โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยออกแบบควบคุมเสียงภายในห้อง สำหรับสถาปนิก

นายกฤตภัค กุลบุศย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-2924-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20975600

ROOM ACOUSTIC DESIGN COMPUTER PROGRAM FOR ARCHITECT

Mr. Krittapak Kulabusaya

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2924-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยออกแบบควบคุมเสียงภายในห้องสำหรับสถาปนิก
โดย	นาย กฤตภัค กุลบุศย์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กวีไกร ศรีหิรัญ อาจารย์ พิรัส พัชรเศวต

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อวยชัย วุฒิโฆษิต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐานิศวร์ เจริญพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กวีไกร ศรีหิรัญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ พิรัส พัชรเศวต)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ภิญโญ จินันทุยา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายกฤตภัค กุลบุศย์ : โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยออกแบบควบคุมเสียง ภายในห้องสำหรับสถาปนิก. (ROOM ACOUSTIC DESIGN COMPUTER PROGRAM FOR ARCHITECT) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์ : อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กวีไกร ศรีหิรัญ อาจารย์ พิรัส พัชรเศวต จำนวนหน้า 138 หน้า. ISBN. 974-17-2924-3.

ในการทำงานออกแบบควบคุมเสียงภายในอาคารนั้น มักเกิดปัญหาความยุ่งยาก ความสิ้นเปลืองเวลาและทรัพยากร ในการคำนวณหรือจำลองสถานการณ์ เพื่อตรวจสอบว่า ห้องที่ออกแบบขึ้นนั้น มีคุณสมบัติของเสียงด้านต่างๆอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งมีสาเหตุจากจากความซับซ้อนของขั้นตอนและวิธีการคำนวณ ปัจจุบันเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทช่วยเพิ่มความสะดวกและประสิทธิภาพในการทำงานแขนงต่างๆ การออกแบบควบคุมเสียงภายในอาคารก็ได้รับประโยชน์จากเทคโนโลยีนี้เช่นกัน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณลักษณะต่างๆถูกพัฒนาขึ้น เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณที่ซับซ้อนดังกล่าวแทนการคำนวณด้วยมือหรือการใช้หุ่นจำลอง อย่างไรก็ตามแม้โปรแกรมเหล่านี้จะมีความสามารถสูงและช่วยอำนวยความสะดวกได้มาก แต่มักถูกออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้เฉพาะกลุ่มซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านเสียงเป็นหลัก ดังนั้นการออกแบบโปรแกรมจึงมุ่งเน้นไปที่การประเมินคุณสมบัติทางด้านเสียงของห้องที่ได้ออกแบบไว้แล้วโดยละเอียด ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องที่สุด ทำให้ความซับซ้อนในการใช้งานนั้นสูงตามไปด้วย

วิทยานิพนธ์นี้ มุ่งเน้นการศึกษาและออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยออกแบบควบคุมเสียงที่เหมาะสมกับสถาปนิก ซึ่งมีความต้องการและวัตถุประสงค์ในการใช้งานโปรแกรมแตกต่างจากผู้เชี่ยวชาญโดยสิ้นเชิง สถาปนิกต้องการทราบคุณสมบัติทางด้านเสียงเพียงบางประการเพื่อนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการออกแบบห้องเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นโปรแกรมจึงต้องมีการใช้งานที่สะดวกรวดเร็ว มีความซับซ้อนไม่มาก โดยอาศัยการใช้ภาพกราฟฟิกและวิธีการทำงานที่สถาปนิกคุ้นเคยเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย แต่ยังคงความแม่นยำของการคำนวณอยู่ ซึ่งจะทำให้โปรแกรมสามารถตอบสนองความต้องการและเป็นประโยชน์สำหรับสถาปนิกตลอดจนผู้สนใจศึกษาทางด้านการออกแบบควบคุมเสียง ในการช่วยออกแบบเบื้องต้นหรือทำความเข้าใจพฤติกรรมของเสียงภายในห้องได้มากขึ้น

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา2545	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4474105025 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD: COMPUTER / PROGRAM / ACOUSTIC / ARCHITECTURE

KRITTAPAK KULABUSAYA : ROOM ACOUSTIC DESIGN COMPUTER PROGRAM FOR ARCHITECT. THESIS ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR THANIT CHARERNPONG, THESIS CO-ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR KAWEEKRAI SRIHIRAN, INSTRUCTOR PIRUS PATCHARASWATE, 138 pp. ISBN 974-17-2924-3.

