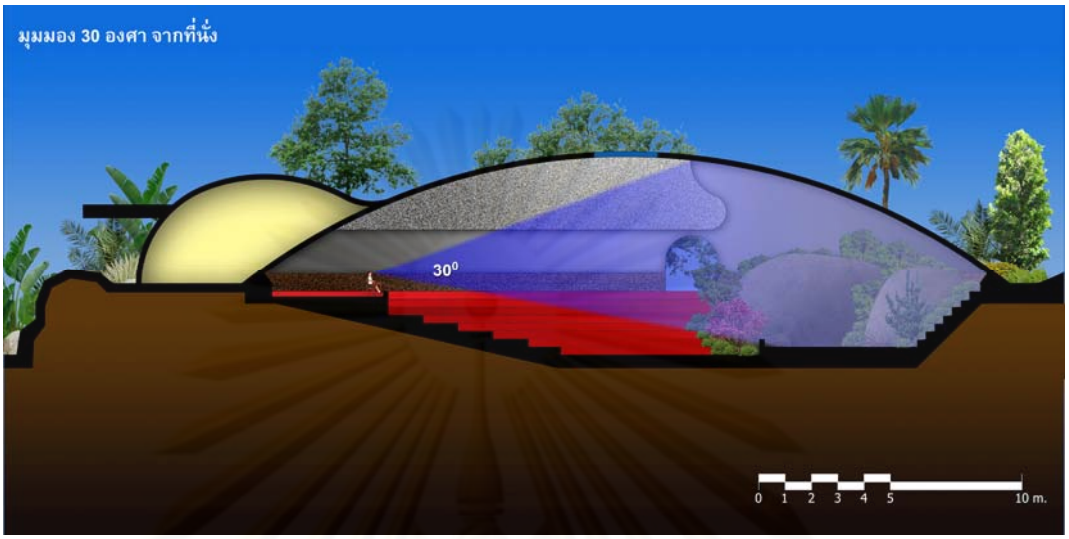
ผลจากออกแบบช่องแสงที่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเลือกใช้ค่าการสะท้อนแสงภายในห้องที่เหมาะสม และการออกแบบพื้นที่ปรับม่านตาก่อนเข้าห้องเรียนทำให้ห้องเรียนธรรมชาติสามารถสร้างความสบายด้านระดับแสงสว่างได้ตามผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้สึกพึ่งพอใจระดับแสงสว่างทั้งกรณีตอบถามตอนกลางวัน (11:00-12:00น.) ซึ่งใช้เป็นรูปแบบการบรรยายแบบมีผู้บรรยายและมีการฉายภาพประกอบ และในเวลากลางเย็นถึงค่ำ (17:00-19:00) ซึ่งใช้เป็นรูปแบบการบรรยายแบบฉายภาพคุณภาพสูง

5.4.3 อภิปรายผลความสบายด้านการมองเห็นภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

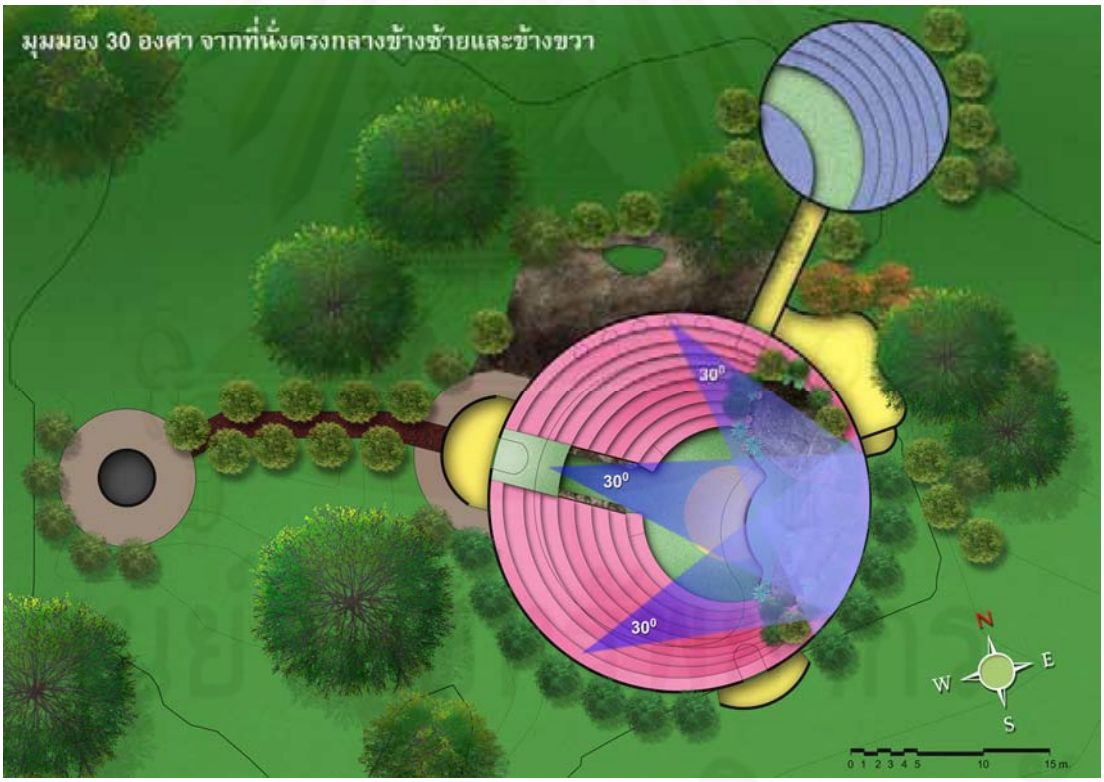
ความสบายด้านการมองเห็นห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบสร้างโดยออกแบบมุมมองภายในที่สบายตา มีขนาดของวัตถุหรือสื่อในมุมมองให้เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ มีค่าการเปรียบต่างที่เหมาะสมและสร้างความชัดเจนในการมองเห็นสื่อ รวมถึงควบคุมไม่ให้เกิดแสงจ้าระคายเคืองตา และเงาสะท้อนที่รบกวนการมองเห็น

ขนาดเวทีและขนาดจอจัดให้มีขนาดใหญ่เพื่อให้มีสัดส่วนที่เหมาะสมในมุมมองคือภาพจะอยู่ในมุมมอง 30 องศาของผู้เรียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5-23 แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติแสดงมุมมองเวทีและจอภาพภายในห้องเรียน



ภาพที่ 5-24 แสดงผังพื้นห้องเรียนธรรมชาติแสดงมุมมองเวทีและจอภาพภายในห้องเรียน

การควบคุมค่าการเปรียบต่างที่ใช้ในห้องเรียนให้มีค่าการสะท้อนแสงภายในห้องที่ค่อนข้างสว่างเพื่อให้ภายในห้องเรียนรู้สึกสว่างละสม่ำเสมอตามผลการตรวจวัด แต่บริเวณเวที

ออกแบบให้มีฉากหลังเป็นก้อนหินขนาดใหญ่สีเข้ม เพื่อควบคุมค่าความส่องสว่างบริเวณเวทีและทำให้เกิดความเปรียบต่างระหว่างหน้าผู้บรรยายที่อยู่หน้าก้อนหินสีเข้มมีค่าสูงทำให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจน

ภาพที่ 5-25 แสดงการจัดความเปรียบต่างบนเวทีให้มีพื้นหลังเป็นก้อนหินสีเข้ม

การออกแบบช่องแสงด้านข้างเพื่อเพิ่มบรรยายกาศภายในห้องให้มีความต่อเนื่องระหว่างภายนอกและภายใน โดยการเจาะช่องหน้าต่างรูปวงกลมจำนวน 5 บาน ติดตั้งทางทิศเหนือ ซึ่งเป็นทิศที่มีความแปรปรวนของแสงน้อย และมุมมองที่มองออกไปจะเห็นธรรมชาติ ภูเขาและต้นไม้ ที่มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 0.06 ทำให้ความสว่างที่เข้าในมุมมองมีค่าไม่เกิน 495 ฟุตแลมเบิรต์ รวมถึงการเลือกใช้กระจกที่สามารถควบคุมค่าการส่งผ่านของแสง ทำให้ไม่เกิดแสงจ้าทำให้ระคายเคืองตาในมุมมองปกติ และออกแบบวัสดุพื้นผิวภายในห้องให้มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบฟุ้งกระจายเพื่อป้องกันการเกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น

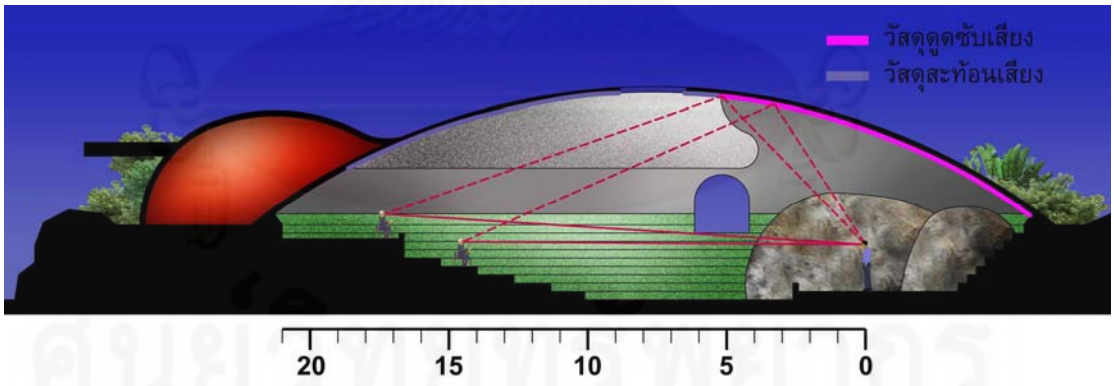
ภาพที่ 5-26 **แสดงลักษณะการเจาะช่องเปิดด้านข้างของห้องเรียนธรรมชาติ**

ผลการออกแบบมุมมองในการมองเห็น การควบคุมค่าความเปรียบต่างบริเวณเวที การเจาะช่องเปิดเพื่อเปิดมุมมองมองออกไปยังธรรมชาติภายนอก และการควบคุมลักษณะการสะท้อนแสงภายในห้องเรียนธรรมชาติ ทำให้ห้องเรียนธรรมชาติสามารถสร้างความสบายด้านการมองเห็นได้ตามผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้สึกค่อนข้างสบายตาเมื่อมองไปที่บริเวณเวทีและจอภาพและรู้สึกค่อนข้างความชัดเจนในการมองภาพบนจอภาพและผู้บรรยายทั้งกรณีตอบถามตอนกลางวัน (11:00-12:00น.) ซึ่งใช้เป็นรูปแบบการบรรยายแบบมีผู้บรรยายและมีการฉายภาพประกอบ และในเวลากลางเย็นถึงค่ำ (17:00-19:00) ซึ่งใช้เป็นรูปแบบการบรรยายแบบฉายภาพคุณภาพสูง

5.4.4 อภิปรายผลความสบายด้านการได้ยินภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

ความสบายด้านการได้ยินภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบสร้างโดยการควบคุมเสียงรบกวนจากภายนอก ควบคุมคุณภาพสภาพแวดล้อมทางเสียงภายในห้องให้สามารถสื่อสารได้อย่างครบถ้วนโดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง

การออกแบบการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อม พัฒนาจากการศึกษากรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 2 ใช้เนินดินเพื่อป้องกันเสียงจากสภาพแวดล้อม มาเป็นการขุดอยู่ในดิน และออกแบบพื้นที่ทางเข้าห้องให้มีโถงก่อนเข้าห้องทำหน้าที่ป้องกันเสียงรบกวนเข้ามาโดยตรงจากภายนอก ในสภาพแวดล้อมปกติจะมีเสียงรบกวนภายในห้องอยู่ในระดับ 30-35 dBA กรณีมีเสียงผู้บรรยายที่ห่างจากผู้พูด 1 เมตรมีระดับความดังเท่ากับ 60 dBA ที่ระยะห่างจากผู้พูด 3 เมตรมีระดับความดังเท่ากับ 54 dBA ที่ระยะห่างจากผู้พูด 7 เมตรมีระดับความดังเท่ากับ 48 dBA ที่ระยะห่างจากผู้พูด 15 เมตรมีระดับความดังเท่ากับ 42 dBA และมีเสียงสะท้อนจากเพดานจะมีระดับความดังเท่ากับ 48 dBA เมื่อเปรียบเทียบกับระดับเสียงรบกวนภายในห้องจะมีความแตกต่างประมาณ 13-18 dBA ทำให้ภายในห้องเรียนะรรมชาติสามารถสื่อสารได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง



ภาพที่ 5-27 แสดงรูปตัดห้องเรียนธรรมชาติแสดงการสะท้อนและดูดซับเสียง

แต่ในกรณีภายนอกมีฝนตกหนักมากจะมีเสียงรบกวนผ่านทางช่องประตูเข้ามารบกวนภายในทำให้ระดับของเสียงรบกวนภายในสูงขึ้น หากสูงจนทำให้เสียงของผู้พูดมีความดังแตกต่างไม่มากกว่า 6 dBA จะทำให้การสื่อสารไม่สมบูรณ์ ต้องมีการปรับปรุงพื้นที่โถงทางเข้าเพิ่มวัสดุดูดซับเสียงเพื่อดูดซับเสียงรบกวนภายนอกไม่ให้เดินทางเข้ามาสู่ภายใน

การควบคุมคุณภาพเสียงภายในห้อง เนื่องจากห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบมีปริมาตรสูงมาก ดังนั้นจึงมีปัญหาเรื่องเสียงก้องกังวาลภายในห้องมากเกินไป หรือมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์สูงเกินไป ก่อนการแก้ไขครั้งที่ 1 ด้วยการพ่นเซลลูโลสดูดซับเสียงค่าเสียงรบกวนภายในห้องเท่ากับ 60-68 และมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์เท่ากับ 3.73 วินาที ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่ากลุ่มตัวอย่างรู้สึกเสียงภายในห้องค่อนข้างดัง แต่สามารถฟังได้ไม่ชัดเจนเล็กน้อย และรู้สึกเสียงก้องภายในห้องค่อนข้างมาก

การแก้ไขปัญหาเรื่องการควบคุมคุณภาพเสียงภายในห้องด้วยการเพิ่มพื้นที่ดูดซับเสียงด้วยการพ่นเซลลูโลสเพื่อลดเสียงก้องและลดระดับเสียงรบกวนภายในจากค่าการดูดซับเสียงภายในที่เพิ่มขึ้น ทำให้ระดับเสียงรบกวนภายในเหลือ 30-35 dBA และค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ลดลงเหลือ 1.85 วินาที ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการเป็นห้องบรรยายดังนั้นจึงมีการปรับปรุงครั้งที่ 2 ด้วยการติดตั้งพรมเพื่อเพิ่มพื้นที่ดูดซับเสียง ทำให้ค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ลดลงเหลือ 1.75 วินาที สามารถใช้เป็นห้องบรรยายได้แต่จะมีความรู้สึกก้องเล็กน้อย

ตำแหน่งการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงต้องคำนึงถึงพื้นที่สะท้อนเสียงหน้าห้องเพื่อให้เกิดเสียงสะท้อนของผู้บรรยายไปยังพื้นที่ผู้เรียนในห้องได้อย่างเหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 5-28 แสดงการติดตั้งฝ้าเพดานเซลลูโลสเพื่อดูดซับเสียง

ภาพที่ 5-29 แสดงการติดตั้งฝ้าพรมภายในห้องเพื่อดูดซับเสียงติดตั้งบริเวณพื้นที่อเนกประสงค์ตรงกลางและบริเวณด้านข้างของที่นั่งเพื่อให้มีสีตัดกับพื้นที่นั่งสีขาวด้านบน

บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

ข้อสรุปที่ได้จาการวิจัยเน้นการศึกษาใน 4 กลุ่มดังนี้ กลุ่มตัวแปรด้านความรู้สึกร้อนหนาว ตัวแปรด้านแสงสว่าง ตัวแปรด้านการมองเห็น และต้วแปรด้านการได้ยิน ในทุกขั้นตอนการวิจัย และในส่วนการศึกษาเดลฟายซึ่งเป็นการสอบถามและแลกเปลี่ยนแนวคิดระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญจึงมีการถามเพิ่มเติมในกลุ่มของตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้อง คือ คุณภาพอากาศ ความปลอดภัย ความสวยงามของบรรยากาศ รวมถึงคำถามปลายเปิด ข้อสรุปของการวิจัยเป็นดังนี้

6.1 ข้อสรุปตัวแปรคุณภาพห้องเรียนทางกายภาพและลักษณะห้องเรียนที่สำรวจ

6.1.1 ข้อสรุปตัวแปรกายภาพความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวของห้องเรียน

ตัวแปรกายภาพความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาวของห้องเรียนที่ต้องการ คือ การควบคุมสภาพอากาศด้านความรู้สึกร้อนหนาวของห้องเรียน ลักษณะห้องเรียนที่สำรวจ พบว่าห้องเรียนส่วนใหญ่ปรับปรุงห้องเรียนด้วยการใช้ระบบปรับอากาศ

6.1.1.1 การป้องกันความร้อนของเปลือกห้องเรียน

มีเปลือกอาคารที่มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ ผนังทั่วไปมีค่าความต้านทานความร้อนรวมเท่ากับ 1.79 ตารางฟุตชั่วโมงองศาฟาเรนไฮต์ต่อบีทียู และมีค่าสัมปรสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 0.558 บีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ ทำให้มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเข้าสู่อาคาร เมื่อเทียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1 พบว่าปริมาณความร้อนผ่านผนังช่วงสูงสุดในเวลากลางวันต่างกัน 8.47 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ 1 กับห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบพบว่า ปริมาณความร้อนผ่านผนังช่วงสูงสุดในเวลากลางวันต่างกันเพียง 2.95 เท่า ดังนั้นผนังควรปรับปรุงให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมากกว่า 16.93 ตารางฟุตชั่วโมงองศาฟาเรนไฮต์ต่อบีทียู หรือมีค่าความต้านทานความร้อนน้อยกว่า 0.059 บีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ โดยใช้กรณีศึกษาที่ 1 เป็นค่าเปรียบเทียบ

หลังคาและฝ้าเพดานทั่วไปมีค่าความต้านทานความร้อนรวมเท่ากับ 2.58 ตารางฟุตชั่วโมงองศาฟาเรนไฮต์ต่อบีทียู และมีค่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 0.38 บีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ ทำให้มีปริมาณความร้อนผ่านผนังเข้าสู่อาคาร เมื่อเทียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1 พบว่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังช่วงสูงสุดในเวลากลางวันต่างกัน 8.81 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ 1 กับห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ พบว่า ปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังช่วงสูงสุดในเวลากลางวันต่างกันเพียง 2.40 เท่า ดังนั้นหลังคาและเพดานควรปรับปรุงให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า 17.17 ตารางฟุตชั่วโมงองศาฟาเรนไฮต์ต่อบีทียู หรือมีค่าความต้านทานความร้อนรวมน้อยกว่า 0.058 บีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ โดยใช้กรณีศึกษาที่ 1 เป็นค่าเปรียบเทียบ

ช่องแสงควรมีคุณสมบัติการประหยัดพลังงานและมีขนาดที่เหมาะสม คือให้แสงธรรมชาติเข้ามาอย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพ แต่ให้ความร้อนเข้ามาน้อย

6.1.1.2 การสร้างความรู้สึกเสมือนที่เย็นลงด้วยความเร็วลม

ลักษณะห้องเรียนที่สำรวจกรณีไม่ปรับอากาศหากใช้ความเร็วลมช่วยสร้างความรู้สึกเสมือนเย็นลง เมื่อความเร็วลม 350 ฟุตต่อนาที ความชื้นสัมพัทธ์ 50% จะช่วยให้รู้สึกเย็นลง 3.23 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการใช้อิทธิพลของความเร็สลม และข้อควรระวังในการใช้ความเร็วลม คือลมจะต้องไม่เป็นลมที่มีอุณหภูมิสูง

6.1.1.3 การสร้างความรู้สึกเสมือนที่เย็นลงด้วยอิทธิพลการแผ่รังสีอุณหภูมิผิวเฉลี่ยผิวโดยรอบ

ลักษณะห้องเรียนที่สำรวจทั้งกรณีปรับอากาศและไม่ปรับอากาศพบว่าเปลือกอาคารมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำจะทำให้อุณหภูมิผิวภายในห้องมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลากลางวัน ซึ่งจะส่งอิทธิพลให้รู้สึกร้อนกว่าอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นเปลือกอาคารควรปรับปรุงให้มีค่าการต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้น หรือใช้กรณีศึกษาที่ 1 เป็นค่าเปรียบเทียบ

6.1.2 ข้อสรุปตัวแปรกายภาพความสบายด้านแสงสว่าง

ตัวแปรกายภาพความสบายด้านแสงสว่างของห้องเรียนที่ต้องการคือ ช่องแสงด้านข้างและค่าการสะท้อนแสงภายในห้องที่มีอิทธิพลต่อระดับแสงสว่างภายในห้อง เนื่องจากรูปแบบช่องแสงด้านข้างมีข้อจำกัดของการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องดังนั้นต้องมีการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมด้วย

ลักษณะห้องเรียนที่สำรวจพบว่าห้องเรียนส่วนใหญ่มีช่องแสงด้านข้างที่สามารถใช้แสงธรรมชาติเพียง 2-3 เมตร แต่อัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อผนังสูงจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ช่องแสงด้านข้างควรปรับปรุงกระจกให้มีคุณสมบัติด้านพลังงานที่ดีและลดขนาดแต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณแสงสว่างภายในห้องและออกแบบระบบแสงประดิษฐ์ให้สอดคล้องกับแสงธรรมชาติ

6.1.3 ข้อสรุปตัวแปรกายภาพความสบายด้านการมองเห็น

ตัวแปรกายภาพความสบายด้านการมองเห็นของห้องเรียนที่ต้องการคือ การควบคุมความสว่างไม่ให้จ้ามากเกินไปในมุมมองปกติและควบคุมการเกิดเงาสะท้อนรบกวนการมองเห็น

ลักษณะห้องเรียนที่สำรวจพบว่าห้องเรียนส่วนใหญ่มีช่องแสงด้านข้างและใช้กระจกใส กรณีภายนอกมีค่าการสะท้อนแสงสูง ทำให้มีโอกาศเกิดแสงจ้าเกิด 495 ฟุตแลมเบิร์ทในมุมมองระดับสายตา ทำให้ระคายเคืองในมุมมอง

ลักษณะห้องเรียนที่สำรวจพบว่ากระดานของห้องเรียนกรณีเป็นกระดานขาวที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบมัน และกรณีเป็นกระดานดำที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกึ่งมันจะเกิดการสะท้อนแสงของหน้าต่างไปยังกระดานทำให้เกิดภาพไม่ชัด

6.1.4 ข้อสรุปตัวแปรกายภาพความสบายด้านการได้ยิน

ตัวแปรกายภาพความสบายด้านการได้ยินของห้องเรียนที่ต้องการคือ การป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกและควบคุมคุณภาพเสียงภายในห้องได้

ลักษณะห้องเรียนที่สำรวจพบว่าห้องเรียนส่วนใหญ่ต้องใช้ระบบขยายเสียงภายในห้อง และมีการป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกได้ต่ำ โดยเฉพาะกรณีห้องเรียนไม่ปรับอากาศไม่สามารถควบคุมเสียงรบกวนจากภายนอกได้

การควบคุมคุณภาพเสียงภายในห้อง ลักษณะห้องเรียนที่สำรวจพบว่าห้องเรียนส่วนใหญ่วัสดุภายในห้องส่วนใหญ่เป็นวัสดุสะท้อนเสียง

6.2 ข้อตัวแปรที่เหมาะสมกับการเรียนรู้ตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

ข้อสรุปผลที่ได้จากการสำรวจ แนวคิด ความเห็น และจิตนาการ จากผู้เชี่ยวชาญ ด้วยวิธีการศึกษาแบบเดลฟาย (Delphi study) ของตัวแปร ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาแบบเดลฟาย (Delphi study) สามารถสรุปความต้องการของตัวแปรด้านความต้องการของกิจกรรมการเรียนรู้จากผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปรและตัวแปรสนับสนุนอื่นที่ ได้จากการสัมภาษณ์และสอบถาม ได้ดังนี้

6.2.1 ด้านความรู้สึกร้อนหนาว

เนื่องจากการเรียนรู้เป็นกิจกรรมที่ต้องใช้สมาธิและความเครียดสูงดังนั้นตัวแปรด้านความรู้สึกร้อนหนาวจึงมีอิทธิพลต่อสมาธิในการเรียน ผลสรุปจากการสัมภาษณ์และสอบถามผู้เชี่ยวชาญพบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นด้านความรู้สึกร้อนหนาวว่าห้องเรียนควรสามารถควบคุมอุณหภูมิความร้อนความชื้นและความเร็วลมให้อยู่ในสภาวะน่าสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว (thermal comfort zone) ได้อย่างสม่ำเสมอ และมีผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบได้ให้ข้อคิดเกี่ยวกับเทคนิคการสร้างห้องเรียนที่เหมาะสมกับสภาวะน่าสบายสำหรับห้องเรียนต้นแบบในภูมิภาคร้อนชื้น เนื่องจากสาเหตุของความไม่สบายด้านความร้อนหนาวส่วนมากมาจากอุณหภูมิอากาศทั้งความร้อนและความชื้นที่สูงเกินไป ดังนั้นห้องเรียนจึงควรมีการปรับปรุงค่าความเป็นฉนวนของกรอบห้องเรียน เพื่อลดอิทธิพลของความร้อนและความชื้นจากภายนอก และช่วยลดอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิววัสดุดดยรอบ ตลอดจนช่วยควบคุมอุณภูมิความร้อนความชื้นภายในห้องเรียนให้อยู่ในสภาวะน่าสบายอย่างสม่ำเสมอ

อย่างไรก็ตามขณะเริ่มต้นของชั่วโมงเรียน เมื่อผู้เรียนและผู้บรรยายเดินทางมาถึงห้องเรียน จะพบว่ามีความร้อนสะสมในร่างกาย (heat built up) สูง ดังนั้นขณะที่เริ่มต้นชั่วโมง

เรียน ทั้งผู้เรียนและผู้บรรยาย จะไม่รู้สึกสบายเนื่องจากอิทธิพลของความร้อนสะสมในร่างกาย และเมื่อสอบถามถึงระยะเวลาที่ยอมรับได้ในการปรับตัวก่อนเข้าห้องเรียนพบว่า ผู้เชี่ยวชาญส่วนมากต้องการให้รู้สึกสบายในทันทีที่เข้าห้องเรียนหากเป็นไปได้ และมีความเห็นตรงกันว่าระยะเวลาในการปรับตัวด้านความรู้สึกร้อนหนาวไม่ควบเกิน 10 นาที

6.2.2 ด้านแสงสว่าง

แสงสว่างเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการมองเห็นที่เป็นหนึ่งในประสาทสัมผัสทางการเรียนรู้ ผลสรุปจากการสัมภาษณ์และสอบถามผู้เชี่ยวชาญพบว่า ระดับของความส่องสว่างในพื้นที่ต่างๆของห้องเรียนมีความต้องการแตกต่างกัน ตามลักษณะการใช้งานและรูปแบบการบรรยาย ด้านรูปแบบการบรรยายในการวิจัยครั้งนี้แบ่งรูปแบบการบรรยายออกเป็น 3 รูปแบบการบรรยายตามลักษณะของสื่อการสอน ดังนี้ รูปแบบที่ 1 คือรูปแบบการบรรยายทั่วไปโดยการใช้กระดานในการเขียน รูปแบบที่ 2 คือ การบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายแผ่นใส เครื่องฉายแผ่นทึบ และเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ และรูปแบบที่ 3 คือ การบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความละเอียดและคมชัด (resolution) ของภาพค่อนข้างสูง เพื่อสร้างความประทับใจในการรับรู้ด้านการมองเห็น หรือสร้างบรรยายกาศและอารมณ์ (mood) ต่างๆ ตามความต้องการของผู้สอน

ความต้องการระดับของแสงสว่างในกรณีรูปแบบการบรรยายทั่วไปโดยการใช้กระดานในการเขียน จากการสัมภาษณ์และสอบถามผู้เชี่ยวชาญพบว่า ที่บริเวณผู้เรียนมีความต้องการระดับความส่องสว่างที่เพียงพอต่อการมองเห็นและเขียนหนังสือได้ ที่บริเวณผู้บรรยายมีความต้องการระดับความส่องสว่างมากกว่าบริเวณผู้เรียนเล็กน้อยเพื่อเน้นจุดเด่น (high light) ของห้องที่บริเวณผู้สอน และในส่วนกระดานมีความต้องการระดับความส่องสว่างในระนาบตั้งให้เพียงพอในการมองเห็นกระดาน

ความต้องการระดับของแสงสว่างในกรณีรูปแบบการบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายแผ่นใส เครื่องฉายแผ่นทึบ และเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ จากการสัมภาษณ์และสอบถามผู้เชี่ยวชาญพบว่า ที่บริเวณผู้เรียนมีความต้องการระดับความส่องสว่างที่เพียงพอต่อการมองเห็นและเขียนหนังสือได้ ที่บริเวณผู้บรรยายมีความต้องการระดับความส่อง

สว่างมากกว่าบริเวณผู้เรียนเล็กน้อยเพื่อเน้นจุดเด่น (high light) ของห้องที่บริเวณผู้สอนแต่ต้องไม่รบกวนภาพที่ฉายบริเวณจอภาพ และในส่วนจอภาพมีความต้องการการควบคุมระดับความส่องสว่างในระนาบตั้งไม่ใช้รบกวนภาพที่ฉาย

ความต้องการระดับของแสงสว่างในกรณีรูปแบบการบรรยายโดยใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความละเอียดและคมชัด (resolution) ของภาพค่อนข้างสูงจากการสัมภาษณ์และสอบถามผู้เชี่ยวชาญพบว่า ที่บริเวณผู้เรียนและบริเวณผู้บรรยายต้องควบคุมไม่รบกวนภาพที่ฉายบริเวณจอภาพ และในส่วนจอภาพมีความต้องการการควบคุมระดับความส่องสว่างในระนาบตั้งอย่างมากเพื่อมิให้รบกวนภาพที่ฉาย

และนอกจากความต้องการในการปรับหรี่แสงสว่างได้ตามความต้องการของลักษณะพื้นที่และการใช้งานดังข้างต้นแล้ว ผู้เชี่ยวชาญยังเห็นว่าควรให้ความสำคัญกับคุณภาพของแสงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านความถูกต้องของสีของแสง (color rendering) เพราะแสงที่ให้ความถูกต้องของสีหรือแสงที่ช่วยให้สีที่ต้องการมองเห็นชัดมีความถูกต้อง เช่น กรณีแสงไฟที่ส่องบริเวณผู้บรรยายควรมีสีของแสงที่ถูกต้อง หรือมีสีในทางโทนอบอุ่น เพื่อให้ใบหน้าของผู้บรรยายมีสีสันที่สดใส และเป็นส่วนกระตุ้นให้เกิดความน่าเรียน

6.2.3 ด้านการมุมมองและทัศนวิสัย

มุมมองและทัศนวิสัยภายในห้องเรียนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในการรับรู้ข้อมูลข่าวสารผ่านประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น ผลสรุปจากการสัมภาษณ์และสอบถามผู้เชี่ยวชาญพบว่า มุมมองทัศนวิสัยของนักเรียนจะต้องมองเห็นสื่อต่างๆ และผู้บรรยายได้ชัดเจนตามเจตนารมย์ของผู้สอน และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับองค์ประกอบภายในห้องเรียนที่มีอิทธิพลต่อมุมมองที่ชัดเจนในสนามของมุมมอง (visual field) ประกอบด้วยขนาดของกระดานหรือจอภาพ และขนาดของตัวหนังสือ ระยะห่างระหว่างผู้เรียนกับจอภาพ ส่วนมุมมองของผู้บรรยายต้องสามารถมองเห็นผู้เรียนได้อย่างชัดเจนโดยไม่มีมุมอับ

ด้านความเปรียบต่าง (contrast) ของวัตถุที่มองเห็น (object) กับพื้นภาพ (background) ที่เหมาะสมเพื่อให้มองเห็นภาพได้ชัดเจน และต้องคำนึงถึงระดับความจ้าของภาพ

ที่มองเพื่อไม่ให้เกิดความความรู้สึกไม่สบายตาในการมอง นอกจากนี้ในเรื่องของการสะท้อนแสงของจอภาพจะต้องไม่เกิดการสะท้อนแสงของวัสดุผิวมันที่ทำให้การมองเห็นเกิดเงาสะท้อนมองภาพไม่ชัด อย่างไรก็ตามผู้เชี่ยวชาญยังให้ความเห็น ว่ามุมมองและทัศนวิสัยในห้องเรียนจะต้องไม่เกิดแสงบาดตา (glare) ทั้งในมุมมองของผู้เรียนและมุมมองของผู้บรรยาย

6.2.4 ด้านคุณภาพเสียงและการได้ยิน

คุณภาพของเสียงและการได้ยิน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการรับรู้ข้อมูลข่าวสารผ่านประสาทสัมผัสด้านการได้ยิน ผลสรุปจากการสัมภาษณ์และสอบถามผู้เชี่ยวชาญพบว่า คุณภาพของห้องเรียนในปัจจุบันมีปัญหาในการใช้เสียงของผู้บรรยาย กล่าวคือ ไม่สามารถพูดด้วยระดับเสียงปกติ ให้สามารถรับฟังได้อย่างชัดเจนทั่วทั้งห้อง จึงต้องมีการใช้เครื่องขยายเสียงช่วยในการบรรยาย ดังนั้นผู้เชี่ยวชาญจึงมีความเห็นว่าห้องเรียนควรสามารถสื่อสารและบรรยายได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบให้ข้อคิดเห็นในเรื่องลักษณะรูปทรงของห้องและการใช้วัสดุสะท้อนเสียงเพื่อช่วยในการสะท้อนเสียงจากผู้บรรยายไปสู่ผู้เรียน และมีการเลือกใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อควบคุมคุณภาพของเสียงภายในห้องเรียนให้มีค่ารีเวอร์เบอร์เรชันไทม์ (reverberation time) ที่เหมาะสมในทุกย่านความถี่ (octave band)

นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญยังเห็นว่าภายในห้องเรียนต้องควบคุมเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อม (background noise) ให้อยู่ในระดับที่ผู้บรรยายสามารถบรรยายด้วยระดับเสียงปกติได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง

6.2.5 ด้านคุณภาพอากาศ

ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า การคำนึงถึงคุณภาพอากาศภายในห้องเรียน (indoor air quality) มีความจำเป็นอย่างมากในห้องเรียน เพราะเป็นเรื่องที่ส่งผลต่อประสาทสัมผัสทางจมูกและสุขภาพ และมีผู้เชี่ยวชาญบางท่านให้ข้องสังเกตว่าเรื่องคุณภาพอากาศเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อน ดังนั้นในสร้างห้องเรียนจึงเห็นควรให้ นำเรื่องคุณภาพอากาศมาพิจารณาร่วมกับการออกแบบระบบระบายอากาศภายในอาคารให้หมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานของกฎหมายที่กำหนด

6.2.6 ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า เทคโนโลยีสารสนเทศมีบทบาทและความจำเป็นมากในห้องเรียนต้นแบบ เพื่อให้การเรียนรู้ในห้องเรียนไม่ถูกจำกัดด้วยสื่อ เวลา และสถานที่ กล่าวคือ เทคโนโลยีสารสนเทศสามารถช่วยขยายการเข้าถึงข้อมูลและการถ่ายทอดข้อมูลจากในห้องเรียนสู่ภายนอกและจากภายนนอกเข้าสู่ภายในห้องเรียนได้ เช่น การเชื่อมโยงสัญญาณการถ่ายทอดกับระบบโทรทัศน์วงจรปิด หรือกับระบบอินเตอร์เนต แต่เนื่องจากเทคโนโลยีสารสนเทศมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ผู้เชี่ยวชาญบางท่านจึงมีความเห็นว่าห้องเรียนต้นแบบควรมีการออกแบบให้สาสมารถช่วยรองรับระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีอยู่ได้ และที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคตได้

6.2.7 ด้านตัวแปรอื่นๆ ความปลอดภัย บรรยากาศและความสวยงาม

ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า ด้านความปลอดภัยของห้องเรียน ควรจะอยู่ในมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด เช่น ในเรื่องมาตรฐานความปลอดภัยทางอัคคีภัย ทางโครงสร้าง เป็นต้น

ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าด้านบรรยากาศและความงาม มีส่วนช่วยในการสร้างความประทับในในการเรียนรู้ แต่เนื่องจากเรื่องบรรยากาศและความงามเป็นเรื่องที่มีความเห็นที่ส่วนตัวมาก

จากการวิจัยและสัมภาษณ์รอบสุดท้ายรวมทั้งการให้แนวคิดของผู้เชี่ยวชาญที่ประสมประสานแบบสอบถามในรอบสุดท้าย ผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่ได้มีการเสนอแนะ ซึ่งได้ข้อสรุปเป็นเอกฉันท์ว่า ห้องเรียนจำเป็นต้องมีการปรับปรุง ทำให้เกิดจินตนาการของห้องเรียนยุคใหม่ที่ทุกท่านเห็นพ้องต้องกันว่าสิ่งที่สามารถทำได้และเป็นรูปธรรมคือ การควบคุมและปรุงแต่งสภาพแวดล้อมของห้องเรียนให้เอื้อต่อการรับรู้และสร้างสรรค์บรรยากาศที่ทำให้เด็กรุ่นใหม่ได้สัมผัสห้องเรียนยุคใหม่ที่มีบรรยากาศและแรงกระตุ้นไม่แพ้ห้องเกม หรือประสบการณ์ที่คนรุ่นใหม่ได้มีโอกาสสัมผัส จึงนำไปสู่การนำตัวแปรที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้

ผลสรุปรวมของการศึกษาตัวแปรกายภาพ กิจกรรม และการสำรวจห้องเรียน

ตารางที่ 6-1 แสดงผลสรุปรวมของการศึกษาตัวแปรกายภาพ กิจกรรม และการสำรวจห้องเรียน

	ตัวแปรกายภาพและกิจกรรม	ผลสำรวจห้องเรียน
ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว	ต้องการความรู้สึกสบายอย่างสม่ำเสมอ ต้องการพื้นที่ปรับสภาพ (adaptive zone)	เปลือกอาคารไม่สามารถควบคุมความร้อนเข้าสู่อาคารได้ ขาดพื้นที่ปรับสภาพก่อนเข้าห้องเรียน
ความสบายด้านแสงสว่าง	ต้องการการบรรยาย 3 รูปแบบที่สามารถควบคุมแสงสว่างได้	ช่องเปิดของห้องไม่สามารถควบคุมระดับความสว่างภายในห้องได้
ความสบายด้านการมองเห็น	ต้องการมุมมองที่สบายตา และไม่เกิดแสงสะท้อนที่กระดาน	ช่องแสงด้านข้างอาจจะทำให้เกิดแสงจ้าระคายตาได้ ขาดการควบคุมการสะท้อนแสงและมุมมองกระดาน
ความสบายด้านการได้ยิน	ต้องการการสื่อสารกับผู้เรียนโดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง	เปลือกอาคารไม่สามารถกันเสียงรบกวนจากภายนอก และมีการเปิดหน้าต่าง ต้องใช้เครื่องขยายเสียงในการเรียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3 ข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้อยของกรณีศึกษา

องค์ประกอบของห้องเรียนที่ควรจะมีเพิ่มเติมนอกจากการสร้างห้องเรียนให้มีคุณภาพแล้ว คือ พื้นที่ปรับสภาพความพร้อม (adaptive area) จากกรณีศึกษาพบว่า ห้องเรียนธรรมชาติ ที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และห้องเรียนธรรมชาติที่มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ วิทยาเขตบางคล้า ไม่มีพื้นที่เชื่อมต่อก่อนเข้าห้อง ทำให้การควบคุมความรู้สึกของผู้เข้าไปใช้อาคารมีความแตกต่างจากสภาพอากาศภายนอกรุนแรงมากเกินไป ส่วนห้องเรียนที่โรงเรียนพูลเจริญใช้ทางเดินหน้าห้องทำหน้าที่เป็นพื้นที่เชื่อมต่อก่อนเข้าห้อง หน้าที่ของพื้นที่เชื่อมต่อ ทำหน้าที่ปรับเครื่องความรู้สึกร้อนหนาว (thermal adaptation), การปรับตัวของสายตา (eye adaptation) การกันเสียงรบกวนจากภายนอก (noise buffer)

6.3.1 ข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้อยของกรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต

ตารางที่ 6-2 แสดงข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้วยของกรณีศึกษา 1

กรณีศึกษา 1 ธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต		
	ข้อได้เปรียบ	ข้อด้อย
ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว	ใช้ประโยชน์จากการระเหยของน้ำปรุงแต่งสภาพแวดล้อม ใช้เปลือกอาคารที่มีค่าการป้องกันความร้อนสูง	มวลสารสำหรับดูดซับความร้อนไม่เพียงพอ ขาดพื้นที่ปรับสภาพความพร้อมของร่างกาย
ความสบายด้านแสงสว่าง	ใช้แสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านบน	ควบคุมระดับแสงสว่างที่หน้าห้องได้ไม่สมบูรณ์
ความสบายด้านการมองเห็น	ควบคุมค่าพื้นผิวการสะท้อนแสงและมุมมองไม่เกิดแสงสะท้อนที่จอภาพ	ขาดพื้นที่ปรับสายตาก่อนเข้าห้องเรียน
ความสบายด้านการได้ยิน	ใช้เนินดินป้องกันเสียง ควบคุมการสะท้อนและดูดซับเสียงได้	ขาดพื้นที่ปรับสภาพที่เป็น โซนป้องกันเสียงจากภายนอก

6.3.2 ข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้อยของกรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯวิทยาเขตบางคล้า

ตารางที่ 6-3 แสดงผลสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้วยของกรณีศึกษา 2

กรณีศึกษา 2 ราชภัฏฯวิทยาเขตบางคล้า		
	ข้อได้เปรียบ	ข้อด้อย
ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว	ใช้ประโยชน์จากการระเหยของน้ำ ใช้เปลือกอาคารที่มีค่าการป้องกันความร้อนสูง	การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมไม่เพียงพอ มวลสารสำหรับดูดซับความร้อนไม่เพียงพอ ขาดพื้นที่ปรับสภาพความพร้อมของร่างกาย
ความสบายด้านแสงสว่าง	ใช้แสงธรรมชาติจากช่องแสงสูงที่อยู่ด้านข้าง ควบคุมระดับแสงสว่างที่หน้าห้องได้มากกว่ากรณีศึกษา 1	ควบคุมระดับแสงสว่างที่หน้าห้องได้ไม่สมบูรณ์
ความสบายด้านการมองเห็น	ควบคุมค่าพื้นผิวการสะท้อนแสงและมุมมองไม่เกิดแสงสะท้อนที่จอภาพ	ขาดพื้นที่ปรับสายตาก่อนเข้าห้องเรียน
ความสบายด้สนการได้ยิน	ใช้เนินดินป้องกันเสียง ควบคุมการสะท้อนและดูดซับเสียงได้	ขาดพื้นที่ปรับสภาพที่เป็น โซนป้องกันเสียงจากภายนอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.3 ข้อสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้อยของกรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญฯ

ตารางที่ 6-4 แสดงผลสรุปข้อได้เปรียบและข้อด้วยของกรณีศึกษา 3

กรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญฯ		
	ข้อได้เปรียบ	ข้อด้อย
ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว	ใช้เปลือกอาคารที่มีค่าการป้องกันความร้อนสูง ใช้พื้นที่ทางเดินหน้าห้องเป็นพื้นที่ปรับสภาพ	ขาดปัจจัยธรรมชาติที่เอื้อประโยชน์ในการทำความเย็น และมีข้อจำกัดของการปิดหน้าต่างเพื่อป้องกันเสียง
ความสบายด้านแสงสว่าง	ใช้ช่องเปิดขนาดเล็กลงแต่ได้ปริมาณแสงสว่างภายในห้องเท่าเดิม	มีข้อจำกัดของการใช้ช่องแสงด้านข้าง
ความสบายด้านการมองเห็น	ควบคุมค่าการส่องผ่านแสงของกระจกไม่เกิดแสงจ้าเกินไป	เกิดเงาสะท้อนที่กระดานแต่สามารถแก้ได้ด้วยการเอียงกระดาน
ความสบายด้านการได้ยิน	ควบคุมเสียงรบกวนจากเครื่องบินได้ ควบคุมค่าการสะท้อนและดูดซับเสียงได้	พื้นที่ทางเดินหน้าห้องใช้ร่วมกันหลายห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.4 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบ

ข้อสรุปจากการออกแบบ ทดลองสร้างและประเมินผลการใช้ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบที่ ดี เอ็น เอ รีสอร์ท เขาใหญ่ ขนาด 300 ที่นั่ง มีรูปแบบการใช้งานแบบบรรยาย สามารถสร้างคุณภาพของห้องเรียนได้โดยใช้ระบบธรรมชาติ ในคุณภาพของสภาพแวดล้อมทั้ง 4 ตัวแปร คือ ความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว ความสบายด้านระดับแสงสว่าง ความสบายด้านการมองเห็น และความสบายด้านการได้ยิน

ตัวแปรพื้นฐานของห้องเรียนเพื่อให้เกิดความพร้อมในการเรียนรู้คือ ตัวแปรด้านความรู้สึกร้อนหนาว หากห้องเรียนสามารถทำให้ตัวแปรความรู้สึกร้อนหนาวอยู่ในเกณฑ์ความสบายแบบควบคุมได้ ก็จะทำให้ประสาทสัมผัสการรับรู้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ สามารถทำงานได้อย่างปราศจากอุปสรรค

ตัวแปรต่อมาที่ต้องพิจารณาคือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประสาทสัมผัสในการรับรู้ของรู้แบบการเรียนแบบบรรยาย คือ การมองเห็นและการฟัง ซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวแปรด้านระดับแสงสว่าง ตัวแปรด้านความสบายในการมองเห็น ตัวแปรด้านคุณภาพในการได้ยิน ตามลำดับ

6.4.1 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเกี่ยวกับความสบายด้านความรู้สึกร้อนหนาว

ในช่วงเวลากลางวันเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 34.9 องศาเซลเซียส ภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบสามารถปรุงแต่งด้วยระบบธรรมชาติให้รู้สึดเสมือนอุณหภูมิ 24-26 องศาเซลเซียส ที่อยู่ในเขตสบายได้ ดดยใช้เทคนิคดังต่อไปนี้

- เทคนิคการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมภายนอกได้เหลือ 32 องศาเซลเซียส
- เทคนิคสร้างความเย็นด้วยความสมบูรณ์ของสภาพแวดล้อมและกักเก็บความเย็นไว้ใช้ทำให้ในห้องมีอุณหภูมิ 28.8 องศาเซลเซียส
- เทคนิคการใช้อิทธิพลของการแผ่รังสีเฉลี่ยโดยรอบให้ความรู้สึกด้านความร้อนหนาวรู้สึกเสมือน 27.4 อาศาเซลเซียส
- เทคนิคการใช้ความเร็วลมด้วยระบบเครื่องกล และไม่นำอากาศที่ร้อนกว่าภายนอกมาใช้ ด้วยพัดลมความเร็วลม 50-350 ฟุตต่อนาที ทำให้รู้สึกอุณหภูมิเสมือน 24-26 องศาเซลเซียส
- ภายในห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 80 เปอร์เซนต์

- ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบสามารถใช้มวลสารขนาด 810 ตารางเมตรที่เย็น เพื่อดูดซับความร้อนของผู้เรียน 300 คน กรณีใช้มวลสารของดินดูดซับลึกลงไปประมาณ 0.05 เมตรและมีอุณหภูมิมวลสารเพิ่ม 1 องศาเซลเซียส
- การแต่งกายของผู้เรียนในการวิจัยนี้ควรแต่งกายแบบลำลอง ประมาณ 0.5-.06 clo

6.4.2 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเกี่ยวกับความสบายด้านระดับแสงสว่าง

ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบที่มีค่าการสะท้อนแสง พื้นพรมแดง 0.12 พืนที่นั่งขาว 0.56 ผนังพรมแดง 0.12 ผนังสีขาว 0.69 เพดานขาว 0.69 และมีช่องเปิดด้านบนขนาด 4.52 ตารางเมตร ห้องเรียนมีระดับความส่องสว่างประมาณ 150-900 ลักซ์ เมื่อเทียบกับพื้นหลังคาขนาด 706.95 ตารางเมตร หรือคิดเป็นอัตราส่วน 0.64%

6.4.3 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเกี่ยวกับความสบายด้านการมองเห็น

ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบไม่มีแสงจ้าระคายเคืองตา (direct glare) เนื่องจากการให้แสงจากข้างบน และห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบไม่มีแสงสะท้อนรบกวนการมองเห็น (reflected glare) เพราะควบคุมการสะท้อนแสงภายในให้มีพื้นผิวทั่วไปเป็นแบบด้าน

6.4.4 ข้อสรุปห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบเกี่ยวกับความสบายด้านการได้ยิน

ห้องเรียนธรรมชาติต้นแบบขนาด 300 ที่นั่ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เมตร ในสภาพแวดล้อมภายนอกปกติจะมีระดับเสียงรบกวนภายในห้องประมาณ 30-35 dBA ด้วยเทคนิคการป้องกันเสียงภายนอกด้วยวัสดุโครงสร้างโฟมหนา 0.25 เมตร และใช้ประโยชน์จากการอยู่ใต้ดินของห้องเรียน

ทางด้านคุณภาพเสียงภายในห้องควบคุมคุณภาพการดูดซับและสะท้อนเสียง มีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ เท่ากับ 1.75 วินาที ด้วยการใช้การพ่นฝ้าเพดานดูดซับเสียงเซลลูโลสพื้นที่ประมาณ 300 ตารางเมตร และพื้นที่ปูพรมพื้นที่ประมาณ 200 ตารางเมตร รวมถึงการออกแบบ

รูปร่างและทิศทางของพื้นผิวสะท้อนเสียงเพื่อให้สามารถใช้เสียงบรรยายได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียง

ในกรณีห้องเรียนขนาดทั่วไป 64 ตารางเมตร สูง 3 เมตร ต้องมีระดับเสียงรบกวนภายในห้องประมาณ 30-35 dBA โดยการป้องกันเสียงภายนอกด้วยวัสดุห้องที่มีค่าการสูญเสียของการส่งผ่านเสียง (TL) ไม่ต่ำกว่า 30 dB ในทุกย่านความถี่ และต้องหลีกเลี่ยงการเปิดช่องเปิดด้านการควบคุมคุณภาพเสียงภายในห้องต้องการพื้นที่ดูดซับเสียงประมาณ 32 ตารางเมตร

6.5 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นเพียงจุดเริ่มต้นของการวิจัยที่ศึกษาภาพรวมของกลุ่มตัวแปร 4 กลุ่มในห้องเรียนตามขอบเขตของการวิจัยและข้อสรุปจากการวิจัยนี้พบว่าระบบธรรมชาติที่ปรุงแต่งด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาไทยกับสภาพแวดล้อมในภูมิภาคร้อนชื้น ซึ่งเป็นการบริหารจัดการความรู้ทางกายภาพและการจัดการกับทุนธรรมชาติ สามารถสร้างสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่เหมาะสมกับการเรียนรู้ในห้องเรียนได้ แต่ยังมีรายละเอียดของตัวแปรต่างๆที่ต้องการการเก็บข้อมูลและศึกษาเพิ่มเติมในบางประเด็น เช่น เทคนิคการสร้างความเย็นและกักเก็บความเย็นในมวลสารดิน การสร้างความเย็นด้วยการระเหยของน้ำและการนำมาใช้ประโยชน์ในอาคาร การประยุกต์ใช้การเคลื่อนที่ของอากาศเย็นเข้าสู่อาคาร การควบคุมแสงธรรมชาติในรูปแบบอื่นๆ และเทคนิคการสร้างพื้นที่ปรับสภาพความพร้อมก่อนเข้าห้องเรียน เป็นต้น เพื่อสร้างสมการในการอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้และสร้างคุณภาพสภาพแวดล้อมด้วยระบบธรรมชาติต่อไป

นอกจากกลุ่มของตัวแปรทั้ง 4 กลุ่มตัวแปรที่การวิจัยนี้เน้น ยังมีกลุ่มตัวแปรอื่นด้านกายภาพที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมการเรียนรู้ ที่การวิจัยนี้ได้สำรวจเบื้องต้นบางส่วนจากการศึกษาแบบเดลฟายจากผู้เชี่ยวชาญ ที่ควรมีการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติม ในกลุ่มของตัวแปรด้านคุณภาพอากาศ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ความปลอดภัย บรรยากาศความงาม และอื่นเป็นต้น

การวิจัยนี้เน้นกลุ่มตัวแปรในมิติกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้โดยผ่านประสาทการรับรู้ทางกายของกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียน อนึ่งการสร้างสรรค์สถาปัตยกรรมยังมีมิติอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น มิติทางจิตและมิติทางปัญญา เพื่อให้การสร้างสรรค์ห้องเรียนมีเนื้อหาสาระที่ครบถ้วนกระบวนความและเฉลิมฉลองมิติของชีวิต ควรมีการวิจัยต่อเนื่องในอนาคตเกี่ยวกับการค้นหาตัวแปรและประยุกต์ใช้บรรยากาศธรรมชาติเพื่อเพิ่มคุณค่าทางจิตใจและสร้างให้เกิดปัญญาของการเรียนรู้ในห้องเรียน

ในเชิงรูปแบบของกิจกรรมในการวิจัยนี้มีขอบเขตที่เน้นรูปแบบการบรรยายซึ่งเป็นรูปแบบพื้นฐานทั่วไปของกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียน ยังมีรูปแบบและกิจกรรมอื่นของการเรียนรู้ที่หลากหลายและควรทำวิจัยในอนาคต เช่นในกรณีการเรียนรู้ในโลกของเด็ก การนำระบบธรรมชาติมาใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับประโยคทั้ง 7 (ทิพย์สุดา ปทุมานนท์, 2539) ทำได้อย่างไร รวมถึงในกรณีเป็นรูปแบบการเรียนรู้ของการเรียนที่เป็นการเรียนรู้ชีวิตของชุมชน ที่มีรูปแบบการเรียนรู้ที่อิสระ เป็นการมารวมกันเพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์ เพื่อไปสู่จุดมุ่งหมายของการเรียนรู้ในชีวิตทั้ง 8 ประการ คือความสนุก การทำได้จริง การมีเพื่อน การมีกินมีใช้ การจัดการเป็น การคิดเป็น ความสามารถในการเรียนรู้ และการมีแรงบันดาลใจ

สุดท้ายเมื่อสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงเพื่อรองรับกิจกรรมการเรียนรู้ภายในห้องแล้ว ความเป็นห้องเรียนยังมีมิติของการขยาย การเติบโต และการเปลี่ยนแปลง (ทิพย์สุดา ปทุมานนท์, 2552) ดังนั้นควรมีการขยายการวิจัยห้องเรียนออกไปสู่ภายนอกห้องเรียน และขยายการสร้างสรรค์ออกสู่ชุมชนอันจะเป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศในวงกว้างต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฎกระทรวง (พ.ศ. 2546) ว่าด้วยระบบ หลักเกณฑ์ และวิธีการประกันคุณภาพการศึกษาภายในสถานศึกษา ระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2546

กัลยา แสงเรือง. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ และคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ พระนคร, ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา. สัมภาษณ์, กันยายน 2549.

จันสอน สุลิวง. **แนวทางในการสร้างแบบประเมินค่าเสียงในอาคารเรียนระดับประถมศึกษา**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

จิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์. **สาระสำคัญด้านสภาวะน่าสบายที่เสริมสร้างอัจฉริยภาพของบ้านไทยในอดีต**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ชญาณิน จิตรานุเคราะห์. **การวิเคราะห์สาระสำคัญของเทคโนโลยีเรือนไทยภาคกลาง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ณัฐภณ วัชรประทีป. **การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตมาประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ทิพย์สุดา ปทุมานนท์. **เรือน+ไทย๒ จุลจักรวาลสถาปัตยกรรม**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

ทิพย์สุดา ปทุมานนท์. **จิตวิทยาสถาปัตยกรรมสวัสดี**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ทิพย์สุดา ปทุมานนท์. รองศาสตราจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ. สัมภาษณ์, กันยายน 2549.

ทิพย์สุดา ปทุมานนท์. **จิตวิทยาสถาปัตยกรรมมนุษย์ปฏิสันถาร**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ทิพย์สุดา ปทุมานนท์. **ปรากฏการณ์ศาสตร์ในสถาปัตยกรรม**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ทิพย์สุดา ปทุมานนท์. **กำเนิดสถาปัตยกรรม : กำเนิดนิรนาม กำเนิดในโลกของเด็ก กำเนิดในภาษา**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ประชน แสงจักร์. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ และคณบดีคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา. สัมภาษณ์, กันยายน 2549.

พิชิต ฤทธิ์จรูญ. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ และคณบดีวิทยาลัยการฝึกหัดครู มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา. สัมภาษณ์, กันยายน 2549.

ฤชิมน ธนบุญสมบัติ. **แนวทางการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานเนื่องจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติโดยรอบอาคาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

วันเอก กิจสมใจ. **ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอาคาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

วิชัย ลำไย. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษา. สัมภาษณ์, กันยายน 2549.

วิมลสิทธิ์ หรยางกูร. **พฤติกรรมมนุษย์กับสภาพแวดล้อม มูลฐานทางพฤติกรรมเพื่อการออกแบบและวางแผน**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่2) พ.ศ. 2550

พรรณจิรา ทิศาวิภาต. **ผลของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงโดยการหมุนหลบ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

วรวุฒิ ศิริรัชฎาะ. **การศึกษาต้นแบบช่องเปิดสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์. รองศาสตราจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ. สัมภาษณ์, กันยายน 2549.

วีรพล อารวรรณ. อาจารย์ และคณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ พระนคร, ผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษา. สัมภาษณ์, กันยายน 2549.

สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ. **การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

สุนทร บุญญาธิการ. **นวัตกรรมการใช้กระจกสำหรับเมืองร้อนชื้น**. กรุงเทพฯ: คูลพริ้นท์, 2551.

สุนทร บุญญาธิการ. การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในอาคาร, **อาษา ฉบับเดือนมิถุนายน**. กรุงเทพฯ: สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2541.

สุนทร บุญญาธิการ. การปฏิวัติกระบวนทัศน์การออกแบบสู่โลกสถาปัตยกรรมยุคใหม่. ใน สันติ ฉันทวิลาสวงศ์ (บรรณาธิการ), **สาระศาสตร์: การประชุมวิชาการประจำปีสถาปัตยกรรมและศาสตร์เกี่ยวเนื่อง ครั้งที่ 9**, หน้า 1-20. กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

สุนทร บุญญาธิการ. ศาสตราจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ. สัมภาษณ์, กันยายน 2549.

สุนทร บุญญาธิการ. **บ้านชีวาทิตย์ บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

สุนทร บุญญาธิการ. **การออกแบบประสานระบบ มหาวิทยาลัยชินวัตร**. กรุงเทพฯ: จีเอ็ม แม็ก มีเดีย, 2545.

สุนทร บุญญาธิการ. **เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุรางค์ โค้วตระกูล. **จิตวิทยาการศึกษา**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

เสรี พงศ์พิศ. **ปรัชญาชีวิต คิดนอกกรอบ**. กรุงเทพฯ: พลังปัญญา, 2548.

เสรี พงศ์พิศ. **ร้อยคำที่ควรรู้**. กรุงเทพฯ: เจริญวิทย์การพิมพ์, 2547.

อโณทัย ธนะเจริญกิจ. **การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบกับโซนสบาย**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ภาษาอังกฤษ

America Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineering. **2001 ASHRAE Fundamentals Handbook IP Edition.** Atlanta Georgia: (n.p.), 2001.

America Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineering. **1993 ASHRAE Fundamentals Handbook SI Edition.** Atlanta Georgia: ASHRAE, 1993.

Barron, M. **Auditorium Acoustics and Architectural Design.** London: E&FN spon, and imprint of Chapman & Hall, 1993.

Boonyatikarn, S. **A method for developing energy budgets and energy design guidelines for institutional buildings.** Doctoral Dissertation, Architecture, University of Michigan, 1982.

Bradshaw, V. **Building control systems.** 2nd ed. New York: John Wiley & Sons. 1993.

Egan, M. D. and Olgyay, V. W. **Architectural lighting.** Boston: McGraw-Hill, 2002.

Egan, M. D. **Concepts in architectural acoustic.** New York: McGraw-Hill, 1972.

Egan, M. D. **Concepts in architectural lighting.** New York: McGraw-Hill, 1983.

Fanger, P. O. **Thermal confort : analysis and applications in environmental engineering.** New York: McGraw-Hill, 1970.

Flynn, J. E., Segil, A. W. and Steffy, G. R. **Architectural Interior Systems Lighting Acoustics Air Conditioning.** 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.

Gleitman, H. **Basic Psychology.** 3rd ed. New York: W. W. Norton & company, 1992.

Illuminating Engineering Society of North America. **IESNA Lighting Handbook.** 9th ed. New York: Publication Department IESNA, 2000.

Klausmeier, H. J. **Educational psychology.** 5th ed. New York: Harper & Row, 1985.

Linstone, H. A. and Turoff M. **The Delphi method techniques and application.** Massachusetts: Addison-Wesley Publishing, 1975.

Lord, P. **The Architecture of Sound.** London: Architectural Press, 1986.

Olgyay, V. **Design with Climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism.** 4th ed. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

Patumanon, T. The Emergence of The Beauty of The Childscape: Rediscovering The Path To The Hidden Dimension of Architecture For Children. **MANUSYA: Journal of Humanities** (Special Issue.No.3.2002).

Robinette, G. O. **Landscape Planning for Energy Conservation.** Virginia: Environmental Design Press, 1977.

Stein, B., Reynolds, J. S. and McGuiness, W. J. **Mechanical and Electrical Equipment for Buildings.** 7th ed. New York: John Wiley & Sons, 1986.

Stein, B. and Reynolds, J. S. **Mechanical and electrical equipment for Buildings.** 9th ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

Zevi, B. **The Modern Language of Architecture.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1981.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสัมภาษณ์รอบที่ 1

โครงการ การวิจัยเพื่อสร้างห้องเรียนต้นแบบสำหรับการเรียนรู้ยุคใหม่

แบบสัมภาษณ์

ผู้เชี่ยวชาญ .....

ตำแหน่ง .....

ความเชี่ยวชาญ .....

วัน-เวลา ที่สัมภาษณ์ .....

คำถาม

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า **ห้องเรียนที่ควรจะเป็น** ควรมีลักษณะอย่างไรบ้าง เพื่อสามารถตอบสนองความต้องการของกิจกรรมการเรียนรู้ในโลกยุคใหม่ ในด้านต่างๆ ต่อไปนี้

1) **ด้านการควบคุมอุณหภูมิ ความร้อน ความชื้น** (Thermal Control)

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

ห้องเรียนในอุดมคติ

- ท่านเห็นด้วยหรือไม่ว่าห้องเรียนจำเป็นต้องมี**ความเย็นสบายสม่ำเสมอตลอดเวลา**?
- ในการเปิดเครื่องปรับอากาศเนื่องจากภายในห้องมีมวลสารที่ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการทำห้องให้เย็น ดังนั้นเมื่อเข้าสู่ห้องเรียนท่านต้องการให้เข้าห้องแล้ว**รู้สึกเย็นทันที**หรือไม่ ? หรือประมาณ 1-5 นาที หรือประมาณ 10-15 นาที หรือมากกว่านั้น?
- ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่ห้องเรียนต้องสามารถ**ควบคุมความร้อน ความชื้น ได้อย่างสมบูรณ์**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้ระบบธรรมชาติในห้องเรียน ตัวอย่างเช่น สายลมธรรมชาติ

- ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่ห้องเรียนจะใช้**ระบบธรรมชาติ** สร้างความสบายในการเรียนรู้
- หากท่านเห็นด้วยกับการใช้ระบบธรรมชาติ ท่านต้องการ**ระดับของการควบคุมระบบธรรมชาติมากน้อย**เพียงไร? เช่น ท่านจะยอมให้มีอุณหภูมิสูงเท่าไร? ท่านจะยอมให้มีลมพัดแรงมากน้อยอย่างไร?

ระบบการควบคุมด้วยเครื่องกล

- ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่**ระบบควบคุม**อุณหภูมิและความชื้น เป็นการควบคุมจากส่วนกลาง หรือ ท่านต้องการระบบที่สามารถควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลจากผู้ใช้ห้องหรือจากผู้สอนได้เอง

2) **ด้านการควบคุมแสงสว่าง** (Lighting Control)

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

ห้องเรียนในอุดมคติ

- ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่ห้องเรียนต้องมีระดับแสงสว่างภายในห้องเรียนที่**เพียงพอ**สำหรับการอ่านหนังสือ การเขียนหนังสือ และสามารถ**ควบคุมระดับของแสง**ได้ด้วยหรือไม่?
- ท่านเห็นด้วยหรือไม่เมื่อมี**การบรรยายและมีการฉายภาพประกอบการบรรยาย**ด้วยนั้น ควรสามารถที่จะ**ควบคุมแสงสว่างในห้องที่จะไปรบกวนความคมชัดของการฉายภาพ** ในขณะที่**ผู้ฟังการบรรยายยังคงได้รับแสงสว่างที่เพียงพอ**สำหรับการอ่าน-เขียนหนังสือในขณะที่มีการฉายภาพประกอบการบรรยาย **โดยไม่มีแสงอื่น ๆไปรบกวนความคมชัดของภาพ** และที่**บริเวณผู้บรรยายยังมีแสงสว่างที่เพียงพอให้ผู้ฟังมองเห็นผู้บรรยายได้ชัดเจน**?
- ในด้าน**คุณภาพของแสงสี**ภายในห้อง ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่แสงสว่างภายในห้องควรช่วยให้ผู้บรรยายหน้าตาสวยสดใส
- ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่ในห้องเรียนควรสามารถ**ควบคุมแสงสี**ให้สามารถปรับเปลี่ยนสีสันตามรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกัน (เช่น อาจมีกิจกรรมอื่นๆ ที่นอกเหนือจากการบรรยายธรรมดา)

การใช้ระบบธรรมชาติในห้องเรียน

- ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่ภายในห้องเรียนมีการใช้**แสงสว่างธรรมชาติ** และสามารถควบคุมแสงธรรมชาติได้

ระบบการควบคุมด้วยเครื่องกล

- ท่านต้องการให้ภายในห้องมี**การผสมผสานของระบบแสงธรรมชาติ และระบบแสงประดิษฐ์**หรือไม่? อย่างไร? เช่น การใช้ตัวปรับหรี่แสง (Dimmer)
- ท่านต้องการระบบ**การควบคุมระดับความเข้มการส่องสว่าง**ภายในห้องหรือไม่? อย่างไร? (เช่น เป็นระบบอัตโนมัติที่สามารถตั้งรูปแบบการใช้งานต่างๆ ได้ หรือระบบที่สามารถได้ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล)

3) **ด้านการควบคุมทัศนวิสัยและมุมมอง** (Visual Control)
ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

ห้องเรียนในอุดมคติ

- ท่านต้องการให้**มุมมองภายใน**ห้องเห็นเป็นอย่างไร? เช่น **ผู้บรรยายต้องมองเห็นผู้ฟัง**ได้ชัดเจนถึงสีหน้าท่าทางต่างๆ และ**ผู้ฟังต้องมองเห็นผู้บรรยาย**ได้ชัดเจน เห็นปากที่กำลังพูด ท่าทางที่กำลังแสดงออก หรือนอกจากนี้ท่านอยากจะ**มองเห็นธรรมชาติ**อย่างอื่นเพื่อการผ่อนคลายหรือไม่?
- ท่านต้องการให้**ไม่มีแสงแยงตาหรือแสงบาดตา**หรือไม่?
- ท่านต้องการให้ไม่เกิด**ความแตกต่างระหว่างความส่องสว่างในห้องกับแสงสะท้อนจากพื้นผิว**มากเกินไปใช่หรือไม่?
- ท่านต้องการให้**ภาพต่าง ๆที่แสดง สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน** แม้อยู่หลังสุดของห้องหรือไม่?

สำหรับห้องเรียนขนาดเล็ก-กลาง (ประมาณ 50-80 ที่นั่ง)

- ท่านต้องการให้**ขนาดของภาพ**ที่ใช้ในการบรรยายมีขนาดใหญ่ประมาณเท่าไร? และต้องการให้ภาพที่ถูกแสดง สามารถใส่**ข้อความ**ได้กี่บรรทัด? และ**ขนาดของตัวอักษร**ควรใหญ่ประมาณเท่าไร?

- ท่านต้องการให้จอภาพสามารถแสดงได้ **หลายจอภาพ**แล้วยังคงเห็นชัดเจนหรือไม่ หรือท่านต้องการจอภาพเพียงจอเดียว?

สำหรับห้องเรียนขนาดใหญ่ (ประมาณ 200 ที่นั่ง)

- ท่านต้องการให้**ขนาดของภาพ**ที่ใช้ในการบรรยายมีขนาดใหญ่ประมาณเท่าไร? และต้องการให้ภาพที่ถูกแสดง สามารถใส่**ข้อความ**ได้กี่บรรทัด? และ**ขนาดของตัวอักษร**ควรใหญ่ประมาณเท่าไร?
- ท่านต้องการให้จอภาพสามารถแสดงได้ **หลายจอภาพ**แล้วยังคงเห็นชัดเจนหรือไม่ หรือท่านต้องการจอภาพเพียงจอเดียว?

4) **ด้านเสียงและการได้ยิน** (Acoustical Comfort)

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

ห้องเรียนในอุดมคติ

- ท่านต้องการให้สามารถพูดแล้วได้ยินทั่วทั้งห้องโดย**ไม่ต้องใช้ไมโครโฟน** หรือไม่?
- ท่านต้องการ **ระดับเสียงรบกวนภายในห้อง** (Background Noise) ต่ำเท่าไร? เช่น ห้องนั้นต้องไม่มีเสียงรบกวน หรือ ยอมให้มีเสียงเครื่องปรับอากาศดังรบกวนได้เล็กน้อย หรือยอมให้มีเสียงนกกระจิบร้องที่ริมหน้าต่างได้ เป็นต้น
- ท่านต้องการ**คุณภาพของเสียง**ภายในห้องอย่างไร? เช่น คุณภาพของเสียงในการบรรยาย คุณภาพของเสียงในการร้องเพลง คุณภาพของเสียงในการแสดงดนตรี เป็นต้น

ระบบการควบคุมด้วยเครื่องกล

- หากท่านต้องการใช้**ไมโครโฟน ท่านต้องการไมโครโฟนลักษณะ**ใด? เช่น เป็นไมโครโฟนตั้งโต๊ะ ไมโครโฟนชนิดลอยตัว (หมายถึง ติดตัวผู้พูด สามารถเดินได้รอบห้อง) หรือไมโครโฟนแบบไร้สาย เป็นต้น
- ท่านคิดว่า **ผู้ฟังจำเป็นต้องมีไมโครโฟน**หรือไม่? หากจำเป็น ท่านต้องการให้มีทุกคน หรือ มีเป็นบางตำแหน่ง? หรือผู้ฟังไม่จำเป็นต้องมีไมโครโฟนแต่สามารถพูดแล้วได้ยินทั่วทั้งห้อง?

5) **ด้านการควบคุมคุณภาพอากาศภายใน** (Indoor Air Quality control)

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

- ท่านต้องการให้มีระบบควบคุม**คุณภาพอากาศภายในห้อง**หรือไม่ เช่น เรื่องกลิ่น ควัน เชื้อโรคในอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฝุ่นละอองหรือไม่? หรือท่านต้องการควบคุมอะไรเป็นพิเศษหรือไม่?
- ท่านต้องการระบบ**การไหลเวียนของอากาศภายในห้อง** เป็นอย่างไร?

6) **ด้านความสวยงามของบรรยากาศในห้องเรียน**

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า ห้องเรียนควรมี**ความสวยงาม**อย่างไร? และควรมี**บรรยากาศ**อย่างไรเป็นพิเศษ ?

7) **ด้านระบบเทคโนโลยีสนับสนุนอื่น ๆ**

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า ห้องเรียนควรมี**ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ**อย่างไรเป็นพิเศษ ? หรือควรมี**ระบบสนับสนุน**อื่นอะไรเป็นพิเศษบ้าง ?

