

แนวทางการออกแบบโดยใช้แสงธรรมชาติในโรงงานอุตสาหกรรม



นายมานะ หุตินทะ

ศูนย์วิทยพัทยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974 - 632 - 454 - 3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN GUIDELINES FOR DAYLIGHTING IN FACTORY



Mr.Mana Hutinta

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fullfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture

Department of Architecture

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974 - 632 - 454 - 3

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นายมานะ หุตินทะ : แนวทางการออกแบบโดยใช้แสงธรรมชาติในโรงงานอุตสาหกรรม
(DESIGN GUIDELINES FOR DAYLIGHTING IN FACTORY)

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ธนิศ จินตาวนิต อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์
ดร.สุนทร บุญญาธิการ , 230 หน้า . ISBN 974 - 632 - 454 - 3



งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาแนวทางการนำเอาประโยชน์จากแสงธรรมชาติมาใช้ในโรงงานอย่างมีคุณภาพ คือ ได้รับปริมาณความส่องสว่างที่พอเหมาะกับการปฏิบัติงานและมีความร้อนที่ป็นมาพร้อมแสงน้อยที่สุด โดยศึกษาในชั้นรายละเอียดของขนาดช่องเปิด (ขนาดของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ทำงานเป็นเปอร์เซ็นต์) ที่เหมาะสม และรูปแบบหลังคาที่สามารถกระจายแสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับนำมาใช้ออกแบบ

ขบวนการวิจัยอาศัยการจำลองสภาพโรงงานแบ่งเป็น 2 วิธี วิธีแรก คือการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาขนาดช่องเปิดที่สามารถรับปริมาณแสงธรรมชาติได้อย่างมีคุณภาพ โดยนำข้อมูลผลงานแสงอาทิตย์ราย ชั่วโมงตลอดปี (กรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2536) มาแปลงค่าเป็นแสงธรรมชาติทางด้านทิศเหนือ แยกตามปริมาณเมฆ บนท้องฟ้า 3 ประเภท คือ ท้องฟ้าโปร่ง ท้องฟ้ามีเมฆและท้องฟ้ามีด ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00-17.00 น. นำข้อมูลที่ได้ ไปคำนวณสร้างแผนภูมิแสดงปริมาณความส่องสว่างและปริมาณความร้อนผ่านช่องเปิด 4 ขนาด คือ ขนาด 5.0 เปอร์เซ็นต์, 10.0 เปอร์เซ็นต์, 15.0 เปอร์เซ็นต์และ 20.0 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงาน จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ไป สร้างแผนภูมิแสดงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์และแสงธรรมชาติ วิธีหลัง คือ การ ทดสอบจากหุ่นจำลองแสงธรรมชาติ เพื่อศึกษารูปแบบหลังคาที่สามารถกระจายแสงธรรมชาติได้อย่างมีคุณภาพ โดยสร้างหุ่นจำลองแสงธรรมชาติที่มีขนาดเท่ากัน 4 กลองซึ่งมีลักษณะของหลังคาเป็นแบบพื้นเหลี่ยมแต่มีรูปแบบ ต่างกัน 4 แบบ คือ แบบเหลี่ยมตรง แบบโค้งขึ้น แบบโค้งลง และ แบบเหลี่ยมหักมุม โดยแต่ละหุ่นจำลองมีช่อง เปิด 4 ขนาดเช่นกัน คือ ขนาด 5.0 เปอร์เซ็นต์ 10.0 เปอร์เซ็นต์ 15.0 เปอร์เซ็นต์และ 20.0 เปอร์เซ็นต์, ของพื้นที่ ทำงาน โดยนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างแผนภูมิแสดงปริมาณความส่องสว่างและวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท เข้ามาทางช่องเปิดรวมทั้งค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor

ผลการทดสอบวิธีแรก สามารถพิจารณาจากจุดตัดของแผนภูมิแสดงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความ เย็นจากแสงประดิษฐ์และแสงธรรมชาติ โดยพบว่าช่องเปิดขนาด 7.50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงาน มีความเหมาะสม ที่สุดสำหรับการวิจัยครั้งนี้ เพราะได้รับปริมาณแสงธรรมชาติที่พอเหมาะและภาระการทำความเย็นอันเนื่องมา จากแสงประดิษฐ์และแสงธรรมชาติน้อย ส่วนผลการทดสอบวิธีหลัง สามารถพิจารณาจากแผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ย ของ Daylight Distribution Contour และ Daylight Factor ในช่วงเวลาเช้าและเย็นจากหลังคาพื้นเหลี่ยมทั้ง 4 รูป แบบ โดยพบว่าหลังคาพื้นเหลี่ยมรูปแบบเหลี่ยมหักมุม มีค่าเฉลี่ยของ Daylight Distribution Contour และ Daylight Factor สูงสุดในช่วงเวลาดังกล่าวของการวิจัยครั้งนี้ รองลงไปคือ หลังคาพื้นเหลี่ยมรูปแบบเหลี่ยมตรง หลังคาพื้น เลียมรูปแบบโค้งขึ้นและหลังคาพื้นเหลี่ยมรูปแบบโค้งลงตามลำดับ ผลสรุปของการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ สำหรับเป็นแนวทางการออกแบบโดยใช้แสงธรรมชาติในโรงงานอุตสาหกรรม

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม
ปีการศึกษา 2537.....

ลายมือชื่อนิสิต 2.05- พท
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



C635043: MAJOR ARCHITECTURE
KEY WORD: DAYLIGHT / DAYLIGHT SIMULATION / FACTORY
MANA HUTINTA: DESIGN GUIDELINES FOR DAYLIGHTING IN FACTORY
THESIS ADVISOR : LECTURER THANIT CHINDAVANIG, ASSO. PROF.
SOONTORN BOONYATIKARN, Dr. 230 pp. ISBN 974-632-454-3

The objective of this research is to find the effective utilization of daylighting in a factory, having adequate illuminance for working having minimum heat gain. This study is concentrated on optimum fenestration size (percent of glass area/flr.area) and geometry of the roof that reflects daylight effectively into the interior for designer's guidelines and roof lighting with efficient illuminance distribution

The research is conducted by two methods. First computer calculation is used to study fenestration size that obtain adequate quantity of illuminance. Solar radiation data (Weather Bureau, 1993) are converted to northern illuminance data with reference cloudness factor in three sky conditions, clear, cloudy and overcast sky, from 8.00 am. to 5.00 pm. The data is computed to find the relative of illuminance and heat gain from the fenestration of four opening size, 5.0, 10.0, 15.0 and 20.0 percent. The cost of cooling load of heat gain from artificial light and from fenestration is also analyzed. The other method is daylight model used to study roof geometry that effect illuminance distribution. Four daylight models with four different types of sawtooth roof, linear, convex, concave and inclination, are conducted, each roof type having four fenestration size, 5.0, 10.0, 15.0 and 20.0 percent of glass area per floor area. Daylight measurement by illuminance meter are undertaken to find daylight distribution contour and daylight factor. Heat gain through fenestration is also analyzed.

The result of the computer calculation indicates that the fenestration size of 7.50 percent of glass area per floor area is effective for daylighting since the quantity of illuminance is adequate while having less heat gain from artificial lighting and from fenestration. The result of the daylight model studied shows that inclination sawtooth roof is the most effective geometry that provide highest daylight distribution contour and daylight factor in the morning and evening, linear sawtooth roof, convex sawtooth roof and concave sawtooth roof are less effective geometry respectively. The conclusion of this study is applied to design guidelines for daylighting in factory.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์
สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม
ปีการศึกษา.....2537