People working in the area of room acoustic design are usually faced with problems regarding too much time and resource waste in calculating, computing or simulation in order to find out whether the acoustic qualities of the room they have designed are on a par with the required standards, due to the complicity of the process and calculations. At present, computer technology plays an important role in enhancing convenience and efficiency of work in various fields, including the field of acoustic design. Many computing programs have been developed to reduce time spent in complex calculation, to replace the manual calculation and the use of simulation. However, in spite of the high capacity and convenience they offer, these computer programs are generally designed to meet the needs of a certain group of users, mainly acoustic specialists. As a result, the programs generally focus on the detailed evaluation of the acoustic qualities of a room that has been designed, in which lots of information is needed in order to produce accurate results. Consequently, these computer programs are rather complicated to operate.

The purpose of this thesis is to study and design a computer program especially for architects whose needs and purposes of using an acoustic computer program at work are completely different from other sound specialists. Architects want to understand only certain aspects of acoustic properties necessary for their decision-making in basic room design. Therefore, the computer program must not be too complicated and must be able to operate quickly and conveniently. Its graphics and operations must be familiar for architects to make it easy for them to understand how to use the program while at the same time computing accurately. For this reason, this computer program will be able to respond to the needs of architects and be useful for those interested in acoustic and basic room design or help them better understand room acoustic behavior.

Department : Architecture Student's signature.....
Field of study : Architecture Advisor's signature.....
Academic year : 2002 Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์กวีไกร ศรีหิรัญ และ อาจารย์พิรัส พัชรเศวต อาจารย์ที่ปรึกษา และ อาจารย์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำวิจัยนี้มาโดยตลอด ขอบพระคุณ คุณพ่อกำพล และคุณแม่วาทินี กุลบุศย์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา คุณสุชีรา วรรณวิทยาภา คุณวิชญา กุลบุศย์ คุณกฤตนุ กุลบุศย์ และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การศึกษาและการวิจัยในครั้งนี้จะนำไปสู่การค้นคว้าและวิจัยในการใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการทำงานในด้านต่างๆมากขึ้น โดยเฉพาะงานด้านสถาปัตยกรรม เพื่อพัฒนาการออกแบบงานสถาปัตยกรรมให้มีประสิทธิภาพมีความสมบูรณ์ทั้งศาสตร์และศิลป์ต่อไป

กฤตภัค กุลบุศย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของเสียง 6

2.1.1 การรับรู้ความถี่ของเสียง 6

2.1.2 การเคลื่อนที่และความเร็วของเสียง 7

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงพลังงานของเสียง 8

2.1.4 หน่วยวัดความดังของเสียง 9

2.1.5 การเปลี่ยนแปลงระดับความดังของเสียง 11

2.1.6 ระดับความดังกับช่วงความถี่ 12

2.1.7 ธรรมชาติของเสียงดนตรีและเสียงของมนุษย์ 13

2.1.8 พฤติกรรมของเสียงเมื่อตกกระทบวัตถุ 15

2.1.9 พฤติกรรมของเสียงในห้องปิดล้อม 18

2.1.10 Reverberation time (RT) 21

2.1.11 การควบคุมการสะท้อนของเสียง 23

2.1.12 เสียงสะท้อนที่ก่อให้เกิดปัญหาในการรับฟัง (Echo) 24

2.1.13 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ (Sound Absorption of material) .. 28

2.2 สถาปนิกกับการออกแบบควบคุมเสียงภายในห้อง 32

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3 การศึกษาโปรแกรมใกล้เคียงที่มีอยู่ในปัจจุบัน..... 33
2.3.1 การศึกษาการทำงานของโปรแกรม..... 33
2.3.2 ปัญหาที่พบในการใช้งานโปรแกรมตัวอย่าง..... 38
2.3.3 ข้อดีและประเด็นที่น่าสนใจของโปรแกรมตัวอย่าง..... 40

บทที่ 3 แนวทางการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม

3.1 กลุ่มผู้ใช้เป้าหมาย และภาพรวมของการพัฒนาโปรแกรม..... 41
3.2 แนวทางการออกแบบโปรแกรมเพื่อแก้ไขปัญหา..... 42
3.3 แนวทางในการหาผลลัพธ์ของโปรแกรม..... 46
3.3.1 เทคนิคการคำนวณเบื้องต้น..... 46
3.3.2 การหาค่าผลลัพธ์ และการแยกระดับการประมวลผล..... 47
3.3.3 สรุปตัวแปรที่จำเป็นต้องกำหนดในการคำนวณ..... 50
3.4 สรุปความสามารถในการทำงานของโปรแกรม..... 51
3.5 สรุปโครงสร้างและลำดับการใช้งานโปรแกรม..... 54
3.6 แนวความคิดในการออกแบบ Interface..... 56
3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม..... 57
3.7.1 การเลือกเครื่องมือในการพัฒนา..... 57
3.7.2 พื้นฐานการคำนวณของ Macromedia Flash..... 58
3.8 หลักการและวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรม..... 59
3.8.1 การกำหนดรูปร่างของห้อง..... 59
3.8.2 การสร้างความสมมาตรของห้อง..... 60
3.8.3 การสร้างและกำหนดวัสดุให้กับด้านต่างๆของห้อง..... 61
3.8.4 การคิดหาปริมาตรของห้องและการคำนวณ Reverberation time..... 62
3.8.5 การกำหนดพลังงานเริ่มต้นของแหล่งกำเนิด..... 63
3.8.6 การย่อขยาย Scale ในการทำงาน และการกำหนดความเร็วของเสียง..... 64
3.8.7 การสร้างและกำหนดการกระจายทิศทางของ Rays..... 65
3.8.8 การเคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงพลังงานของ Rays..... 66
3.8.9 การเปลี่ยนทิศทางและพลังงานเมื่อ Ray ตกกระทบด้านต่างๆของห้อง..... 68
3.8.10 การสร้าง จัดวางตำแหน่ง และกำหนดขอบเขตการรับของ Receivers..... 70
3.8.11 การตรวจสอบและจัดเก็บข้อมูลการตกกระทบของ Raysบน Receiver..... 71
3.8.12 การแสดง Echogram..... 72