8) **ความคิดเห็นเพิ่มเติมอื่น ๆ**

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดอย่างไรเพิ่มเติมเป็นพิเศษสำหรับการออกแบบห้องเรียนสำหรับการเรียนรู้ยุคใหม่

-----จบแบบสัมภาษณ์------

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสอบถามรอบที่ 2

โครงการ การวิจัยเพื่อสร้างห้องเรียนต้นแบบสำหรับการเรียนรู้ยุคใหม่

คำชี้แจง

แบบสอบถามนี้สร้างขึ้นเพื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความต้องการต่างๆ ในห้องเรียน

ตอนที่ 1

เกี่ยวกับผู้ตอบ

ผู้เชี่ยวชาญ .....

.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2

คำถามเกี่ยวกับปัจจัยความต้องการและปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบห้องเรียน

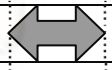
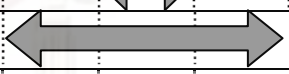
โปรดทำเครื่องหมาย “X” ในช่องที่ท่านต้องการเลือก

ความต้องการความรู้สึกร้อน-หนาวที่เหมาะสม (Thermal comfort)

1. ความต้องการที่เกี่ยวข้องกับความเย็นสบายภายในห้องเรียนและการปรับตัวของผู้ใช้ห้องเรียนในขณะเริ่มต้นชั่วโมงเรียน ท่านเห็นด้วยหรือไม่ที่ผู้ใช้ห้องเรียนควรจะรู้สึกเย็นทันทีเมื่อเข้ามาถึง หรือหากท่านไม่เห็นด้วยท่านจะยอมรับให้ห้องเรียนมีการปรับความเย็นในช่วงเริ่มต้นของชั่วโมงเรียนได้ในระยะเวลาประมาณเท่าไร

เย็นทันที	5 นาที	10 นาที	15 นาที	อื่นๆ

2. ระดับของความต้องการในการควบคุมความร้อน-หนาวภายในห้องเรียน ท่านยอมรับให้ช่วงของการปรับระดับความสบายด้านความรู้สึกร้อน-หนาวอยู่ในช่วงใด

การควบคุมความร้อน-หนาวภายในห้อง		ความรู้สึก (ร้อน-หนาว)				
		ร้อน	เริ่มอุ่น	เย็นสบาย	เริ่มเย็น	หนาว
	ต้องรู้สึกเย็นสบายสม่ำเสมอตลอดเวลา					
	ยอมให้อยู่ในช่วงที่ เริ่มรู้สึกอุ่น ถึง เริ่มรู้สึกเย็น					
	ยอมให้ระดับความแตกต่างของอุณหภูมิถึงขั้นรู้สึกร้อน ถึง รู้สึกหนาว					

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความต้องการแสงสว่างที่เหมาะสม (Lighting Comfort)

การควบคุมระดับแสงสว่างที่ผู้ฟัง	ไม่เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
3. ขณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้ฟังต้องเพียงพอต่อการจดบันทึก					
4. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้ฟังต้องสามารถปรับให้ได้มืดสนิทได้					
5. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้ฟังต้องสามารถปรับให้มีแสงสว่างเพื่อการเขียนหนังสือได้					

การควบคุมระดับแสงสว่างที่ผู้บรรยาย	ไม่เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
6. ขณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้บรรยายต้องเพียงพอเห็นผู้บรรยายชัดเจน (High light)					
7. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้บรรยายต้องสามารถปรับให้มืดสนิทได้					
8. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้บรรยายต้องสามารถปรับให้มีแสงสว่างเพื่อการเขียน-อ่านหนังสือได้					

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ควบคุมระดับแสงสว่างที่จอภาพและกระดาน	ไม่เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
9. ขณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่กระดานต้องสว่างเพียงพอให้สามารถเห็นกระดานได้ชัดเจน					
10. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่จอภาพต้องสามารถปรับให้ได้มืดสนิทได้					

คุณภาพของแสงสว่าง	ไม่เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
11. ในห้องเรียนควรมีการใช้แสงธรรมชาติ					
12. แสงสีที่ส่องไปยังบริเวณผู้บรรยาย ควรช่วยส่งเสริมให้ผู้บรรยายมีหน้าตาที่สดใส					

ความต้องการทัศนวิสัยที่สบายตา (Visual comfort)

ทัศนวิสัยที่สบายตา	ไม่เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
13. สามารถเห็นภาพหรือตัวหนังสือบนกระดานหรือบนจอได้ชัดเจน โดยไม่มีเงาสะท้อนมารบกวนการมอง					
14. ไม่มีแสงบาดตา ทั้งจากมุมมองของผู้บรรยายและจากผู้เรียน					

ความต้องการคุณภาพของเสียง (Acoustical comfort)

คุณภาพของเสียง	ไม่เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
15. ได้ยินชัดเจนโดยไม่ต้องใช้ไมโครโฟน					
16. ไม่มีเสียงรบกวนจากภายนอก					

ความต้องการอื่น ๆ

ท่านมีความคิดเห็นว่าปัจจัยดังต่อไปนี้มีระดับของความสำคัญในการออกแบบห้องเรียน มากน้อยเพียงใด โปรดทำเครื่องหมาย “X” ในช่องที่ท่านต้องการเลือก

ความต้องการอื่น ๆ	ระดับของการให้ความสำคัญ				
	มาก	ค่อนข้างมาก	ปานกลาง	ค่อนข้างน้อย	น้อย
17. ความต้องการคุณภาพอากาศภายในที่ดี					
18. ความต้องการบรรยากาศและความงาม					
19. ความต้องการความปลอดภัย					
20. ความต้องการเทคโนโลยีสารสนเทศ					

******* ขอบพระคุณ *******

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสอบถามรอบที่ 3

โครงการ การวิจัยเพื่อสร้างห้องเรียนต้นแบบสำหรับการเรียนรู้ยุคใหม่

คำชี้แจง

แบบสอบถามนี้สร้างขึ้นเพื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการควบคุมคุณสมบัติของตัวแปรต่าง ๆ ของห้องเรียน เพื่อนำไปใช้สรุปเป็นข้อมูลในการออกแบบห้องเรียนต้นแบบ

ผลการศึกษา จากการสอบถามความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 นั้น มีความเห็นเป็นเอกฉันท์ในเรื่องของการควบคุมความรู้สึกร้อน-หนาวที่เหมาะสม ความต้องการทัศนวิสัยที่สบายตา ความต้องการคุณภาพของเสียงที่เหมาะสม และความต้องการด้านอื่นๆ แต่ยังมีความเห็นบางส่วนที่มีความแตกต่างกันบ้างในเรื่องของแสงสว่างและการมองเห็น เนื่องจากการออกแบบเรื่องของแสงสว่างและการมองเห็นภายในห้องเรียนเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนและมีช่วงของความต้องการแสงสว่างที่แตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับกิจกรรมในการเรียนการสอน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำแบบสอบถามเพิ่มเติมดังนี้

ตอนที่ 1

เกี่ยวกับผู้ตอบ

ผู้เชี่ยวชาญ ----------

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2

ชุดคำถามเกี่ยวกับความต้องการด้านแสงสว่างและการมองเห็น

คำถามที่จะถามต่อไปนี้ ต้องการทราบความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับเรื่องของระดับการส่องสว่างและการมองเห็นภายในห้องเรียน โปรดเลือกระดับความเห็นจาก (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก) โดยแบ่งพื้นที่การใช้งานภายในห้องเรียนออกเป็น 3 บริเวณ คือ

1. บริเวณส่วนผู้ฟัง
2. บริเวณส่วนผู้บรรยาย
3. บริเวณส่วนจอภาพ หรือ กระดาน

1. ในกรณีที่รูปแบบของกิจกรรมการเรียนมีลักษณะการบรรยายแบบทั่วไป ที่ผู้พูดมีการบรรยายและมีการเขียนกระดาน ท่านเห็นว่าควรมีลักษณะการส่องสว่างอย่างไร

   - บริเวณผู้ฟังควรมีระดับแสงสว่างที่เพียงพอต่อการอ่านหนังสือและการจดบันทึก (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)
   - บริเวณผู้บรรยายควรมีระดับความส่องสว่างที่เพียงพอให้ผู้ฟังมองเห็นผู้บรรยายได้ชัดเจนโดยอาจมีการออกแบบระบบแสงสว่างในบริเวณนั้นเป็นพิเศษเพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพของแสงในบริเวณส่วนของผู้บรรยาย
     (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)
   - บริเวณจอภาพหรือกระดานควรมีระดับความส่องสว่างมากพอที่จะช่วยให้ผู้ฟังสามารถมองเห็นกระดานได้ชัดเจนและต้องไม่มีแสงสะท้อนแยงตา
     (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ในกรณีที่รูปแบบของกิจกรรมการเรียนมีลักษณะการบรรยายแบบใช้เครื่องฉายภาพ (Projector) หรือ เครื่องฉายแผ่นทึบ (Visualizer) หรือ เครื่องฉายแผ่นใส (Overhead)

    - บริเวณผู้ฟังควรมีระดับแสงสว่างเพียงพอต่อการอ่านหนังสือและการจดบันทึก และต้องไม่สว่างจนรบกวนความคมชัดของจอภาพ
      (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)
    - บริเวณผู้บรรยายควรมีระดับความส่องสว่างที่เพียงพอให้ผู้ฟังสามารถมองเห็นผู้บรรยายอย่างชัดเจน และต้องไม่สว่างจนรบกวนความคมชัดของจอ
      (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)
    - บริเวณจอภาพหรือกระดานควรสามารถปรับลดระดับความส่องสว่างลงได้เพียงพอที่จะทำให้ภาพที่ฉายปรากฏชัดเจนและต้องไม่มีแสงสะท้อนแยงตา
      (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

3. ในกรณีที่รูปแบบของกิจกรรมการเรียนมีลักษณะการบรรยายแบบที่ผู้บรรยายต้องการฉายภาพ หรือ ฉายภาพยนตร์ ที่ต้องการคุณภาพความคมชัดสูง เพื่อให้ผู้ฟังได้รับอรรถรสของภาพนั้นๆ อย่างเต็มที่

    - บริเวณผู้ฟังควรสามารถปรับลดระดับความส่องสว่างลงให้มืดสนิท เพื่อจะไม่มีแสงรบกวนภาพที่ฉาย
      (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)
    - บริเวณผู้บรรยายควรสามารถปรับลดระดับความส่องสว่างลงให้มืดสนิทได้เพื่อไม่ให้มีแสงรบกวนภาพที่จะฉาย
      (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)
    - บริเวณจอภาพหรือกระดานควรสามารถปรับลดระดับความส่องสว่างลงให้มืดสนิทได้ เพื่อให้ภาพที่ฉายปรากฏได้อย่างชัด
      (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

******* ขอบพระคุณ *******

ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสอบถาม (ห้องเรียนต้นแบบเขาใหญ่)

ข้อมูลส่วนตัว

1. ชื่อ_____นามสกุล_____อายุ_____เพศ_____

ส่วนสูง_____(เมตร) น้ำหนัก_____ (กิโลกกรัม)

เสื้อผ้าที่ท่านสวมใส่ขณะทำแบบสอบถาม_____

ข้อมูลเกี่ยวกับเวลาและตำแหน่งขณะทำแบบสอบถาม

2. วันที่_____เวลา_____

3. ขณะท่านทำแบบสอบถามท่านอยู่ที่ตำแหน่งใดของห้อง (โปรดระบุในผังพื้น)

4. การเข้าสู่ห้องเรียนท่านเข้าจากประตูใด (โปรดระบุในผังพื้น)

และท่านเข้าห้องนี้จาก □ชั้นล่าง หรือ □ ชั้นบน

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกร้อน-หนาว (โปรดเลือกคำตอบหนึ่งข้อ)

5. ท่านรู้สึกพึงพอใจกับสภาพความรู้สึกร้อน-หนาวหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่พอใจมาก			เฉยๆ			พอใจมาก

6. ท่านรู้สึกว่าอุณหภูมิความร้อนภายในห้องนี้ เป็นอย่างไร

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ร้อนมากเกินไป			สบาย			หนาวมากเกินไป

7. ท่านรู้สึกว่าความชื้นภายในห้องนี้ เป็นอย่างไร

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
แห้งมากเกินไป			สบาย			ชื้นมากเกินไป

8. ท่านรู้สึกว่าความเร็วลมภายในห้องนี้ เป็นอย่างไร

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
นิ่งมากเกินไป			สบาย			แรงมากเกินไป

9. เมื่อท่านเข้ามาภายในห้อง ท่านรู้สึกถึงความแตกต่างระหว่างความร้อน-หนาวจากภายนอกเข้าสู่ภายในอย่างไร

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ข้างนอกร้อนกว่าข้างในมาก			ไม่แตกต่าง			ข้างนอกหนาวกว่าข้างในมาก

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านการมองเห็น (โปรดเลือกคำตอบหนึ่งข้อ)

10. ท่านรู้สึกว่าระดับแสงสว่างภายในห้องสว่างมากน้อยเพียงใด

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
มืดมากเกินไป			กำลังดี			สว่างมากเกินไป

11. เมื่อท่านมองไปที่บริเวณเวทีและจอภาพ ท่านรู้สึกสบายตาหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่สบายตาเลย			เฉยๆ			สบายตามาก

โปรดพลิกทำด้านหลัง →

12. ท่านมองเห็นภาพบนจอภาพและผู้บรรยายได้อย่างชัดเจนหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่ชัดเจนเลย			เฉยๆ			ชัดเจนมาก

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านการได้ยิน (โปรดเลือกคำตอบหนึ่งข้อ)

13. ท่านรู้สึกว่าระดับความดังของเสียงภายในห้องดังมากน้อยเพียงใด

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
เงียบมากเกินไป			กำลังดี			ดังมากเกินไป

14. ท่านได้ยินเสียงบรรยายในห้องชัดเจนหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่ชัดเจนเลย			เฉยๆ			ชัดเจนมาก

15. เมื่อมีเสียงบรรยายภายในห้อง ท่านรู้สึกถึงเสียงบรรยายนั้นก้องหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่มีเสียงกังวานจนเกินไป			กำลังดี			เสียงก้องมากเกินไป

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกโดยรวมของห้องเรียน

16. ท่านรู้สึกพึงพอใจกับคุณภาพของห้องเรียนนี้หรือไม่ (โปรดเลือกคำตอบหนึ่งข้อ)

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่พอใจเลย			เฉยๆ			พอใจมาก

17. ท่านรู้สึกประทับใจอะไรในห้องเรียนนี้บ้าง (ถ้ามี)

---

18. ท่านอยากให้ภายในห้องเรียนนี้มีการปรับปรุงอะไรบ้าง (ถ้ามี)

ขอบคุณอย่างสูง

สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ (ผู้วิจัย) 081 2790581

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสอบถาม (กรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญ)

ข้อมูลส่วนตัว

1. ชื่อ_____นามสกุล_____อายุ_____เพศ_____

ส่วนสูง_____(เมตร) น้ำหนัก_____ (กิโลกกรัม)

เสื้อผ้าที่ท่านสวมใส่ขณะทำแบบสอบถาม_____

ข้อมูลเกี่ยวกับเวลาและตำแหน่งขณะทำแบบสอบถาม

2. วันที่_____เวลา_____

3. ขณะท่านทำแบบสอบถามท่านอยู่ที่ตำแหน่งใดของห้อง แถวที่_____(จากหน้าห้อง)

ลำดับที่_____(จากทางซ้ายมือ)

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกร้อน-หนาว (โปรดเลือกคำตอบหนึ่งข้อ)

4. ท่านรู้สึกพึงพอใจกับสภาพความรู้สึกร้อน-หนาวหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่พอใจมาก			เฉยๆ			พอใจมาก

5. ท่านรู้สึกว่าอุณหภูมิความร้อนภายในห้องนี้ เป็นอย่างไร

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ร้อนมากเกินไป			สบาย			หนาวมากเกินไป

6. ท่านรู้สึกว่าความชื้นภายในห้องนี้ เป็นอย่างไร

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
แห้งมากเกินไป			สบาย			ชื้นมากเกินไป

7. ท่านรู้สึกว่าความเร็วลมภายในห้องนี้ เป็นอย่างไร

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
นิ่งมากเกินไป			สบาย			แรงมากเกินไป

8. เมื่อท่านเข้ามาภายในห้อง ท่านรู้สึกถึงความแตกต่างระหว่างความร้อน-หนาวจากภายนอกเข้าสู่ภายในอย่างไร

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ข้างนอกร้อนกว่าข้างในมาก			ไม่แตกต่าง			ข้างนอกหนาวกว่าข้างในมาก

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านการมองเห็น (โปรดเลือกคำตอบหนึ่งข้อ)

9. ท่านรู้สึกว่าระดับแสงสว่างภายในห้องสว่างมากน้อยเพียงใด

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
มืดมากเกินไป			กำลังดี			สว่างมากเกินไป

10. เมื่อท่านมองไปที่บริเวณเวทีและจอภาพ ท่านรู้สึกสบายตาหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่สบายตาเลย			เฉยๆ			สบายตามาก

โปรดพลิกทำด้านหลัง →

11. ท่านมองเห็นภาพบนจอภาพและผู้บรรยายได้อย่างชัดเจนหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่ชัดเจนเลย			เฉยๆ			ชัดเจนมาก

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านการได้ยิน (โปรดเลือกคำตอบหนึ่งข้อ)

12. ท่านรู้สึกว่าระดับความดังของเสียงภายในห้องดังมากน้อยเพียงใด

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
เงียบมากเกินไป			กำลังดี			ดังมากเกินไป

13. ท่านได้ยินเสียงบรรยายในห้องชัดเจนหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่ชัดเจนเลย			เฉยๆ			ชัดเจนมาก

14. เมื่อมีเสียงบรรยายภายในห้อง ท่านรู้สึกถึงเสียงบรรยายนั้นก้องหรือไม่

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่มีเสียงกังวานจนเกินไป			กำลังดี			เสียงก้องมากเกินไป

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกโดยรวมของห้องเรียน

15. ท่านรู้สึกพึงพอใจกับคุณภาพของห้องเรียนนี้หรือไม่ (โปรดเลือกคำตอบหนึ่งข้อ)

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ไม่พอใจเลย			เฉยๆ			พอใจมาก

16. ท่านรู้สึกประทับใจอะไรในห้องเรียนนี้บ้าง (ถ้ามี)

---

17. ท่านอยากให้ภายในห้องเรียนนี้มีการปรับปรุงอะไรบ้าง (ถ้ามี)

ขอบคุณอย่างสูง

สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ (ผู้วิจัย) 081 2790581

ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลจากแบบสัมภาษณ์รอบที่ 1

โครงการ “ห้องเรียนต้นแบบ”

Delphi study technique

การวิจัยเพื่อค้นหาความต้องการในการควบคุมคุณสมบัติของตัวแปร ในการออกแบบ “**ห้องเรียนต้นแบบ**” โดยขนาดของห้องเรียนที่ทำการศึกษาประกอบด้วย **ห้องเรียนขนาดเล็ก-กลาง (ประมาณ 50-80 ที่นั่ง)** และ**ห้องเรียนขนาดใหญ่ (ประมาณ 200 ที่นั่ง)**

คำถามที่จะทำการสัมภาษณ์เริ่มจาก การถามถึง**ห้องเรียนในอุดมคติ**ที่ควรจะเป็นก่อน แล้วตามด้วยคำถามเกี่ยวกับการใช้**ระบบธรรมชาติในห้องเรียน** หากมีความเห็นว่าระบบธรรมชาติในห้องเรียนไม่สามารถทำให้ถึงระดับความต้องการในอุดมคติ จะถามคำถามเกี่ยวกับ**ระบบการควบคุมด้วยเครื่องกล**มาช่วยเสริม

คำถามจะเกี่ยวข้องกับตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. การควบคุมความร้อน-ความชื้น
2. การควบคุมแสงสว่าง
3. การควบคุมการมองเห็น
4. การควบคุมคุณภาพเสียง
5. การควบคุมคุณภาพอากาศ
6. ความสวยงามและบรรยากาศ
7. ระบบเทคโนโลยีสนับสนุนอื่นๆ
8. ความคิดเห็นเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญ

ลักษณะคำถาม จะเป็นคำถามว่าเห็นด้วยหรือไม่กับประเด็นต่างๆ และถามคำถามปลายเปิดเพื่อหาข้อแนะนำอื่นๆ เพิ่มเติม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสัมภาษณ์

ผู้เชี่ยวชาญ .....

ตำแหน่ง .....

ความเชี่ยวชาญ .....

วัน-เวลา ที่สัมภาษณ์ .....

คำถาม

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า **ห้องเรียนที่ควรจะเป็น** ควรมีลักษณะอย่างไรบ้าง เพื่อสามารถตอบสนองความต้องการของกิจกรรมการเรียนรู้ในโลกยุคใหม่ในด้านต่างๆ ต่อไปนี้

1) **ด้านการควบคุมอุณหภูมิ ความร้อน-ความชื้น** (Thermal Control)

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

ห้องเรียนในอุดมคติ

- ท่านต้องการ เมื่อเข้าสู่ห้องเรียนแล้ว**รู้สึกเย็นทันที**หรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการ
- ถ้าเป็นไปได้เข้ามาถึงห้องควรเย็นเลย
- ใช่
- ห้องเรียนจะมีนักศึกษาเดินเรียนทุกคาบเรียน จะมีการเปิดเข้าออกทุก 2 ชั่วโมง ดังนั้น การปรับอุณหภูมิของร่างกายนักศึกษาจากนอกห้องเข้าสู่ห้องเรียน หรือหมดคาบเรียนแล้วเดินออก ไม่ควรจะแตกต่างกันมากนัก (จะไม่สบาย) แต่ควรเป็นอุณหภูมิแค่สบาย เมื่ออยู่ในห้องนานๆ จะได้ไม่หนาวและหลับจากความสบายเกินไป
- ต้องการให้มีระยะเวลาปรับตัวก่อนเรียนยอมประมาณ 5 นาทีก็ได้

- ท่านต้องการให้ห้องเรียน**เย็นสบายตลอดเวลา**หรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการ ให้ผู้เรียนเรียนได้อย่างสบายมีสมาธิ แต่ถ้าสามารถเย็นได้โดยไม่ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าก็จะดี
- ต้องการให้เย็นสบาย

- ใช่
- ไม่ต้องการเย็นสบายมากนัก ถ้าเป็นไปได้อยากให้เรียนแบบอากาศธรรมชาติ
- เห็นด้วยเพราะช่วยให้เรียนรู้ได้ดี การเรียนต้องการความสบาย ช่วยเสริมให้คนอยากเรียน

- ท่านต้องการห้องเรียนที่สามารถ**ควบคุมความร้อน-ความชื้น ได้อย่างสมบูรณ์** หรือไม่ อย่างไร

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการให้ควบคุมได้ ประมาณ 25 องศาเซลเซียส
- หากเป็นห้องเรียนแบบปรับอากาศต้องการให้สามารถควบคุมได้
- ไม่อยาก เพราะอยากที่จะควบคุมได้ด้วยตัวเอง
- ใช่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โดยปกติผู้สอนหรืออาจารย์นั้นจะมีความต้องการอุณหภูมิที่ต่ำกว่าผู้เรียน เนื่องจากอัตราการเผาผลาญอาหารในร่างกายมากกว่า อาจจะเป็นไปได้ว่าส่วนที่เป็นหน้าชั้นเรียนที่เป็นเวที อาจจะใช้การสร้างสภาวะที่รู้สึกสบายที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณอื่นโดยการใช้ MRT หรือเพิ่มความเร็วลมเพิ่มก็อาจเป็นได้
- การควบคุมอุณหภูมิไม่ต้องการนัก แต่ต้องการควบคุมความชื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งห้องที่มีงานของนักศึกษา ห้องเรียนที่ใช้พรีเซ้นต์งานจะมีการเก็บงาน เพื่อให้งานไม่อมความชื้นเกินไป งานจะเสียหายได้ง่าย
- ใช่
- เห็นด้วยที่ต้องสามารถควบคุมระบบได้

การใช้ระบบธรรมชาติในห้องเรียน

- ท่านต้องการใช้**ระบบธรรมชาติ**หรือไม่ เช่น สายลมธรรมชาติ

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ใช้ธรรมชาติช่วยก็จะดี เพราะคิดว่าราคาประหยัด
- ถ้าคำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงาน ก็อยากใช้ระบบธรรมชาติ
- ถ้าสภาพแวดล้อมภายนอกดีก็อยากใช้ เช่น บรรยากาศดีแบบเขาใหญ่ก็อยากจะใช้ธรรมชาติ แต่ถ้าสภาพแวดล้อมภายนอกไม่ดีก็ไม่อยากใช้
- ใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ แต่ใช้ระบบทำความเย็น ลดความชื้นโดยเครื่องปรับอากาศ

- ถ้าในระบบธรรมชาติสามารถตอบสนองต่อการควบคุมความร้อน ความชื้นได้ ก็จะเป็นที่เรียนที่ดีมาก
- อยากรับรู้ แต่ต้องควบคุมได้
- เห็นด้วยถ้าสามารถช่วยประหยัดได้

- หากท่านต้องการระบบธรรมชาติ ท่านต้องการ**ระดับของการควบคุมระบบธรรมชาติมากน้อย**เพียงไร เช่น ท่านจะยอมให้มีอุณหภูมิสูงเท่าไร ท่านจะยอมให้มีลมพัดแรงมากน้อยเพียงไร

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ยอมให้อุณหภูมิสูงไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส และยอมให้มีลมพัดโชยๆ พอให้ผมปลิวเล็กน้อย แต่กระดาษไม่ถึงกับปลิว
- อุณหภูมิขอให้อยู่ในสภาวะที่รู้สึกสบาย เรื่องความเร็วลมยอมให้พัดได้เล็กน้อย แต่กระดาษไม่ปลิว
- อุณหภูมิประมาณ 26 องศาเซลเซียส ความเร็วลมไม่เกิน 2 เมตร ต่อ วินาที
- อุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับได้ 26 องศาเซลเซียส ในขณะสอน
  อุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับได้ 28 องศาเซลเซียส ในขณะเรียน
  ความเร็วลมสูงสุดที่ยอมรับได้ ไม่เกิน 0.5 เมตรต่อวินาที
- ความต้องการในระบบธรรมชาติ ดังนี้
  - ด้านอุณหภูมิต้องเป็นระดับที่ทำให้นักศึกษาตื่นตัวในการเรียนรู้ อากาศสบายๆ แต่ไม่สบายมากไปจนหลับ แต่ไม่ถึงกับเหงื่อออก
  - ด้านความชื้นที่ไม่ทำให้งานเสียหาย
  - ด้านเสียงที่ทำให้ได้ยินคนพูดหน้าชั้นเรียนได้โดยไม่ต้องตะเบ็งเสียงให้ได้ยินทั่วห้อง
  - ได้ยินเสียงลมพัด นกร้องเบาๆ ไม่อยากได้ยินเสียงนอกห้องเรียนที่ดังกว่านั้น
  - ด้านความเร็วลมที่พัดเอื่อยๆ ไม่ทำให้ผมปลิว กระดาษไม่พัดจนน่ารำคาญ
  - เห็นด้วยต้องควบคุมได้

ระบบการควบคุมด้วยเครื่องกล

- ท่านต้องการให้**ระบบควบคุม** อุณหภูมิความร้อน ความชื้น เป็นอย่างไร เช่น ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลจากส่วนกลาง ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลจากจากผู้ใช้ห้องหรือจากผู้สอน

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการให้สามารถควบคุมได้อัตโนมัติโดยที่ใช้ระบบ sensor ตามความร้อนของคน เมื่ออุณหภูมิเหมาะสมก็ตัดได้ทันที
- โดยอุดมคติ ห้องเรียน น่าจะเป็นแบบ decentralize น่าจะดีกว่า ในแต่ละ zone น่าจะแบ่ง function ย่อยได้
- ควบคุมได้ที่ผู้ใช้เอง
- สามารถใช้ระบบควบคุมได้ทั้งแบบ manual โดยผู้สอน และ automatic โดยมีโปรแกรมสำเร็จรูปประเมินว่าผู้ใช้งานเป็นใคร อายุเท่าไร การแต่งตัวเป็นอย่างไร เพื่อสามารถปรับให้พอเหมาะกับ user ได้
- ต้องการให้เป็นระบบที่ควบคุมโดยคำนวณจากสภาพของผู้ที่เข้ามาในห้องใหม่ๆ จะมีอุณหภูมิความร้อนจากตัวคนสูง นั่งนานๆ จะปรับอุณหภูมิได้เองอัตโนมัติตามปริมาณคนในห้อง ตำแหน่งการนั่ง การกระจายตัวของคนในบริเวณต่างๆ ของห้อง
- ต้องการให้สามารถควบคุมได้จากผู้สอน
- ควบคุมอย่างไรก็ได้ขอให้สะดวกและประหยัด

2) **ด้านการควบคุมแสงสว่าง** (Lighting Control)

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

ห้องเรียนในอุดมคติ

- ท่านต้องการให้ระดับแสงสว่างภายในห้องเรียน**เพียงพอ**สำหรับการการอ่านหนังสือ เขียนหนังสือ และสามารถ**ควบคุม**ได้หรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการแสงสว่างสำหรับการเขียนหนังสือเมื่อมีการบรรยายเฉพาะ task ที่ต้องการโดยที่ไม่รบกวนกัน ลักษณะเหมือนไฟบนเครื่องบิน
- ต้องการและควบคุมได้ เช่น การเรียนมีหลาย function เช่นการเขียนกระดานดำ หรือกระดานขาว

- ต้องควบคุมได้
- มีความเพียงพอ และสามารถควบคุมได้
- กิจกรรมภายในห้องมีตั้งแต่การบรรยายทั้งการเขียนกระดานและฉายสไลด์ การพรีเซ้นต์งานของนักศึกษา ที่เน้นไปที่ตัวนักศึกษาและผลงาน ดังนั้นแสงสว่างต้องสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมต่อการใช้งานแบบต่างๆ
- ขอให้มีแสงสว่างเพียงพอต่อทุกกิจกรรม และมีความหลากหลายเพียงพอ และการเรียนการสอนไม่ควรมีแต่นั่งอย่างเดียว ควรมีกิจกรรมอย่างอื่น เช่น เล่น กระโดด ร้องเพลง ทดลอง
- จำเป็นมากเพราะเรื่องของสุขภาพจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้

- เมื่อมี**การบรรยาย** ท่านต้องการให้แสงสว่าง**ไม่รบกวนการฉายภาพ**หรือไม่ และท่านต้องการให้แสงที่บริเวณหน้าจอมีการควบคุมได้อย่างไร ท่านต้องการให้**บริเวณผู้บรรยายมีแสงสว่างเพียงพอ**สำหรับการอ่าน เขียน หนังสือได้หรือไม่ ท่านต้องการให้บริเวณผู้บรรยายมีแสงสว่าง**เพียงพอให้ผู้ฟังมองเห็นผู้บรรยายได้ชัดเจน**หรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการแน่นอน เพราะสื่อโดยทั่วไปมักเป็นการฉาย จึงไม่ควรมีแสงรบกวน
- ต้องการอยู่แล้ว โดยผู้ฟังจะต้องมีแสงสว่างเพียงพอสำหรับการเขียนหนังสือ และสำหรับผู้บรรยายต้องการแสงบริเวณที่ทำงาน (task light) สำหรับการบรรยาย
- ใช่ ต้องไม่รบกวนการสอน และแสงบริเวณหน้าจอต้องไม่สะท้อนเข้าตา และ contrast จะต้องไม่มากจนเกินไป แสงตรงบริเวณผู้บรรยายต้องการให้อ่านหนังสือได้ด้วย ผู้ฟังต้องมองเห็นผู้บรรยายชัดเจน
- การฉายภาพต้องสามารถมองเห็นได้ชัดเจน แสงไฟทางด้านหน้าห้องเรียนสามารถปรับหรี่ได้ ทั้งจากทางด้านหน้าห้องเรียน และจากห้องควบคุมในขณะที่แสงบริเวณผู้บรรยาย (ambient) นั้นต้องพอเพียงสำหรับการเขียนบันทึก และผู้สอนสามารถมองเห็นผู้เรียนได้
- ในการบรรยาย ท่าทาง บุคลิกและการแสดงอารมณ์ของผู้บรรยายมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญของการสื่อสารกับผู้ฟัง ส่วนที่ต้องการให้เห็นชัดเจนที่สุดคือ การฉายภาพ โดยบริเวณโต๊ะของนักศึกษาต้องจดได้อย่างสะดวก ไม่มืดจนเกินไป เพราะจะทำให้ขาดการสื่อสารที่ดีระหว่างผู้บรรยายและผู้ฟัง บริเวณผู้บรรยายต้องมี

แสงสว่างเพื่อการอ่านหรือเขียนอะไรได้บ้าง และทำให้ผู้ฟังเห็นสีหน้าของผู้บรรยาย (ส่วนสำคัญของการสื่อสาร)

- ต้องการให้สามารถควบคุมหน้าจอได้ ตรงที่ผู้บรรยายต้องสามารถเขียนหนังสือได้โดยไม่เกิดปัญหา ผู้ฟังต้องสามารถมองเห็นได้ชัดเจนทั้งภาพที่แสดง และผู้บรรยายอย่างชัดเจน
- ในเงื่อนไขของการเรียนที่มีการใช้เครื่องฉายภาพช่วยในการเรียนรู้ ดังนั้นสื่อต้องเห็นชัดเจน แต่ผู้สอนกับผู้เรียนควรมองเห็นกันเพื่อปฏิสัมพันธ์ในการเรียนการสอน
- ถ้าสามารถควบคุมแสงได้ทั้งสองอย่าง คือ ให้จอมืดและที่ผู้เรียนมีแสงสว่างพอที่จะจดได้ก็จะดี เพื่อผู้เรียนจะได้สามารถจดได้ขณะเรียน เป็นการเสริมประสิทธิภาพการเรียนรู้

- ในด้าน**คุณภาพของแสงสี**ภายในห้อง ท่านต้องการให้แสงสว่างภายในห้องช่วยให้ผู้บรรยายหน้าตาสวยสดใส หรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการ เพราะบุคลิกของผู้สอนเป็นสิ่งจำเป็น ที่นักเรียนเห็นแล้วอยากเรียน และอยากให้มีไฟแสงสว่างเป็น ลักษณะ auto follow (เคลื่อนที่ตามผู้บรรยาย)
- คุณภาพของแสงต้องการเป็นสีขาว ที่เห็นทุกอย่างได้อย่างถูกต้อง(ที่สุด) และชัดเจน ต้องการแสงสว่างที่สว่างธรรมดา ไม่มืดจนชวนง่วงนอน
- ต้องการแสงสีขาวธรรมดา
- ใช่
- ใช่ แต่ต้องไม่มากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดความร้อนและฝ้า หรือกระ
- ได้ก็ดี แต่ต้องการสื่อสารด้วยท่าทางในการบรรยายมากกว่าไม่จำเป็นต้องให้เห็นหน้าชัดเจนมากไป
- ต้องการให้สามารถควบคุมปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ เช่น ต้องสวยได้ ต้องน่ากลัวได้ ถ้าสนุกสนาน สีก็ต้องสดใส นั้นคือสามารถเปลี่ยนได้ตามกิจกรรมที่จะสื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้
- ดี ถ้าสามารถช่วยเสริมให้บรรยากาศสดใส ดูแล้วน่ามอง เสริมภาพลักษณ์ เป็นตัวจูงใจช่วยให้อยากเรียนรู้

- ท่านต้องการให้มี**การควบคุมแสงสี**ภายในห้องอย่างไร เช่น ต้องการแสงที่มีสีต่างๆ กัน ต้องการสีสันตามรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกัน (อาจมีกิจกรรมประกอบการเรียนรู้อื่นๆ นอกเหนือจากการบรรยายธรรมดา)

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- แสงสีภายในห้องต้องควบคุมได้เป็น mode สร้างบรรยากาศต่างๆได้ สามารถผสมผสาน ไปกับ multi-media ที่มีการบรรยาย เช่น แสงช่วง เช้า-สาย-บ่าย-เย็น
- แล้วแต่กรณีของห้องเรียนที่มีความต้องการแสงสีที่มีความเฉพาะต่างๆกัน หรือต้องการความถูกต้องของสีมาก เช่น การเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ อาจจะมีความต้องการความถูกต้องของสีสูงมาก แต่โดยทั่วไปถือเป็น เกณฑ์รองในการพิจารณา
- จำเป็น อยู่ที่อารมณ์ และห้องเรียนในอนาคตควรต้องทำได้
- ความต้องการแสงสีภายในห้องเรียน