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ และอาจารย์ธนิศ จินดาวณิก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะอันมีค่าซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยด้วยดีตลอดมา รวมทั้งรองศาสตราจารย์ วีระ สัจกุล และอาจารย์ปรีชญา สิทธิพันธ์ คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ที่ช่วยแก้ไขระเบียบวิธีการเขียนงานวิจัยนอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือจากคุณวิรัช ควรประเสริฐ ผู้เคยทำวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับเรื่องแสงธรรมชาติ คุณนพกุล ปลื้มถนอม เจ้าหน้าที่ฝ่ายกรรมวิธีข้อมูล กรมอุตุนิยมวิทยา กรุณาให้ข้อมูลด้านพลังงานแสงอาทิตย์ บริษัทโปรเซสอาร์คิเท็ค แอนด์ แพลนเนอร์ จำกัด ที่ให้ความสะดวกสบายต่อสถานที่ทำงานและพักอาศัย โดยเฉพาะคุณแม่ที่คอยดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณกำลังใจของตนเอง ที่ช่วยให้มีความพยายามอย่างสูงในการฟันฝ่าอุปสรรคต่าง ๆ อย่างไม่ท้อถอย จนทำงานวิจัยสำเร็จในที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตารางประกอบ	ฅ
สารบัญรูปประกอบ	ฆ
สารบัญแผนภูมิประกอบ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
- ความเป็นมา	1
- วัตถุประสงค์การวิจัย	3
- สมมติฐานการวิจัย	3
- ระเบียบวิธีวิจัย	3
- ขอบเขตการวิจัย	5
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	6
บทที่ 2 การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
- แสงอาทิตย์	7
- แสงธรรมชาติ	7
- แสงธรรมชาติและปัญหา	7
- การให้แสงธรรมชาติภายในโรงงานอุตสาหกรรม	9
- รูปแบบทั่วไปของการให้แสงสว่างจากหลังคาประเภทต่าง ๆ	11
- แนวทางสำหรับการออกแบบแสงธรรมชาติภายในโรงงานอุตสาหกรรม	13
- การคำนวณแสงธรรมชาติสำหรับการให้แสงทางด้านบน	18
- การวัดปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติภายในโรงงานอุตสาหกรรม	24
- ความสัมพันธ์ระหว่างแสงธรรมชาติกับสภาวะน่าสบายภายในโรงงาน อุตสาหกรรม	26
บทที่ 3 ทฤษฎีการคำนวณแสงธรรมชาติและการหาค่าพลังงานความร้อนที่เข้า สู่ภายในโรงงานอุตสาหกรรม	28
- นิยามและคำศัพท์เทคนิค	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
- สภาวะท้องฟ้า	32
- ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ และค่าความส่องสว่าง ทางด้านทิศเหนือ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม	35
- ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ และค่าความร้อนทางด้าน ทิศเหนือสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม	42
บทที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	57
- ลักษณะตัวอย่างวัสดุ และวิธีการทดสอบ	57
- หุ่นจำลองแสงธรรมชาติ	62
- เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	65
- วิธีการจำลองสภาพการวัดค่าความส่องสว่างภายใน	67
บทที่ 5 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างธรรมชาติและปริมาณความร้อน ที่เข้าสู่ภายในโรงงานอุตสาหกรรม	79
- วิธีศึกษาจาก Computer Calculation และการวิเคราะห์ผลทดสอบ	79
- วิธีศึกษาจาก Daylight Model และการวิเคราะห์ผลทดสอบ	125
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	160
- บทสรุป	160
- ข้อเสนอแนะ	164
รายการอ้างอิง	166
ภาคผนวก	167
ประวัติผู้เขียน	249

สารบัญตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงค่า Coefficient of Utilization สำหรับ Roof Lighting	19
ตารางที่ 2 แสดงค่าตัวประกอบแก้ไข (Correction Factor) สำหรับค่าเสื่อมสภาพของกระจก (Depreciation)	23
ตาราง ที่ 3 แสดงค่าตัวประกอบแก้ไข (Correction Factor) สำหรับค่าการส่งผ่านแสงของกระจก (Glazing Transmittance) และค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงภายในของพื้นผิว (The Average Interior Surface Reflectance)	24
ตารางที่ 4 แสดงค่าวันเฉลี่ยของทุกเดือน	41
ตารางที่ 5 แสดงปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยภายในผ่านช่องเปิดขนาด 5.00 % ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	96
ตารางที่ 6 แสดงปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยภายในผ่านช่องเปิดขนาด 10.0 % ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	97
ตารางที่ 7 แสดงปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยภายในผ่านช่องเปิดขนาด 15.0 % เปอร์เซนต์ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	97
ตารางที่ 8 แสดงปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยภายในผ่านช่องเปิดขนาด 20.0% ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	98
ตารางที่ 9 แสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยผ่านช่องเปิดขนาด 5.00 % ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	99
ตารางที่ 10 แสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยผ่านช่องเปิดขนาด 10.0% ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	100
ตารางที่ 11 แสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยผ่านช่องเปิดขนาด 15.0 ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	100
ตารางที่ 12 แสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยผ่านช่องเปิดขนาด 20.00% ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	101

สารบัญตารางประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสงธรรมชาติที่ได้รับผ่าน ช่องเปิดด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	115
ตารางที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการเสริมความสว่างจากแสงประดิษฐ์ (%) ชาติผ่านช่องเปิดด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	116
ตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจาก แสงประดิษฐ์ผ่านช่องเปิด 4 ขนาด ตั้งแต่ ม.ค. - ธ.ค. 2536	117
ตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติผ่าน ช่องเปิดด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	120
ตารางที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจาก แสงธรรมชาติด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536	122
ตารางที่ 18 แสดงค่า Daylight Factor เฉลี่ยจากหลังคารูปแบบเหลี่ยมตรงผ่านช่อง เปิด 4 ขนาดในช่วงเช้าและเย็นด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2538	150
ตารางที่ 19 แสดงค่า Daylight Factor เฉลี่ยจากหลังคารูปแบบโค้งขึ้นผ่านช่องเปิด 4 ขนาดในช่วงเช้าและเย็นด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2538	150
ตารางที่ 20 แสดงค่า Daylight Factor เฉลี่ยจากหลังคารูปแบบโค้งลงผ่านช่องเปิด 4 ขนาดในช่วงเช้าและเย็นด้านทิศเหนือเดือน มี.ค.2536	151
ตารางที่ 21 แสดงค่า Daylight Factor เฉลี่ยจากหลังคารูปแบบเหลี่ยมหักมุมผ่าน ช่องเปิด 4 ขนาดในช่วงเช้าและเย็น ด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2536	151

สารบัญรูปประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงลักษณะพลังงานแสงอาทิตย์	7
รูปที่ 2 แสดงรูปแบบทั่วไปของหลังคาประเภทต่างๆ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม	10
รูปที่ 3 โนโมแกรม (Nomogram) แสดงปริมาณความส่องสว่างที่พอเหมาะ กับ เปอร์เซ็นต์ของชั่วโมงการทำงาน (09.00-17.00น.) ของโรงงานอุตสาหกรรม	16
รูปที่ 4 โนโมแกรม (Nomogram) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความ ส่องสว่างภายนอกเทียบกับปริมาณความส่องสว่างภายใน เพื่อแสดง ค่าตัวประกอบธรรมชาติแก้ไข	17
รูปที่ 5 แสดงค่าสิ่งกีดขวางภายนอก (External Obstruction) สำหรับ การให้แสงจากหน้าต่างด้านเดียว (Unilateral Lighting)	22
รูปที่ 6 แสดงวิธีการจัดปริมาณความส่องสว่างแบบตาราง (Measuring Grid)	25
รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการแบ่งเส้นศูนย์สูตร เส้นรุ้ง และเส้นแวงรอบโลก	28
รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมแนวตั้งเหนือระดับ ขอบฟ้า (Altitude) และมุมในแนวราบของดวงอาทิตย์ (Azimuth) โดยวัดเทียบกับทิศใต้	29
รูปที่ 9 แสดงมุมต่าง ๆ ของระนาบกับดวงอาทิตย์	30
รูปที่ 10 แสดงผลของการเกิดฤดูกาล	31
รูปที่ 11 แสดงความส่องสว่างและความสว่างของท้องฟ้า ตามสภาวะ ของท้องฟ้าทั้งท้องฟ้าโปร่ง, ท้องฟ้ามีเมฆ และท้องฟ้ามีด	35
รูปที่ 12 แสดงมุมระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้า	39
รูปที่ 13 แสดงโมโนแกรม	
รูปที่ 14 แสดงการคิดค่าความต้านทานรวมของช่องเปิดกระจกใส	41
รูปที่ 15 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกใสหนา 6.00 มม.	56
รูปที่ 16 แสดงกระดาศษัด สำหรับทำผนังและพื้น	56
รูปที่ 17 แสดงกระดาศษอาร์ตมันสำหรับทำหลังคาและบุผิวหน้ากระดาศษัดด้านนอก ...	58