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.8.13 การกำหนดตัวแปรเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการคำนวณและการประเมินผล..... 73
3.8.14 การตรวจสอบค่าคุณสมบัติต่างๆของเสียง..... 74
3.8.15 การเล่นตัวอย่างเสียง..... 75

บทที่ 4 ผลการออกแบบของโปรแกรม

4.1 ภาพรวมของการแบ่งพื้นที่ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน..... 76
4.2 รายละเอียดของพื้นที่ติดต่อกับผู้ใช้งานแต่ละส่วน..... 78
4.2.1ส่วนการเลือกระดับการคำนวณ (Analysis Mode)..... 79
4.2.2 ส่วนสำหรับตั้งค่าตัวแปรที่จะนำไปใช้ในการคำนวณ (General Setting)..... 83
4.2.3 ส่วนพื้นที่ทำงานและแสดงผลหลัก (Work Space)..... 90
4.2.4 ส่วนควบคุมการแสดงผลของพื้นที่ทำงานหลัก (Display Control/ Environment Control)..... 91
4.2.5 ส่วนควบคุมการคำนวณและแสดงสถานะการทำงาน(Calculation Control & Status)..... 91
4.2.6 ส่วนแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม..... 92

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปจากการทดสอบและใช้งานโปรแกรม..... 95
5.1.1 ความแม่นยำของโปรแกรม..... 95
5.1.2 ปัญหาจุดและบกพร่องในการใช้งานโปรแกรม..... 95
5.1.3 ประเด็นที่บรรลุวัตถุประสงค์ในการพัฒนา..... 96
5.2 ปัญหา อุปสรรคที่พบในการศึกษาวิจัยและพัฒนาโปรแกรม..... 99
5.2.1 ข้อจำกัดด้านระยะเวลา..... 99
5.2.2 เครื่องมือและวิธีการที่เลือกใช้..... 99
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโปรแกรมต่อไปในอนาคต..... 100
5.3.1 ความสามารถโปรแกรม..... 100
5.3.2 การเขียนโปรแกรมและ การเลือกเครื่องมือ..... 101

รายการอ้างอิง..... 103

สารบัญ(ต่อ)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตารางค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ..... 105