  ในการใช้งานปกตินั้น น่าที่จะมีความใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์ คือมีสเปกตรัมของแสงครบทุกความถี่ เพื่อที่จะสามารถ display สิ่งต่าง ๆ หน้าชั้นเรียนได้ตรงกับความเป็นจริง

  ส่วนในกรณีอื่น ๆ เช่น สามารถปรับแสงเป็น mode ต่างๆ ที่ต้องการเช่น mode ตื่นเต้นเร้าใจ สนุกสนาน สงสัย สว่างไสว มลังเมลือง เป็นต้น
- ต้องการแสงที่กระตุ้นการเรียนรู้ กระตุ้นให้ไม่ง่วงเหงา ไม่เฉื่อย เฉย สร้างความรู้สึกสดใส อยากทำกิจกรรม
- ต้องควบคุมได้ทั้งจากระบบ อัตโนมัติ คุมโดยผู้สอน และคุมโดยการตั้งโปรแกรมไว้ บางครั้งต้องการให้สามารถจำลองสถานการณ์ต่างๆได้ เช่น จำลองว่าเกิดฝนตก ฯลฯ
- เห็นด้วยที่ยืดหยุ่นสามารถปรับได้หลากหลายอย่าง

การใช้ระบบธรรมชาติในห้องเรียน

- ท่านต้องการ**แสงสว่างธรรมชาติ**ภายในห้องหรือไม่ และท่านต้องการให้สามารถควบคุมแสงธรรมชาติได้หรือไม่อย่างไร

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการถ้าทำได้จะดีมาก เพราะประหยัดไฟ
- ต้องการ แต่ต้องสามารถควบคุมได้ เช่น ไม่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์ เพราะร้อน ถ้าทำได้ใช้แสงสะท้อนแทน และต้องลดการเกิดแสงจ้า (glare)

- ต้องการแต่ต้องสามารถควบคุมได้ เช่น เมื่อต้องการแสงสว่างต้องสามารถทำให้สว่างได้ตามต้องการ และเมื่อต้องการให้มืด ต้องสามารถมืดสนิทจริงๆ ไม่มีแสงเล็ดลอดเข้ามา
- ต้องการแสงสว่างจากธรรมชาติในส่วนที่เป็นผู้เรียน ปรับหรี่ได้ด้วยอุปกรณ์อัตโนมัติที่จะคิดความสว่างรวมระหว่างแสงประดิษฐ์และแสงธรรมชาติ และสามารถเปลี่ยนใช้แสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียวหรือแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว โดยการปิดเปิด ม่าน และ/หรือชัตเตอร์ (shutter)
- ต้องการแสงสว่างธรรมชาติ ซึ่งหากนำมาปรับเป็นรูปแบบให้เหมาะสมตามกิจกรรมภายในห้องด้วยแสงธรรมชาติได้จะดีมาก
- ต้องการ และต้องสามารถควบคุมได้
- จำเป็น น่าจะมีการเปิดรับแสงธรรมชาติทำให้นึกถึงเด็กต่างจังหวัดที่เรียนหนังสือในบรรยากาศธรรมชาติ ดีมาก นั่งอ่านหนังสือได้ไม่เบื่อ

ระบบการควบคุมด้วยเครื่องกล

- ท่านต้องการให้ภายในห้องมี**การผสมผสานของระบบแสงธรรมชาติ และระบบแสงประดิษฐ์**หรือไม่ อย่างไร เช่น การใช้ตัวปรับหรือแสง (dimmer)

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการให้มีการผสมผสาน
- ต้องการควบคุมได้ เช่นการมี dimmer ตามค่าการส่องสว่างของ แสงธรรมชาติภายนอก สำหรับส่วนที่ติดกับหน้าต่าง
- ต้องการ
- ต้องการแสงสว่างจากธรรมชาติในส่วนที่เป็นผู้เรียน ปรับหรี่ได้ด้วยอุปกรณ์อัตโนมัติที่จะคิดความสว่างรวมระหว่างแสงประดิษฐ์และแสงธรรมชาติ และสามารถเปลี่ยนใช้แสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียวหรือแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว โดยการปิดเปิด ม่าน และ/หรือ shutter
- ดังคำตอบข้างต้น คือต้องการแสงธรรมชาติตามกิจกรรม การนำแสงธรรมชาติให้เหมาะสมตามรูปแบบได้ด้วยการนำแสงประดิษฐ์มาเสริมด้วยก็ได้ เพื่อให้แสงเพียงพอและเหมาะสมตามแต่ละรูปแบบดังกล่าว
- ถ้าทำได้น่าจะสามารถช่วยส่งเสริมการเรียนรู้

- ท่านต้องการระบบ**การควบคุมระดับความเข้มของการส่องสว่าง**ภายในห้องหรือไม่ อย่างไร เช่น เป็นระบบอัตโนมัติ ระบบที่สามารถตั้งรูปแบบการใช้งานต่างๆ ได้ หรือระบบควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการควบคุมได้ ปรับหรี่แสงได้โดยใช้ dimmer และอยากให้มีตั้งโปรแกรมไว้สำหรับเลือก เปิด เป็น mode ตามความต้องการ
- ต้องการให้สามารถควบคุมได้ด้วยตัวผู้สอนเอง
- สามารถควบคุมได้
- ควรมีการตั้งค่าการควบคุมเอาไว้ตามรูปแบบกิจกรรมภายในห้อง เมื่อมีกิจกรรม เช่น บรรยาย การพรีเซ้นต์งาน การคุยกันโดยไม่ต้องฉายภาพ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเลือกรูปแบบแสงให้เหมาะสมกับกิจกรรมให้ถูกตำแหน่งภายในห้องเรียน
- ต้องสามารถควบคุมได้

3) **ด้านการควบคุมการมองเห็น** (Visual Control)

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

ห้องเรียนในอุดมคติ

- ท่านต้องการให้**มุมมองภายใน**ห้องเห็นอะไรบ้าง เช่น **ผู้บรรยายต้องมองเห็นผู้ฟัง**ได้ชัดเจนถึงสีหน้าท่าทางต่างๆ และ**ผู้ฟังต้องมองเห็นผู้บรรยาย**ได้ชัดเจน เห็นปากที่กำลังพูด ท่าทางที่กำลังแสดงออก หรือนอกจากนี้ท่านอยากจะ**มองเห็นธรรมชาติ**อย่างอื่นเพื่อการผ่อนคลายหรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการให้มองเห็นได้ชัดเจนในจุดที่อยากให้เห็น และจุดใดที่ไม่ต้องการเน้นก็ไม่จำเป็นต้องมองเห็น
- ต้องการให้ผู้บรรยายและผู้เรียนมองเห็นซึ่งกันและกันอย่างชัดเจน เพราะผู้บรรยายต้องการดูปฏิกิริยาของผู้เรียนในการเรียนการสอน
- ต้องการมุมมองที่ชัดเจนระหว่างผู้สอนกับผู้เรียน และอยากมองเห็นธรรมชาติเพื่อการผ่อนคลายด้วย

- ใช่ ผู้บรรยายต้องมองเห็นผู้ฟังและผู้ฟังต้องมองเห็นผู้บรรยายอย่างชัดเจน และถ้าสามารถมองเห็นธรรมชาติได้ก็ดี
- ผู้ฟังมองเห็นผู้พูด ผู้พูดมองเห็นผู้ฟัง ทุกคนมองเห็นกัน และต้องการมองเห็นธรรมชาติเพื่อการผ่อนคลาย แต่ต้องสามารถปรับให้ไม่ต้องมองเห็นก็ได้
- ต้องการเห็นธรรมชาติภายนอกที่ไม่มีการเคลื่อนไหวหรือรบกวนสมาธิของคนภายในห้อง เนื่องจากจะไปดึงความสนใจมากเกินไปจนขาดสมาธิ การเรียนรู้จะไม่ต่อเนื่องและทำให้วอกแวกได้ง่าย
- ต้องการให้ผู้บรรยายมองเห็นผู้ฟังทั้งหมด และมุมมองในการมองเห็นต้องการให้ห้องเรียนเป็นธรรมชาติเลย
- มุมมองภายในห้องสำคัญมาก ผู้สอนและผู้เรียนควรมองเห็นอย่างชัดเจน ถ้ามองเห็นสภาพแวดล้อมเพื่อเป็นการผ่อนคลายได้ก็จะดี แต่ต้องไม่ถึงกับการดึงความสนใจออกไป เนื่องจากสภาพการเรียนการสอน ถ้าสามารถส่งเสริมประสิทธิภาพการเรียนรู้ได้ก็จะดี เพราะการเรียนลำพังเรียนก็เหนื่อยแล้วถ้ามีองค์ประกอบมาช่วยผ่อนคลายได้ก็จะดี

- ท่านต้องการให้**ไม่มีแสงแยงตาหรือแสงบาดตา**หรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- แน่นอนต้องการให้ไม่มีแสงแยงตาหรือบาดตา
- แน่นอนต้องไม่มี
- ต้องไม่มีแสงบาดตา
- ไม่ต้องการแสงบาดตา แสงสะท้อนเข้าห้อง แสบตา แสงที่รบกวนสายตา ปวดตา
- แน่นอน ไม่ยอมแน่นอน
- เห็นด้วยเพราะมีผลต่อสุขภาพของผู้เรียน และเป็นอุปสรรคในการเรียนรู้ทำให้ลดความสนใจในการเรียน

- ท่านต้องการให้ไม่เกิด**ความเปรียบต่างระหว่างความส่องสว่าง** (contrast) ของพื้นผิวมากเกินไปหรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ไม่ต้องการให้เกิดความแตกต่างของความส่องสว่างระหว่างพื้นผิวมากเกินไป เรื่องของมุมแสงที่ตกกระทบกระดานกับมุมมองของผู้ฟังที่มีค่ามุมตกกระทบมากเกินไปทำให้เกิดการสะท้อนแสงที่ทำให้มองกระดานไม่ชัด

เรื่องสีของกระดานกับการเขียน กระดานขาวกับหมึกดำหรือน้ำเงิน กับกระดานดำ(เขียว) ใช้ชอล์กสีขาว ผู้ให้สัมภาษณ์ให้ความเห็นว่าแบบกระดานดำ(เขียว) จะเห็นได้ชัดเจนกว่า แต่มีฝุ่นมากจึงไม่นิยม จึงเสนอแนวคิดว่าหากมีกระจกที่สามารถทำหน้าที่เป็นกระดานได้แล้วสามารถเปลี่ยนสีได้ตามความต้องการน่าจะดี

- ต้องการ แต่ละกรณีที่แตกต่างกัน เช่น (3:1 หรือ 1:3) สำหรับพื้นผิวที่ไม่ต้องการเน้น (1:10 หรือ 10:1) สำหรับส่วนที่ต้องการเน้น และไม่ควรเกิน (1:40)
- บางที่ก็ต้องการในกรณีที่ต้องการเน้น ภาพ หรือ วัตถุ นั้นๆ
- แล้วแต่รูปแบบของกิจกรรมภายในห้อง เนื่องจากการพรีเซ้นต์งานของนักศึกษา หรือการสอนบางครั้งจำเป็นต้องเห็นความแตกต่างของพื้นผิวเพื่อการเรียนรู้ อารมณ์และแนวความคิด ดังนั้นควรจัดเตรียมรูปแบบของแสงให้เหมาะสมกับกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นภายในห้องอย่างครบถ้วน
- ไม่ยอมให้เกิดการเปรียบต่างของความส่องสว่างมากเกินไป โดยเฉพาะกับหน้าคน
- เห็นด้วย

- ท่านต้องการให้**ภาพต่างๆ ที่แสดง สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน** แม้อยู่หลังสุดของห้อง หรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- แน่นอนต้องการ

  (เพิ่มเติม)

  เรื่องของการจัดรูปแบบการนั่งต้องไม่บังกัน เช่น หากเป็นห้องขนาดใหญ่ อาจจะต้องจัดที่นั่งเป็นตามแนวลาดเอียง (Slope) คล้าย ๆ โรงภาพยนตร์

  ความสูงของเพดานห้องต้องสูงพอให้สามารถฉายภาพได้สูง โดยที่โต๊ะของผู้บรรยายจะต้องไม่บังจอ
- ต้องเห็นได้อย่างชัดเจน
- ใช่
- ต้องการให้นักศึกษาประมาณ 50 คนเห็นได้อย่างชัดเจน หลังสุดเห็นชัดประมาณ 80% ก็พอ ซึ่งปัญหาต่อมา คือการจัดตำแหน่งการนั่งของนักศึกษามากกว่า
- ไม่จำเป็นต้องชัดเจนอยู่เสมอ ขึ้นอยู่กับว่าต้องการเสนออะไร อาจจะต้องการเสนอความกลมกลืนต้องสามารถกลมกลืนได้
- เห็นด้วย

สำหรับห้องเรียนขนาดเล็ก-กลาง (ประมาณ 50-80 ที่นั่ง)

- ท่านต้องการให้**ขนาดของภาพ**ที่จะใช้ในการบรรยาย มีขนาดใหญ่ประมาณเท่าไร และต้องการให้ภาพที่ท่านแสดง สามารถใส่ข้อความได้กี่บรรทัดและขนาดของตัวหนังสือประมาณเท่าไร

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการขนาดประมาณ 70”x70” ตัวหนังสือสูงประมาณ 2” (น่าจะสามารถมองเห็นได้ไกลประมาณ 64”)
- เรื่องของจอ ต้องเกี่ยวกับขนาดตัวหนังสือ อายุของผู้เรียนด้วย
- จอ ประมาณ 2 เมตร x 2 เมตร
- ขนาดของภาพที่เหมาะสม คือ ขนาดตัวหนังสือที่เล็กที่สุดที่ทำให้คนที่นั่งด้านหลังสุดสามารถมองเห็นข้อแตกต่างระหว่าง ด เด็ก และ ค ควาย โดยที่ power point น่าจะมีจำนวนบรรทัดประมาณ 7 บรรทัด
- อันนี้แล้วแต่ขนาดของห้องด้วย ถ้าห้องเรียนขนาดนั่งได้ 50-60 คน ต้องการให้ภาพใหญ่ประมาณ 3x4 เมตร เพื่อดึงดูดความสนใจ และต้องการให้มีข้อความได้ 12-16 บรรทัด (สำหรับจอใหญ่) และมีข้อความได้ไม่เกิน 12 บรรทัด (สำหรับจอเล็ก)
- ต้องสามารถฉายภาพได้ทุกพื้นผิวทั้งพื้นผนังและฝ้าเพดาน สามารถฉายภาพไปบนเสื้อผู้บรรยายได้

  เพิ่มเติม ต้องการบรรยากาศเหมือนคนมานั่งรุมล้อมกัน เหมือนบรรยายเวลาไปศึกษานอกสถานที่ (Field trip) ไม่ต้องการที่เป็นทางการมาก
- คนนั่งแถวหลังสุดต้องมองเห็นได้อย่างชัดเจน

- ท่านต้องการให้จอภาพสามารถแสดงได้ **หลายจอภาพ**แล้วยังคงเห็นชัดเจนหรือไม่ หรือท่านต้องการจอภาพเพียงจอเดียว

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ถ้าการเรียนการสอนแบบทั่วไปต้องการแค่จอเดียวน่าจะพอ หากมีการสอบแบบทางไกลน่าจะมี 2-3 จอ สำหรับ แสดง ข้อมูลที่นำเสนอ ภาพผู้บรรยายกำลังบรรยาย และภาพรวมของห้องเรียนอื่นๆ เพื่อดูปฏิกิริยาของห้องเรียนต่างๆ ในการเรียน หรือถ้าสามารถทำ picture in picture (จอภาพเดียวแต่แบ่งเป็นหลายส่วน) ได้โดยที่ยังมองเห็นภาพได้ชัดเจนก็จะดี

เนื้อหาในการนำเสนอควรเป็นภาพมากกว่าตัวหนังสือ

- ความต้องการพิเศษ คือต้องชัดเจนไว้ก่อน ส่วนเรื่องจะใช้กี่จอแล้วแต่ความต้องการพิเศษของแต่ละบุคคล
- ต้องการหลายจอภาพ ประมาณ 3 จอภาพ
- ต้องการ 2 จอเพื่อแสดงการบรรยายเนื้อหาและรูปภาพ เนื่องจากอาจจะทำการฉายสไลด์ประกอบข้อความบรรยาย ไม่ต้องทำการเปลี่ยนไปเปลี่ยนมา นักศึกษาจะได้จดทันไม่ไปรบกวนการบรรยายต่อเนื่องกับภาพ การแยกข้อความกับภาพทำให้เห็นชัดเจน และรับรู้ความต่อเนื่องของภาพและเนื้อหา หรือเป็นการเปรียบเทียบภาพ 2 ภาพได้อย่างชัดเจนไม่ต้องเบียดกันในจอเดียว

สำหรับห้องเรียนขนาดใหญ่ (ประมาณ 200 ที่นั่ง)

- ท่านต้องการให้**ขนาดของภาพ**ที่ใช้ในการบรรยายมีขนาดใหญ่ประมาณเท่าไร และต้องการให้ในภาพที่ท่านแสดง สามารถใส่ข้อความได้กี่บรรทัดและขนาดของตัวหนังสือประมาณเท่าไร

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการขนาดประมาณ 100”x100”
- ประมาณ 3 เมตร x 3 เมตร
- เท่าไรก็ได้ต้องมองเห็นใช้ตัวหนังสือไม่เกิน 30 คำ

- ท่านต้องการให้จอภาพสามารถแสดงได้ **หลายจอภาพ**แล้วยังคงเห็นชัดเจนหรือไม่ หรือท่านต้องการจอภาพเพียงจอเดียว

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- เหมือนห้องเรียนขนาด 50-80 ที่นั่ง
- 2 จอน่าจะดี
- อยากได้แบบที่สามารถขยาย (zoom) ได้

4) **ด้านเสียงและการได้ยิน** (Acoustical Comfort)

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

ห้องเรียนในอุดมคติ

- ท่านต้องการให้สามารถพูด แล้วได้ยินทั่วทั้งห้องโดย**ไม่ต้องใช้ไมโครโฟน** หรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการให้ผู้บรรยายสามารถพูดอย่างสบายๆ (โดยเมื่อบรรยายเป็นชั่วโมงต้องคอไม่แห้ง) แล้วได้ยินทั่วทั้งห้อง ต้องการเสียงธรรมชาติมากกว่าเสียงผ่านไมโครโฟน (เพิ่มเติม)

  หากมีการสอนทางไกลก็ควรมีไมโครโฟนสำหรับรับสัญญาณเสียง เพื่อส่งไปห้องอื่นๆ หรือเพื่อการบันทึกเก็บไว้
- ต้องการแน่นอน ถ้าเป็นไปได้
- ใช่ ถ้าทำได้
- ไม่ต้องการใช้ไมโครโฟนเลย
- ถ้าทำได้ก็ดีที่สุด เพราะการใช้เสียงสดในการสอนสามารถช่วยควบคุมพฤติกรรมบางอย่างในการเรียนการสอนได้ ถ้าเวลาอาจารย์สอนแล้วนักเรียนได้ยินเสียงพูดไม่ชัดเจน เนื่องมาจากเสียงอื้ออึงของไมโครโฟนหรือเสียงก้องเกินไป ผู้เรียนก็จะขาดสมาธิแล้วคุยกันเองเนื่องจากเสียงไมโครโฟนดังกลบ ทำให้ขาดประสิทธิภาพการเรียนรู้ แต่ทั้งนี้ห้องเรียนต้องออกแบบให้เสียงพูดสดได้ยินทั่วถึงชัดเจนด้วย ถ้าเสียงจากสภาพแวดล้อม

- ท่านต้องการระดับของ **เสียงพื้นหลังรบกวนภายในห้อง** (background noise) ไม่ได้ ผู้เรียนก็ฟังผู้บรรยายไม่ชัด ทำให้ขาดสมาธิจดจ่อในสิ่งที่สอนต่ำเท่าไร เช่น ห้องนั้นต้องไม่มีเสียงรบกวน หรือ ยอมให้มีเสียงเครื่องปรับอากาศดังรบกวนได้เล็กน้อย หรือยอมให้มีเสียงนกกระจิบร้องที่ริมหน้าต่างได้เป็นต้น

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการต่ำมากที่สุดที่ทำได้
- ต้องมีบ้าง ไม่เช่นนั้นก็จะรู้สึกเงียบเกินไป แม้แต่เสียงหายใจก็ได้ยิน ทำให้รู้สึกอึดอัด
- ยอมนิดหน่อยสำหรับเสียงเครื่องปรับอากาศ เพื่อจะได้ไม่ต้องได้ยินเสียงเด็กคุยกัน
- น้อยมาก
- ต้องการได้ยินเสียงบรรยายภายในห้องชัดเจน และได้ยินเสียงจากคนที่อยู่หลังห้องในระดับเสียงปกติ แต่ไม่ต้องการได้ยินเสียงกระซิบ และเสียงจากภายนอก
- ต้องการน้อยที่สุด แต่ต้องไม่ต่ำกว่าเสียงธรรมชาติที่เกิดขึ้น เช่น สายลมอ่อนๆ ใบไม้ไหว ส่วนเสียง ฝนตก น้ำตก พายุ ไม่ต้องการ
- ขึ้นอยู่กับกิจกรรม

- ท่านต้องการ**คุณภาพของเสียง**ภายในห้องอย่างไร เช่น คุณภาพของเสียงในการบรรยาย คุณภาพของเสียงในการร้องเพลง คุณภาพของเสียงในการแสดงดนตรี เป็นต้น

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องป้องกันการเกิดเสียงสะท้อนได้ เมื่อพูดแล้วต้องได้ยินชัดเจน โดยเฉพาะในการสอนแบบทางไกลต้องการเสียงที่มีคุณภาพสูงมาก เพราะในการเรียนแบบทางไกลต้องการสมาธิในการเรียนสูงกว่าการเรียนในระบบปกติ face to face และถ้าทำได้ถึงระดับแสดงดนตรีได้ก็จะดี
- ถ้าเป็นห้องเรียนดนตรีก็ต้องการพิเศษ แต่ถ้าเป็นห้องเรียนธรรมดาขอแค่พูดแล้วฟังชัดเจนก็น่าจะพอ
- ถ้าสามารถทำได้ถึงระดับแสดงดนตรีได้ก็ควรจะทำ
- ต้องการคุณภาพระดับเสียงที่สามารถแสดงดนตรีได้ แต่หลัก ๆ ต้องเน้นที่เสียงพูดที่ระดับความดังปกติที่สามารถได้ยินทั่วถึงทั้งห้อง
- คุณภาพของเสียงแล้วแต่กิจกรรม คือ ต้องได้ยินเสียงผู้บรรยายได้อย่างชัดเจน และได้ยินเสียงตอบคำถามของนักศึกษาหลังห้องสุดได้อย่างชัดเจนเช่นกัน โดยไม่ได้ยินเสียงการสอนของห้องข้างเคียง หรือเสียงนอกห้องดังรบกวนเข้ามาจนขาดสมาธิ
- ถ้าสามารถทำได้ให้ใช้การร้องเพลงเป็นมาตรฐาน แล้วอาจจะเพิ่มช่วงของเสียงอื่นๆ เช่น เสียงเครื่องสายได้ก็จะดี
- ถ้าทำได้ห้องเรียนควรมีความยืดหยุ่นพอ ถ้าทำเป็นอเนกประสงค์ขึ้นอยู่กับกิจกรรมได้ว่าจะครอบคลุมความต้องการในการศึกษาทั้งหมด

ระบบการควบคุมด้วยเครื่องกล

- หากท่านต้องการ**ไมโครโฟน ท่านต้องการลักษณะ**ใด เช่น เป็นไมโครโฟนตั้งโต๊ะ ต้องการชนิดลอยตัว (หมายถึงติดตัวผู้พูด สามารถเดินได้รอบห้อง) หรือต้องการแบบไร้สาย เป็นต้น

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- หากจำเป็นต้องมีไมโครโฟนสำหรับผู้บรรยาย ต้องการแบบลอยติดตัวกับผู้บรรยาย และต้องการให้มีลำโพงที่สามารถติดตัวผู้บรรยายได้ เมื่อมีการเคลื่อนที่ในห้องทำให้เกิดการสมจริงในการพูด
- ชนิดไร้สาย

- ต้องเดินได้รอบห้อง
- ไม่ต้องการใช้ เกะกะ และทำให้เกิดการหอนของไมโครโฟนในกรณีที่ผู้พูดเปลี่ยนจุดบรรยายไปเป็นจุดอื่น เช่น เดินไปหลังห้อง เป็นต้น
- ไม่ต้องการเลย ถ้าต้องมีคือต้องรับคลื่นเสียงของผู้บรรยายได้ตลอด เพราะการบรรยายจะไม่ยืนนิ่งที่เดียวตลอดคาบ และสำหรับนักศึกษาที่พรีเซ้นต์งานจำเป็นต้องเดินชี้ส่วนต่างๆ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ไมโครโฟนที่เหมาะสมกับการเคลื่อนไหวบริเวณหน้าห้อง ถ้าจะมีหากเป็นไมโครโฟนแบบรับเสียงผู้บรรยายอัตโนมัติคล้าย sensor ตามตัวผู้บรรยาย จะทำให้สะดวกขึ้น
- จริงๆ แล้วไม่ต้องการ แต่ถ้าต้องใช้ต้องการแบบที่อัดเสียงได้
- ถ้าต้องใช้ไมโครโฟน ต้องสะดวกเป็นหลัก

- ท่านคิดว่า **ผู้ฟังจำเป็นต้องมีไมโครโฟน**หรือไม่ หากจำเป็น ต้องการให้มีทุกคนหรือมีเป็นบางตำแหน่ง หรือผู้ฟังไม่จำเป็นต้องมีไมโครโฟนแต่สามารถพูดแล้วได้ยินทั่วทั้งห้อง

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- สำหรับผู้ฟังหากเป็นห้องเล็กไม่จำเป็น แต่ถ้าเป็นห้องขนาดใหญ่หรือการสอนแบบทางไกล จำเป็นต้องมีเป็นจุดๆ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้เรียน โดยเฉพาะผู้เรียนที่ค่อนข้างขี้อาย (เพิ่มเติม) ในอนาคตอาจมีคอมพิวเตอร์ที่โต๊ะทุกตัวซึ่ง น่าจะมีลำโพงและไมโครโฟนสำหรับการโต้ตอบได้
- ถ้าเป็นห้องเรียนธรรมดาก็ไม่ต้องการแต่ถ้าเป็นห้องประชุมใหญ่ต้องการไมโครโฟนสำหรับผู้ฟังเป็นจุดๆ ก็พอ
- ผู้ฟังไม่จำเป็นต้องมีไมโครโฟน แค่พูดให้ได้ยินก็พอแล้ว
- ไม่จำเป็น

5) **ด้านการควบคุมคุณภาพอากาศภายใน** (Indoor Air Quality)

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า

- ท่านต้องการให้มีระบบควบคุม**คุณภาพอากาศภายในห้อง**หรือไม่ เช่น เรื่องกลิ่น ควัน เชื้อโรคในอากาศ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไม่? หรือท่านต้องการควบคุมอะไรเป็นพิเศษหรือไม่

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- แน่นอนต้องการ ที่สำคัญสำหรับผู้ให้สัมภาษณ์ คือ ต้อง ไม่มีกลิ่นและควันรบกวนการบรรยาย และต้องการคุณภาพอากาศที่ผู้เรียน เรียนแล้วสดชื่น
- สำคัญจำเป็นมาก แต่วิธีการยังไม่รู้ว่าจะใช้วิธีอะไร
- ควรมี โดยเฉพาะเรื่องกลิ่นต้องควบคุมได้
- ต้องไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะทำให้ผู้ฟังง่วงนอน ไม่มีกลิ่นใดๆ รบกวน ทั้งกลิ่นเหม็นหรือกลิ่นหอม
- ต้องการอากาศที่สดชื่น ส่งเสริมให้เกิดการตื่นตัว กระตุ้นให้อยากเรียนรู้ ไม่หงอย ไม่ซึม ไม่ต้องการกลิ่นอาหาร กลิ่นควัน ฯลฯ จากภายนอกห้อง
- จำเป็นหมดทุกเรื่อง
- จำเป็น เพราะส่งผลต่อสุขภาพ

- ท่านต้องการระบบ**การไหลเวียนของอากาศภายในห้อง** เป็นอย่างไร

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการให้มีตลอดเวลา
- ต้องการให้มีตัวชี้วัด (indicator) ที่จะบอกว่ามีลมพัดออกมาเท่าไร
- การไหลเวียนอากาศที่ทำให้อากาศภายในห้องสดชื่น อากาศบริสุทธิ์เหมือนอยู่บนเขาหรือป่า ทำให้รู้สึกกระปรี้กระเปร่า อิ่มใจ สมองเปิดรับความรู้ได้เต็มที่
- ต้องไม่รบกวนการเรียนการสอน การเรียน การสอบการประเมินผล ควรสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้เพื่อป้องกันการรบกวนสมาธิในการสอบ เพราะการสอบต้องการใช้สมาธิสูง ต้องไม่มีลมเป่ามาโดนตัวรบกวนสมาธิ

6) **ด้านความสวยงามและบรรยากาศอื่น ๆ**

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า ห้องเรียนควรมี**ความสวยงาม**อย่างไร และควรมี**บรรยากาศ**อย่างไร เป็นพิเศษ

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการความเรียบสวยดูสะอาดตา เฟอร์นิเจอร์และการตกแต่งภายในดูทันสมัย ดูแล้วน่าเรียน ที่นั่งมีเบาะนั่งสบาย

- บรรยากาศต้องไม่มีการรบกวนสมาธิ ต้องการความสะอาด รักษาความสะอาดง่าย ห้องเรียนเป็นห้องที่ไม่ต้องการความสวยงามมาก แต่ต้องสะอาด (เพิ่มเติม) ต้องการที่จัดแสดงงานของนักเรียนด้วย
- ความสวยงามต้องเรียบง่าย สมัยใหม่ ไม่ล้าสมัย ไม่ต้องตกแต่งอะไรมากมาย บรรยากาศต้องสงบ สดชื่น ไม่ง่วงนอน
- การตกแต่งภายในที่เรียบที่สุด ง่ายที่สุด ดูแลรักษาง่ายที่สุด สมถะ คงทนถาวร ปรับเปลี่ยนได้หลายรูปแบบการใช้งาน
- บรรยากาศนิ่งสงบ เป็นทางการ จริงจังต่อการเรียนการสอน
- ต้องการบรรยากาศที่กระตุ้นการเรียนรู้ สำหรับห้องบรรยายต้องสงบ เคร่งขรึมเหมาะกับการจะก้าวสู่การเรียนรู้จนเป็นผู้มีความรู้ น่าเชื่อถือ น่าศรัทธา เป็นที่ที่เข้ามาแล้วจะต้องรู้สึกเคารพ ขลังไปด้วยความรู้ที่นำออกไปจากห้อง ซึ่งอุปกรณ์ภายในห้องมีส่วนช่วยในการทำให้เกิดบรรยากาศดังกล่าว เช่น สีสันภายในห้อง โทนสี การตกแต่งเฟอร์นิเจอร์ เช่น เก้าอี้เลคเชอร์ แท่นบรรยาย รูปแบบของจอภาพ ฯลฯ
- ความสวยงาม ต้องสามารถสร้างบรรยากาศได้หลายรูปแบบ มีสีสันหลากหลายเช่นเกี่ยวกับการแต่งตัวของผู้หญิง ห้องเรียนจะตกแต่งด้วยแสงสี
- บรรยากาศต้องสื่อถึงเวลาของธรรมชาติภายนอกได้
- ความสดชื่น รื่นรมย์ สวยงาม เป็นตัวกระตุ้นผู้เรียน ให้เข้ามาในห้องเรียนแล้ว เสริมพลังในการเรียนรู้ และเมื่อออกจากห้องเรียนแล้วต้องมีพลังอยากเรียนรู้เพิ่ม ทั้งกับอาจารย์และนักเรียน

7) **ด้านระบบและเทคโนโลยีสนับสนุนอื่น ๆ**

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า ห้องเรียนควรมี**ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ**อย่างไร เป็นพิเศษ หรือควรมี**ระบบสนับสนุน**อื่นอะไรเป็นพิเศษบ้าง

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ต้องการระบบสนับสนุนเพิ่มเติมสำหรับการเรียนแบบทางไกล เช่น กล้องอย่างน้อย 1 ตัว โต๊ะที่มีอุปกรณ์สำหรับการบรรยายอย่างครบครัน เช่น เครื่องฉายภาพ (LCD) เครื่องฉาย (visualizer) คอมพิวเตอร์แบบ (touch screen) ได้ก็ดี ระบบเครือข่าย (internet, intranet, LAN) กล้องโทรทัศน์ กล้องสำหรับการประชุมทางไกล โทรทัศน์ โดยที่อุปกรณ์ต่างๆจะต้องปลอดภัยต่อการโจรกรรม

- ต้องการระบบ Internet wireless
- ระบบ IT ต้องต่อกับ server ของคณะแล้วเครื่องอาจารย์สามารถ login เข้าไปได้เลย แล้วเตรียมการสอนเป็น HTML ที่นักเรียนก็สามารถ click ตามเข้าไปได้เลย และคอมพิวเตอร์ของอาจารย์และนักเรียนควรสามารถโต้ตอบกันได้ เหมาะกับการสอนคอมพิวเตอร์มากทีเดียว
- มีคอมพิวเตอร์กลาง เครื่องฉาย 2-3 เครื่อง อินเตอร์เน็ตความเร็วสูง บันทึกการเรียนการสอนเพื่อนำไปใช้ซ้ำได้ และง่ายต่อการประเมิน
- ต้องการอยากเห็นอะไรต้องสามารถใช้โปรแกรมได้ ต้องสามารถจำลองสถานการณ์ (simulation) ได้ เช่น เมื่อพูดถึง บรรยากาศยามเช้าต้องสร้างได้
- เป็นเครื่องมือส่งเสริมการเรียนรู้ เพิ่มความเร็วในการเรียนรู้ เป็นปัจจัยในการเอื้ออำนวยความสะดวก ช่วยสร้างภาพที่เป็นนามธรรมมากบางอย่าง ให้สามารถเข้าใจ ได้ง่ายขึ้น

8) **ด้านความคิดเห็นเพิ่มเติมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องเรียน**

ตามจินตนาการของท่าน ท่านมีแนวคิดว่า ห้องเรียนยุคใหม่ควรมีลักษณะอย่างไร เป็นพิเศษ

<u>คำตอบที่ได้รับ</u>

- ห้องเรียนที่สามารถรองรับการเรียนแบบทางไกล ที่ผู้เรียนสามารถเข้าถึงได้จากทุกที่ที่มีเครือข่าย เช่น ระบบ (LAN), ระบบไร้สาย (wireless) หรือคอมพิวเตอร์ (notebook, PDA) และสามารถนำกลับมาดูใหม่ได้เพื่อเป็นการทบทวน นอกจากนี้เนื่องในปัจจุบันมีปัญหาการขาดแคลนบุคลากรพิเศษ หากมีการบรรยายของบุคลากรท่านนั้นครั้งหนึ่งน่าจะสามารถเก็บไว้แล้วถ่ายทอดต่อได้
- ห้องเรียนที่สามรถปรับให้สามารถสอนเป็นกลุ่มใหญ่ได้
- ห้องเรียนที่มีระบบทุกอย่างครบครัน เมื่อผู้บรรยายมาถึงทุกอย่างเตรียมไว้อัตโนมัติ สามารถบรรยายได้ทันที อนาคตต้องการระบบที่สามารถออกคำสั่งด้วยเสียง เช่น การหรี่ไฟ การกางจอภาพ การฉายภาพ
- ควรมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน (adaptability) สามารถจัดห้องเรียนเพื่อรองรับได้หลายกิจกรรม เช่น สามารถจัดเป็นห้องบรรยายได้ ใช้เป็นห้องสัมมนากลุ่มย่อยๆ

ก็ได้ และอยากให้งานระบบ เช่น ระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศ สามารถปรับได้ตามต้องการ