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 18 แสดงวิธีทดสอบค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ตามวิธีการของ Benjamin H. Evans ,1981	59
รูปที่ 19 แสดงวิธีทดสอบค่าการสะท้อนแสงของกระดาษอาร์ตมัน	59
รูปที่ 20 แสดงกระดาษโปสเตอร์สี สำหรับบุผิวผนังกระดาษอัดด้านใน	61
รูปที่ 21 แสดงวิธีทดสอบค่าการสะท้อนแสงกระดาษโปสเตอร์สีสำหรับบุผิวผนังภายใน	61
รูปที่ 22 แสดงหุ่นจำลองแสงธรรมชาติแบบเหลี่ยมตรง (Type A : Linear)	62
รูปที่ 23 แสดงหุ่นจำลองแสงธรรมชาติแบบโค้งขึ้น (Type B : Convex)	63
รูปที่ 24 แสดงหุ่นจำลองแสงธรรมชาติแบบโค้งลง (Type C : Concave)	63
รูปที่ 25 แสดงหุ่นจำลองแสงธรรมชาติแบบเหลี่ยมหักมุม (Type D : Inclination)	64
รูปที่ 26 แสดงเครื่องมือวัดแสงธรรมชาติ Quantum/Photometer/Radiometer ถ่ายจากสถานที่ทดสอบ	66
รูปที่ 27 แสดงตำแหน่งการวัดค่าความส่องสว่างภายใน 30 จุด แบบ Measuring Grid	67
รูปที่ 28 แสดงวิธีการวัดค่าความส่องสว่างภายในโดยเครื่องมือวัดแสง Photometer	67
รูปที่ 29 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 5.00% จาก Daylight Model รูปแบบหลังคาเหลี่ยมตรง (Linear) ด้านทิศเหนือ	68
รูปที่ 30 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 5.00% จาก Daylight Model รูปแบบหลังคาโค้งขึ้น (Convex) ด้านทิศเหนือ	68
รูปที่ 31 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 5.00% จาก Daylight Model รูปแบบหลังคาโค้งลง (Concave) ด้านทิศเหนือ	69
รูปที่ 32 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 5.00% จาก Daylight Model รูปแบบหลังคาเหลี่ยมหักมุม (Inclination) ด้านทิศเหนือ	69
รูปที่ 33 แสดงปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 5.00% จาก Daylight Model ของหลังคา 4 รูปแบบ ด้านทิศเหนือ	70