ภาคผนวก ข. ชุดคำสั่งเบื้องหลังการพัฒนาโปรแกรม..... 108

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 138

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงลักษณะคลื่นเสียงที่เกิดจากส้อมเสียง (Pure Tone).....	6
รูปที่ 2.2	แสดงลักษณะคลื่นเสียงที่เกิดจากเสียงในธรรมชาติ (Complex Sound).....	6
รูปที่ 2.3	ช่วงความถี่และความยาวคลื่นที่มนุษย์รับรู้ได้	7
รูปที่ 2.4	การเปลี่ยนแปลงพลังงานของเสียงตามระยะทาง.....	8
รูปที่ 2.5	ระดับความดังจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆ ในชีวิตประจำวัน.....	10
รูปที่ 2.6	แสดงระดับความดังในแต่ละช่วงความถี่ของแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ.....	12
รูปที่ 2.7	แสดงตารางแผนภูมิค่าความดัง (Equal Loudness Curve).....	13
รูปที่ 2.8	แสดงช่วงความถี่ของเครื่องดนตรีชนิดต่างๆ.....	14
รูปที่ 2.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระดับความดังของเสียง.....	14
รูปที่ 2.10	แสดงการสะท้อนของเสียง.....	15
รูปที่ 2.11	แสดงการเลี้ยวเบนของเสียง.....	16
รูปที่ 2.12	แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติการสะท้อนของเสียงและแสง.....	16
รูปที่ 2.13	ความกว้างของพื้นผิวตกกระทบที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ต่างกัน.....	17
รูปที่ 2.14	แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นเสียงและความถี่ในสภาวะปกติ.....	17
รูปที่ 2.15	แสดง Direct และ Reflect Rays.....	19
รูปที่ 2.16	แสดงการรวมพลังงานของ Direct Sound และReflected Sound ณ ตำแหน่งต่างๆในห้อง.....	19
รูปที่ 2.17	แสดงการสะท้อนหลังจาก Early Reflection.....	20
รูปที่ 2.18	Echogram.....	20
รูปที่ 2.19	แสดงการหาค่า RT จาก Echogram.....	21
รูปที่ 2.20	แสดงความคมชัดของเสียง ในห้องที่มีค่า RT ต่างกัน.....	21
รูปที่ 2.21	แสดงค่า Reverberation time ที่เหมาะสมต่อการใช้งานของห้องประเภทต่างๆ.....	22
รูปที่ 2.22	การควบคุมการสะท้อนของเสียงโดยใช้ลักษณะของผิวสะท้อน.....	23
รูปที่ 2.23	Ray Diagram Graphic	24
รูปที่ 2.24	ลักษณะการสะท้อนที่ทำให้เกิดช่วงห่างของ Direct Sound และ Early Reflection..	25
รูปที่ 2.25	แสดงการปรับรูปร่างของห้องเพื่อลดปัญหาการ Echo.....	26
รูปที่ 2.26	แสดง Echo ในช่วง Reverberant Field ที่มักเกิดกับห้องขนาดใหญ่.....	26
รูปที่ 2.27	Flutter Echo ที่เกิดขึ้นจากการขนานกันของระนาบ.....	26
รูปที่ 2.28	แสดงลักษณะของ Echo ที่เกิดในห้องขนาดใหญ่.....	27
รูปที่ 2.29	แสดงลักษณะของ Echo ที่เกิดในห้องขนาดเล็ก	27

สารบัญภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 2.30	Sound Absorption ของวัสดุ	28
รูปที่ 2.31	ความหนาของวัสดุที่มีผลต่อการดูดซับเสียงในความถี่ต่างๆ	29
รูปที่ 2.32	การประกอบกันของวัสดุเพื่อเพิ่มค่าการดูดซับในช่วงความถี่ที่ต่างกัน	30
รูปที่ 2.33	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ (α) ในช่วงความถี่ต่างๆ	31
รูปที่ 2.34	การแสดงผลการคำนวณ Audience Area Mapping ของโปรแกรม CATT	36
รูปที่ 2.35	การแสดงผลการคำนวณ Early Part Detailed ISM ของโปรแกรม CATT	36
รูปที่ 2.36	การแสดงผลการคำนวณ Early Part Detailed ISM ของโปรแกรม CATT	37
รูปที่ 3.1	แสดงโครงสร้างการใช้งานของโปรแกรม	54
รูปที่ 4.1	แสดงแนวคิดในการแบ่ง Interface เบื้องต้น	76
รูปที่ 4.2	แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานของโปรแกรมขั้นสมบูรณ์	78
รูปที่ 4.3	แสดงส่วนการเลือกระดับการคำนวณ (Analysis Mode)	79
รูปที่ 4.4	แสดง Interface ของการทำงานใน Reverberation Time (RT) Mode	80
รูปที่ 4.5	แสดง Interface ของการทำงานใน Ray Diagram Mode	81
รูปที่ 4.6	แสดง Interface ของการทำงานใน Echogram Mode	82
รูปที่ 4.7	แสดง Interface ของการทำงานใน Intensity(dB.) & Echo Mode	84
รูปที่ 4.8	แสดง Room Shape Tab	85
รูปที่ 4.9	แสดง Material of Panel Tab	86
รูปที่ 4.10	แสดง Rays Tab	87
รูปที่ 4.11	แสดง Source Tab	88
รูปที่ 4.12	แสดง Receivers Tab	89
รูปที่ 4.13	แสดง ส่วนแสดงคุณสมบัติเฉพาะตัวของ Receiver ที่ผู้ใช้เลือก	89
รูปที่ 4.14	แสดง ส่วนพื้นที่ทำงานและแสดงผลหลัก (Work Space)	90
รูปที่ 4.15	แสดง ส่วนควบคุมการแสดงผลของพื้นที่ทำงานหลัก (Display Control/ Environment Control)	91
รูปที่ 4.16	ส่วนควบคุมการคำนวณและแสดงสถานะการทำงาน (Calculation Control& Status)	92
รูปที่ 4.17	แสดง ส่วนแสดงผลลัพธ์ Reverberation Time	93
รูปที่ 4.18	แสดง ส่วนแสดงผลลัพธ์ Intensity & Echo	93
รูปที่ 4.19	แสดง ส่วนแสดงผลลัพธ์ Echogram	94