- มุ่งความเข้าใจของผู้เรียนเป็นสำคัญ มุ่งการเรียนการสอนด้วยภาพมากกว่าคำพูด มุ่งเปลี่ยนเรื่องที่ยากให้สามารถเข้าใจได้ง่าย ๆ มุ่งบรรยากาศการเรียนการสอนที่สนุกสนาน แต่แฝงด้วยความจริงจัง และเข้มงวด
- ต้องการให้ห้องเรียนมีบรรยากาศของการเรียนรู้ในแต่ละวิชา โดยการออกแบบให้สอดคล้องเหมาะสมกับวิชาต่างๆ (โดยการรวมหรือแยกห้องในวิชาต่างๆ ก็ได้) เช่น วิชาการออกแบบอาคาร วิชาโครงสร้าง วิชางานระบบ ฯลฯ บรรยากาศภายในห้องควรมีบรรยากาศส่งเสริมการเรียนรู้แต่ละอย่างได้ชัดเจน ทำให้นักศึกษาเห็นแล้วมีแรงดลใจ สามารถกระตุ้นการเรียนรู้และเข้าใจยิ่งขึ้น
- ห้องเรียนต้องการพื้นฐานของสื่อการเรียนรู้ สามารถเป็นสถานที่เรียนรู้ได้โดยแม้ไม่ได้อยู่ในชั่วโมงเรียน มีฐานข้อมูลอยู่ในห้องเรียนที่นักเรียนทุกคนสามารถเข้าสู่ระบบแล้ว update ข้อมูลได้ตลอดเวลา ห้องเรียนคือห้องที่สมารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ได้ เป็นแหล่งของคำถามและประเด็นในการวิจัยเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่
- ห้องเรียนต้องเสริมประสิทธิภาพในการเรียนรู้ได้ เรียนได้ดียิ่งขึ้น เรียนรู้ได้เร็วยิ่งขึ้น เป็นการพัฒนาการในการเรียนรู้ ทั้งผู้เรียนและผู้สอน เสริมบรรยากาศในการเรียนการสอนได้ดี
- ห้องเรียนยุคใหม่ต้องมีลักษณะ dynamic effect สามารถสร้าง effect ที่เหมือนจริง เรียนแล้วต้องไม่เบื่อ การเรียนรู้ต้องผสมผสานศาสตร์ให้ตื่นตัว แล้วอุปกรณ์ต้องทำได้ เช่นต้องควบคุมกลิ่นได้ มีกลิ่นหอมได้ มีแสง สี เสียง dynamic simulation ได้ สร้างบรรยากาศเหมือนฉายภาพยนตร์ สามารถพาไปเที่ยวที่ต่างๆได้ เช่น ไปเที่ยวชนบท มีเสียงเหมือนจริง สามารถฉายภาพ 3 มิติได้ ฉายภาพยนตร์ได้ การมาเรียนเสมือนการมาเรียนหนังชีวิตจริงที่ดีกว่าโรงภาพยนตร์เป็นประสบการณ์ที่ได้รับการเรียนรู้
- บรรยากาศในห้องเรียนต้องน่าเรียนมากๆ ทำให้นักเรียนต้องมารอเรียนหนังสือเหมือนมารอโรงภาพยนตร์เปิด ห้องเรียนต้องจูงใจมากๆ ต้องรีบมาก่อนเพื่อจองที่นั่งที่ดีที่สุดก่อน
- การเรียนรู้ยุคใหม่ ต้องผสมผสานทุกเรื่องจำลองสถานการณ์ (Simulation) ได้เหมือนจริง

ผลจากแบบสอบถามรอบที่ 2

คำถามเกี่ยวกับความคิดเห็นในการควบคุมคุณสมบัติของตัวแปรที่มีอิทธิพลของออกแบบห้องเรียน

โปรดทำเครื่องหมาย "X" ในช่องที่ท่านต้องการเลือก

ความต้องการความรู้สึกร้อน-หนาวที่เหมาะสม (thermal comfort)

1. ความต้องการที่เกี่ยวข้องกับความเย็นสบายภายในห้องเรียน และการปรับตัวของผู้ใช้ห้องเรียนในขณะเริ่มต้นชั่วโมงเรียนท่านเห็นด้วยหรือไม่ ที่ห้องเรียนควรจะรู้สึกเย็นทันทีเมื่อเข้ามาถึง หรือหากท่านไม่เห็นด้วยท่านจะยอมรับให้ห้องเรียนมีการปรับความเย็นในช่วงเริ่มต้นของชั่วโมงเรียนได้ในระยะเวลาประมาณเท่าไร

เย็นทันที	5 นาที	10 นาที	15 นาที	อื่นๆ
14	11	7	0	0

2. ระดับของความต้องการในการควบคุมความร้อน-หนาวภายในห้องเรียน ท่านยอมรับให้ช่วงของระดับความสบายด้านความรู้สึกร้อน-หนาว อยู่ในช่วงใด

ควบคุมความร้อน-หนาวภายในห้อง		ความรู้สึก (ร้อน-หนาว)
		ร้อน / เริ่มอุ่น / เย็นสบาย / เริ่มเย็น / หนาว
27	ต้องรู้สึกเย็นสบายสม่ำเสมอตลอดเวลา	
5	ยอมให้รู้สึก เริ่มรู้สึกอุ่น ถึง เริ่มรู้สึกเย็น	
0	ยอมให้รู้สึกร้อน ถึง รู้สึกหนาว	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความต้องการแสงสว่างที่เหมาะสม (Lighting comfort)

ควบคุมระดับแสงสว่างที่ผู้ฟัง	เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
3. ขณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้ฟังต้องเพียงพอต่อการจดบันทึก	19	12	0	1	0
4. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้ฟังต้องสามารถปรับให้ได้มืดสนิทได้	2	12	9	6	3
5. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้ฟังต้องสามารถปรับให้มีแสงสว่างเพื่อการเขียนหนังสือได้	20	12	0	0	0

ควบคุมระดับแสงสว่างที่ผู้บรรยาย	เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
6. ขณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้บรรยายต้องเพียงพอ เห็นผู้บรรยายชัดเจน (high light)	10	17	3	2	0
7. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้บรรยายต้องสามารถปรับให้ได้มืดสนิทได้	3	11	10	7	1
8. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่ผู้บรรยายต้องสามารถปรับให้มีแสงสว่างเพื่อการเขียน-อ่านหนังสือได้	14	15	3	0	0

ควบคุมระดับแสงสว่างที่จอภาพและกระดาน	เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
9. ขณะบรรยายโดยไม่มีการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่กระดานต้องสว่างเพียงพอให้สามารถเห็นกระดานได้ชัดเจน	25	7	0	0	0
10. ขณะบรรยายด้วยการฉายภาพ ระดับความส่องสว่างที่จอภาพต้องสามารถปรับให้ได้มืดสนิทได้	16	10	5	1	0

คุณภาพของแสงสว่าง	เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
11. ในห้องเรียนควรมีการใช้แสงธรรมชาติ	20	9	2	1	0
12. แสงสีที่ส่องไปยังที่บริเวณผู้บรรยาย ควรช่วยส่งเสริมให้ผู้บรรยาย	13	11	7	1	0

ความต้องการทัศนวิสัยที่สบายตา (visual comfort)

คุณภาพของทัศนวิสัยที่สบายตา	เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
13. สามารถเห็นภาพหรือตัวหนังสือบนกระดานหรือจอชัดเจน โดยไม่มีเงาสะท้อนมารบกวนการมอง	29	3	0	0	0
14. ไม่มีแสงบาดตา ทั้งจากมุมมองของผู้บรรยายและผู้เรียน	25	7	0	0	0

ความต้องการคุณภาพของเสียง (acoustical comfort)

คุณภาพของเสียง	เห็นด้วยมาก	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยมาก
15. ได้ยินชัดโดยไม่ต้องใช้ไมโครโฟน	19	11	2	0	0
16. ไม่มีเสียงรบกวนจากภายนอก	22	9	0	1	0

ความต้องการอื่น ๆ

ท่านมีความคิดเห็น ว่า ปัจจัยดังต่อไปนี้มีระดับของความสำคัญในการออกแบบห้องเรียน มากน้อยเพียงไร โปรดทำเครื่องหมาย “x” ในช่องที่ท่านต้องการเลือก

ความต้องการอื่น ๆ	ระดับของการให้ความสำคัญ				
	มาก	ค่อนข้างมาก	ปานกลาง	ค่อนข้างน้อย	น้อย
17. ความต้องการคุณภาพอากาศภายในที่ดี	27	5	0	0	0
18. ความต้องการบรรยากาศและความงาม	9	12	11	0	0
19. ความต้องการความปลอดภัย	16	12	4	0	0
20. ความต้องการเทคโนโลยีสารสนเทศ	18	10	4	0	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลจากแบบสอบถามรอบที่ 3

แบบสอบถาม
ห้องเรียนต้นแบบ

คำชี้แจง

แบบสอบถามนี้สร้างขึ้นเพื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวข้องกับความต้องการในด้านต่างๆของห้องเรียน เพื่อนำไปใช้สรุปเป็นข้อมูลในการออกแบบห้องเรียนต้นแบบ

ผลการศึกษาจากการสอบถามความเห็นพบว่าความต้องการของห้องเรียนต้นแบบที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมของห้องเรียนสามารถสรุปความต้องการด้านความรู้สึกร้อนหนาวที่เหมาะสม (thermal comfort) ความต้องการทัศนะวิสัยที่สบายตา (visual comfort) ความต้องการคุณภาพของเสียงที่เหมาะสม (acoustical comfort) และความต้องการอื่นๆ ได้เป็นเอกฉันท์แล้ว แต่ยังมีความเห็นบางส่วนที่มีความแตกต่างกันบ้างในเรื่องของแสงสว่างและการมองเห็น เนื่องจากการออกแบบเรื่องของแสงสว่างและการมองเห็นภายในห้องเรียนเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อน และมีช่วงของความต้องการแสงสว่างที่แตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับกิจกรรมในการเรียนการสอน ดังนั้นจึงมัความจำเป็นต้องทำแบบสอบถามเพิ่มเติมดังนี้

ตอนที่ 1

เกี่ยวกับผู้ตอบ

ผู้เชี่ยวชาญ ----------

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2

ชุดคำถามเกี่ยวกับความต้องการด้านแสงสว่างและการมองเห็น

คำถามเกี่ยวข้องกับความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับเรื่องระดับการส่องสว่างและการมองเห็นภายในห้องเรียน โดยโปรดเลือกระดับความเห็นจาก (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก) โดย แบ่งพื้นที่การใช้งานภายในห้องเป็น 3 บริเวณ คือ

1. บริเวณส่วนผู้ฟัง
2. บริเวณส่วนผู้บรรยาย
3. บริเวณส่วนจอภาพ หรือ กระดาน

1. ในกรณีที่รูปแบบของกิจกรรมการเรียนมีลักษณะการบรรยายแบบทั่วไปที่ผู้พูดมีการบรรยายและมีการเขียนกระดาน ณ บริเวณต่างๆในห้องเรียน ท่านเห็นว่าควรมีลักษณะการส่องสว่างอย่างไร

   - บริเวณที่ผู้ฟังควรมีระดับแสงสว่างเพียงพอต่อการอ่านหนังสือและการจดบันทึก (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

2	2			

   - บริเวณที่ผู้บรรยายควรมีระดับความส่องสว่างที่เพียงพอ ให้ผู้ฟังมองเห็นผู้บรรยายได้สว่างสดใส โดยอาจมีการออกแบบระบบแสงสว่างในบริเวณนั้นเป็นพิเศษ เพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพของแสงในบริเวณส่วนของผู้บรรยาย (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

3	1			

   - บริเวณจอภาพหรือกระดานควรมีระดับความส่องสว่างมากพอ ที่จะสามารถช่วยทำให้ผู้ฟังสามารถมองเห็นกระดานได้ชัดเจน และต้องไม่มีแสงสะท้อนแยงตา (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

4				

2. ในกรณีที่รูปแบบของกิจกรรมการเรียนมีลักษณะการบรรยายแบบใช้เครื่องฉายภาพ (projector) หรือ เครื่องฉายแผ่นทึบ (visualizer) หรือ เครื่องฉายแผ่นใส (overhead)

- บริเวณที่ผู้ฟังควรมีระดับแสงสว่างเพียงพอต่อการอ่านหนังสือ และการจดบันทึก และต้องไม่สว่างรบกวนความสว่างที่จอภาพ จนทำให้ภาพที่ฉายไม่ชัดเจน
(เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

1	3			

- บริเวณที่ผู้บรรยายควรมีระดับความส่องสว่างที่เพียงพอ ให้ผู้ฟังมองเห็นผู้บรรยายได้อย่างชัดเจน และต้องไม่สว่างจนรบกวนความสว่างที่จอภาพทำให้ภาพไม่ชัดเจน
(เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

2	2			

- บริเวณจอภาพหรือกระดานควรสามารถปรับลดระดับความส่องสว่างลงได้เพียงพอ ที่จะทำให้ภาพที่ฉายปรากฏชัดเจนและต้องไม่มีแสงสะท้อนแยงตา
(เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

3	1			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่รูปแบบของกิจกรรมการเรียนมีลักษณะการบรรยายแบบที่ผู้บรรยายต้องการฉายภาพ หรือ ฉายหนัง ที่มีความต้องการคุณภาพสูง เพื่อให้ผู้ฟังได้รับอัตถรสของภาพนั้นๆ

   - บริเวณที่ผู้ฟังควรสามารถปรับระดับความส่องสว่างลดลงให้มืดพอ เพื่อไม่ให้มีแสงรบกวนภาพที่จะฉาย
     (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

2	2			

   - บริเวณที่ผู้บรรยายควรสามารถปรับระดับความส่องสว่างลดลงให้มืดพอ เพื่อไม่ให้มีแสงรบกวนภาพที่จะฉาย
     (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

2	2			

   - บริเวณจอภาพหรือกระดานควรสามารถปรับระดับความส่องสว่างลดลงให้มืดพอ เพื่อให้ภาพที่ฉายปรากฏได้อย่างชัดเจน และต้องไม่มีแสงสะท้อนแยงตา
     (เห็นด้วยมาก-----เห็นด้วย-----เฉยๆ-----ไม่เห็นด้วย-----ไม่เห็นด้วยมาก)

3	1			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลจากแบบสอบถาม

(ห้องเรียนต้นแบบเขาใหญ่และกรณีศึกษา 3 โรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม)

ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้านความรู้สึกร้อนหนาว

รหัส	สถานที่	วันที่	เวลา	Air Temp	RH	MRT
Q01XX	เขาใหญ่	7 กค 2552	11:30	27	73	25.68
Q02XX	เขาใหญ่	7 กค 2552	18:00	28	71	26.37
Q03XX	พูลเจริญก่อนปรับปรุง-01	10 กค 2552	11:30	32.5	54	35.24
Q04XX	พูลเจริญก่อนปรับปรุง-02	10 กค 2552	11:30	32.5	54	35.61
Q05XX	พูลเจริญหลังปรับปรุง-01	22 กค 2552	15:30	25	50	25
Q06XX	พูลเจริญหลังปรับปรุง-02	22 กค 2552	15:30	25	50	25

ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้านความสว่าง

รหัส	สถานที่	วันที่	avg Fc	จอ	จอ FL	Back FL
Q01XX	เขาใหญ่	7 กค 2552	33.56	ทาสีขาว	6.2	4.26
Q02XX	เขาใหญ่	7 กค 2552	3.8	ฉายภาพ	1.54	0.02
Q03XX	พูลเจริญก่อนปรับปรุง-01	10 กค 2552	313.83	กระดานขาว	17.93	11.82
Q04XX	พูลเจริญก่อนปรับปรุง-02	10 กค 2552	293.77	กระดานดำ	3.12	12.75
Q05XX	พูลเจริญหลังปรับปรุง-01	22 กค 2552	169.28	กระดานดำ	2.4	8.42
Q06XX	พูลเจริญหลังปรับปรุง-02	22 กค 2552	169.28	กระดานดำ	2.4	8.42

ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้านเสียงและการได้ยิน

รหัส	สถานที่	วันที่	Back ground noise	เครื่องบินผ่าน	ระดับเสียงเมื่อพูด	เครื่องขยายเสียง	RT60
Q01XX	เขาใหญ่	7 กค 2552	60-68		75	ไม่มี	3.73
Q02XX	เขาใหญ่	7 กค 2552	60-68		75	ไม่มี	3.73
Q03XX	พูลเจริญก่อนปรับปรุง-01	10 กค 2552	65-70	78-82	83	มี	0.33
Q04XX	พูลเจริญก่อนปรับปรุง-02	10 กค 2552	65-70	78-82	83	ไม่มี	0.52
Q05XX	พูลเจริญหลังปรับปรุง-01	22 กค 2552	55-58	65-70	-	ไม่มี	0.76
Q06XX	พูลเจริญหลังปรับปรุง-02	22 กค 2552	55-58	65-70	-	ไม่มี	0.76

ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่าง

Sample	1		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	เพศ	อายุ	Thermal-01	Thermal-02	Thermal-03	Thermal-04	Thermal-05	Lighting-01	Lighting-02	Lighting-03	Acoustic-01	Acoustic-02	Acoustic-03	พอใจ
Q0101		42	6	4	5	4	2	4	4	4	6	2	7	5
Q0102		47	3	3	5	4	2	3	5	7	6	7	7	6
Q0103		23	6	4	7	2	3	3	3	1	5	2	6	5
Q0104		23	7	5	4	4	3	4	7	6	6	4	6	4
Q0105		24	5	4	5	4	3	3	2	3	6	6	7	5
Q0106		25	7	4	5	4	3	3	5	6	4	6	6	6
Q0107		24	5	4	5	2	3	3	6	6	6	3	5	4
Q0108		25	6	5	5	4	2	4	4	4	4	4	6	4
Q0109		27	6	4	4	3	2	3	2	2	7	6	7	6
Q0110		24	7	5	6	4	2	3	5	5	5	5	5	6
Q0111		33	5	4	6	2	2	3	4	4	6	2	2	4
Q0112		24	4	4	4	3	2	3	3	4	5	5	6	5
Q0113		27	4	4	3	4	3	3	4	2	4	5	6	5
Q0114		22	6	5	4	2	2	3	5	5	3	6	5	5
Q0115		52	7	4	4	4	1	1	4	1	7	1	7	4
Q0116		23	5	5	4	4	2	3	4	7	6	6	5	6
Q0117		30	5	4	5	3	1	3	3	3	5	5	5	5
Q0118		28	5	4	5	2	1	3	4	2	5	4	6	4
Q0119		30	5	4	5	3	5	4	4	4	5	5	5	5
Q0120		38	5	5	6	2	5	3	4	4	6	1	7	6
Q0121		24	4	3	6	3	5	3	4	6	6	6	6	5
Q0122		48	4	4	3	2	3	3	3	3	7	2	7	7
Q0201		24	6	4	5	3	2	2	5	4	6	1	6	5
Q0202		23	2	1	7	1	4	1	4	2	4	1	7	2
Q0203		24	3	3	4	4	3	4	5	5	6	5	7	5
Q0204		23	5	4	7	4	2	2	4	3	6	3	6	4
Q0205		28	6	4	5	2	1	3	4	6	4	4	6	4
Q0206		24	6	4	6	4	2	3	4	5	6	1	7	4
Q0207		48	5	4	3	3	4	3	5	5	3	3	5	7

Sample	1		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ชื่อ	อายุ	Thermal-01	Thermal-02	Thermal-03	Thermal-04	Thermal-05	Lighting-01	Lighting-02	Lighting-03	Acoustic-01	Acoustic-02	Acoustic-03	พอใจ
Q0208		52	7	4	4	4	4	1	2	3	5	3	3	5
Q0209		22	6	4	5	3	3	2	4	5	4	2	2	6
Q0210		38	7	4	6	3	6	3	5	5	7	1	7	5
Q0211		30	6	4	4	4	3	5	5	5	5	3	5	5
Q0212		30	6	4	4	4	2	3	4	5	5	3	5	4
Q0213		24	7	4	4	3	1	4	3	5	3	2	6	5
Q0214		23	4	4	5	3	3	3	3	5	5	3	5	5
Q0215		25	4	4	5	3	4	3	5	5	4	3	6	5
Q0216		25	6	4	5	4	3	4	3	6	3	3	6	5
Q0217		47	5	4	6	4	2	3	5	3	5	5	5	6
Q0218		25	5	5	4	4	3	5	4	5	6	5	5	5
Q0219		37	4	4	4	4	3	3	2	2	3	2	6	3
Q0220		27	6	4	4	4	2	2	4	4	6	5	4	5
Q0221		33	5	5	6	4	6	4	6	5	6	2	2	5
Q0301		17	4	2	2	3	4	3	4	5	4	5	5	5
Q0302		17	4	4	3	4	3	5	4	3	4	5	4	6
Q0303		17	6	4	4	3	5	4	4	6	4	7	4	4
Q0304		17	4	1	4	2	2	4	2	1	5	4	4	4
Q0305		17	4	3	3	4	4	5	4	4	4	5	4	5
Q0306		17	4	3	4	3	4	6	4	1	4	6	5	5
Q0307		17	7	4	1	1	4	7	1	3	5	7	6	4
Q0308		17	4	3	3	5	2	4	4	5	5	6	4	5
Q0309		17	4	4	5	4	3	5	3	4	4	6	5	6
Q0310		17	4	3	3	4	4	4	2	2	5	5	5	3
Q0311		18	4	2	3	4	3	4	4	4	6	4	3	2
Q0312		18	2	2	6	2	3	5	1	5	5	7	6	3
Q0313		18	3	3	3	2	6	4	4	6	4	5	3	2
Q0314		17	5	3	5	4	6	5	2	4	5	5	2	6
Q0315		18	4	3	1	3	3	4	4	6	4	6	1	6
Q0316		17	5	5	3	4	1	5	4	6	4	6	3	6

Sample	1		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ชื่อ	อายุ	Thermal-01	Thermal-02	Thermal-03	Thermal-04	Thermal-05	Lighting-01	Lighting-02	Lighting-03	Acoustic-01	Acoustic-02	Acoustic-03	พอใจ
Q0317		17	4	3	4	3	5	4	5	5	4	4	4	4
Q0318		18	3	3	3	2	3	4	2	4	4	5	4	5
Q0319		17	4	4	5	4	4	4	6	6	4	7	4	6
Q0320		17	4	4	5	3	1	4	2	6	4	6	4	5
Q0321		17	3	3	3	3	4	5	3	3	5	3	3	2
Q0322		17	4	4	3	4	3	5	4	3	5	5	5	7
Q0323		18	4	4	4	1	1	4	7	4	4	5	4	7
Q0324		17	4	4	3	3	3	4	5	6	4	5	3	6
Q0325		17	4	3	3	4	5	3	2	3	4	5	5	5
Q0326		17	5	3	3	3	4	4	6	4	5	6	4	6
Q0327		17	4	2	3	3	2	4	2	3	4	4	6	4
Q0328		17	4	4	4	3	3	4	3	3	4	6	4	4
Q0329		18	4	3	4	5	5	4	4	3	4	6	6	5
Q0330		18	4	4	4	4	4	4	4	4	4	7	6	5
Q0331		17	3	3	2	2	6	4	1	1	4	7	4	5
Q0332		17	3	2	1	2	2	4	1	3	5	5	4	4
Q0333		17	5	4	4	3	6	4	3	2	4	5	4	4
Q0334		18	5	4	3	2	4	4	3	3	4	3	3	6
Q0335		17	4	4	4	5	3	4	3	3	4	5	6	4
Q0336		18	4	3	3	4	1	4	4	3	4	5	4	5
Q0337		18	4	3	4	4	3	4	4	4	2	3	5	5
Q0338		17	2	4	5	3	5	5	3	5	4	5	7	4
Q0339		18	1	2	2	2	2	4	5	7	4	6	5	4
Q0340		17	3	3	3	2	6	4	2	3	4	4	5	4
Q0341		17	4	3	2	3	2	5	3	5	6	5	4	6
Q0342		17	4	3	2	3	4	4	4	3	4	5	4	4
Q0343		17	3	3	3	4	2	4	4	3	4	5	4	4
Q0344		17	4	2	2	1	2	4	2	5	4	6	4	3
Q0345		17	4	3	3	4	5	5	3	3	5	2	6	5
Q0346		17	5	5	5	6	4	4	5	7	5	7	5	5

Sample	1		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ชื่อ	อายุ	Thermal-01	Thermal-02	Thermal-03	Thermal-04	Thermal-05	Lighting-01	Lighting-02	Lighting-03	Acoustic-01	Acoustic-02	Acoustic-03	พอใจ
Q0347		17	4	3	4	5	4	4	4	6	4	5	5	6
Q0348		17	4	3	3	2	6	4	4	4	4	5	4	5
Q0349		17	4	1	3	2	5	4	4	4	4	4	4	4
Q0350		18	4	2	2	3	1	7	3	7	4	6	1	4
Q0351		17	4	4	4	4	7	4	1	1	4	4	4	4
Q0352		18	3	3	2	1	2	4	4	4	6	4	3	3
Q0353		17	7	3	4	5	4	6	5	5	6	7	4	4
Q0354		17	2	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	5
Q0355		17	6	4	4	4	6	4	3	3	4	4	4	6
Q0356		17	6	3	5	4	2	5	3	5	4	5	5	4
Q0357		17	4	2	4	2	4	5	4	3	4	7	4	4
Q0358		17	4	3	5	4	3	4	3	4	4	5	4	4
Q0359		17	4	2	5	2	5	4	4	4	5	6	5	3
Q0360		17	4	4	4	4	5	5	3	3	5	5	6	4
Q0361		17	1	3	3	3	1	4	4	3	5	4	3	4
Q0362		18	2	3	3	2	2	4	4	5	5	6	4	3
Q0401		15	4	4	4	6	6	6	7	7	7	6	7	5
Q0402		15	1	2	2	2	3	2	5	5	3	5	4	4
Q0403		15	1	2	2	2	3	2	5	5	3	5	4	3
Q0404		15	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Q0405		15	7	1	1	1	4	4	4	4	7	6	7	5
Q0406		16	3	3	3	2	5	3	3	3	5	2	3	5
Q0407		15	4	4	4	4	5	5	5	4	4	5	4	5
Q0408		16	7	2	5	4	4	6	7	6	4	4	4	4
Q0409		15	5	4	4	3	5	5	4	4	4	4	5	5
Q0410		15	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
Q0411		16	3	2	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4
Q0412		15	4	2	2	2	4	4	3	4	4	3	4	5
Q0413		16	4	3	4	4	5	4	4	5	4	7	2	7
Q0414		15	4	3	4	3	5	4	4	4	4	5	6	4

Sample	1		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ชื่อ	อายุ	Thermal-01	Thermal-02	Thermal-03	Thermal-04	Thermal-05	Lighting-01	Lighting-02	Lighting-03	Acoustic-01	Acoustic-02	Acoustic-03	พอใจ
Q0415		15	4	3	3	4	1	3	4	4	3	3	3	3
Q0416		15	4	4	2	2	2	4	2	2	2	2	2	3
Q0417		15	4	3	2	4	6	3	4	6	6	4	3	4
Q0418		15	5	4	4	5	6	4	4	4	4	4	4	6
Q0419		16	5	4	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4
Q0420		15	4	3	3	3	4	4	3	3	6	4	4	3
Q0421		16	5	4	4	5	3	5	4	4	4	4	4	5
Q0422		15	3	3	3	3	3	4	3	3	7	4	3	3
Q0423		16	3	3	1	2	4	4	3	3	3	3	3	4
Q0424		15	4	4	3	3	2	4	2	3	3	5	5	6
Q0425		15	4	3	4	3	5	4	4	4	4	6	3	4
Q0501		17	4	4	4	5	4	6	2	4	4	7	3	4
Q0502		17	7	4	4	4	1	4	4	4	4	6	5	6
Q0503		18	7	4	4	4	4	4	4	4	6	5	6	5
Q0504		17	7	4	4	4	3	4	4	5	4	7	4	7
Q0505		18	5	6	4	5	3	4	5	5	4	6	5	5
Q0506		18	4	4	6	7	2	6	6	5	6	7	7	4
Q0507		17	4	4	3	4	1	4	4	4	4	4	3	5
Q0508		17	4	5	4	3	4	4	5	5	3	6	6	6
Q0509		17	6	5	5	4	5	4	4	6	4	6	5	5
Q0510		17	6	5	4	4	5	4	5	5	4	7	3	5
Q0511		17	7	6	4	4	1	4	4	6	5	7	3	6
Q0512		17	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	5
Q0513		17	5	5	4	4	5	4	3	4	4	5	5	4
Q0514		18	5	4	4	4	3	4	3	5	4	5	4	5
Q0515		17	4	4	4	4	1	4	7	4	4	4	4	7
Q0516		17	4	5	4	3	2	4	4	4	4	5	4	4
Q0517		17	5	4	4	3	2	4	3	5	4	5	3	5
Q0518		17	4	5	4	5	5	4	4	6	4	6	5	6
Q0519		17	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	5

Sample	1		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ชื่อ	อายุ	Thermal-01	Thermal-02	Thermal-03	Thermal-04	Thermal-05	Lighting-01	Lighting-02	Lighting-03	Acoustic-01	Acoustic-02	Acoustic-03	พอใจ
Q0520		17	5	4	5	4	2	2	3	2	4	4	5	4
Q0521		18	5	5	5	4	2	4	5	6	3	7	3	6
Q0601		17	4	4	6	3	2	6	3	4	5	5	5	3
Q0602		17	3	2	4	4	4	4	4	6	4	5	4	4
Q0603		18	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	5	5
Q0604		17	4	3	4	4	4	5	5	5	4	4	4	5
Q0605		17	5	5	5	5	3	4	3	2	4	7	4	5
Q0606		18	7	4	4	3	1	4	3	3	4	5	2	6
Q0607		17	4	4	4	4	7	4	4	4	4	4	4	4
Q0608		18	3	4	3	4	2	5	4	5	5	6	5	5
Q0609		17	7	4	4	1	4	4	1	2	4	5	5	6
Q0610		18	4	3	3	3	4	6	4	6	4	6	3	5
Q0611		18	5	4	4	4	3	5	6	6	5	5	6	3
Q0612		17	4	4	3	3	2	6	3	4	4	5	6	4
Q0613		18	5	5	4	4	2	4	3	4	4	5	4	6
Q0614		17	4	5	4	4	3	4	4	4	4	4	4	6
Q0615		18	4	3	4	5	1	4	3	6	4	6	2	3
Q0616		18	5	4	4	5	2	4	3	2	6	6	7	6
Q0617		18	5	4	4	3	2	5	2	3	5	5	4	6
Q0618		17	5	5	4	3	2	4	3	4	4	4	4	4
Q0619		17	6	4	3	4	5	4	4	4	3	6	4	6
Q0620		17	6	4	2	4	4	5	4	4	4	5	5	7
Q0621		17	3	2	3	1	3	3	3	3	3	2	3	3
Q0622		18	6	4	3	4	5	4	4	4	4	5	4	6
Q0623		19	6	4	4	5	2	4	5	5	4	5	5	6
Q0624		17	4	4	4	4	4	4	4	4	6	4	4	5
Q0625		17	4	3	4	4	4	7	1	4	6	6	4	4
Q0626		17	7	4	4	5	1	6	4	4	5	7	5	6
Q0627		17	7	5	4	1	1	4	4	6	4	7	4	7
Q0628		19	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4

Sample	1		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ชื่อ	อายุ	Thermal-01	Thermal-02	Thermal-03	Thermal-04	Thermal-05	Lighting-01	Lighting-02	Lighting-03	Acoustic-01	Acoustic-02	Acoustic-03	พอใจ
Q0629		18	5	4	4	5	3	3	1	1	3	7	2	4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CASE-01 ข้อ 17 ท่านรู้สึกประทับใจอะไรในห้องเรียนนี้บ้าง (ถ้ามี)

17. ประทับใจ ด้านอุณหภูมิ » รู้สึกไม่ร้อน
ด้านแสง » แสงสว่างภายในสบายตา
บรรยากาศ » กว้างขวาง, โปร่งแสง, รู้สึก Space ที่แปลกใหม่
17. การออกแบบห้องเรียนที่ผู้เรียนสามารถมองเห็นผู้บรรยาย และจอภาพได้ชัดเจน ไม่ว่านั่งตรงตำแหน่งใด
17. เย็นสบายดี
17. อุณหภูมิภายในห้องนั้นถือว่าเย็นสบายดี ไม่ร้อนหรือหนาวเกินไป และไม่รู้สึกถึงความชื้น รวมถึงเรื่องแสงสว่างนั้นกำลังพอเหมาะไม่จ้าจนเกินไป ทำให้เกิดความสบายตา เรื่องขนาดพื้นที่ของห้องไม่กว้างหรือแคบจนเกินไป ทัศนวิสัยในการมองเห็นจากด้านที่นั่งถึงจุดบรรยายเหมาะสมกำลังดี ที่นั่งฟังบรรยายนั้นรู้สึกนั่งสบายทำให้เกิดสมาธิ
17. ทางเข้า ทางออก
17. รู้สึกประทับใจกับอุณหภูมิภายในห้องเรียน เนื่องจากไม่ร้อนเกินไปและไม่หนาวเกินไป
17. รูปทางของห้องที่เป็นครึ่งวงกลมทำให้มีความรู้สึกใกล้ชิดกับคนรอบข้างและเป็นส่วนหนึ่ง (in) กับผู้บรรยาย
17. อากาศที่เย็นกำลังดีไม่เหนียวตัว
17. แปลกใหม่
17. รูปทรงแปลกตาดีค่ะ อากาศถ่ายเทดี
17. รูปลักษณ์ภายใน
17. ชอบเพราะ เก๋ดีด้วยรูปแบบตัวอาคารดูน่ารักดี
17. พอเข้าไปในห้องเรียนรู้สึกเย็นสบาย และ โล่ง โปร่ง น่าสนใจ และรูปทรงที่แปลก สะดุดตา
17. ประทับใจในรูปทรงของห้องเรียนแปลกตาดี
17. เป็นห้องบรรยายที่ดี เนื่องจากทำให้ทุกคนได้มองเห็นในการบรรยายได้ชัดเจน รวมถึงได้ยินเสียงบรรยายที่ชัดเจน แต่อาจจะยังมีเสียงก้องอยู่ อากาศกำลังดี แต่ถ้ามีลมเข้ามาอีกอาจจะเย็นสบายขึ้น รูปทรงดูแปลกตา มีดีไซน์ที่สวยสะดุดตา
17. รูปแบบ องศาของความโค้ง ต่อระดับพื้นดิน ดูน่าตื่นเต้น
การขุดลงมาใต้ดินรู้สึกแปลกใหม่
ประทับใจ การใช้แสงภายนอก
ประทับใจ ความเย็น รู้สึกเย็นสบายดี ชอบ
17. พอใจในเรื่อง Space, ความสบาย (Comfort) ปรุงแต่งเพิ่มเล็กน้อยก็จะเป็นห้องเรียนที่ดีได้

CASE-01 ข้อ 18 ท่านอยากให้ภายในห้องเรียนนี้มีการปรับปรุงอะไรบ้าง

18. ปรับปรุงเรื่องคุณภาพเสียงภายในห้อง
18. ควรปรับปรุง 1. แสง ดูมืดไปเล็กน้อย ควรสว่างกว่านี้
    2. เสียง ลาดเสียงสะท้อน , เสียงก้อง
    3. อุณหภูมิ ควรให้เย็นกว่านี้
    4. ความชื้น
18. ลดระดับความชื้น
18. เอาเสียงสะท้อนออกไป แรงมาก
18. เสียงในห้องนี้ก้องเกินไปทำให้มีเสียง Background Noise รบกวนนิดหน่อย
18. ช่องลม และ วัสดุภายใน บรรยากาศให้น่าเรียนขึ้น
18. ปรับปรุงเรื่องเสียงเนื่องจากสภาพเสียงในห้องก้องเกินไป
18. 1 เสียง ถ้าเกิดเสียงมีระดับความก้องน้อยลงกว่านี้จะดีมาก
    2 แสง มีความรู้สึกว่าทึบไปหน่อยไม่ค่อยสว่าง
18. ณ เวลา 12.00 รู้สึกว่าแสงตรงกลางจ้าไปนิดและมีฉายสไลด์ถ้าคนนั่งแถวล่างผมว่าน่าจะกำลังดี แต่แถวบน คือมันต้องระดับสายตาอะครับ
18. เสียง
18. เสียงก้องไปหน่อย แต่ถ้าทำเสร็จแล้วคงออกมาดีค่ะ
18. การสะท้อนของเสียง และอากาศ
18. อยากให้มีสีสันสดใส (ตอนที่มายังสร้างไม่เสร็จ)
18. ยังทำห้องเรียนไม่เสร็จเลยไม่รู้ว่าจะต้องมีการปรับปรุงอะไรบ้าง
18. เนื่องจากห้องเรียนยังไม่เสร็จจึงตอบไม่ได้
18. - เนื่องจากห้องเรียนอยู่ระหว่างการปรับปรุง อาจจะยังไม่สามารถสรุปได้ว่าควรปรับปรุงอะไร
    - แต่ควรปรับปรุงอาจจะเป็นเสียงที่อาจจะก้องเกินไป
18. - การสะท้อนเสียง
    - แสง หากต้องนั่งจดงานบางตำแหน่งควรสว่างกว่านี้ หากนั่งดูสไลด์ ฟังบรรยาย ควรปิดแสงจากภายนอก
18. ใช้วัสดุดูดซับเสียง
    - แสง - สี
    - เสียง - อุณหภูมิ ความชื้น
    - ลม