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 34 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 10.00%	
จาก Daylight Model รูปแบบหลังคาเหลี่ยมตรง (Linear) ด้านทิศเหนือ	70
รูปที่ 35 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 10.00%	
จาก Daylight Model รูปแบบหลังคาโค้งขึ้น (Convex) ด้านทิศเหนือ	71
รูปที่ 36 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 10.00%	
จาก Daylight Model รูปแบบหลังคาโค้งลง (Concave) ด้านทิศเหนือ	71
รูปที่ 37 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 10.00% จาก	
Daylight Model รูปแบบหลังคาเหลี่ยมหักมุม(Inclination) ด้านทิศเหนือ	72
รูปที่ 38 แสดงปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 10.00%	
จาก Daylight Model ของหลังคา 4 รูปแบบ ด้านทิศเหนือ	72
รูปที่ 39 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 15.00% จาก	
Daylight Model รูปแบบหลังคาเหลี่ยมตรง (Linear) ด้านทิศเหนือ	73
รูปที่ 40 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 15.00% จาก	
Daylight Model รูปแบบหลังคาโค้งขึ้น (Convex) ด้านทิศเหนือ	73
รูปที่ 41 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 15.00% จาก	
Daylight Model รูปแบบหลังคาโค้งลง (Concave) ด้านทิศเหนือ	74
รูปที่ 42 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 15.00% จาก	
Daylight Model ด้านทิศเหนือ	74
รูปที่ 43 แสดงปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 15.00%	
จาก Daylight Model ของหลังคา 4 รูปแบบ ด้านทิศเหนือ	75
รูปที่ 44 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 20.00% จาก	
Daylight Model รูปแบบหลังคาเหลี่ยมตรง (Linear) ด้านทิศเหนือ	75
รูปที่ 45 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 20.00% จาก	
Daylight Model รูปแบบหลังคาโค้งขึ้น (Convex) ด้านทิศเหนือ	76

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 46 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 20.00% จาก Daylight Model รูปแบบหลังคาโค้งลง (Concave) ด้านทิศเหนือ	76
รูปที่ 47 แสดงการวัดค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 20.00% จาก Daylight Model รูปแบบหลังคาเอียงมัทกมม (Inclination) ด้านทิศเหนือ	77
รูปที่ 48 แสดงปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 20.00% จาก Daylight Model ของหลังคา 4 รูปแบบ ด้านทิศเหนือ	77
รูปที่ 49 แสดงช่องเปิด-ปิด สำหรับวัดค่าความส่องสว่างภายใน Daylight Model	78
รูปที่ 50 แสดงการกระจายแสงจากหลังคา Sawtooth รูปแบบต่าง ๆ ที่ทดสอบ	127
รูปที่ 51 แสดง Daylight Model หลังคา Sawtooth รูปแบบต่าง ๆ	129
รูปที่ 52 แสดงการใช้ครีบบังแดด (Fin) ปิดบริเวณช่องเปิด	130
รูปที่ 53 แสดงทิศทางช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับรับแสงธรรมชาติ	160
รูปที่ 54 แสดงการเอียงกระจกเพื่อให้รับแสงธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ	162
รูปที่ 55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของอาคารกับระยะห่างของช่อง เปิดเพื่อให้รับแสงธรรมชาติอย่างสม่ำเสมอ	162
รูปที่ 56 แสดงการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน ผนังและพื้นเพื่อช่วยกระจายแสง	163
รูปที่ 57 แสดงขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ	163
รูปที่ 58 แสดงรูปแบบหลังคาที่มีเหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ โดยใช้แสงธรรมชาติในโรงงานอุตสาหกรรม	164

สารบัญแผนภูมิประกอบ

	หน้า
แผนภูมิที่ 1) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน ม.ค. 2536	43
แผนภูมิที่ 2) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน ก.พ. 2536	44
แผนภูมิที่ 3) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2536	45
แผนภูมิที่ 4) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน เม.ย. 2536	46
แผนภูมิที่ 5) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน พ.ค. 2536	47
แผนภูมิที่ 6) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน มิ.ย. 2536	48
แผนภูมิที่ 7) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน ก.ค. 2536	49
แผนภูมิที่ 8) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน ส.ค. 2536	50
แผนภูมิที่ 9) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน ก.ย. 2536	51
แผนภูมิที่ 10) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน ต.ค. 2536	52
แผนภูมิที่ 11) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน พ.ย. 2536	53
แผนภูมิที่ 12) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง ด้านทิศเหนือเดือน ธ.ค. 2536	54

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 25) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ม.ค. 2536	104
แผนภูมิที่ 26) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ก.พ. 2536	103
แผนภูมิที่ 27) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2536	104
แผนภูมิที่ 28) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน เม.ย. 2536	105
แผนภูมิที่ 29) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน พ.ค. 2536	106
แผนภูมิที่ 30) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน มิ.ย. 2536	107
แผนภูมิที่ 31) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ก.ค. 2536	108
แผนภูมิที่ 32) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ส.ค. 2536	109
แผนภูมิที่ 33) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ก.ย. 2536	110
แผนภูมิที่ 34) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ต.ค. 2536	111
แผนภูมิที่ 35) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน พ.ย. 2536	112
แผนภูมิที่ 36) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ธ.ค. 2536	113

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 37) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสงธรรมชาติผ่านขนาดช่องเปิด 4 ขนาด ... ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค. - ธ.ค. 2536	115
แผนภูมิที่ 38) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการเสริมความส่องสว่าง จากแสงประดิษฐ์ของช่องเปิด 4 ขนาดตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค.2536	116
แผนภูมิที่ 39) แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสง- ประดิษฐ์ผ่านช่องเปิด 4 ขนาด (%) ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค. -ธ.ค.2536 ...	117
แผนภูมิที่ 40) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องเปิด (%) กับพลังงานแสงธรรมชาติ ... และภาระการทำความเย็นทางด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค. -ธ.ค.2536	118
แผนภูมิที่ 41) แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติผ่าน ช่องเปิด 4 ขนาด (%) ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค. -ธ.ค.2536	120
แผนภูมิที่ 42) แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้รับผ่านช่องเปิด 4 ขนาด (%) ระหว่างพลังงานแสงธรรมชาติ และพลังงานความร้อนด้านทิศเหนือ ตั้งแต่เดือน ม.ค.-ธ.ค.2536	121
แผนภูมิที่ 43) แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจาก แสงธรรมชาติผ่านช่องเปิด 4 ขนาด (%)ด้านทิศเหนือตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค.2536 ..	122
แผนภูมิที่ 44) แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสง ธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ด้านทิศเหนือตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค.2536	123
แผนภูมิที่ 45) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านขนาดช่องเปิด 20(%) ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	124
แผนภูมิที่ 46) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านขนาดช่องเปิด 15(%) ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	131
แผนภูมิที่ 47) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านขนาดช่องเปิด 10(%) ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	134
แผนภูมิที่ 48) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านขนาดช่องเปิด ... 5(%) ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	137

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 49) แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Contour ผ่านช่องเปิดขนาด	
20.0% ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	140
แผนภูมิที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Contour ผ่านช่องเปิดขนาด	
15.0% ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	146
แผนภูมิที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Contour ผ่านช่องเปิดขนาด	
15.0% ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	147
แผนภูมิที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Contour ผ่านช่องเปิดขนาด	
10.0% ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	148
แผนภูมิที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Contour ผ่านช่องเปิดขนาด	
5.0% ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	149
แผนภูมิที่ 54 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor เฉลี่ยในช่วงเช้าและเย็น	
ผ่านช่องเปิดขนาด 20.0% ของDaylight Model จากหลังคา 4	
รูปแบบด้านทิศเหนือ	152
แผนภูมิที่ 55 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor เฉลี่ยในช่วงเช้าและเย็น	
ผ่านช่องเปิดขนาด 15.0% ของDaylight Model จากหลังคา 4	
รูปแบบด้านทิศเหนือ	153
แผนภูมิที่ 56 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor เฉลี่ยในช่วงเช้าและเย็น	
ผ่านช่องเปิดขนาด 10.0% ของDaylight Model จากหลังคา 4	
รูปแบบด้านทิศเหนือ	154
แผนภูมิที่ 57 แสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor เฉลี่ยในช่วงเช้าและเย็น	
ผ่านช่องเปิดขนาด 5.0% ของDaylight Model จากหลังคา 4	
รูปแบบด้านทิศเหนือ	155
แผนภูมิที่ 58 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนผ่านช่องเปิด 4 ขนาด (%)	
ของDaylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ	157