CASE-02 ข้อ 17 ท่านรู้สึกประทับใจอะไรในห้องเรียนนี้บ้าง (ถ้ามี)

17. การรับแสงสว่างธรรมชาติ และอุณหภูมิที่พอเหมาะ
17. ประทับใจในเรื่องของ Space และนวัตกรรม
17. ธรรมชาติ
17. เมื่อเปิดเพลงแล้วเสียงเพราะมาก
17. อากาศเย็นสบายดี
17. การดีไซน์
17. อุณหภูมิ
17. หากสร้างเสร็จแล้วคงสอนบรรยายได้โดยไม่ต้องใช้ไมโครโฟน ซึ่งดีมาก ผู้ฟังไม่กล้าคุยเสียงดังเลยเพราะเสียงจะได้ยินทั่ว
17. ประทับใจเรื่อง Comfort zone เหมาะสมดี ไม่ร้อนหรือหนาวมากเกินไป แสงสว่างในห้องกำลังพอเหมาะ ขนาดที่กว้างขวางสบายตา ไม่รู้สึกอึดอัด
17. อากาศที่อยู่ในเขต Comfort zone
17. แปลกใหม่

CASE-02 ข้อ 18 ท่านอยากให้ภายในห้องเรียนนี้มีการปรับปรุงอะไรบ้าง

18. Acoustic และ การกระจายแสงให้ทั่วถึง รวมถึงการวางระบบต่างๆ
18. ลดระดับความชื้น
18. ปรับปรุง แสง, เสียง, Comfort zone
18. ระบบเสียงสอน บางครั้งฟังไม่รู้เรื่อง
18. หายใจค่อนข้างลำบากเล็กน้อย ทั้งๆ ที่ห้องใหญ่
18. ความก้องกังวานของเสียง
18. ควรปรับปรุงเรื่องเสียง
18. ความสว่าง การปรับสายตาก่อนเข้ามา
    เสียงที่ก้อง คุยไม่รู้เรื่อง
18. อยากรอตอนที่สร้างเสร็จเรียบร้อยก่อน
    แต่หากเป็นตอนนี้ ก็คงต้องเป็นเรื่องเสียงก้อง (สะท้อน) +เรื่องแสงสว่างยังไม่พอเพียงฝุ่นผง
18. เสียงนั้นก้องมากเกินไป จนทำให้มีปัญหาในการได้ยิน
18. ปรับปรุงเรื่องการสะท้อนของเสียง
18. เสียง

CASE-03 ข้อ 17 ท่านรู้สึกประทับใจอะไรในห้องเรียนนี้บ้าง (ถ้ามี)

17. ประทับใจบรรยากาศการสอนในห้องเนื่องจาก เมื่อครูสอนจะได้ยินทุกคน (เพราะมีไมค์) และมีการใช้จอภาพในการบรรยายเพิ่มเติม
17. รู้สึกนั่งสบายไม่อึดอัด
17. - อากาศเย็นสบาย เมื่อเปิดแอร์
    - ที่นั่งเรียนดี (เก้าอี้นุ่ม)
17. – อากาศเย็นสบาย
    - ที่นั่งเรียนดี
    - บรรยากาศน่าเรียน
    - สิ่งอำนวยการสะดวกครบ
17. - ความเป็นส่วนตัว
    - การเรียนการสอนทั่วถึง ทุกคนดูมีความสนใจ
    - มีขอบเขตในการสอน ครอบคลุมทุกคน
    - เสียงบรรยากาศชัดเจน
17. เนื่องจากห้องเรียนนี้เป็นห้องเรียนชั่วคราว เนื่องจากมีการก่อสร้างอาคารเรียนสภาพห้องเรียนชั่วคราวนี้ดี มีอุปกรณ์ทุกอย่างครบถ้วน ซึ่งสะดวกและมีประโยชน์ฃต่อผู้เรียนเยี่ยม
17. การได้ยินเสียงชัดเจนดี
17. มีอุปกรณ์สื่อการสอนพร้อม เย็นสบายเมื่อเปิดแอร์ แต่เรียนไม่ค่อยรู้เรื่องอาจเป็นเพราะคนเยอะเกินไป
17. ประทับใจที่มีเพื่อนเรียนด้วยกันมาก เพราะทำให้มีเพื่อนเยอะ
17. รู้สึกประทับใจในบรรยากาศการเรียน เรื่องของการพูดสื่อสารบรรยาย
17. เป็นบรรยากาศการเรียนที่มีนักเรียนเยอะ ได้พูดคุยกับเพื่อนต่างห้อง อุปกรณ์ในการเรียน การสอนก็คือว่าครบ สะดวกสบายในการเรียน
17. - บรรยากาศดีไม่ว่าจะเปิดแอร์ หรือเปิดหน้าต่าง ล้อมรอบด้วยต้นไม้
    - มีความสว่างเพียงพอต่อการมองเห็น
    - มีเก้าอี้และที่นั่งจัดอย่างเป็น Step
    - มีจอ TV ขนาดใหญ่
    - ห้องกว้างขวาง
    - มีไมค์ที่มีหลายตัว

17. ประทับใจที่มีแอร์ในห้องเพราะอากาศข้างนอกร้อนมากและโต๊ะเรียนก็นั่งได้ 3 คน เพราะจะได้นั่งกับเพื่อนๆ ที่สนิทมีปัญหาปรึกษาได้สะดวก
17. ประทับใจเรื่องเสียงไมค์โครโฟน ทำให้ได้ยินชัดเจนมากขึ้น อากาศดีไม่หนาวหรือร้อนเกินไป
17. มีโอกาสได้ใช้แอร์ เพราะข้างนอกร้อนมาก
17. - ประทับใจในวิชาเรียน (บางวิชา)
    - บางครั้งเรียนสนุกดี
17. รู้สึกดีที่ได้มาเรียนในห้องเรียนนี้
17. อบอุ่น
17. รู้สึกว่าห้องเรียนไม่แคบ กว้าง กำลังเรียนแบบสบาย มีแอร์ มีระบบเครื่องเสียง เวลาสอนได้ยินชัด และมองเห็นสบายตา อากาศสบาย
17. เรียนสบาย เพราะมันกว้างดี มีอากาศถ่ายเทดี
17. นั่งสบาย มีโต๊ะพร้อม
17. รู้สึกสะดวกสบาย ห้องกว้างขวาง
17. – สะดวกสบาย
    - กว้างขวาง
17. – รู้สึกเรียนไปก็สบายดี
    - สะดวก (เพราะเปิดแอร์เย็นสบาย)
17. ประทับใจเหรอค่ะ ก็น่าจะเป็นได้เรียนร่วมกับเพื่อน 2 ห้อง บรรยากาศก็ปลอดโปร่งนะ ถ้าไม่เปิดแอร์
17. เฉย ๆ ถ้ามีแอร์ก็เย็นสบาย บรรยากาศภายในห้องก็น่าอยู่พอสมควร
17. นั่งสบาย ไม่อึดอัด
17. มีบรรยากาศที่ค่อนข้างดี ไม่ค่อยร้อนสักเท่าไหร่
17. มีเพื่อนเยอะ สามารถแลกเปลี่ยนความรู้ได้มาก ทำให้เรียนสนุก
17. รู้สึกถึงความอบอุ่นที่ได้รับจากรอบข้าง
17. ประทับใจเรื่องของการเรียนด้วยกันทั้ง 2 ห้อง รู้สึกอบอุ่น ซักถามกันได้ มีความสุข และบรรยากาศกำลังดี
17. เสียงที่ได้ยินชัดเจน
17. มองไม่ค่อยเห็นกระดาษเพราะมีแสงมาสะท้อนมากเกินไป
17. ความประทับใจก็คือ ห้องนี้มีสีเขียวและสีขาวเยอะ มองแล้วสะอาดตา แต่ถ้าเปิดแอร์ก็จะมีเย็นมากขึ้นถ้าไม่ได้กลิ่นถุงเท้า

17. ถ้าเครื่องมืออิเล็กโทรนิคหรืออุปกรณ์เกี่ยวกับการเรียนรู้

17. - สีของผ้าม่าน สีเขียวอ่อนสบายตา
    - ไม่มีฝุ่นผงชอล์ค
    - โต๊ะเขียนหนังสือ
    - มีไมค์หรือเครื่องขยายเสียง
    - มีโปรเจคเตอร์
    - มีแอร์ (ถ้าเปิดจะดีมากๆ)

17. ในห้องนี้เรียนร่วมกัน ถ้าไม่เข้าใจในการเรียนก็จะได้ถามกันได้ และยังใช้เครื่องขยายเสียงจะได้ยินชัดเจนยิ่งขึ้น

17. รู้สึกดี เพื่อนเยอะ ไม่เหงา แต่บางวิชาก็เรียนไม่รู้เรื่องเพราะเพื่อนน้อยมากไปหน่อย

17. สะอาด ดูดี สบายมีแอร์ มองแล้ว OK ทุกอย่าง

17. เฉย ๆ อะไรก็ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CASE-03 ข้อ 18 ท่านอยากให้ภายในห้องเรียนนี้มีการปรับปรุงอะไรบ้าง

18. อยากให้ปรับปรุงเรื่องกระดานไวท์บอร์ด และปริมาณแสงที่เข้ามาในห้อง เนื่องจากเมื่อแสงตกกระทบกระดานไวท์บอร์ดมากเกินไป ทำให้คนที่อยู่ในระยะไกลมองกระดานไวท์บอร์ดไม่เห็น
18. อยากให้ห้องเรียนมีอากาศถ่ายเทมากกว่านี้ ร้อน อยากให้มีนักเรียนห้องละ 40 คน มีคนเรียนมากเรียนไม่รู้เรื่อง เสียงดัง
18. ให้เอากระดานอันใหม่ที่ใหญ่กว่านี้
18. – กระดานกว้างกว่านี้ใหญ่กว่านี้
    - จำนวนประชากรมากเกินไป
    - ไมค์ใช้ไม่ค่อยได้ (เป็นบางครั้ง)
18. - จอฉายภาพควรให้มีความร้อน เพราะบางครั้งแสงสว่างมีมากเกินไป
    - ถ้าเรียนก็ควรจะแยกแต่ละห้อง เพราะหายใจไม่ออก
    - แอร์ทำงานหนัก ไม่เย็นเลย
    - เสียงดังมาก / (บางคนรบกวนสมาธิเพื่อน)
18. แสงจากภายนอกเข้ามากระทบกับกระดาน ทำให้มองไม่ค่อยเห็นตัวอักษร
18. โต๊ะเก้าอี้ รู้สึกอึดอัด คนเยอะทำให้ห้องดูแคบ
18. ห้องเป็นห้องที่ปูด้วยพรม ถ้าไม่ให้เปิดแอร์มันร้อนมากเลย และอีกอย่างเราอยู่กันหลายคนน่ะค่ะ
18. ควรมีการเพิ่มพัดลมในห้องบ้าง
18. - กระดาน Black Board เล็กไป
    - พัดลมบางตัวเสีย
    - กระจกมีฝุ่นเยอะ
18. กระดานไวท์บอร์ด
18. - ควรจะมีนักเรียนน้อยกว่านี้
    - ฝุ่นและขยะ
    - ทำสะอาดผ้าปูโต๊ะ
18. - ที่นั่งคับแคบเกินไป
    - เพื่อนเสียงดัง
    - อุปกรณ์ไม่เพียงพอ
18. ลดจำนวนผู้เรียนให้น้อยลง และจัดเป็นที่นั่งเดี่ยว จัดที่นั่งให้เหมาะสม

18. กระดานเขียน เพราะกระดานเล็กมาก พออยู่ไกลๆ มองไม่เห็นตัวหนังสือ ต้องอาศัยเพื่อน เวลาเขียนเสร็จ
18. - การจัดโต๊ะควรให้โต๊ะห่างจากหน้าห้อง ไม่ชัดเกินไป
    - หน้าต่างควรเป็นบานเกร็ด
    - พื้นควรปูพรมสีสว่างเพราจะทำให้ห้องสว่างมากขึ้น
18. กระดานสะท้อนแสงมากทำให้มองไม่เห็น คนมีมากเกินไป คนนั่งหลังห้องได้ความรู้ไม่เต็มที่
18. มีพัดลมมากกว่านี้ แสงสว่างหน้าห้องไม่ดีพอ
18. – พัดลม
    - โต๊ะควรมากว่านี้ พอนั่งแล้วมันเบียดกันเกินไป
18. – พัดลม
    - โต๊ะเรียน
18. พัดลม ถ้าไม่ให้เปิดแอร์ พัดลมน่าจะใช้ได้ทุกตัว แต่เท่าที่ใช้ได้มี 4 ตัว จาก 7 ตัว น่าจะใช้ได้หมดนะค่ะ
18. แล้วแต่ เฉยๆ
18. มีพัดลมเยอะกว่านี้ จะได้เรียนอย่างมีความสุขค่ะ
18. น่าจะมีอากาศเย็นกว่านี้
18. อยากให้มีกระดานขนาดใหญ่
18. - อยากให้มีวัสดุดูดซับเสียง
    - อยากให้มีการจัดพื้นที่ใช้สอยให้ชัดเจน
    - ควรมีโต๊ะที่เหมาะแก่การเรียน
18. โต๊ะเรียน อยากมีโต๊ะแยกเดี่ยว (เป็นโต๊ะรวมอยู่)
18. มองไม่ค่อยเห็นกระดาน เพราะมีแสงมาสะท้อนมากเกินไป
18. อยากให้ทำความสะอาดหลอดไฟ พัดลม และผ้าปูโต๊ะประชุมบ่อยๆครั้ง เพราะตั้งแต่เรียนมาเกือบเดือน ยังคงมีคราบสกปรกเช่นเดิม
18. กระดาน
18. อยากให้เก็บเสียงมากกว่านี้ ไม่อยากให้มีเสียงรบกวน จากภายนอกเลย
18. ปรับปรุงเรื่องกระดานให้ดูใหญ่ขึ้นเพื่อจะให้นักเรียนได้เห็นชัดเจนขึ้น ถ้ามีคนสายตาสั้น ก็จะต้องขึ้นไปนั่งหน้า
18. ควรจะมีอากาศผ่านมากกว่านี้ หรือควรจะมีพัดลมที่ดี กระดานควรจะมีไว้บ้าง

18. ควรจะมีการปรับปรุงเรื่องพัดลมเพราะบางตัวเปิดติดบางตัวเปิดไม่ติด กระดานไม่ค่อยพร้อมเท่าไร
18. - เรื่องพัดลม แอร์ และกระดานเรียน
18. ที่ทางคับแคบ อึดอัด
18. ควรมีกระดานดำขนาดใหญ่ ควรจะติดกระจกอย่างหนาๆ ควรจะมีโต๊ะเรียนขนาดกว้างมากขึ้น แต่ร้อนไปหน่อย ยิ่งต้อนพักกลางวัน ร้อนมาก

CASE-04 ข้อ 17 ท่านรู้สึกประทับใจอะไรในห้องเรียนนี้บ้าง (ถ้ามี)

17. กระดานดำ
17. มีเพื่อนที่ดี สามารถให้คำปรึกษากับเราได้
17. เย็นดีค่ะ
17. ลมเย็นดีสบาย ๆ
17. ลมเย็นประทับใจที่มีแสงสว่างพอ
17. ลมเย็นสบาย
17. สบายไม่เครียด สบายหูสบายตา
17. ลมเย็นสบาย
17. พึงพอใจ

CASE-04 ข้อ 18 ท่านอยากให้ภายในห้องเรียนนี้มีการปรับปรุงอะไรบ้าง

18. ทุกอย่างเลยสกปรกมากๆ เลยอ่ะ
18. น่าจะมีพัดลมสัก 4 ตัวเอาแบบติดผนังเลยนะจ๊ะ
18. มีการติดแอร์ มีมุมสวยๆ
18. จัดระเบียบห้องให้สะอาดและอยากให้มีพัดลมในห้องเพื่อระบายความร้อนภายในห้อง
18. อยากให้ห้องนี้ติดแอร์ เหมือนกับอาคาร 2
18. กระดานดำและโต๊ะเรียน (ติดพัดลมด้วยก็ดี)
18. ทำให้ดูดีมากกว่านี้ค่ะ
18. ทำความสะอาดภายในห้อง
18. สกปรก
18. ติดแอร์และควรจะมีไมค์ที่ใช้ในการพูดเพื่อที่จะให้นักเรียนในห้องนั้นได้ยิน
18. ไม่ต้องมีการปรับปรุงใดๆ ทั้งสิ้น

CASE-05 ข้อ 17 ท่านรู้สึกประทับใจอะไรในห้องเรียนนี้บ้าง (ถ้ามี)

17. สภาพอากาศเย็นทำให้มีความรู้สึกดีและอยากเรียน
17. ความเย็น แสงสว่าง
17. มีอุณหภูมิที่เหมาะสม สภาพเสียงที่ดี
17. ห้องมีความทันสมัยนวัตกรรมเป็นเลิศ
17. ในห้องเรียนก็เย็นสบายดี
17. ชอบกระดานไวท์บอร์ดอันใหม่ที่ไม่ทำให้มีฝุ่นในห้องเรียนและชอบระบบไฟในห้องเรียน อันใหม่ทำให้สว่างขึ้นกว่าเดิม
17. ประทับใจที่มีเครื่องปรับอากาศ และป้องกันเสียงจากเครื่องบินได้
17. ก็ประทับใจที่ห้องเรียนเย็นสบาย
17. มีเครื่องปรับอากาศและมีกระจกกันความร้อนได้
17. ห้องเรียนเย็นสบายไม่ได้ยินเสียงรบกวนภายนอก
17. เย็นดี
17. เรามีความสะดวกสบายในการเรียนมากยิ่งขึ้น

CASE-05 ข้อ 18 ท่านอยากให้ภายในห้องเรียนนี้มีการปรับปรุงอะไรบ้าง

18. โต๊ะเก้าอี้
18. ประตูห้องและบอร์ดข้างๆ ไวท์บอร์ด
18. ประตู โต๊ะเก้าอี้
18. สภาพของกลิ่นและฝุ่นที่ยังก่อสร้างไม่เสร็จ
18. อยากให้โรงเรียนเปลี่ยนโต๊ะเก้าอี้ให้
18. ประตูห้องพื้นห้องเป็นรอยสีหยด
18. ประตูห้อง พื้นห้องเป็นรอยขีด
18. ห้องน้ำ
18. โต๊ะเรียน
18. โต๊ะเรียนและเก้าอี้
18. โต๊ะเรียนสกปรกไม่เพียงพอ
18. ปรับปรุงเก้าอี้เรียน
18. โต๊ะเรียน

CASE-06 ข้อ 17 ท่านรู้สึกประทับใจอะไรในห้องเรียนนี้บ้าง (ถ้ามี)

17. พอใจแค่บรรยากาศไม่พอใจโต๊ะเรียนและสว่างเกินไป
17. ทุกอย่างเว้นโต๊ะและแอร์
17. ความสะอาดของห้องเรียน
17. สวยดี สะอาด เย็นสบาย
17. ห้องสวยแต่ยังทำอุปกรณ์ห้องยังไม่ครบ
17. แอร์เย็นสบายดี รอบๆ ห้องมองดูสะอาดตา
17. รู้สึกประทับใจในความสะอาดของห้องเรียน
17. – ไม่มีเสียงรบกวนจากเครื่องบิน
    - มีอากาศที่เย็นสบาย
    - มองรอบห้องแล้วสบายตา
    - เสียงมีการสะท้อน และก้องมากแม้จะพูดเบาๆ
17. รู้สึกสบายมาก
17. แอร์เย็นดี
17. ห้องนี้ติดแอร์ ทาสีใหม่ รู้สึกสบายและอยากเรียนมากขึ้น
17. อากาศในห้องเย็นกำลังดี
17. อากาศในห้องกำลังดี
17. สวยดีเรียนสบาย

CASE-06 ข้อ 18 ท่านอยากให้ภายในห้องเรียนนี้มีการปรับปรุงอะไรบ้าง

18. แสงสว่างและโต๊ะเรียน
18. อยากให้ปรับปรุงเรื่องแอร์อย่างเดียว
18. อยากให้ติดทีวี
18. ปลั๊กไฟน่าจะเปลี่ยนเป็นแบบ 3 รู เพราะเอาโน้ตบุ๊คมา มันเสียบปลั๊กไม่ได้ สัญญาณ Wi-Fi น่าจะแรงกว่านี้ ท่อแอร์สายไฟหน้าห้องควรจะมีรางไฟ ใช้รางไฟจะดูดีมาก
18. โทรทัศน์ไม่มี ประตูไม่มี
18. หน้าต่างปิดล็อค ไม่ได้ประตูปรับเปลี่ยนใหม่ซึ่งมันก็ปิดไม่ได้ ปล. (เหม็นกลิ่นสีนิดนึง)
18. ปรับปรุงประตู
18. - บอร์ดที่อยู่ด้านหน้าข้างกระดานควรมีการปรับเปลี่ยน เปลี่ยนใหม่ เพราะอันเก่าพังแล้ว
    - ประตูห้องควรที่จะได้รับการเปลี่ยนได้แล้ว

- ควรมีเครื่องบอกสัญญาณให้นักเรียนได้รู้ว่าหมดเวลาเรียนหรือยังและตอนนี้กี่โมงแล้ว
- ทำอย่างไรดีเมื่อกระดานมีการสะท้อนของแสงไฟ ทำให้การพูดจากทางด้านข้างของห้องที่อยู่แถวหน้ามองไม่ค่อยเห็นจะปิดไฟก็มืดไม่ดี

18. ควรจะลดแสงมากกว่านี้เพราะสว่างมากเกินไปและโต๊ะเก้าอี้ไม่เหมาะสมกับห้องเรียน
18. ควรมีโต๊ะเก้าอี้ใหม่
18. โต๊ะเก้าอี้ ควรมีใหม่
18. ห้องยังไม่ค่อยเก็บเสียงเวลามีคนเดินผ่านแล้วเวลาพูดกันในห้องเสียงดังรู้สึกว่าเสียงมันก้องและดังมาก
18. ประตูพื้นห้อง
18. หน้าต่าง ประตู
18. หน้าต่าง ประตู
18. ประตูก็ปิดไม่ได้ทำให้แอร์ไม่เย็นเท่าที่ควร หน้าต่างไม่ใสทำให้ตอนดูออกไปเห็นฝุ่นไม่ชอบเลย
18. หน้าต่างเสีย ประตู
18. หน้าต่าง ประตู
18. - TV
    - เซ็ดหน้าต่างให้ด้วยมันจะเพิ่มทิวทัศน์ในการมอง
    - หน้าต่างควรที่จะเปิดและปิดได้ง่ายไม่ใช่ต้องออกแรงในการปิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

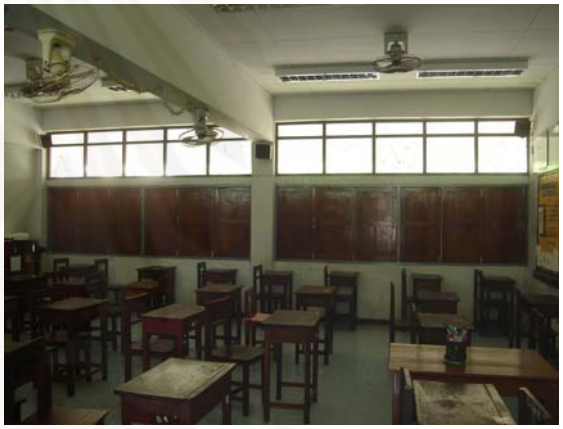
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพโรงเรียนที่สำรวจ

1. โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
2. โรงเรียนจิตรลดา
3. โรงเรียนเซนต์ดอมินิก
4. โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
5. โรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย
6. โรงเรียนราชินี
7. โรงเรียนสตรีวิทยา
8. โรงเรียนสาธิตแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
9. โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรโรฒ ปทุมวัน
10. โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรโรฒ ประสานมิตร
11. โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย
12. โรงเรียนอัสสัมชัญคอนแวนต์

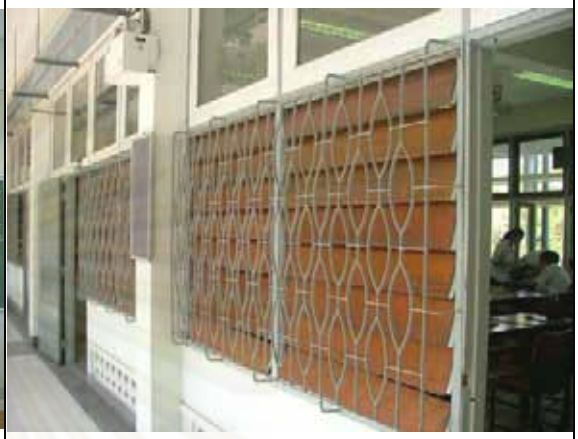
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย	โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย	โรงเรียนจิตรลดา
โรงเรียนจิตรลดา	โรงเรียนเซนต์ดอมินิก

โรงเรียนเซนต์ดอมินิก 	โรงเรียนเซนต์ดอมินิก
โรงเรียนเซนต์ดอมินิก 	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา 
โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา 	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

โรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย 	โรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย
โรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย 	โรงเรียนราชินี
โรงเรียนราชินี 	โรงเรียนราชินี

โรงเรียนสตรีวิทยา 	โรงเรียนสตรีวิทยา
โรงเรียนสตรีวิทยา 	โรงเรียนสตรีวิทยา
โรงเรียนสาธิตแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม 	โรงเรียนสาธิตแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม

โรงเรียนสาธิตแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม	โรงเรียนสาธิตแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
	
โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรโรฒ ปทุมวัน	โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรโรฒ ปทุมวัน
โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรโรฒ ปทุมวัน	โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรโรฒ ประสานมิตร

โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรโรฒ ประสานมิตร	โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรโรฒ ประสานมิตร
โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย	โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย
โรงเรียนอัสสัมชัญคอนแวนต์	โรงเรียนอัสสัมชัญคอนแวนต์

ภาคผนวก ฉ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

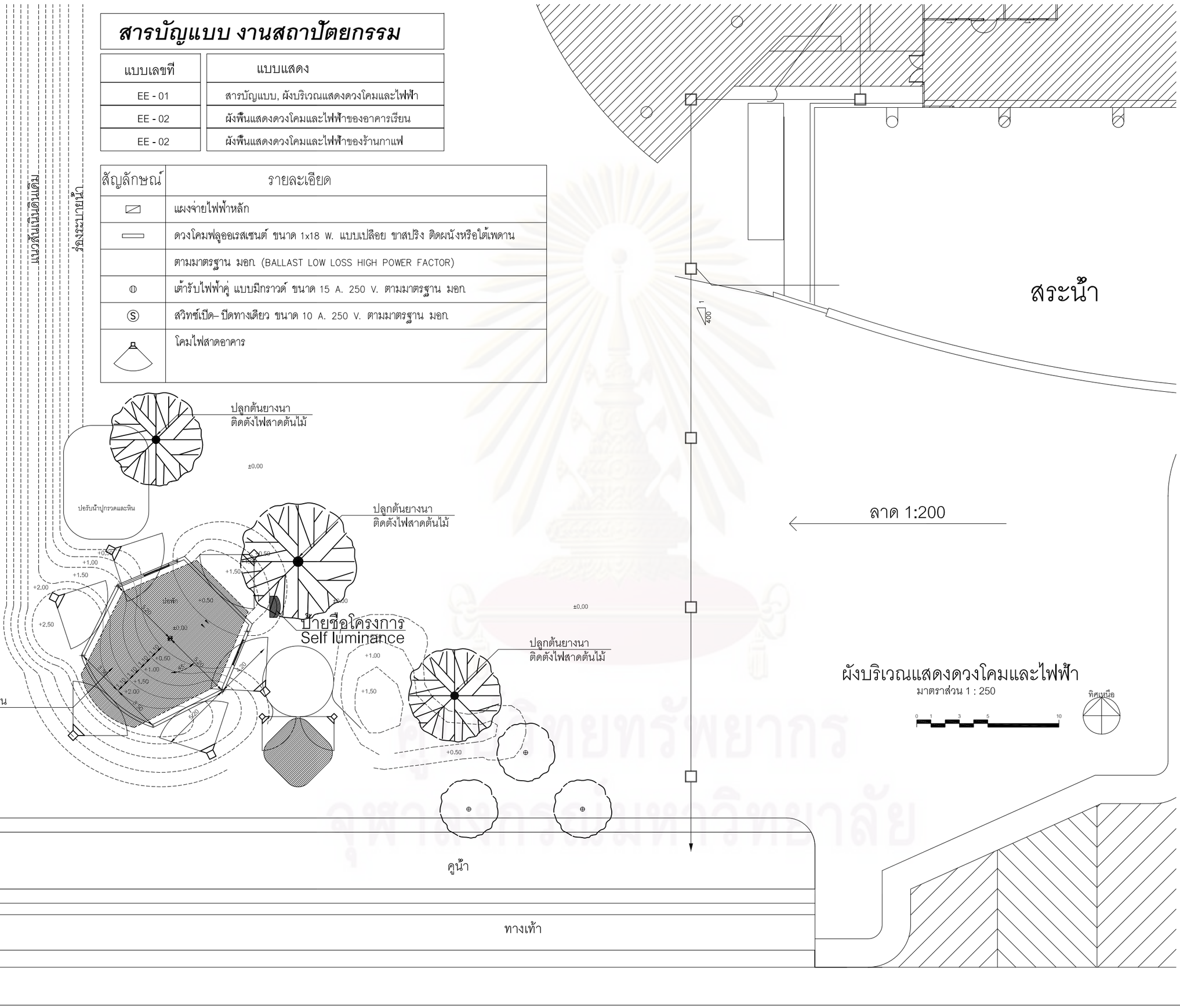
<u>กรณีศึกษา 1</u> ห้องเรียนธรรมชาติที่ คณะสถาปัตยรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

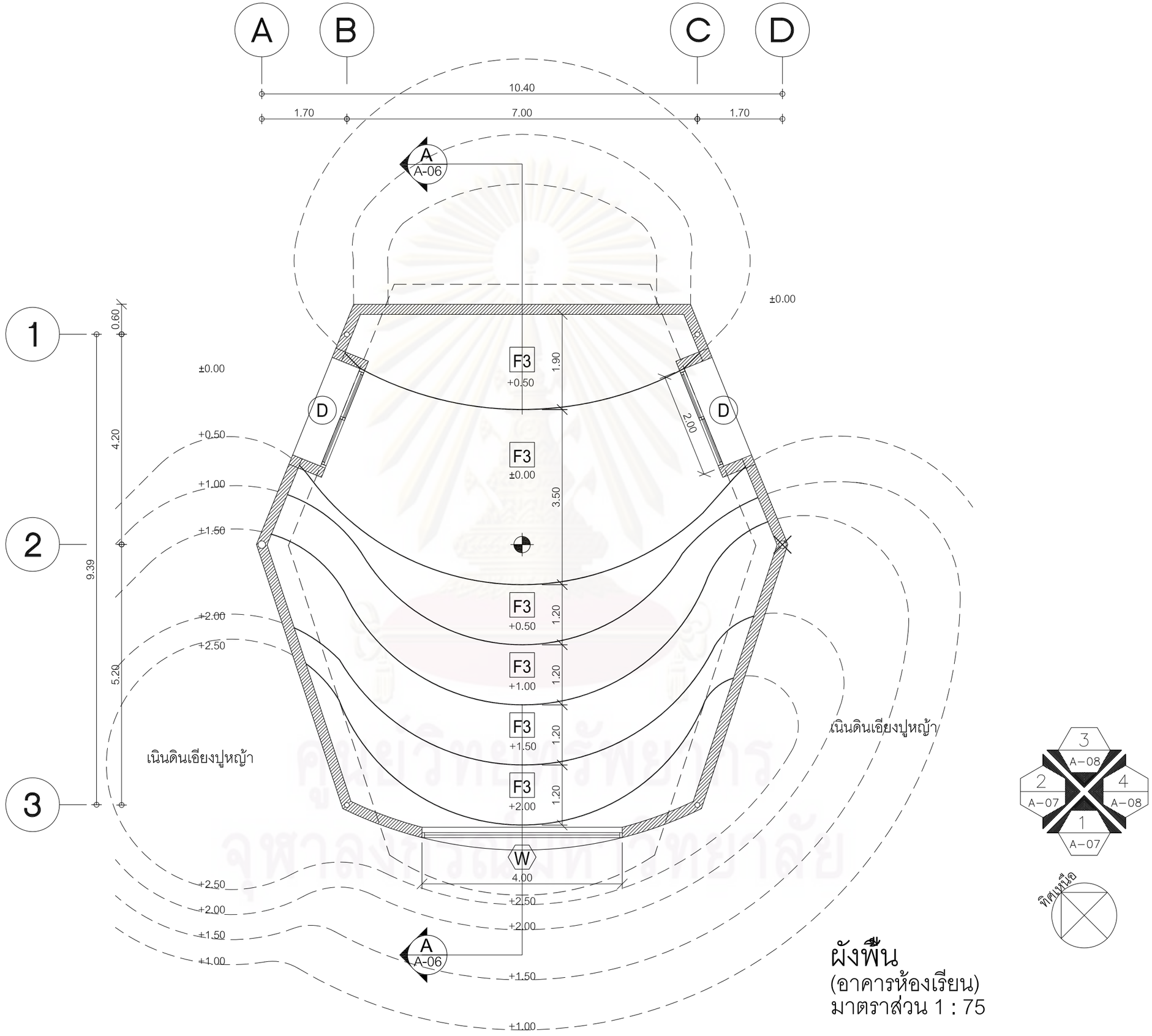
สารบัญแบบ งานสถาปัตยกรรม

แบบเลขที่	แบบแสดง
EE - 01	สารบัญแบบ, ผังบริเวณแสดงดวงโคมและไฟฟ้า
EE - 02	ผังพื้นแสดงดวงโคมและไฟฟ้าของอาคารเรียน
EE - 02	ผังพื้นแสดงดวงโคมและไฟฟ้าของร้านกาแฟ

สัญลักษณ์	รายละเอียด
	แผงจ่ายไฟฟ้าหลัก
	ดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 1x18 W. แบบเปลือย ขาสปริง ติดผนังหรือใต้เพดาน
	ตามมาตรฐาน มอก. (BALLAST LOW LOSS HIGH POWER FACTOR)
Ⓓ	เต้ารับไฟฟ้าคู่ แบบมีกราวด์ ขนาด 15 A. 250 V. ตามมาตรฐาน มอก.
Ⓢ	สวิทช์เปิด-ปิดทางเดียว ขนาด 10 A. 250 V. ตามมาตรฐาน มอก.
	โคมไฟสาดอาคาร

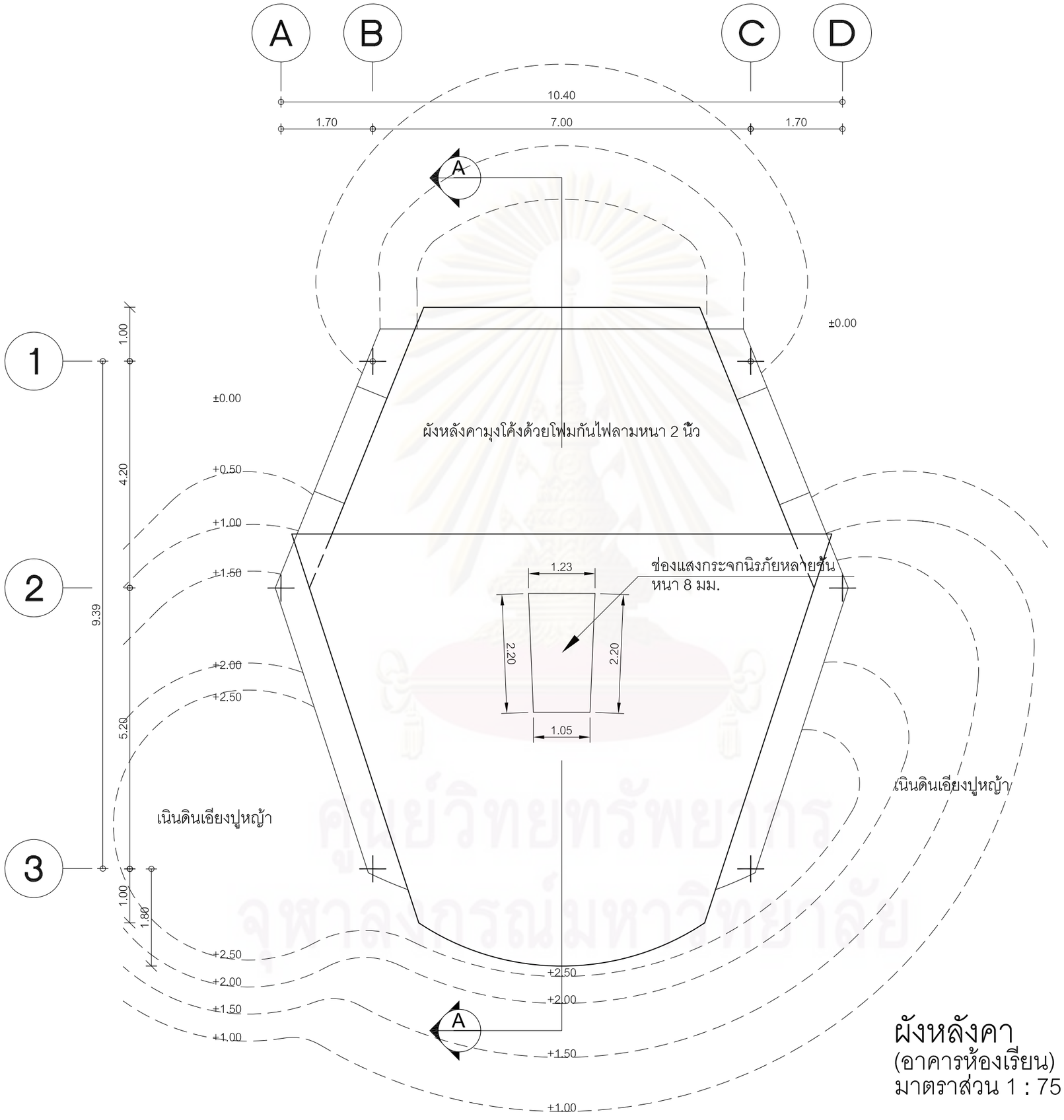


307



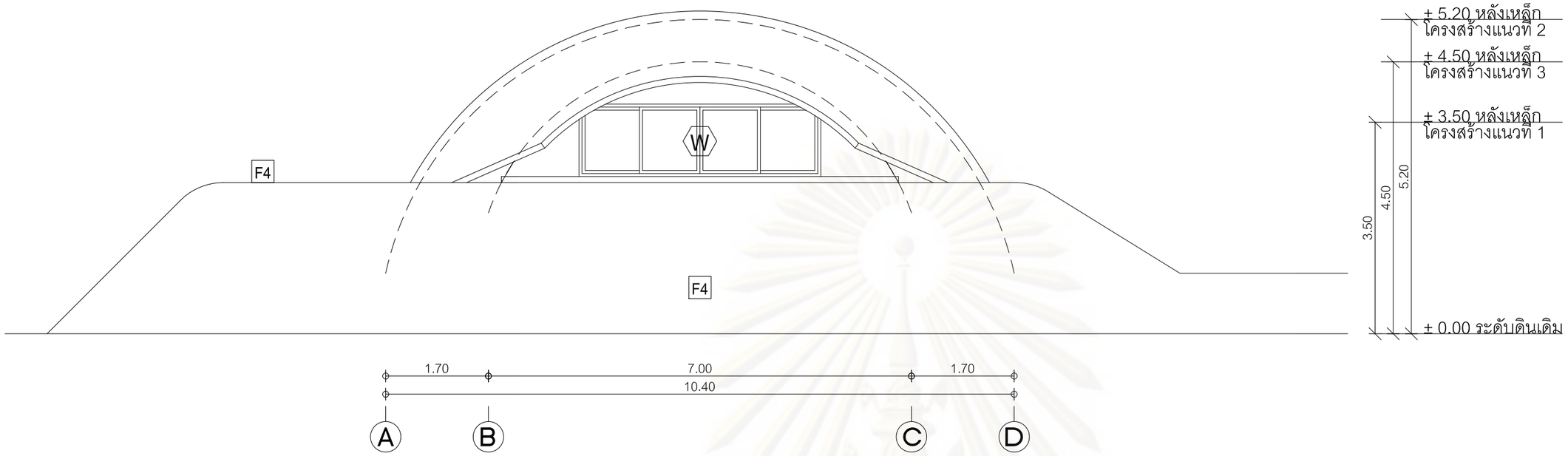
ผังพื้น
(อาคารห้องเรียน)
มาตราส่วน 1 : 75

308



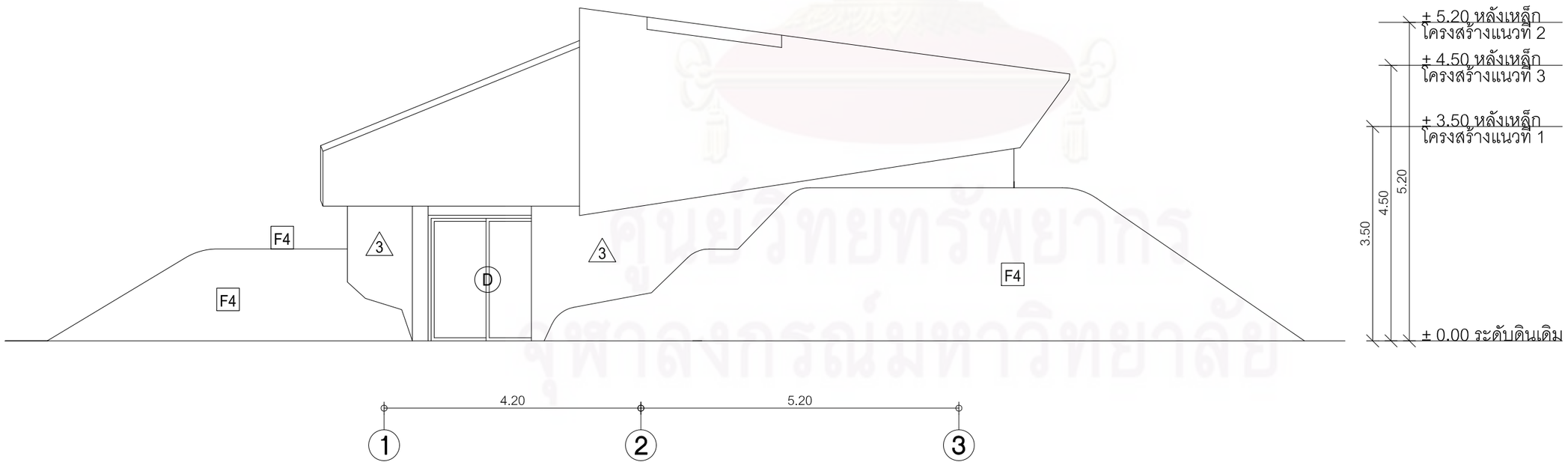
ผังหลังคา
(อาคารห้องเรียน)
มาตราส่วน 1 : 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปด้าน 1 (อาคารเรียน)

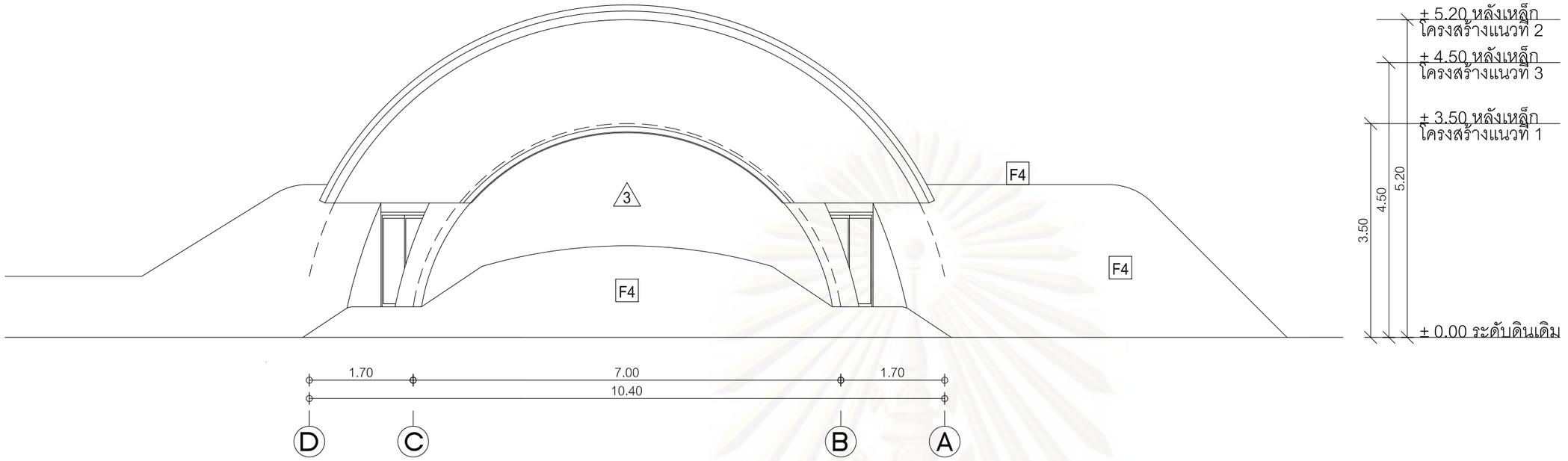
มาตราส่วน 1 : 75



รูปด้าน 2 (อาคารเรียน)

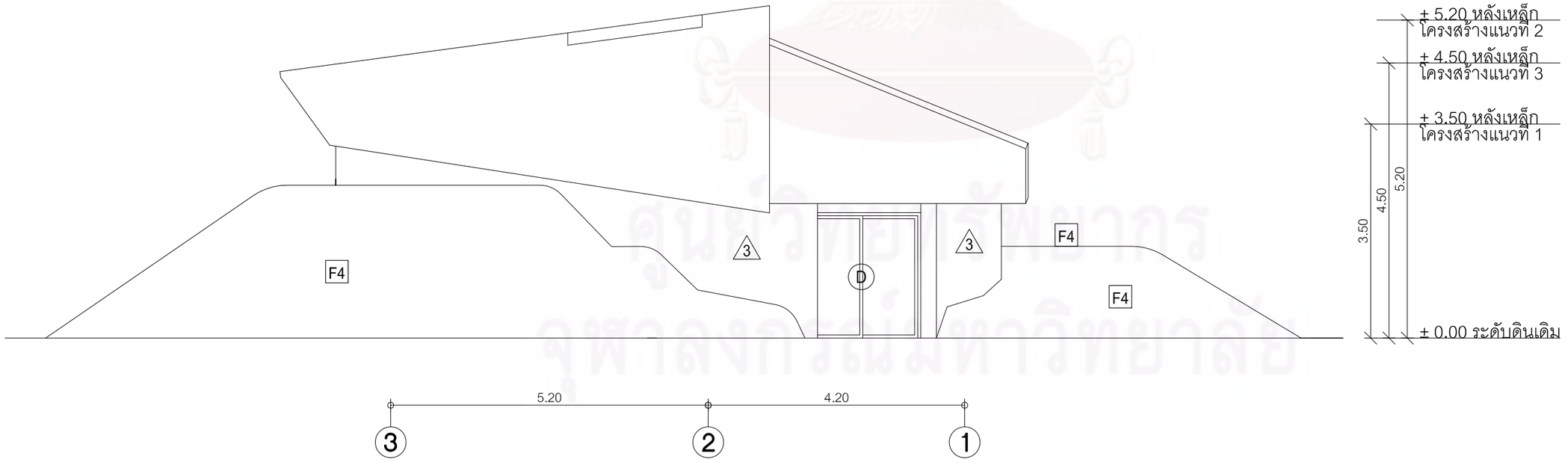
มาตราส่วน 1 : 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปด้าน 3 (อาคารเรียน)

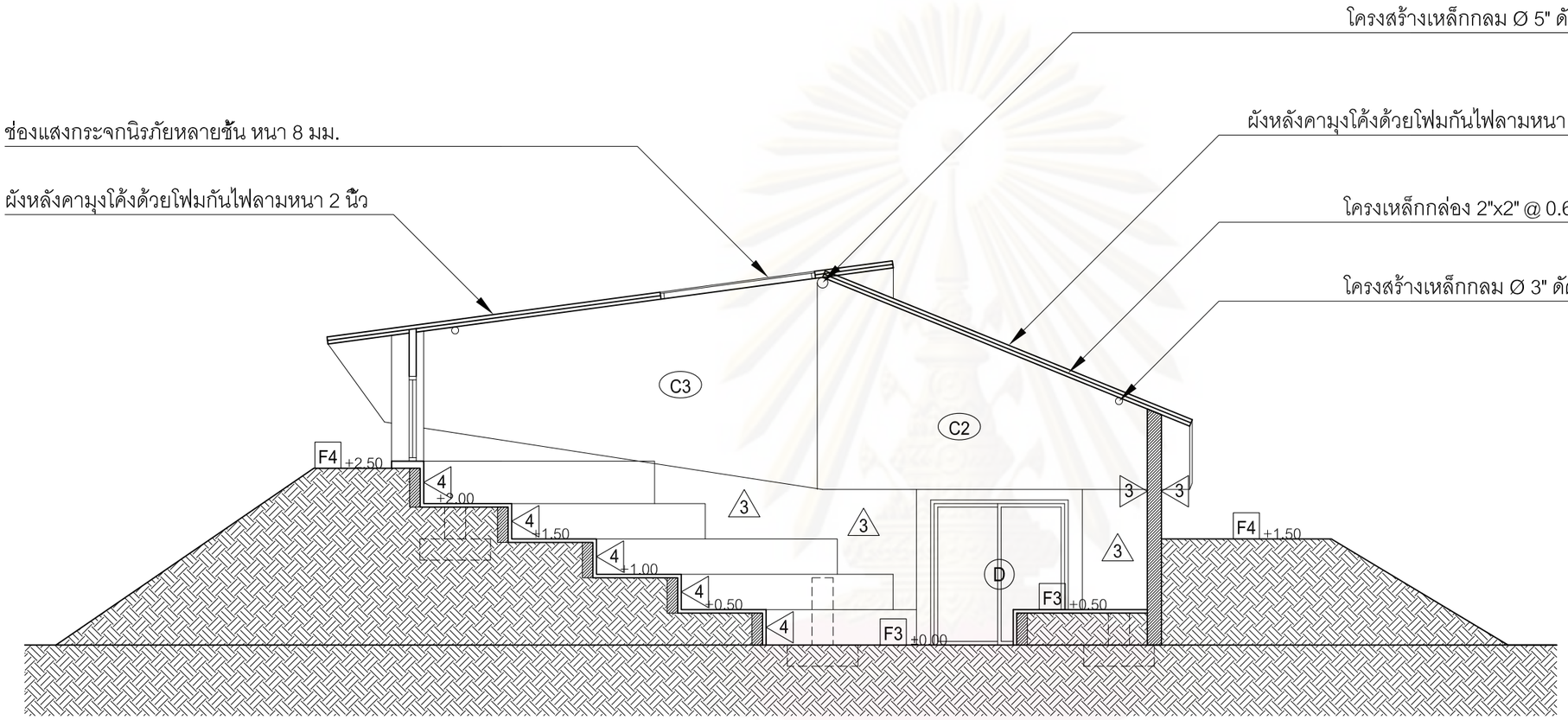
มาตราส่วน 1 : 75



รูปด้าน 4 (อาคารเรียน)

มาตราส่วน 1 : 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

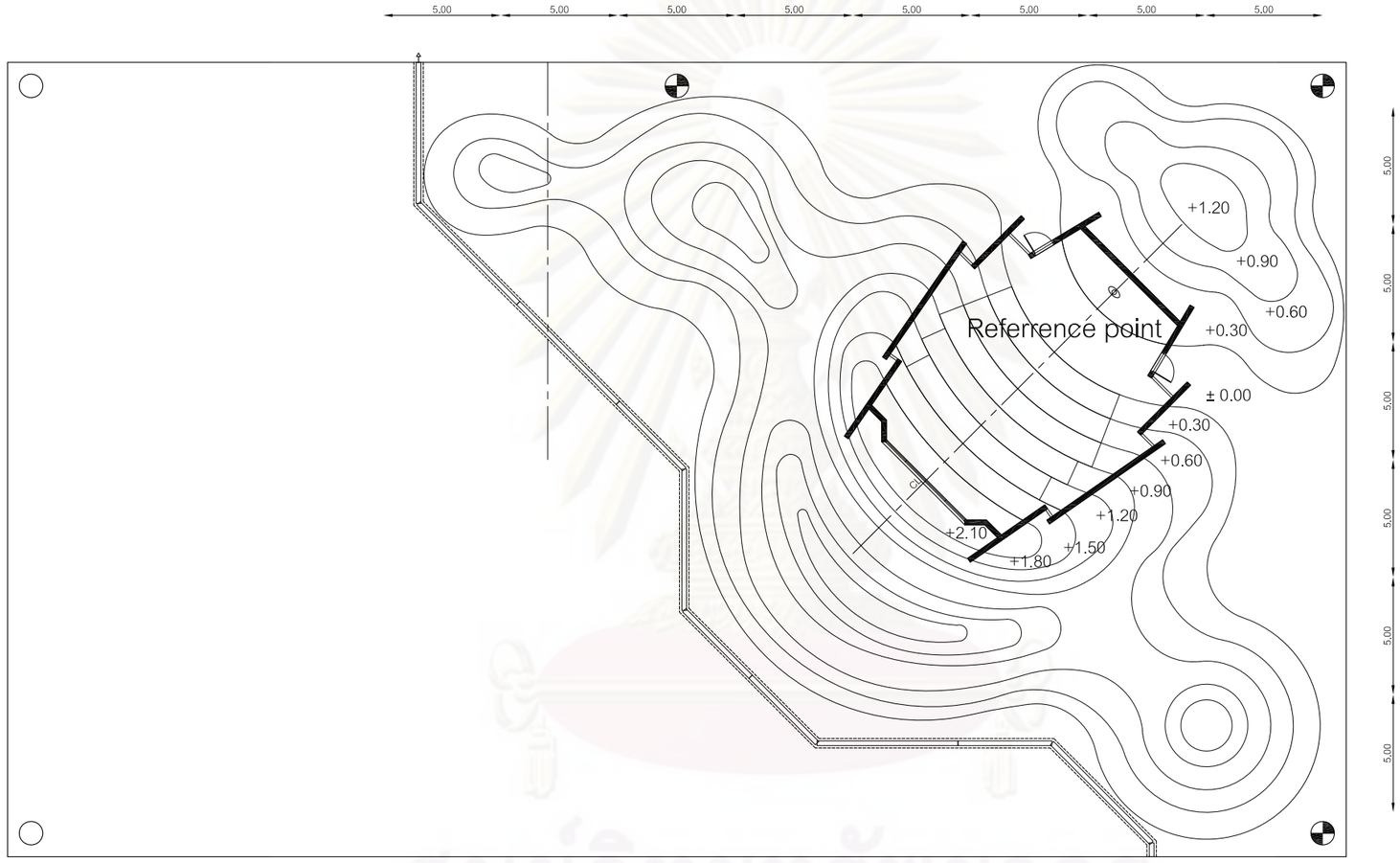


รูปตัด A-A
(อาคารห้องเรียน)
มาตราส่วน 1 : 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>กรณีศึกษา 2</u> ห้องเรียนธรรมชาติที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
วิทยาเขตบางคล้า อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

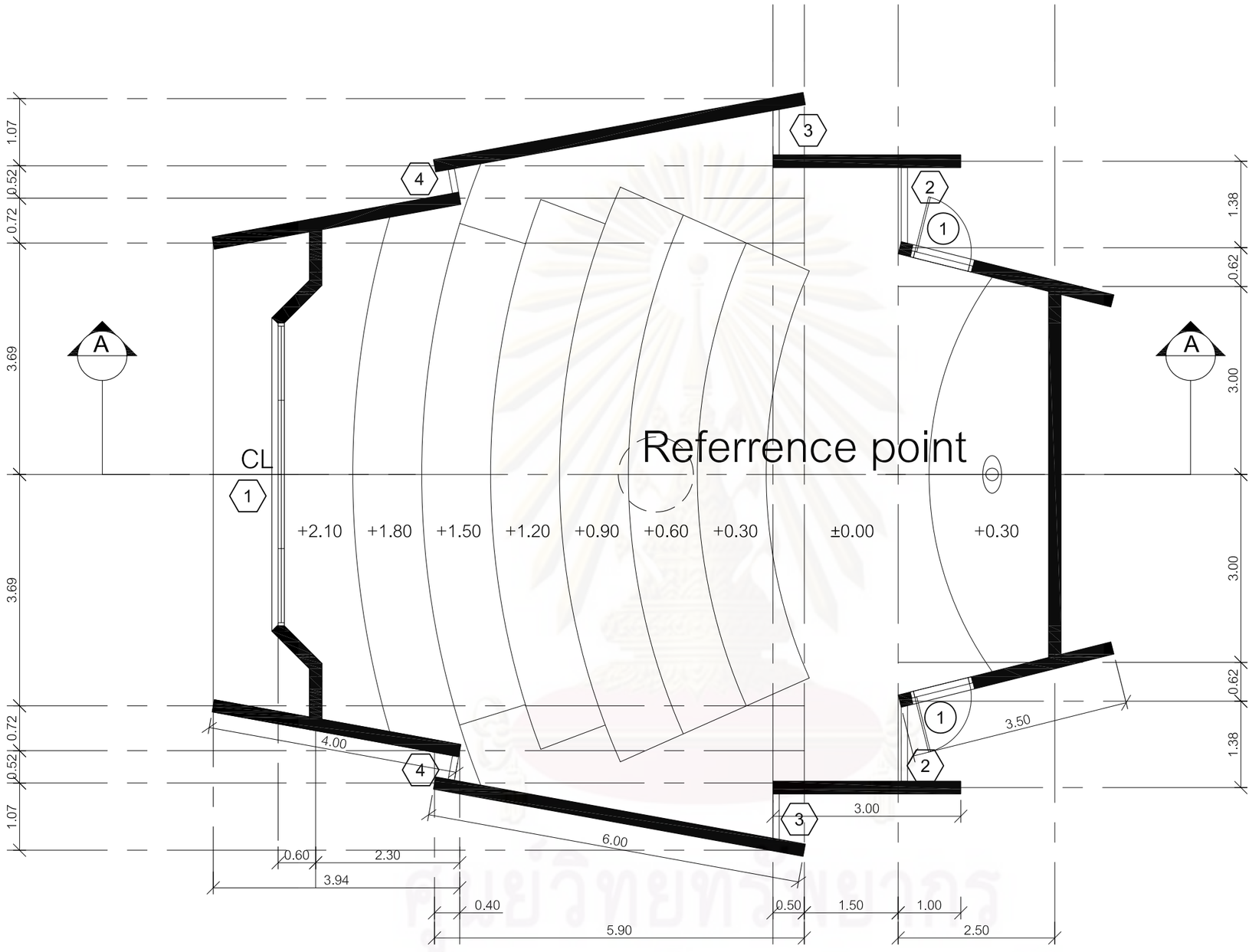
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ผังบริเวณ

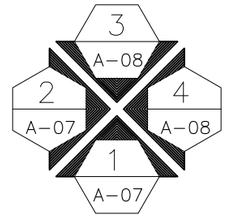
มาตราส่วน 1 : 250

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



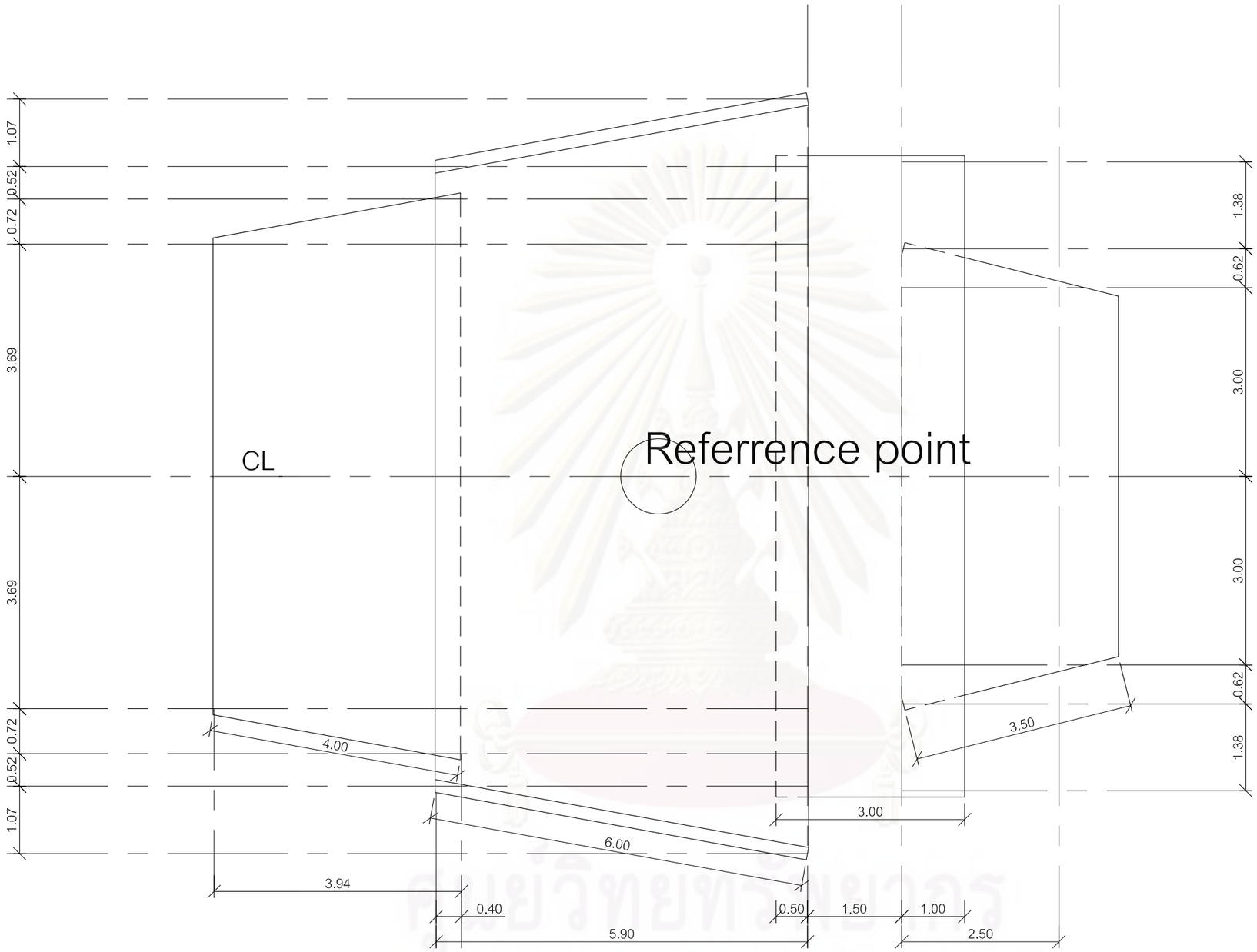
ผังพื้น

มาตราส่วน 1 : 75



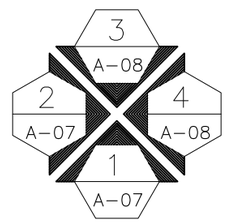
315

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

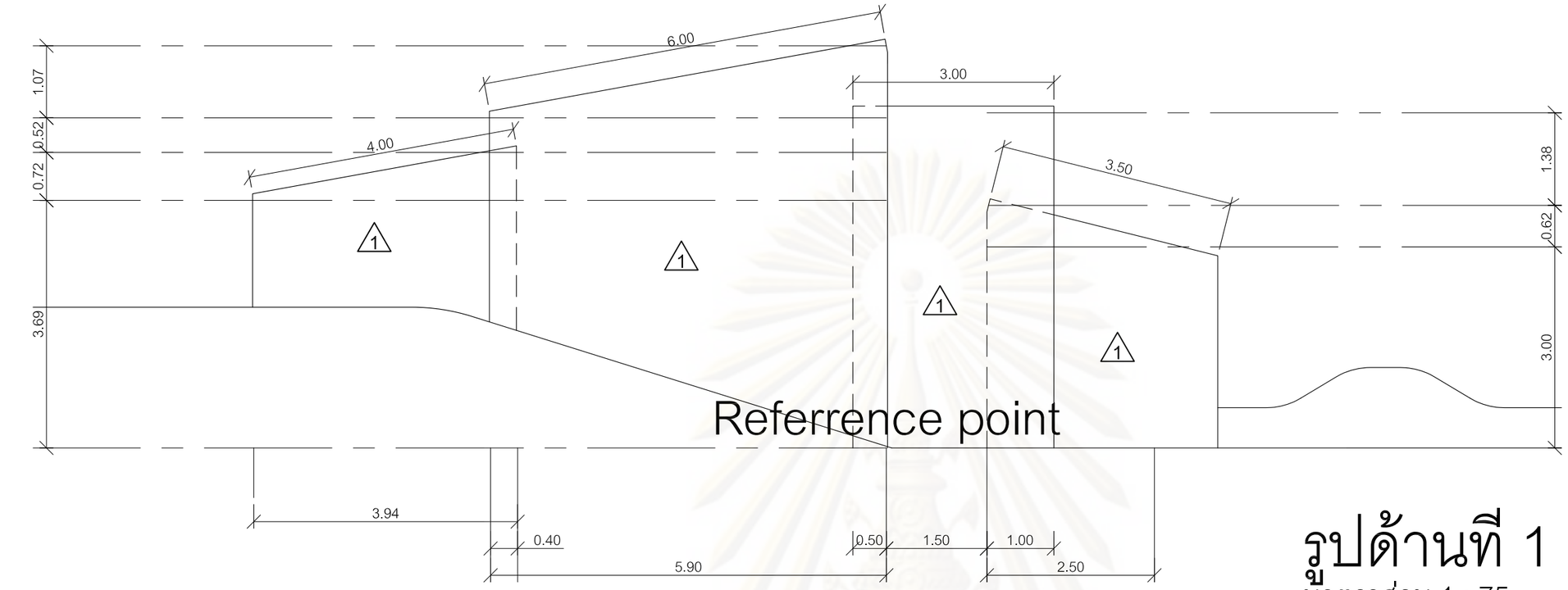


ผังหลังคา

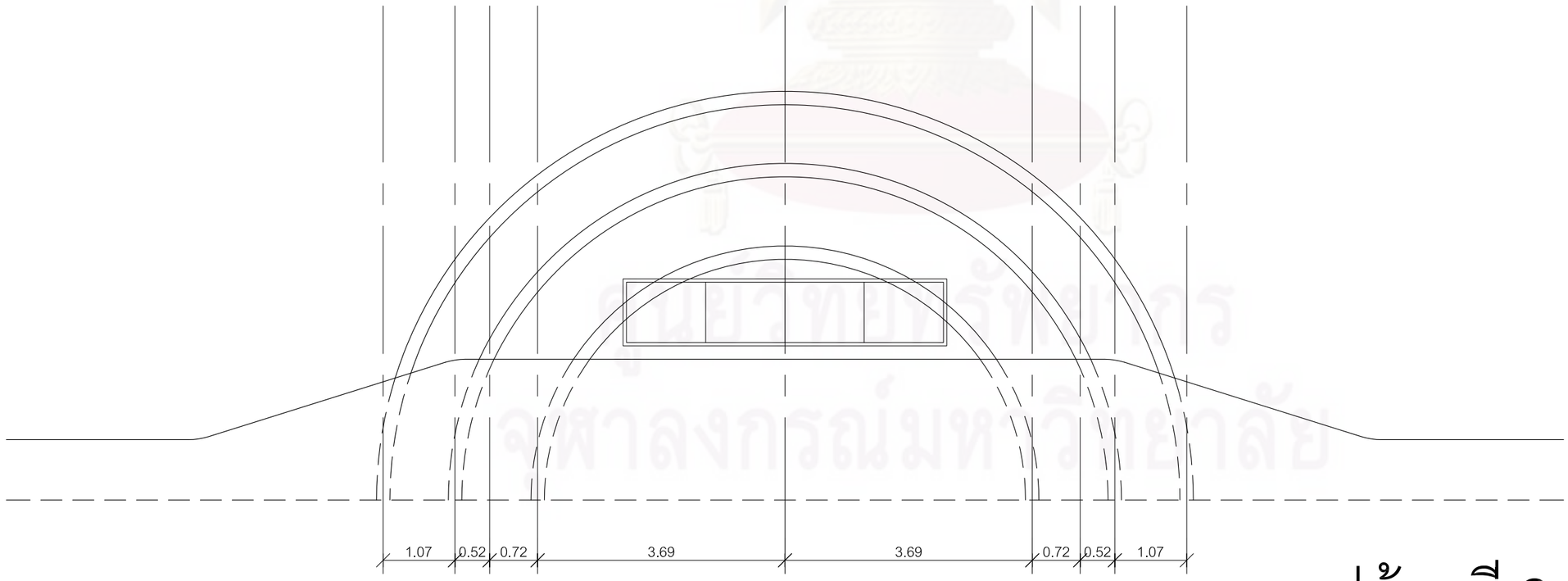
มาตราส่วน 1 : 75



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

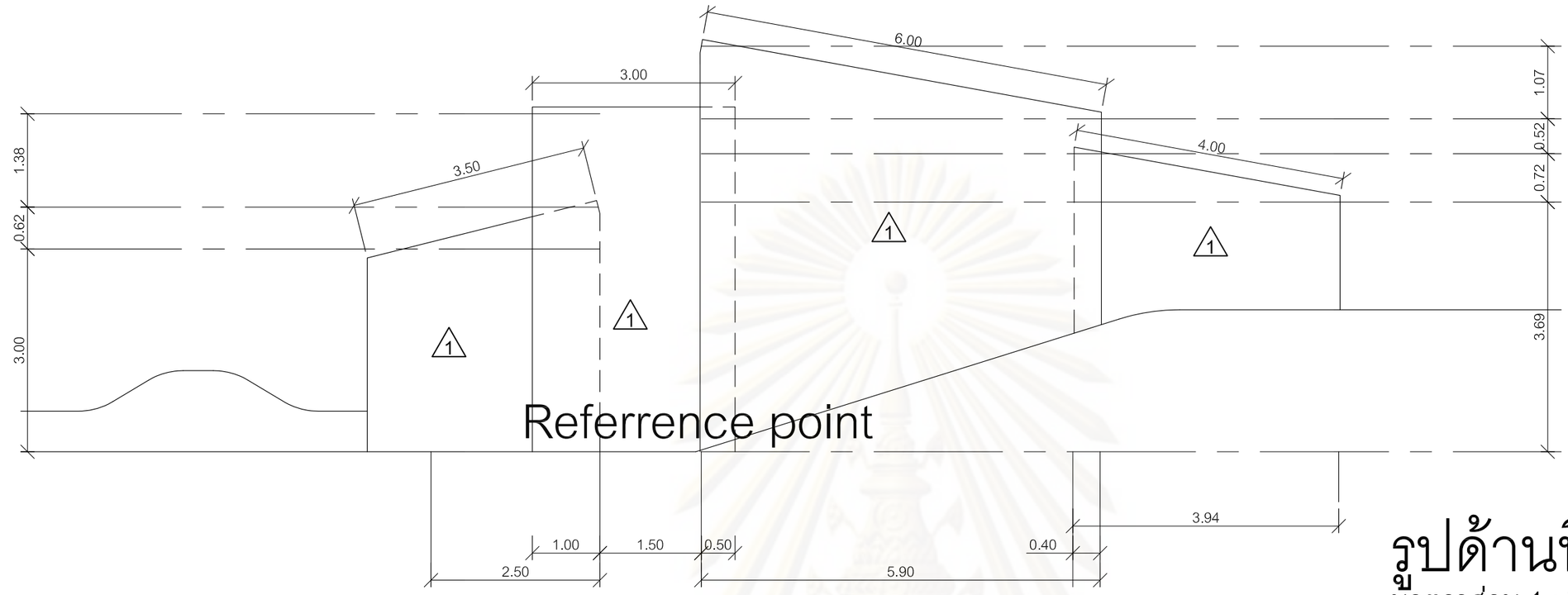


รูปด้านที่ 1
มาตราส่วน 1 : 75

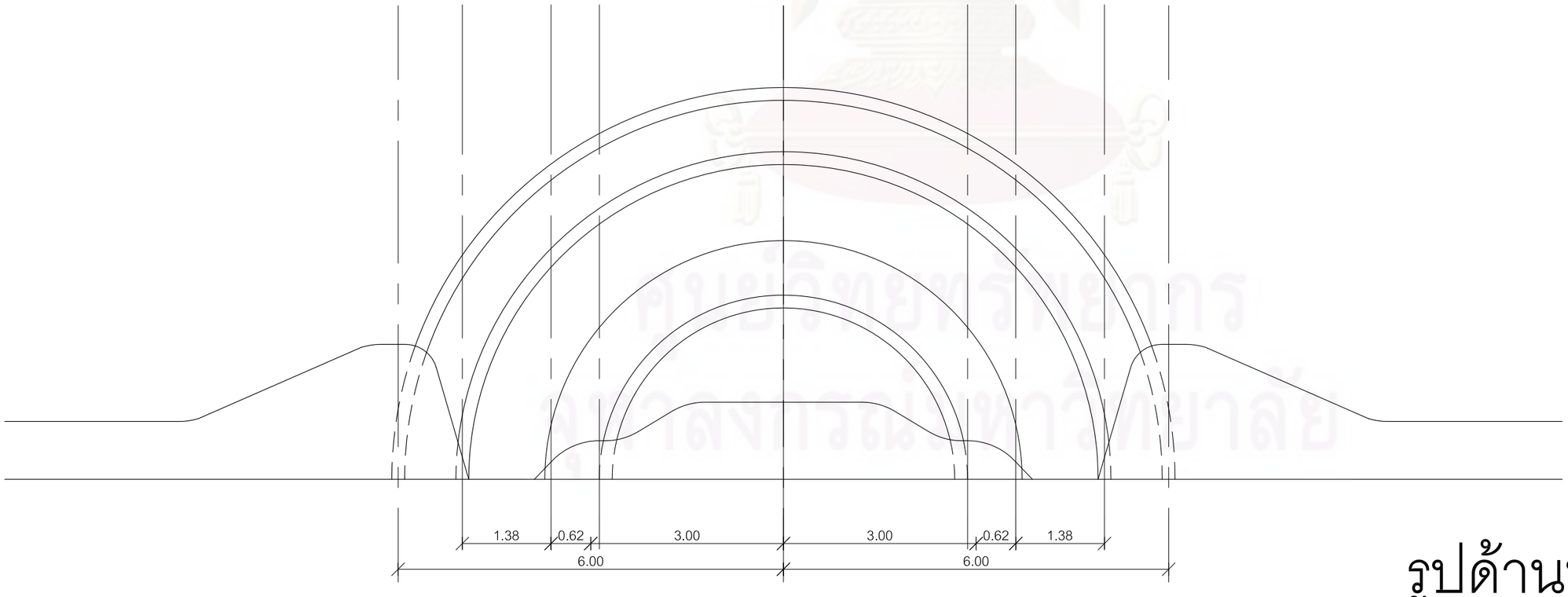


รูปด้านที่ 2
มาตราส่วน 1 : 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

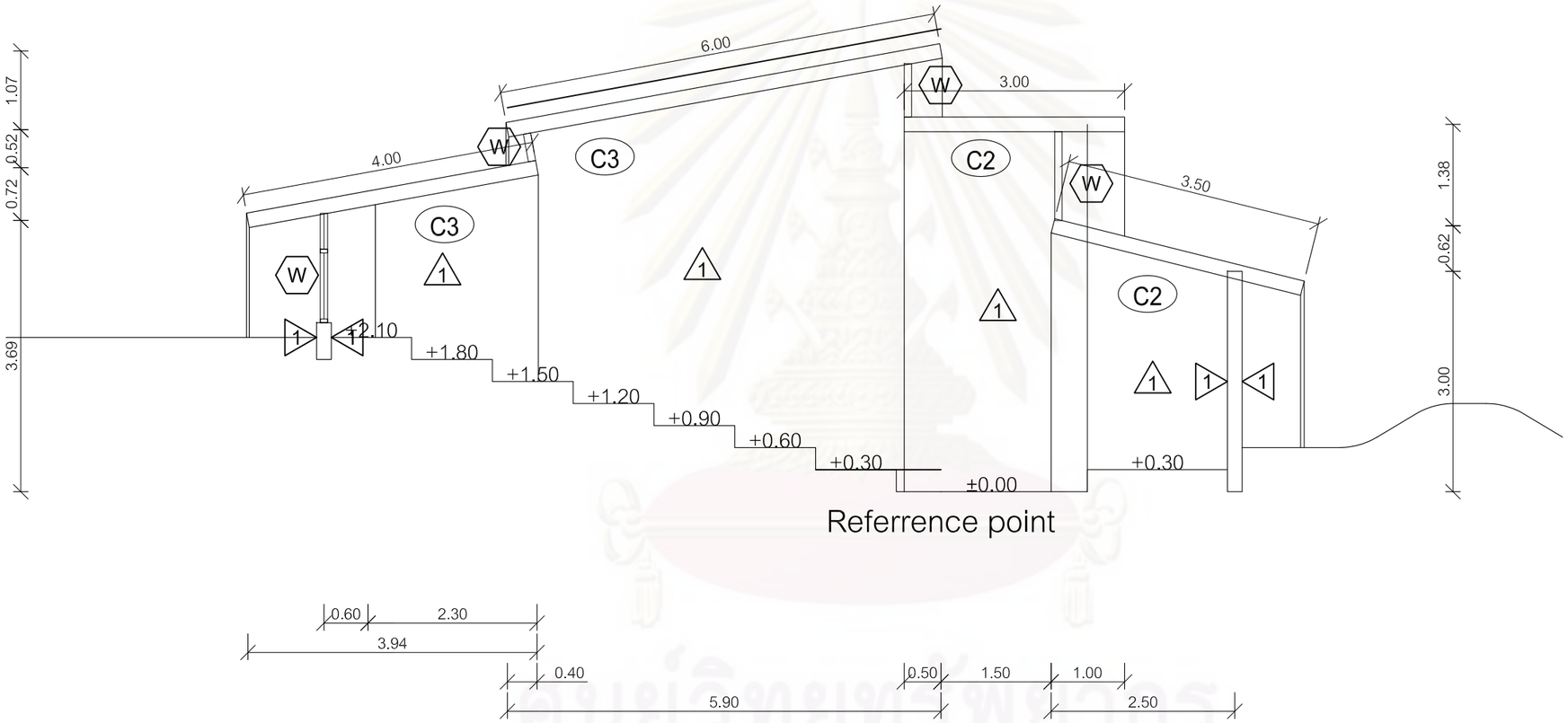


รูปด้านที่ 3
มาตราส่วน 1 : 75



รูปด้านที่ 4
มาตราส่วน 1 : 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



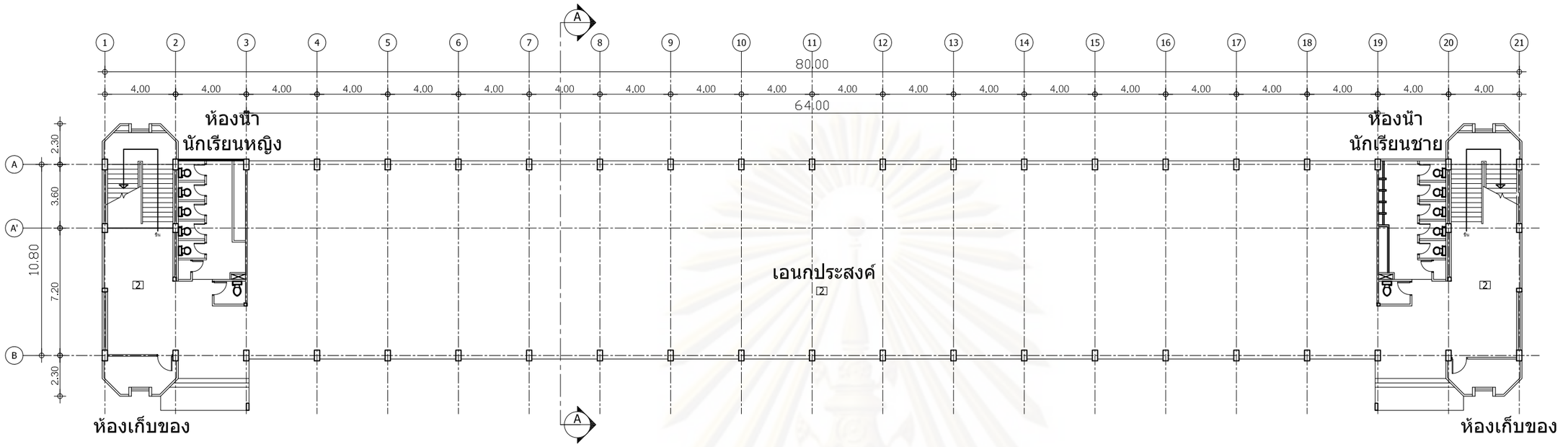
รูปตัด A-A

มาตราส่วน 1 : 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

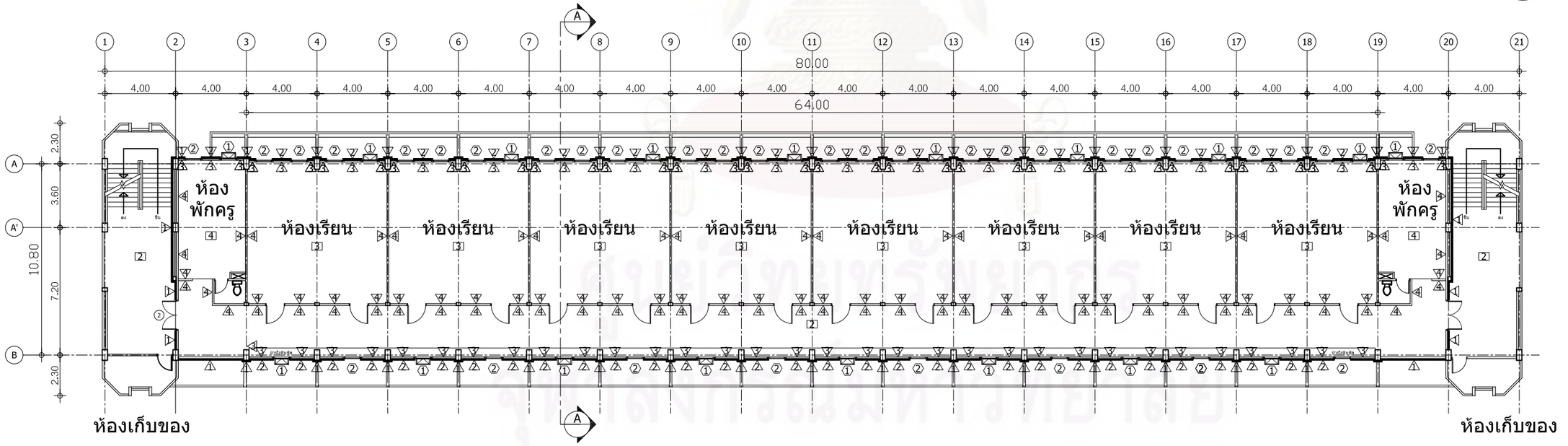
<u>กรณีศึกษา 3</u> ห้องเรียนที่ โรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม
ถนนบางนา-ตราด กม. 16 อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



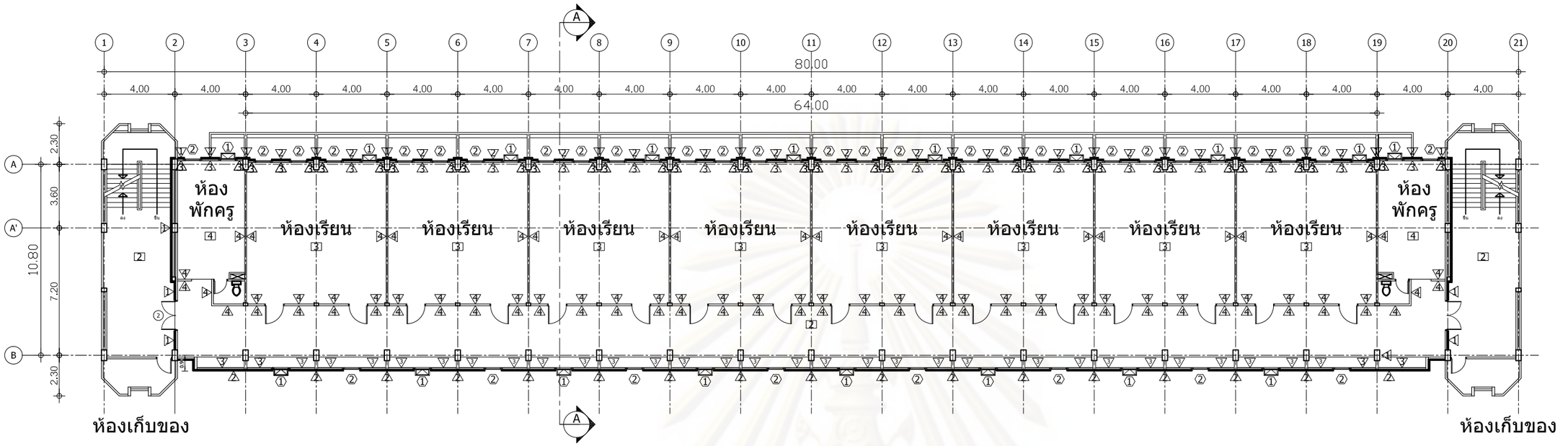
ผังพื้นอาคาร 2 ชั้นที่ 1

มาตราส่วน 1:250



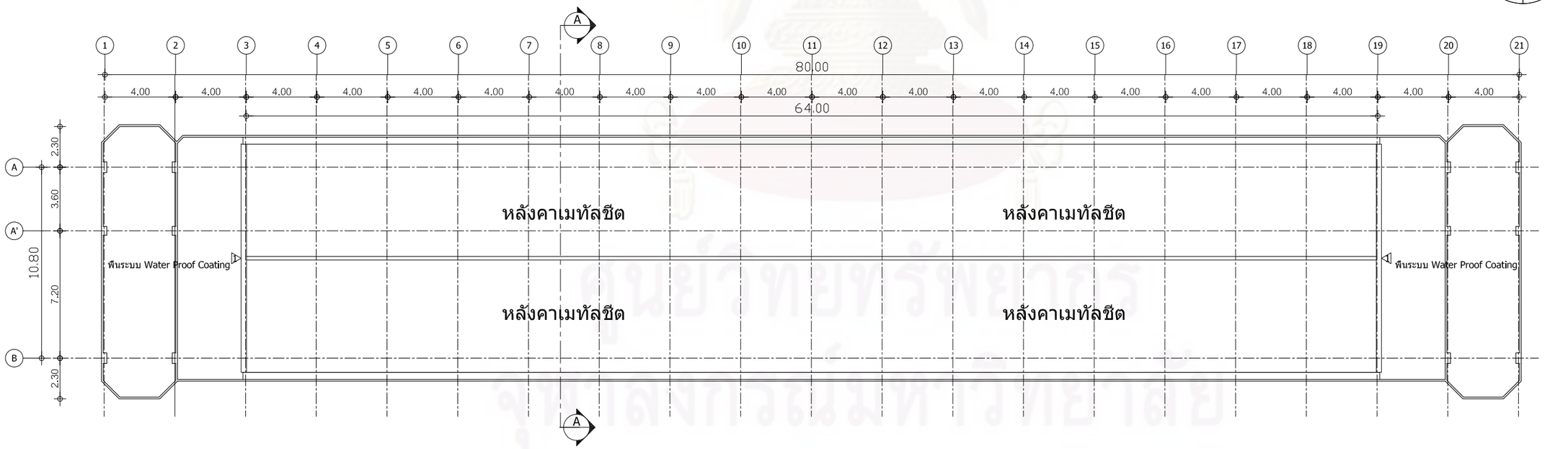
ผังพื้นอาคาร 2 ชั้นที่ 2

มาตราส่วน 1:250



ผังพืนอาคาร 2 ชั้นที 3-4

มาตราส่วน 1:250



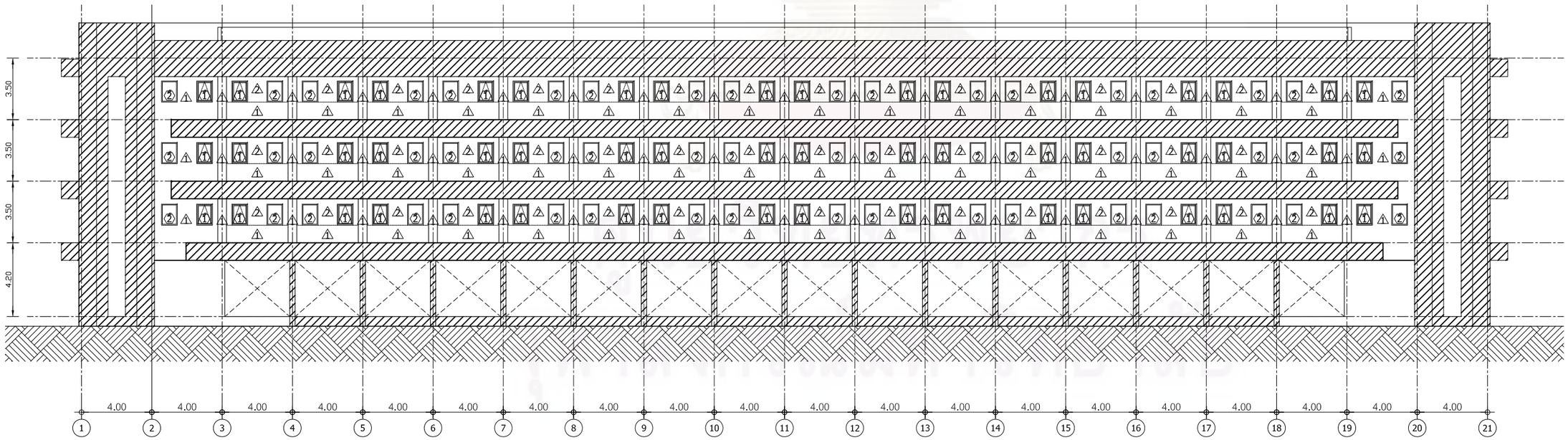
ผังหลังคาอาคาร 2

มาตราส่วน 1:250

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปด้านทิศใต้ อาคาร 2

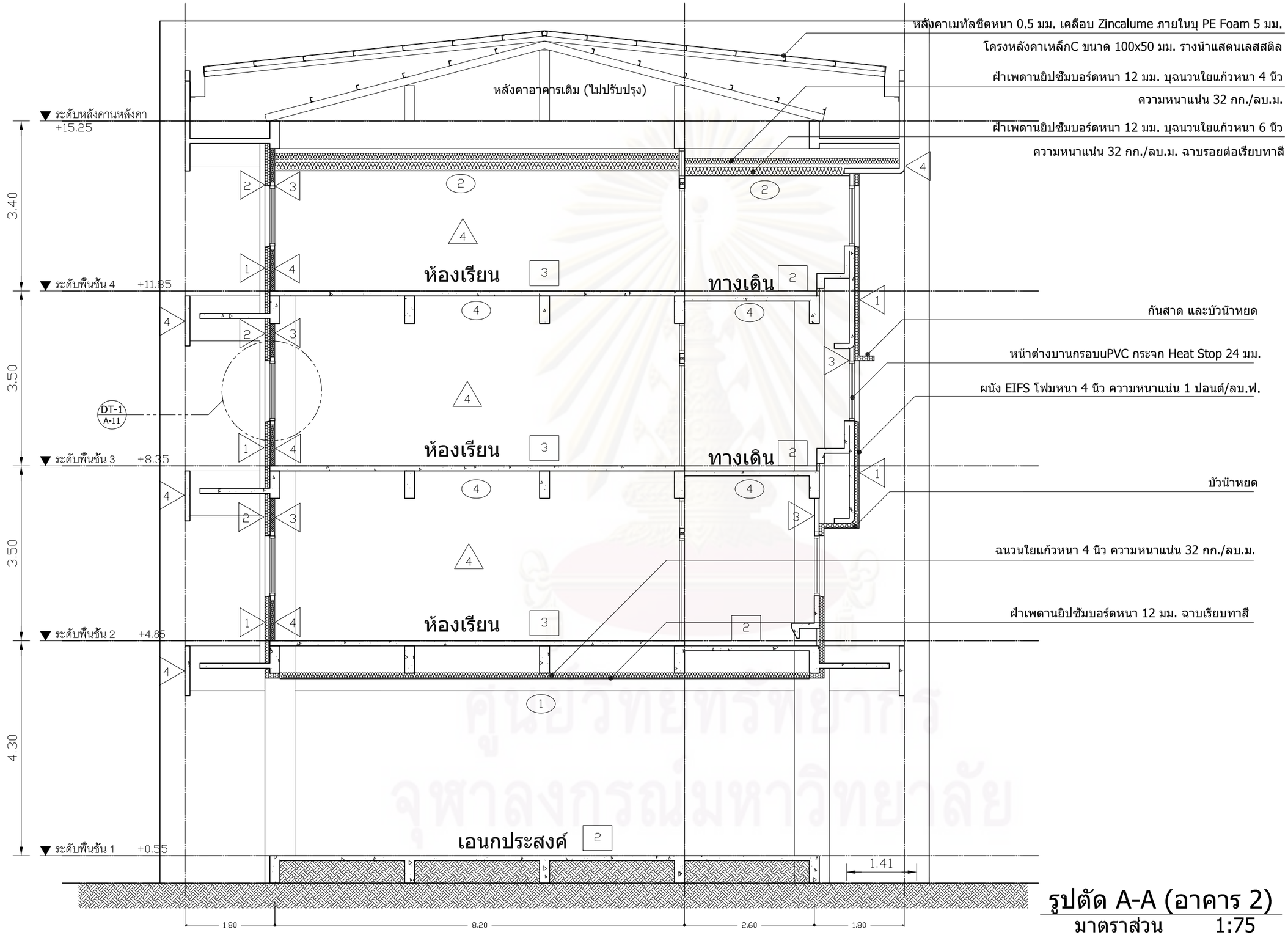
มาตราส่วน 1:250



รูปด้านทิศเหนือ อาคาร 2

มาตราส่วน 1:250

ผนังไม่ปรับปรุง



รูปตัด A-A (อาคาร 2)

มาตราส่วน 1:75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

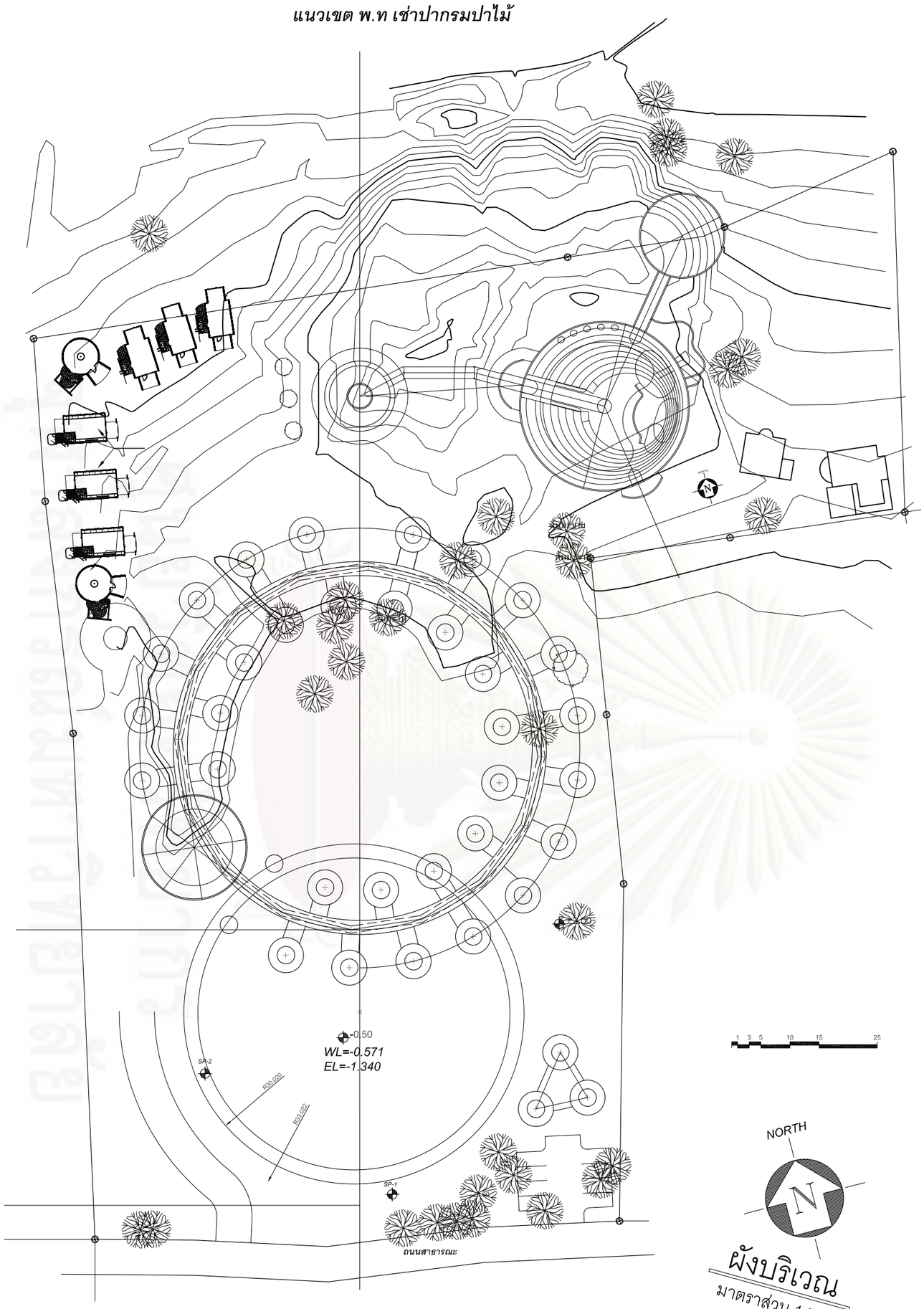
ห้องเรียนคุณภาพสูงที่ใช้ปัจจัยธรรมชาติ

ที่โครงการ ดี เอ็น เอ รีสอร์ท เขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

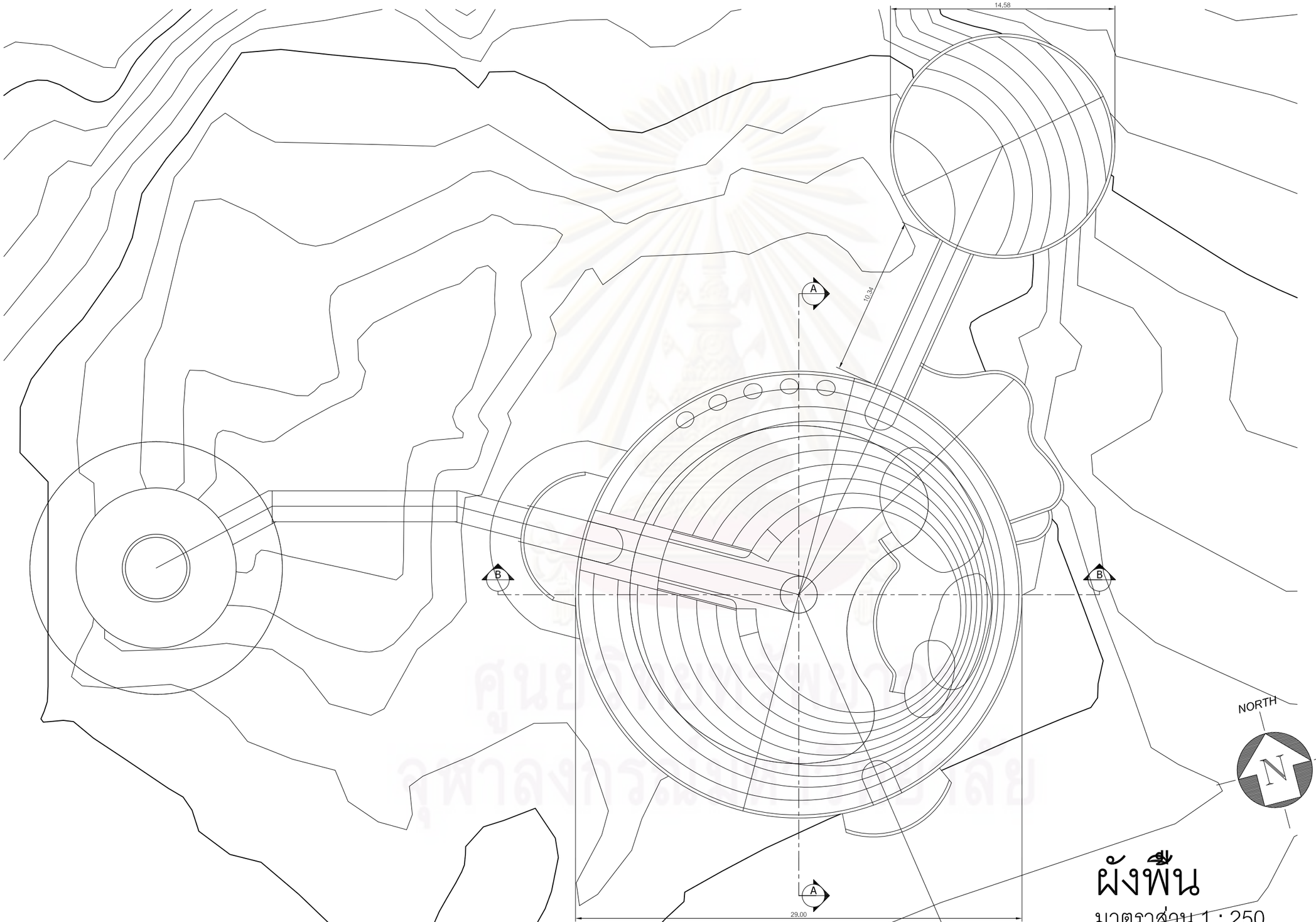
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภ ู เ ข า

แนวเขต พ.ท เช่าปากรมปาไม้

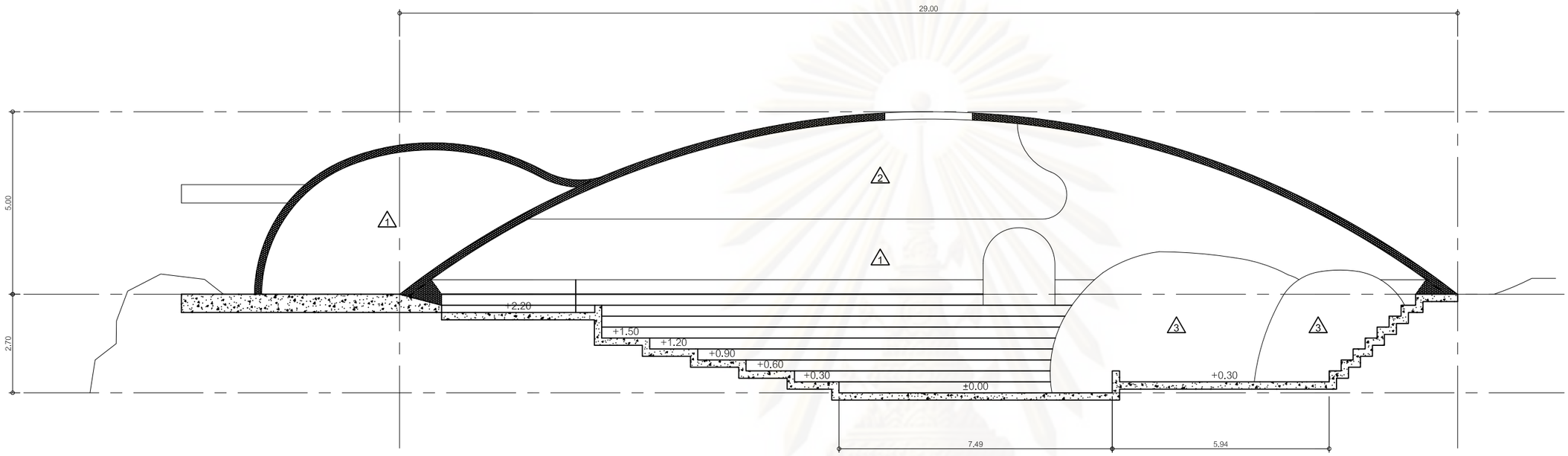


328

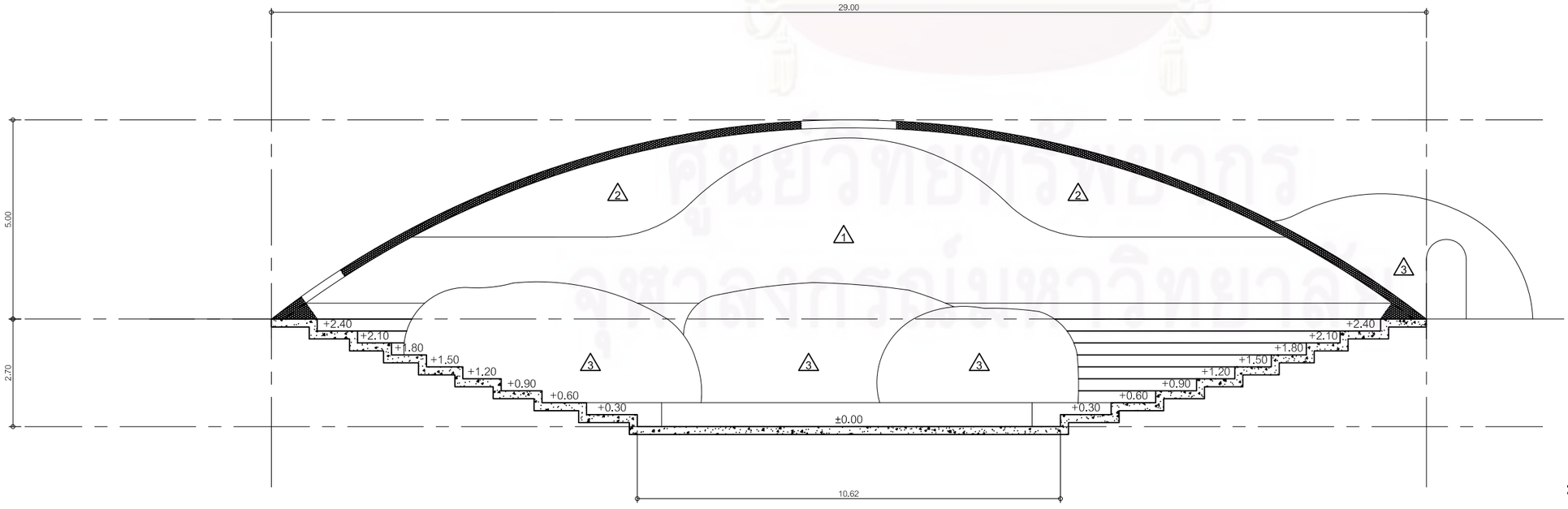


ผังพื้น

มาตราส่วน 1 : 250



รูปตัด A-A
มาตราส่วน 1 : 125



รูปตัด B-B
มาตราส่วน 1 : 125

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ
เกิด มีนาคม 2520 ที่กรุงเทพมหานคร

วุฒิการศึกษา

2544 ปริญญามหาบัณฑิต สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่องการพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร

2540 ปริญญาบัณฑิต สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (เกียรตินิยมอันดับ 2)

ผลงานวิจัยและการออกแบบ

2552 นักวิจัยโครงการออกแบบปรับปรุงอาคารเรียนโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม
สถานที่ตั้งโครงการ จังหวัดสมุทรปราการ เพื่อแก้ปัญหาเสียงรบกวนจากเครื่องบิน

2551 นักวิจัยโครงการห้องเรียนธรรมชาติ สถานที่ตั้งโครงการ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ วิทยาเขตบางคล้า

2550 นักวิจัยโครงการศึกษาวิจัยออกแบบศูนย์การเรียนรู้ สถานที่ตั้งโครงการ จังหวัดตรัง

2549 สถาปนิกโครงการ Delta Foundation Tomorrow House Design
สถานที่ตั้งโครงการ ประเทศจีน

2543 ผู้ช่วยนักวิจัยโครงการศึกษาวิจัยการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน(CU Clean Dream)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย