การเกิดภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงโดยใช้มีนโอเปอเรชัน

นาย ยุทธนา ลิลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-2837-9
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# REAL TIME STEREOGRAM IMAGING

# BY MEAN OPERATIONS

Mr. Yutthana Lila

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Imaging Technology

Department of Imaging Science and Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2837-9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การเกิดภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงโดยใช้มีนโอเปอเรชัน |
| โดย | นายยุทธนา ลิลา |
| ภาควิชา | เทคโนโลยีทางภาพ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | รองศาสตราจารย์พรทวี พึ่งรัศมี |

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสืบสาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์พรทวี พึ่งรัศมี)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ชิดชนก เหลือสินทรัพย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยุทธนา ลิลา : การเกิดภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงโดยใช้มีนโอเปอเรชัน
( REAL TIME STEREOGRAM IMAGING BY MEAN OPERATIONS )
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อรัญ หาญสืบสาย, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.พรทวี พึ่งรัศมี 147 หน้า.
ISBN 974-17-2837-9.

ภาพสเตอริโอแกรมโดยทั่วไปประกอบด้วยภาพสองภาพที่มีขนาดเท่ากันที่จัดวางในตำแหน่งที่ผู้มองภาพสเตอริโอแกรมจะสามารถเห็นความลึกของภาพ การวัดระยะที่ถูกต้องของภาพทั้งสองด้วยระบบสร้างภาพสเตอริโอเป็นสิ่งสำคัญ ความมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เพื่อสร้างระบบรับภาพสเตอริโอแกรมแบบอัตโนมัติที่อยู่บนพื้นฐานของผลปรากฏทางด้านสรีระศาสตร์และจิตศาสตร์ด้วยการใช้กล้องดิจิทัลแปลงสัญญาณภาพเป็นระบบดิจิทัลโดยตรง และสามารถวัดระยะทางระหว่างวัตถุและกล้องถ่ายภาพได้ ซึ่งต้องใช้วิธีการปรับความยาวโฟกัสและขนาดของภาพจากกล้องดิจิทัลทั้งสองที่เท่ากันผ่านโปรแกรมที่สร้างขึ้น ซึ่งโปรแกรมนี้ออกแบบมาเพื่อให้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลและคอมพิวเตอร์สามารถวัดระยะทางระหว่างกล้องถ่ายภาพดิจิทัลกับวัตถุที่หลากหลาย โดยข้อมูลภาพจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลจะต้องผ่านเทคนิคมีนโอเปอเรชันก่อนถูกส่งออกสู่จอมอนิเตอร์ซึ่งผลลัพธ์จะเป็นระบบดิจิทัลแบบเวลาจริง ระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสองเป็นฟังก์ชันที่ส่งผลกระทบถึงระยะวัตถุซึ่งสามารถปรับแต่งได้ ผลผิดพลาดของระยะทางมีค่าประมาณ $\pm 5\%$. การมองภาพสเตอริโอแกรมต้องมองผ่านแว่นตา LCD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา...เทคโนโลยีทางภาพ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4272370323 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY
KEY WORD : REAL TIME STEREOGRAM IMAGE / MEAN OPERATION
YUTTHANA LILA : REAL TIME STEREOGRAM IMAGING BY USING MEAN OPERATIONS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ARAN HANSUEBSAI, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PONTAWEE PUNGRASSAMEE, M.S., 147 pp.
ISBN 974-17-2837-9.

A typical stereogram consists of what appear to be two identical images that have been made in such a manner that they can be viewed with a stereo viewer giving a strong sense of depth. Knowing the exact distance between the stereo imaging system and two or more objects can be vitally important in many situations. The purpose of this study is to create a virtually automatic system of stereo perception based on physiological and psychological effect using digital cameras that can be translated directly to a digital readout. The success of this research would make it possible to make precise determinations of the distance between objects and the camera in a vast number of areas. Two digital cameras would be used always bearing in mind that the focal lengths used must be identical so that the images are precisely the same size. Software will be written that makes it possible for a computer and the digital cameras to make exact determinations of the distance between the cameras and a variety of objects without using subjective human perception. It is proposed that the information from the cameras be sent first to the image processing program using Mean Operation Technique and then to the monitor of a computer resulting in a real time digital system. The distance between the cameras is a function of the distance to the object(s) being examined and can be adjusted. The error range is estimated to be +/- 5%. The stereograms can be viewed by using LCD shutter/eyeglasses.

Department Imaging Science and Technology Student's signature……..
Field of study Imaging Technology ……. Advisor's signature…….
Academic year 2002 …….. Co-advisor's signature……

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและการให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งของ รศ.ดร. อรัญ หาญสืบสาย, รศ. พรทวี พึ่งรัศมีและ ศ.ดร. ชิดชนก เหลือสินทรัพย์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในระหว่างการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา

เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆที่ภาควิชาภาพถ่ายฯ สำหรับความรักความอบอุ่นและประสบการณ์ดีๆในชีวิตที่ได้รับจากที่นี่

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดาและน้องสาวที่น่ารัก ที่ได้ให้การสนับสนุนส่งเสริมและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

นายยุทธนา ลิลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…….……...……. ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…….…… จ
กิตติกรรมประกาศ……. …… ฉ
สารบัญ…….……... ช
สารบัญตาราง……..……. ฎ
สารบัญภาพ…… ฎ
บทที่ 1 บทนำ …… 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์…..…… 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์…….. 3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์……...… 4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ……...…… 4
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง …….. 5
2.1 การสร้างภาพสเตอริโอแกรม …….. 5
2.1.1 องค์ประกอบของระบบภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง…… 7
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลกับคุณภาพของภาพ…… ……..... 10
2.1.2.1 ภาพหลอนและการรบกวนข้ามช่อง……. 10
2.1.2.2 อัตราการกวาดภาพของจอแสดงผล…..…….. 12
2.1.3 การปรับขนาดภาพ……. 12
2.2 การปรับความคมชัดของภาพ…….. 14
2.2.1 เทคนิคการสร้างภาพสามมิติแบบแอเรียล เพอร์สเปคทีฟ…….. 14
2.2.2 ตัวกระทำการเฉลี่ย…….. 14
2.2.3 การทำคอนโวลูชันภาพ…….. 15
2.2.3.1 การทำคอนโวลูชันแบบ 1 มิติ……. 16
2.2.3.2 การทำคอนโวลูชันแบบ 2 มิติ……. 17

**สารบัญ (ต่อ)**

**หน้า**

2.3 การออกแบบโปรแกรมเชิงวัตถุ..... 20
2.3.1 การโปรแกรมเชิงวัตถุ ..... 20
2.3.2 ลักษณะของออบเจ็กต์ ..... 22
2.3.2.1 สถานะของความเป็นออบเจ็กต์..... 22
2.3.2.2 พฤติกรรมของออบเจ็กต์..... 22
2.3.2.3 คุณสมบัติเฉพาะของความเป็นออบเจ็กต์..... 22
2.3.3 การสร้างแบบแปลนให้ออบเจ็กต์ด้วยคลาส..... 22
2.3.4 คุณลักษณะของวิธีการเชิงวัตถุ..... 23
2.3.4.1 มุมมองของออบเจ็กต์..... 23
2.3.4.2 คุณค่าภายในออบเจ็กต์..... 23
2.3.4.3 ลำดับชั้นของออบเจ็กต์ ..... 23
2.3.4.4 การตอบสนองต่อออบเจ็กต์..... 24
2.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างออบเจ็กต์..... 24
2.3.5.1 ความสัมพันธ์แบบลิงค์ ..... 24
2.3.5.2 ความสัมพันธ์แบบ แอคกรีเกชัน..... 24
2.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส ..... 25
2.3.6.1 การสืบทอด..... 25
2.3.6.2 การใช้งานร่วมกัน..... 25
2.3.7 ประวัติและสถาปัตยกรรมของ MFC ..... 25
2.3.8 ประโยชน์จากการใช้คลาส MFC..... 32
2.4 แว่นตาผลึกเหลว..... 32
2.4.1 การทำงานของแว่นตาผลึกเหลว.....34
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 35

**สารบัญ (ต่อ)**

**หน้า**

บทที่ 3 การทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 39
3.1 การออกแบบโปรแกรมรับภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง..... 39
3.2 การออกแบบโปรแกรมมีนโอเปอเรชัน..... 43
3.3 การออกแบบโปรแกรมคำนวณความลึก..... 49
3.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ..... 52
3.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมแว่นตาผลึกเหลว..... 56
3.6 การออกแบบโปรแกรมส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน..... 58
3.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างระบบสเตอริโอแกรม..... 62
บทที่ 4 ผลการวิจัยและทดสอบโปรแกรม ..... 63
4.1 การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรม..... 63
4.1.1 ค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพ..... 63
4.1.2 ความผิดพลาดของการคำนวณระยะวัตถุ..... 64
4.2 ขั้นตอนการทดสอบโปรแกรม..... 64
4.2.1 การทดสอบระยะวัตถุ..... 64
4.2.2 การทดสอบค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพ..... 65
4.3 ผลการทดสอบโปรแกรม..... 65
4.3.1 ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพ..... 66
4.3.2 ผลการคำนวณระยะวัตถุและค่าร้อยละของความผิดพลาด..... 69
4.3.3 ผลของภาพภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย..... 71
4.3.4 ผลการเปรียบเทียบค่าการคำนวณระยะวัตถุ..... 76
4.3.5 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพ..... 78
บทที่ 5 บทสรุป ..... 79
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 79
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 79
รายการอ้างอิง ..... 80

**สารบัญ (ต่อ)**

**หน้า**

ภาคผนวก……...……..…… 81
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างภาพถ่ายของวัตถุที่ระยะต่างๆ…..……..……. 82
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะต่างๆของการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย……. 95
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างค่าความเข้มจุดภาพที่ระยะต่างๆของภาพก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยและภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย……..……. 121
ประวัติผู้เขียน……..…… 147

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญตาราง

หน้า

2-1 แสดงสัมประสิทธิ์ตัวกระทำการเฉลี่ย ..... 8
4-1 แสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพ..... 66
4-2 แสดงผลการคำนวณระยะวัตถุและค่าร้อยละของความผิดพลาด..... 69



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญภาพ

หน้า


2-1 แสดงระบบการรับและแสดงผลภาพสเตอริโอแกรม ..... 5

2-2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของระบบรับภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง ..... 8

2-3 แสดงค่าพารามิเตอร์ในการมองภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง..... 9

2-4 แสดงความเหลื่อมในแนวนอนที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกต..... 15

2-5 แสดงความบิดเบือนที่เกิดเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกตแต่แสดงภาพที่มีขนาดเท่าเดิม... 16

2-6 แสดงการคอนโวลูชันสัญญาณแบบ 1 มิติ..... 16

2-7 แสดงฟังก์ชัน A(x,y)..... 18

2-8 แสดงฟังก์ชัน B(x,y) ที่นำมาคอนโวลูชันกับสัญญาณ A(x,y)..... 18

2-9 แสดงฟังก์ชัน C(x,y) ที่เกิดจาก A(x,y) * B(x,y)..... 19

2-10 แสดงฟังก์ชัน C(x,y) ภายหลังการทำคอนโวลูชัน..... 20

2-11 สถาปัตยกรรมของ MFC ..... 28

2-12 แสดงสัญญาณที่ใช้ควบคุมแว่นตาผลึกเหลว ..... 34

2-13 แสดงภาพบอร์ดควบคุม MCS 51 และการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ..... 35

3-1 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม .....58

3-2 แสดงภาพส่วนการสั่งงานการแสดงภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง .....59

3-3 แสดงภาพส่วนการแสดงผลภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง ..... 59

3-4 แสดงภาพส่วนการสั่งงานการทำผลพิเศษกับภาพแบบมีนโอเปอเรชัน ..... 60

3-5 แสดงภาพส่วนสั่งงานการคำนวณความลึก .....60

3-6 แสดงภาพของส่วนการแสดงผลความลึก ..... 61

3-7 แสดงภาพของส่วนการสั่งงานกำหนดค่าตัวแปร ..... 61

3-8 แสดงภาพส่วนการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆในโปรแกรม ..... 61

4-1 แสดงภาพที่ผ่านการใช้สัมประสิทธิ์ตัวกระทำการเฉลี่ยที่แตกต่างกัน..... 71

4-2 ค่าความเข้มจุดภาพก่อนใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยขนาดจุดภาพ 8 x 8 จุดภาพ..... 72

4-3 ค่าความเข้มจุดภาพภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยขนาดจุดภาพ 8 x 8 จุดภาพ..... 72

4-4 ค่าความเข้มจุดภาพก่อนใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยขนาดจุดภาพ 16 x 16 จุดภาพ..... 73

# สารบัญภาพ

หน้า

4-5 ค่าความเข้มจุดภาพภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยขนาดจุดภาพ 16 x 16 จุดภาพ…..73
4-6 ภาพความเข้มจุดภาพขนาด 8x8 จุดภาพก่อนใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพ……..… 74
4-7 ภาพความเข้มจุดภาพขนาด 8x8 จุดภาพภายหลังใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพ…… 74
4-8 ภาพความเข้มจุดภาพขนาด 16x16 จุดภาพก่อนใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพ……...75
4-9 ภาพความเข้มจุดภาพขนาด 16x16 จุดภาพภายหลังใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพ……. 75
4-10 การเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยระยะวัตถุจากการคำนวณและระยะวัตถุจากการวัด……. 76
4-11 การเปรียบเทียบระหว่างระยะวัตถุจากการวัดและอัตราความผิดพลาดจากการคำนวณ…..77
4-12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพก่อนและหลังการใช้ตัวกระทำเฉลี่ย……...…78

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ภาพสเตอริโอแกรม (Stereogram Imaging) คือภาพที่จำลองการมองเห็นของมนุษย์ ในเชิงมิติซึ่งมีลักษณะเกิดจากการฉายภาพของวัตถุจากแหล่งข้อมูลภาพ 2 ชุด และภาพทั้งสองนั้นจะต้องเป็นภาพที่แทนมุมมองที่แตกต่างกันของดวงตาทั้งสองข้าง (Retinal Disparity) นั่นคือแสดงภาพๆ หนึ่งสำหรับดวงตาด้านขวา และอีกภาพหนึ่งสำหรับดวงตาด้านซ้าย ถ้าภาพทั้งสองมีความแตกต่างกันของระยะวัตถุตามแนวนอน จะทำให้ผู้มองภาพรับรู้ความลึกของวัตถุได้จากความแตกต่างของระยะวัตถุดังกล่าว[1] ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการแสดงภาพสเตอริโอแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะดังนี้ คือการแสดงแบบภาพคู่พร้อมกัน (Time-parallel) และการแสดงแบบภาพคู่แบบสลับเชิงเวลา (Time-multiplexed)

การแสดงภาพภาพคู่พร้อมกันนั้น มีอยู่สองลักษณะที่เป็นที่รู้จักกันคือกล้องมองภาพนิ่งสามมิติ แบบ View Master และแบบ Anaglyph โดยกล้องมองภาพนิ่งสามมิติแบบ View Master นั้น ผู้มองภาพต้องมองผ่านช่องมองภาพสองช่อง โดยแต่ละข้างของช่องมองภาพจะมีภาพสำหรับดวงตาข้างนั้นๆอยู่ หลังจากมองภาพแล้วสมองจะรับรู้และตีความถึงความลึกภายในภาพ ส่วนกล้องมองภาพนิ่งสามมิติแบบ Anaglyph นั้นใช้วิธีแสดงภาพทั้งสองบนจอภาพพร้อมๆ กัน โดยใช้สีที่ต่างกันสำหรับภาพทั้งสอง เช่น สีแดงกับสีน้ำเงิน โดยผู้มองภาพจะต้องสวมแว่นตาที่มีตัวกรองภาพสีแดงและสีน้ำเงิน ซึ่งจะตัดสีของภาพที่ไม่ต้องการออก ทำให้ดวงตาด้านซ้ายมองเห็นแต่ภาพที่จัดเตรียมไว้สำหรับดวงตาด้านซ้าย และดวงตาด้านขวาจะมองเห็นเฉพาะภาพที่เตรียมสำหรับดวงตาด้านขวาเท่านั้น

ส่วนการแสดงภาพคู่สลับเชิงเวลา มีหลักการทำงานคือแสดงภาพสำหรับตาด้านซ้ายในขณะที่ปิดตาด้านขวา สลับกับการแสดงภาพสำหรับตาด้านขวาในขณะที่ปิดตาด้านซ้าย หากการสลับดังกล่าวกระทำในเวลาอันสั้น โสตประสาทการรับรู้จะสามารถรวมภาพทั้งสองและรับรู้ความลึกได้ โดยการเปิด-ปิดดวงตาดังกล่าวนี้จะกระทำได้สองลักษณะ คือการใช้แว่นตาแบบ Active และแบบแว่นตาแบบ Passive สำหรับแว่นตาแบบ Active นั้นวัสดุที่ใช้ผลิตแว่นตาสร้างขึ้นมาจากผลึกเหลว (Liquid Crystal Display) ที่สามารถ

กั้นแสง หรือยอมให้แสงผ่านได้ตามลักษณะของสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้ามา โดยจะประสานแบบเป็นจังหวะกับการแสดงผลภาพของดวงตาด้านซ้าย และดวงตาด้านขวาสลับกันกับภาพบนจอภาพ ส่วนแว่นตาแบบ Passive นั้นการเปิดปิดภาพจะกระทำที่หน้าจอ โดยฉากหน้าของจอภาพสามารถที่จะควบคุมทิศทางคลื่นแสงได้ โดยให้ภาพของตาด้านซ้ายและภาพของตาด้านขวาแสดงสลับกันไป โดยมีคลื่นแสงที่ถูกบังคับทิศทางให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ผู้ชมภาพเพียงแค่สวมแว่นตากรองทิศทางของคลื่นแสงที่แตกต่างกันสำหรับดวงตาทั้งสองข้างก็จะสามารถรับรู้ความลึกของภาพได้

ระบบการมองภาพของมนุษย์นั้นใช้หลักการรับรู้หลายอย่างมาผสมผสานกันเพื่อแยกความลึกของตำแหน่งของวัตถุที่มองเห็นในภาพ ซึ่งการรับรู้ดังกล่าวนี้ประกอบด้วยสองหลักการใหญ่ๆ คือ ในทางสรีระศาสตร์ (Physiological) และในทางจิตศาสตร์ (Psychological) ซึ่งในทางสรีระศาสตร์สามารถจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มย่อยๆ ได้ดังนี้[1]

1.1.1 Accommodation คือ การเปลี่ยนแปลงระยะโฟกัสของเลนส์นัยน์ตาขณะที่เพ่งไปในส่วนที่สนใจ

1.1.2 Convergence คือ การเคลื่อนลูกตาเข้าหากันในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่เข้าหาผู้มอง

1.1.3 Binocular disparity คือ ความแตกต่างของภาพที่ฉายเข้าสู่ดวงตาด้านซ้าย และด้านขวา

1.1.4 Motion parallax คือ การรับรู้การเปลี่ยนแปลงของระยะทางสัมพัทธ์ของวัตถุเมื่อวัตถุหรือผู้มองมีการเคลื่อนที่

ส่วนการรับรู้ในทางจิตศาสตร์นั้นมีผลมาจากสิ่งต่อไปนี้

1.2.1 Linear perspective คือ คุณสมบัติของการมองที่ทำให้ขนาดของวัตถุมีขนาดเล็กลงเมื่ออยู่ห่างจากตำแหน่งผู้มองมากขึ้น

1.2.2 Shading and shadowing คือ คุณสมบัติของแสง และเงาในภาพที่ช่วยให้ผู้มองรับรู้ตำแหน่งความลึกเทียบกับทิศทางของแสงและเงา

1.2.3 Aerial perspective คือ คุณสมบัติของการมองที่ทำให้เห็นวัตถุที่อยู่ไกลชัดเจนน้อยกว่าวัตถุที่อยู่ไกล้

1.2.4 Interposition (Occlusion) คือ การบดบังกันของวัตถุที่ทำให้ผู้มองรับรู้ว่าวัตถุที่อยู่ใกล้จะบดบังวัตถุที่อยู่ไกลกว่า

1.2.5 Texture gradient คือ ความลาดของเนื้อวัตถุที่ช่วยให้ผู้มองรับรู้ความลึกจากความละเอียดของเนื้อวัตถุที่เห็น

1.2.6 Color คือ สีของวัตถุซึ่งช่วยเน้นความลึกได้ โดยการใช้สีที่สดใสกว่ากับวัตถุที่อยู่ใกล้ และใช้สีที่ทึบกับวัตถุที่อยู่ไกล

ในปัจจุบันนี้การแสดงภาพสเตอริโอแกรมได้ใช้เทคนิคการแสดงภาพแบบ Binocular disparity เพียงอย่างเดียว และควบคุมการมองเห็นภาพสามมิติผ่านทางแว่นตาผลึกเหลวด้วยวิธีการสลับภาพเชิงเวลาซึ่งแว่นตาที่ใช้ในการแสดงผลภาพสามมิติมีทั้งแบบ Active LCD และแบบ Passive LCD ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้แว่นตาชนิด Active LCD Eyeglasses.

การมองเห็นของมนุษย์ในชีวิตประจำวันได้มองเห็นภาพเป็นสามมิติซึ่งเกิดจากการมองเห็นจากตาทั้งสองข้างและจากเทคนิคอื่นๆในเชิงจิตศาสตร์อีกมากมาย ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการนำเทคนิคในการสร้างภาพสามมิติทั้งสองด้าน คือทั้งในด้านสรีระศาสตร์ และในด้านจิตศาสตร์มาผสมผสานกัน เพื่อให้เกิดความสมจริงในการมองเห็นของมนุษย์มากที่สุดซึ่งเป็นประเด็นหลักในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยได้เสนอเทคนิค Binocular disparity สำหรับทางสรีระศาสตร์ มาผสมกับเทคนิค Aerial perspective ในทางจิตศาสตร์ เพื่อสร้างภาพ สเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงโดยได้ใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชัน มาใช้เพื่อปรับความคมชัดของภาพซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ภาพมีลักษณะของมิติ โดยที่ วิธีการปรับความคมชัดของภาพ จะสามารถกระทำได้โดยการกรองภาพด้วยสัมประสิทธิ์ตัวกระทำการเฉลี่ย (Mean Coefficient Matrix Filters) กับในแต่ละชั้นของภาพ (ภาพฉากหน้า และภาพฉากหลัง) และจากการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกระทำการเฉลี่ยที่เหมาะสมกับภาพฉากหลังจะให้ผลของภาพที่มีมิติมากขึ้น หลังจากนั้นจึงแสดงผลภาพจากเทคนิคดังกล่าวนี้ในแบบสเตอริโอแกรม

## 1.2 **วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์**

เพื่อทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ และเทคนิคการสร้างภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง

**1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์**

1.3.1 สร้างโปรแกรมการเกิดภาพเสตอริโอแกรมแบบเวลาจริงโดยใช้มีนโอเปอเรชัน ที่สามารถทำงานได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี (PC Computer) ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง รุ่นเพนเทียม ขึ้นไป, มีหน่วยความจำหลักอย่างน้อย 2 MB, มีการ์ดแสดงผลภาพชนิดซุปเปอร์วีจีเอ (Super VGA) ที่มีหน่วยความจำอย่างน้อย 512 KB, มีฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) ที่มีพื้นที่ว่างอย่างน้อย 8 MB, และมีช่องทางติดต่อสื่อสารแบบ USB (Universal Serial Bus) อย่างน้อย 2 ช่องทาง และใช้ระบบปฏิบัติการตั้งแต่วินโดวส์ 98 ขึ้นไป

1.3.2 สร้างโปรแกรมการเกิดภาพเสตอริโอแกรมแบบเวลาจริงโดยใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชัน ที่สามารถวิเคราะห์ความลึกของภาพได้โดยใช้โปรแกรมวิชวล ซี++

1.3.3 ทำการทดสอบการทำงานรับภาพของโปรแกรมใช้ภาพผ่านกล้องวิดีโอ 2 ตัว

1.3.4 ในการทดสอบการแสดงผลภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง ให้ผู้ทดสอบใช้แว่นตาผลึกเหลว (Liquid Crystal Display shutter eyeglasses) ชนิด Active ในการมองภาพ

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

โปรแกรมการเกิดภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงโดยใช้มีนโอเปอเรชัน จะก่อให้เกิดประโยชน์ดังต่อไปนี้

1.4.1 ได้ซอฟต์แวร์สร้างภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงโดยใช้มีนโอเปอเรชัน

1.4.2 ก่อให้เกิดการประยุกต์เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการสร้างภาพสามมิติเข้าด้วยกัน

1.4.3 ก่อให้เกิดความรู้เกี่ยวกับเทคนิคในงานสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง

1.4.4 เป็นโครงการที่จะทำให้เกิดการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในลักษณะที่ก้าวหน้าขึ้น เช่น การพัฒนาระบบภาพเสมือนจริง (Virtual Reality) ที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์

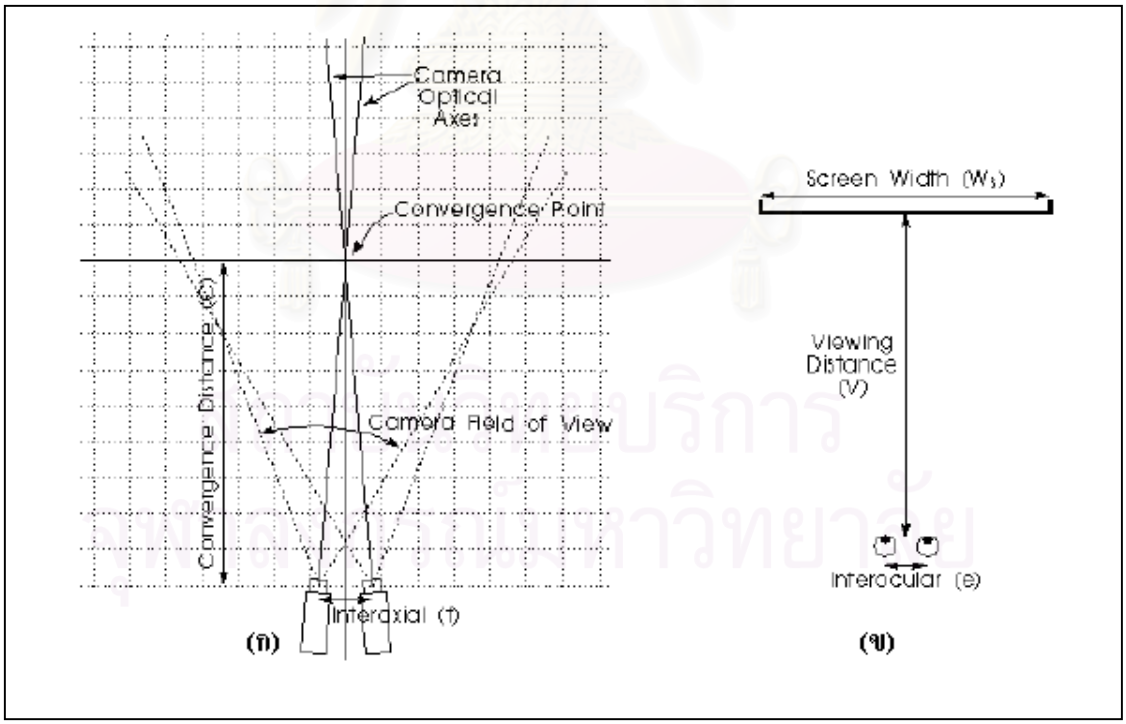
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 การสร้างภาพสเตอริโอแกรม

ในระบบการแสดงภาพสเตอริโอนั้น จะต้องสร้างภาพสองภาพสำหรับดวงตาแต่ละข้าง และทำการภาพฉาย (Projection) ของวัตถุทั้งสองภาพบนระนาบการฉาย โดยสามารถแบ่งระบบภาพออกได้เป็นสองลักษณะ (Andrew Woods et all. 1993) คือ ระบบการรับภาพสเตอริโอแกรม (Stereoscopic camera system) และระบบการแสดงภาพภาพสเตอริโอแกรม (Stereoscopic display system) ดังแสดงในรูปที่ 2-1 ซึ่งในระบบการรับภาพสเตอริโอแกรมนั้นยังจำแนกออกเป็นสองลักษณะคือ ระบบภาพสเตอริโอแกรมแบบลู่เข้าแกน (Toe-in axis stereogram system) และระบบภาพสเตอริโอ-แกรมแบบขนานแกน (Parallel axis stereogram system)




รูปที่ 2-1 (ก) แสดงระบบการรับภาพสเตอริโแกรม (ข) แสดงระบบการแสดงภาพสเตอริโอแกรม

ระบบการรับภาพและระบบการแสดงผลภาพสเตอริโอแกรมนั้นมีค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่ทำให้เกิดความเป็นมิติดังนี้ [2]

ระบบการรับภาพสเตอริโอแกรม

(ก) ระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสองตัว

(ข) ระยะห่างตามแนวแกนเลนส์ของกล้องทั้งสองที่ลู่เข้าจนถึงจุดที่ตัดกัน

(ค) มุมการมองของกล้อง (กำหนดจากขนาด CCD และความยาวโฟกัสของเลนส์)

ระบบการมองภาพสเตอริโอแกรม

(ง) ระยะห่างระหว่างผู้มองกับจอแสดงภาพ

(จ) ขนาดของจอภาพ

(ฉ) ระยะห่างของดวงตาผู้มองภาพ

ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆในระบบตามรูปที่ 2-2 และรูปที่ 2-3 นั้นมีความหมายดังนี้

$t$ ระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสองตัว (วัดจากจุดกึ่งกลางระหว่างหน้าเลนส์ของกล้องทั้งสองตัว

$C$ ระยะห่างของจุดกึ่งกลางเลนส์ทั้งสองโดยวัดจากเส้นสมมุติที่ลู่เข้าจากวัตถุที่สนใจผ่านเลนส์จนถึงอุปกรณ์รับภาพภายในกล้อง

$f$ ความยาวโฟกัสของเลนส์

$W_c$ ความกว้างของอุปกรณ์รับภาพภายในของกล้อง ( CCD width )

$\beta$ มุมลู่เข้าของกล้อง, ใช้สำหรับระบบภาพสเตอริโอแกรมแบบลู่เข้าแกนโดยวัดจากเส้นขนานหมุนเข้าสู่มุมที่กล้องลู่เข้า

$h$ ระยะวัดจากจุดที่สนใจถึงจุดกึ่งกลางของอุปกรณ์รับภาพภายใน (สำหรับระบบภาพสเตอริโอแกรมแบบขนานแกน)

$\alpha$ บริเวณมุมการมองภาพของกล้อง (มุมตามแนวนอนของกล้อง)

$V$ ระยะห่างของจุดมองภาพ (วัดจากจุดที่มองภาพถึงระนาบที่แสดงภาพ)

$e$ ระยะห่างระหว่างดวงตาทั้งสองของผู้มองภาพ ( ตามปรกติมีค่า 65 mm.)

$W_s$ ความกว้างของจอแสดงภาพ

$P$ ระยะเหลื่อมของภาพ (ระยะตามแนวนอนของจุดๆเดียวกันที่ปรากฏบนภาพทั้งสอง)

$M$ การขยายขนาดภาพ (อัตราส่วนระหว่างขนาดความกว้างของจอแสดงภาพต่อความ

กว้างของอุปกรณ์รับภาพภายในของกล้อง)

$(X_o, Y_o, Z_o)$ ตำแหน่งของจุดที่สนใจในระบบพิกัดของวัตถุ

$(X_i, Y_i, Z_i)$ ตำแหน่งของจุดที่สนใจในระบบพิกัดภาพ

$(X_{cl}, Y_{cl}), (X_{cr}, Y_{cr})$ ตำแหน่งของจุดภาพที่สนใจที่แสดงบนอุปกรณ์รับภาพภายในกล้องซ้ายและขวา

$(X_{sl}, Y_{sl}), (X_{sr}, Y_{sr})$ ตำแหน่งของจุดบนภาพซ้ายและขวาที่เราสนใจบนจอแสดงภาพ

$Y_s$ ตำแหน่งพิกัด Y ของจุดเหลื่อมในแนวระดับที่เกิดภาพสเตอริโอแกรมขึ้น ซึ่งค่า

$$Y_s = \frac{(Y_{sr} + Y_{sl})}{2}$$

### 2.1.1 องค์ประกอบของระบบภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง

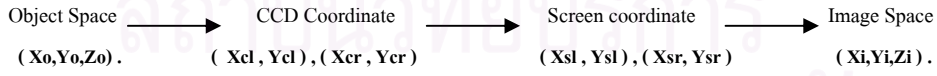
องค์ประกอบของระบบภาพสเตอริโอแกรมสามารถ แบ่งการแปลงพิกัดออกเป็น 3 ส่วนได้ดังนี้ [9]

(ก) การแปลงระบบพิกัดของวัตถุ (พิกัด $X_o, Y_o, Z_o$) เข้าสู่ระบบพิกัดของอุปกรณ์รับภาพภายในของกล้องทั้งสอง (พิกัดCCD)

(ข) การแปลงระบบพิกัดของอุปกรณ์รับภาพภายในทั้งสองของกล้องสู่ตำแหน่งพิกัดของภาพทั้งสองที่แสดงอยู่บนจอภาพ

(ค) การแสดงผลของพิกัดภาพ ( พิกัด $X_i, Y_i, Z_i$)

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้



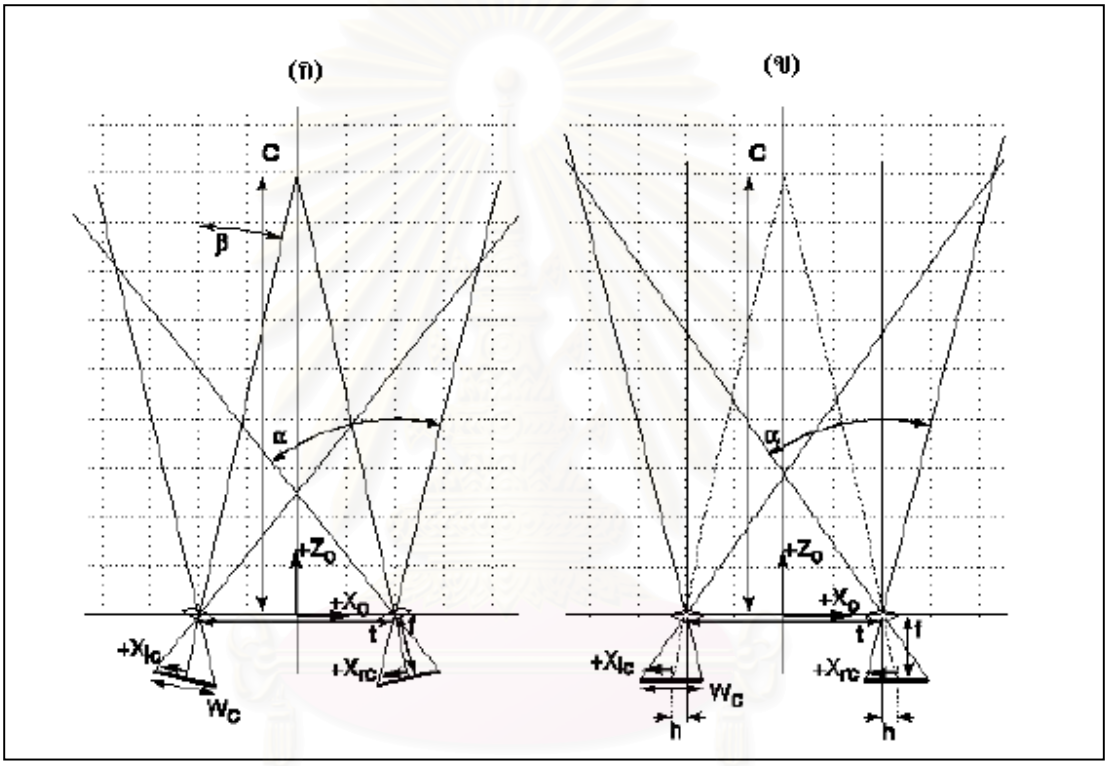

การแปลงพิกัดลำดับที่หนึ่ง (แปลงจากระบบพิกัดของวัตถุข้าสู่ระบบพิกัดของอุปกรณ์รับภาพภายในของกล้องทั้งสอง) ตามรูปที่ 2-2 แสดงได้ด้วยสมการ (2-1) – (2-4)

$$X_{cl} = f \tan\left[\tan^{-1}\left(\frac{t + 2X_o}{2Z_o}\right) - \beta\right] - h \qquad (2\text{-}1)$$

$$X_{cr} = -f \tan\left[\tan^{-1}\left(\frac{t-2X_o}{2Z_o}\right)-\beta\right]+h \tag{2-2}$$

$$Y_{cl} = \frac{Y_o f}{Z_o \cos\beta + X_o + \frac{t}{2}\sin\beta} \tag{2-3}$$

$$Y_{cr} = \frac{Y_o f}{Z_o \cos\beta - X_o - \frac{t}{2}\sin\beta} \tag{2-4}$$




รูปที่ 2-2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบรับภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง

(ก) ระบบภาพสเตอริโอแกรมแบบลู่เข้าแกน (Toe-in axis stereogram system)

(ข) ระบบภาพสเตอริโอ-แกรมแบบขนานแกน (Parallel axis stereogram system)

การแปลงพิกัดลำดับที่สอง (แปลงจากระบบพิกัดของอุปกรณ์รับภาพภายในของกล้องทั้งสองสู่ตำแหน่งพิกัดของภาพทั้งสองที่แสดงอยู่บนจอภาพ) สามารถแสดงได้ด้วยสมการ (2-5) – (2-8)

$$X_{sl} = MX_{cl} \tag{2-5}$$

$$X_{sr} = MX_{cr} \tag{2-6}$$

$$Y_{sl} = MY_{cl} \tag{2-7}$$

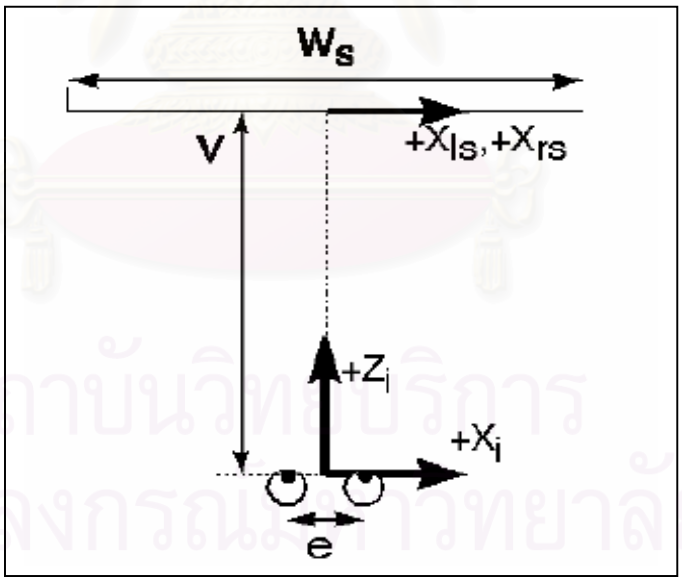
$$Y_{sr} = MY_{cr} \tag{2-8}$$

และการแปลงพิกัดลำดับสุดท้าย ( การแสดงพิกัดของภาพ ) ตามรูปที่ 2-3 สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ (2-9) – (2-11)

$$X_i = \frac{e(X_{sl} + X_{sr})}{2(e-P)} \tag{2-9}$$

$$Y_i = \frac{Y_s e}{e-P} \tag{2-10}$$

$$Z_i = \frac{Ve}{e-P} \tag{2-11}$$




รูปที่ 2-3 แสดงค่าพารามิเตอร์ในการมองภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทั้งนี้ค่าความแตกต่างของจุดสองจุดในแนวแกน Y ของพิกัดภาพของจอภาพทั้งสองที่แสดงอยู่นั้น จะมีค่าน้อยมากๆเนื่องจากการจัดระบบรับภาพที่ดี โดยให้กล้องวิดีทัศน์ทั้งสองตัวอยู่ในระนาบเดียวกันก็ทำให้สามารถลดตัวแปร $Y_{sl}$ และ $Y_{sr}$ ให้มีค่าเป็นค่า $Y_s$ เพียงค่าเดียวได้ โดยทั้งนี้ค่า $Y_s$ มีค่าเท่ากับ $Y_s = \frac{(Y_{sr} + Y_{sl})}{2}$

เมื่อรวมสมการทั้งหมดของการแปลงระบบ ตั้งแต่ระบบพิกัดของวัตถุจนถึงการแสดงผลของพิกัดภาพได้ดังสมการที่ (2-12) – (2-14)

$$X_i = \frac{Mfe\left(\tan\left[\tan^{-1}\frac{t+2X_o}{2Z_o} - \beta\right] - \tan\left[\tan^{-1}\frac{t-2X_o}{2Z_o} - \beta\right]\right)}{2e - 4Mh + 2Mf\left(\tan\left[\tan^{-1}\frac{t-2X_o}{2Z_o} - \beta\right] + \tan\left[\tan^{-1}\frac{t+2X_o}{2Z_o} - \beta\right]\right)} \quad (2\text{-}12)$$

$$Y_i = \frac{Y_s e}{e - 2Mh + Mf\left(\tan\left[\tan^{-1}\frac{t-2X_o}{2Z_o} - \beta\right] + \tan\left[\tan^{-1}\frac{t+2X_o}{2Z_o} - \beta\right]\right)} \quad (2\text{-}13)$$

$$Z_i = \frac{Ve}{e - 2Mh + Mf\left(\tan\left[\tan^{-1}\frac{t-2X_o}{2Z_o} - \beta\right] + \tan\left[\tan^{-1}\frac{t+2X_o}{2Z_o} - \beta\right]\right)} \quad (2\text{-}14)$$

### 2.1.2 ปัจจัยที่มีผลกับคุณภาพของภาพ

มีปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพที่ได้ ได้แก่

#### 2.1.2.1 ภาพหลอนและการรบกวนข้ามช่อง

ในระบบภาพสลับเชิงเวลา (Time-Multiplexed) ที่สมบูรณ์ เมื่อภาพสำหรับตาขวากำลังแสดงบนจอภาพ ภาพสำหรับตาซ้ายก็จะถูกปิดไปอย่างหมดจด หรือในทางกลับกัน เมื่อภาพสำหรับตาซ้ายกำลังแสดงบนจอภาพสำหรับตาขวาก็จะถูกปิดอย่างหมดจดเช่นกัน แต่ในระบบจริงๆแล้วการรบกวนข้ามช่องระหว่างภาพจะเกิดขึ้น ปัจจัยที่มี

ผลต่อปริมาณการรบกวนข้ามช่องได้แก่ อัตราการส่งผ่านแสงในสภาวะเปิดต่อสภาวะปิด (Dynamic Range) ของชัตเตอร์, การคงอยู่ของฟอสฟอรัสบนจอภาพ (Phospor Persistance) และตำแหน่งทางแนวตั้งของภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อการได้รับหรือเห็นภาพหลอน (Ghosting) ระหว่างภาพของตาซ้ายและขวา ซึ่งเป็นผลมาจากรบกวนข้ามช่องได้แก่ ความสว่างของภาพ, ความเข้ม, ความซับซ้อนของพื้นผิว, และ การเหลื่อมในแนวนอน[1]

การรบกวนข้ามช่องเป็นผลมาจากการรวมกันของผลที่เกิดจากการรั่วของชัตเตอร์ ในขณะที่ยังเปิดอยู่ และฟอสฟอรัสที่ยังไม่จางหายไปของภาพตรงข้ามกับที่แสดงอยู่ในขณะที่ชัตเตอร์กำลังเปิดอยู่ ปริมาณการรั่วของชัตเตอร์ที่อยู่ในสถานะเปิด จะถูกวัดในรูปของอัตราส่วนของการส่งผ่านของแสงในสภาวะเปิดต่อสภาวะปิด สำหรับการวัดปริมาณฟอสฟอรัสที่ตกค้างมาจากภาพตรงข้ามจะวัดโดยใช้ระยะเวลาที่ความสว่างของฟอสฟอรัสลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ จากความสว่างเริ่มต้น ซึ่งมักอยู่กับสีของวัตถุ เช่น ฟอสฟอรัสหมายเลข P22 ที่ใช้กันมากในจอสีทั่วไปฟอสฟอรัสสีแดง และน้ำเงินจะลดความสว่างลงเร็วกว่าฟอสฟอรัสสีเขียว

ผลกระทบเรื่องการคงอยู่ของฟอสฟอรัสยังขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุบนจอภาพแบบราสเตอร์สแกน (Raster Scan) ฟอสฟอรัสที่อยู่ด้านบนของจอภาพจะมีเวลาในการสลายตัวมากกว่าบริเวณอยู่ด้านล่าง เมื่อชัตเตอร์เริ่มเปลี่ยนสถานะ ดังนั้นภาพที่อยู่ในส่วนบนๆ จะได้รับผลกระทบน้อยกว่าบริเวณที่อยู่ด้านล่าง

ปรากฏการณ์ภาพหลอน ซึ่งเป็นผลมาจากการรบกวนข้ามช่องระหว่างตาซ้ายและขวาสามารถลดลงได้โดยหลายปัจจัยเช่น ความสว่างของภาพ, ความเข้ม, ความซับซ้อนของพื้นผิว, และปริมาณการเหลื่อมในแนวนอน ปริมาณผลกระทบที่ได้รับจากปัจจัยเหล่านี้ ไม่สามารถวัดเป็นปริมาณที่วัดได้ง่ายๆ แต่สามารถใช้ หลักการง่ายๆ ในการเพิ่มคุณภาพของภาพได้โดยที่ ภาพหลอนจะแปรผันโดยตรงกับความสว่างของภาพ, ความเข้ม, และปริมาณการเหลื่อมในแนวนอน และแปรผกผันกับความซับซ้อนของพื้นผิวหรือรายละเอียดของภาพ

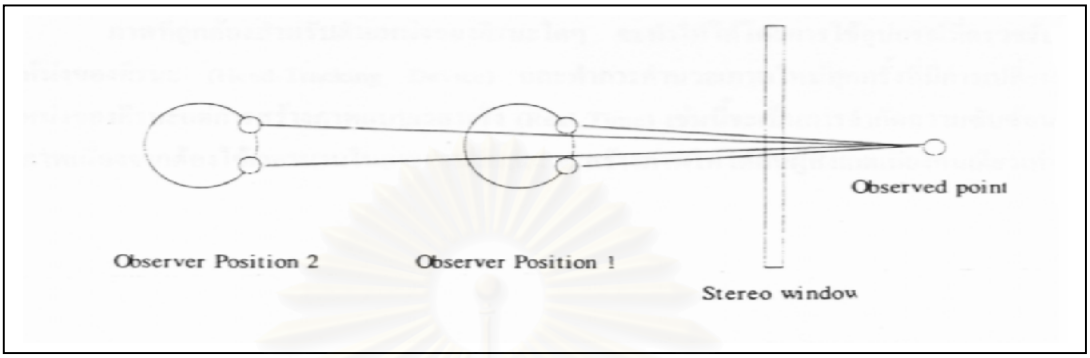
#### 2.1.2.2 อัตราการกวาดภาพของจอแสดงผล

อัตราการกวาดภาพของจอแสดงผลจะมีผลต่อการกระพริบของภาพที่แสดงในจอส่วนใหญ่ที่มีอัตราการกวาดภาพเป็น 60 ภาพต่อวินาที จะทำให้ แต่ละตาได้รับภาพในอัตรา 30 ภาพต่อวินาที การสลับภาพมักจะทำโดยใช้ ฮาร์ดแวร์ และมีสองบัฟเฟอร์ (Buffer) การทำระบบแบบตอบโต้มักทำได้ยากเนื่องจากการเตรียมภาพสำหรับแต่ละตานั้นต้องทำให้ได้ภายใน 1/60 วินาที ในจอ ภาพที่มีอัตราการกวาดภาพเป็น 120 ภาพต่อวินาทีมักจะทำการลดความละเอียดของภาพการแสดงผลและเพิ่มบัฟเฟอร์ อีกสองบัฟเฟอร์สำหรับการเตรียมภาพที่ใช้แสดงผล การทำระบบแบบโต้ตอบทันทีสำหรับระบบเช่นนี้จะมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากกว่าแบบแรก

### 2.1.3 การปรับขนาดภาพ

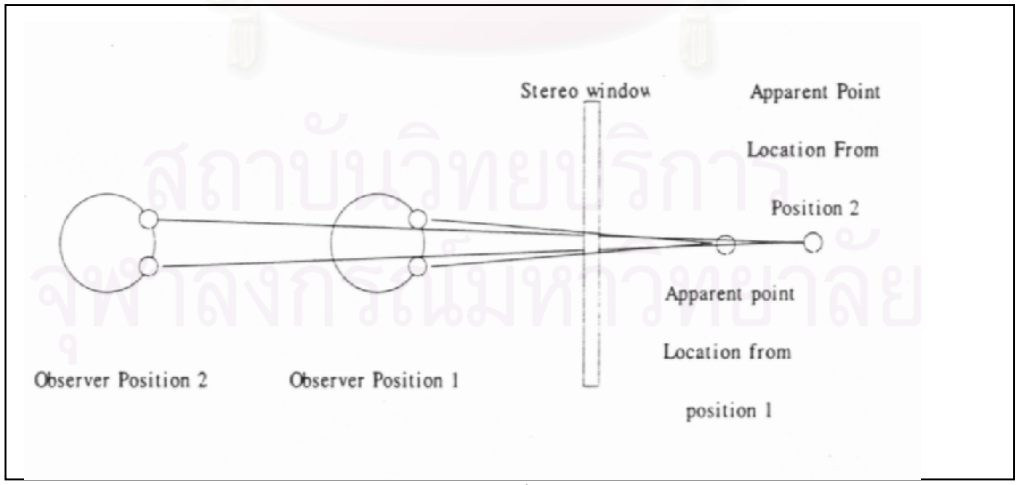
การปรากฏความลึกของจุดหรือวัตถุ ในระบบแสดงผลแบบสเตอริโอขึ้นกับตำแหน่งของผู้สังเกตเทียบกับจอภาพ ความสัมพันธ์นี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-5 เมื่อผู้สังเกตอยู่ห่างจากจอภาพมากขึ้น การเหลื่อมในแนวนอนสำหรับจุดคงที่จุดหนึ่งจะลดลง เมื่อผู้สังเกตอยู่ใกล้จอมากขึ้นการเหลื่อมในแนวนอนก็จะมากขึ้น

เนื่องจากระยะห่างของผู้ลังเกตกับจอภาพมักไม่สามารถกำหนดได้อย่างตายตัวหรือไม่ทราบค่าโดยทั่วไปมักจะคำนวณภาพ โดยการสมมุติให้ผู้สังเกตอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางและมีระยะห่างจากระนาบการฉายเป็นระยะคงที่ระยะหนึ่งยิ่งไปกว่านั้น (ยกเว้น Head Sensing Display) ภาพจะไม่ถูกเปลี่ยนเมื่อผู้สังเกตเปลี่ยนตำแหน่งการมองไป สมมุติฐานเช่นนี้ทำให้ระบบมีการเหลื่อมในแนวนอนแบบคงที่ (Fixed Horizontal Parallax) สำหรับจุดหนึ่งจากระนาบการฉาย ไม่ว่าผู้ลังเกตจะอยู่ตำแหน่งใดก็ตาม




รูปที่ 2-4 แสดงความเหลื่อมในแนวนอนที่เปลี่ยนไปเมื่อตำแหน่งของผู้สังเกตเปลี่ยน

ระบบที่มีการเหลื่อมในแนวนอนแบบคงที่ ก่อให้เกิดการบิดเบือนของภาพตามแกนการมองตั้งฉากกับระนาบของผู้มอง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-6 เมื่อผู้สังเกตเคลื่อนออกไปไกลจากจอขึ้นภาพจะยาวเรียวขึ้น และเมื่อผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าใกล้จอมากขึ้นภาพก็จะหดลง เมื่อผู้สังเกตเคลื่อนจากอีกด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งภาพก็จะเลื่อนตามไปด้วย ในทางปฏิบัติแล้วการประยุกต์ใช้ต่อปัจจัยเหล่านี้จะทำการกำหนดตำแหน่งที่น้อยที่สุดในการมองภาพที่จะทำให้การปรับขนาดภาพ ในแนวจากด้านหน้าไปด้านหลังของภาพต่อการปรับสัดส่วนภาพในแนวขึ้นลงหรือซ้ายขวา




รูปที่ 2-5 แสดงความบิดเบือนที่เกิดขึ้นเมื่อตำแหน่งของผู้สังเกตเปลี่ยนไปแต่ภาพที่แสดงมีขนาดเท่าเดิม

ภาพที่ถูกต้องสำหรับตำแหน่งของศีรษะใดๆ จะทำให้ได้โดยการใช้อุปกรณ์ที่ตรวจจับตำแหน่งของศีรษะ (Head-Tracking Device) และทำการคำนวณภาพใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของศีรษะแต่การสร้างภาพแบบเวลาจริง (Real Time) เช่นนี้จะเป็นการจำกัดความซับซ้อนของภาพเนื่องจากต้องใช้เวลานานในการคำนวณและจะสร้างภาพให้ได้กับผู้สังเกตเพียงคนเดียวเท่านั้น

## 2.2 กรรมวิธีการปรับความเปรียบต่างของภาพ

### 2.2.1 เทคนิคการสร้างภาพสามมิติแบบแอเรียล เพอสเพคตีฟ Aerial perspective

แอเรียล เพอสเพคตีฟ คือเทคนิคการสร้างภาพสามมิติในเชิงจิตศาสตร์ ที่ใช้วิธีแสดงให้เห็นภาพวัตถุที่อยู่ห่างไกลออกไปในลักษณะที่ไม่ชัดเจนหรือมัวซึ่งส่วนใหญ่เป็นภาพฉากหลัง เหมือนการมองภาพของภูเขาในแนวระดับมักจะเห็นท้องฟ้าไม่ชัดเจน สาเหตุก็เนื่องมาจากมีละอองน้ำเล็กๆ และอานุภาพของฝุ่นผงในอากาศลอยอยู่ระหว่างตาและฉากหลัง ถ้าภู-เขายิ่งอยู่ไกลออกไปเท่าไรก็ยิ่งเห็นฉากหลังของภูเขานั้นไม่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ความชัดเจนที่ปรากฏเป็นสิ่งที่บอกความใกล้ความไกล หรืออย่างเช่นสีของน้ำทะเล ถ้าเห็นเป็นสีน้ำเงินแสดงว่ามีความลึก แต่ถ้าเป็นสีดำแสดงว่าลึกมาก

### 2.2.2 ตัวกระทำการเฉลี่ย

ตัวกระทำการเฉลี่ยคือ กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในจุดที่สนใจโดยการเปลี่ยนแปลงจะสัมพันธ์กับจุดข้างเคียงของข้อมูล ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับจุดที่สนใจจะมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลข้างเคียงเป็นหลัก ซึ่งการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยกับภาพจะหมายถึงการเฉลี่ยภาพความสว่างของภาพให้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งผลที่เกิดก็คือภาพจะมีความเปรียบต่าง (Contrast) ที่ลดลง [5]

หลักการสำหรับการออกแบบตัวกระทำการเฉลี่ยคือค่าสัมประสิทธิ์ตัวกระทำฉลี่ยในเมตริกส์จะมีค่าเท่ากับค่าหนึ่งส่วนด้วยขนาดของแมทริกส์ เช่นเมตริกส์ขนาด

3x3 จะมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกระทำการเฉลี่ยแต่ละค่าเป็น 1/9 และถ้าเป็นแมทริกส์ขนาด 5x5 จะมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกระทำการเฉลี่ยแต่ละค่าเป็น 1/25 ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ตัวกระทำการเฉลี่ย

| | | |
|---|---|---|
| **1/9** | **1/9** | **1/9** |
| **1/9** | **1/9** | **1/9** |
| **1/9** | **1/9** | **1/9** |

### 2.2.3 การทำคอนโวลูชันภาพ

การคอนโวลูชันคือกระบวนการที่ใช้ในการรวมสัญญาณใดๆหลายสัญญาณเข้าด้วยกันให้เหลือเพียงหนึ่งสัญญาณ ใช้สัญลักษณ์ ( * ) แทนกระบวนการ ซึ่งตัวกระทำการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ ในการทำคอนโวลูชันก็คือ การคูณและการบวก โดยผลของการทำคือผลรวมของการคูณและบวก[5]

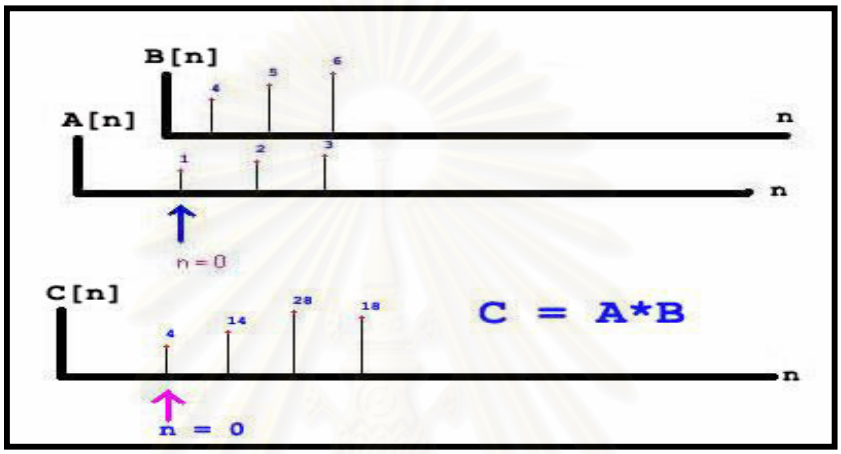
การคอนโวลูชันสัญญาณสามารถกระทำได้กับสัญญาณทั้งแบบ 1 มิติ และกับ n มิติซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณว่าเป็นสัญญานแบบตัวแปรเดียว หรือหลายตัวแปร ( n ตัวแปร ) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการคอนโวลูชันกับสัญญาณภาพ ซึ่งเป็นสัญญาณแบบ 2 มิติ ซึ่งมีสมการในการ ทำคอนโวลูชันดังสมการ 2-15

$$f(t)*g(t) \equiv \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau)g(t-\tau)d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} g(\tau)f(t-\tau)d\tau \qquad (2\text{-}15)$$

ฟังก์ชัน f และ t เป็นฟังก์ชันที่แปรตามเวลา โดยแทนสัญญาณข้อมูลภาพจากกล้องทั้งสอง

### 2.2.3.1 การคอนโวลูชันแบบ 1 มิติ

สัญญาณแบบ 1 มิติ คือสัญญาณที่แปรผันตามค่าฟังก์ชันใดๆฟังก์ชันหนึ่ง โดยที่สัญญาณอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงก็คือสัญญาณที่เราสนใจ เราสามารถกระทำการคอนโวลูชันสัญญาณประเภทนี้ได้ดังนี้




รูปที่ 2-6 แสดงการคอนโวลูชันสัญญาณแบบ 1 มิติ

A[n] เป็นฟังก์ชันสัญญาณแบบเวลาเต็มหน่วยที่มีค่าดังนี้

$$A[n] : 1, 2, 3, .....$$
$$\uparrow$$
$$n = 0$$

B[n] เป็นฟังก์ชันสัญญาณแบบเวลาเต็มหน่วยที่มีค่าดังนี้

$$B[n] : 4, 5, 6, .....$$
$$\uparrow$$
$$n = 0$$

C[n] เป็นสัญญาณเวลาเต็มหน่วยลัพธ์ที่เกิดจากการคอนโวลูชันสัญญาณ A[n] และ B[n]

C[0] = A[-1] * B[-1] + A[0] * B[0]

= (0) * (0) + (1) * ( 4) = **4**

C[1] = A[0] * B[0] + A[1] * B[1]

= (0) * (0) + (1) * ( 4) = **14**

C[2] = A[1] * B[1] + A[2] * B[2]

= (0) * (0) + (1) * ( 4) = **28**

C[3] = A[2] * B[2] + A[3] * B[3]

= (0) * (0) + (1) * ( 4) = **18**

C[n] : **4, 14, 28, 18, ….**

↑

$n = 0$

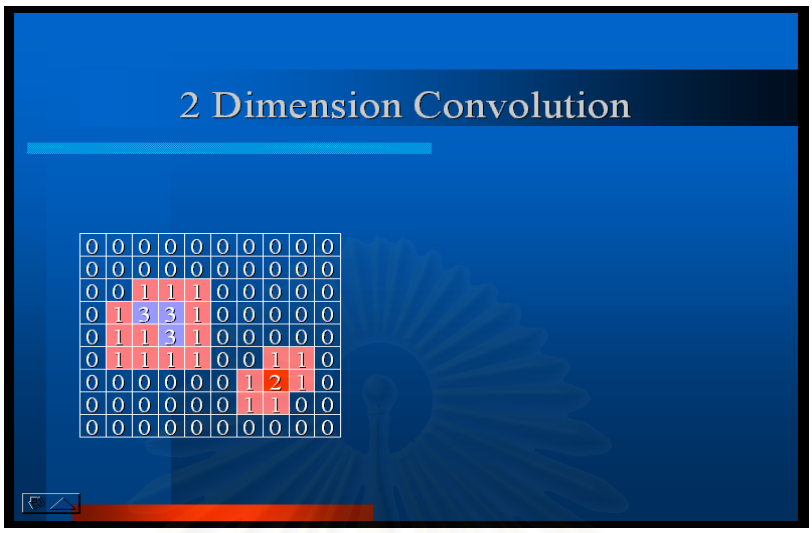
**2.2.3.2 การคอนโวลูชันแบบ 2 มิติ**

สัญญาณแบบ 2 มิติคือสัญญาณที่แปรผันตามฟังก์ชันใดๆ 2 ฟังก์ชัน โดยที่ฟังก์ชันทั้งสองต้องแปรผันตามสิ่งใดสิ่งหนึ่งเหมือนกันด้วย เช่นแปรผันตามเวลา ตัวอย่างของสัญญาณแบบ 2 มิติ คือ สัญญาณภาพ

A(x,y) และ B(x,y) เป็นสัญญาณแบบ 2 มิติที่ขึ้นกับพิกัด x,y และ C(x,y) เป็นสัญญาณภาพลัพธ์ที่เกิดจากการคอนโวลูชันระหว่าง A(x,y) และ B(x,y) ตามสมการที่ 2-16 ซึ่งเป็นสมการสำหรับคอนโวลูชันสัญญาณแบบ 2มิติ

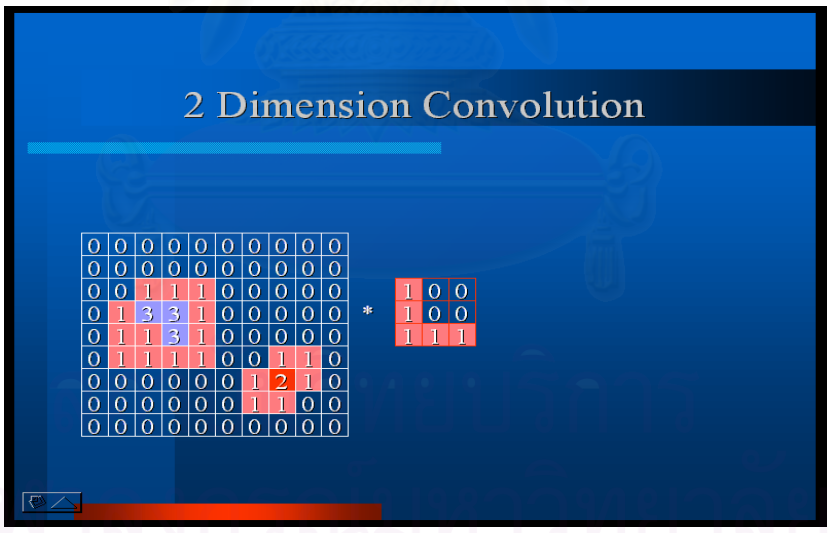
$$conv_{ij,d}(f,g) = \sum_{x=i-k}^{i+k} \sum_{y=j-l}^{j+l} (f_{x,y} - \overline{f}) * (g_y + \overline{g}) \qquad (2\text{-}16)$$

A(x,y) เป็นสัญญาณภาพมีลักษณะดังรูปที่ 2-7

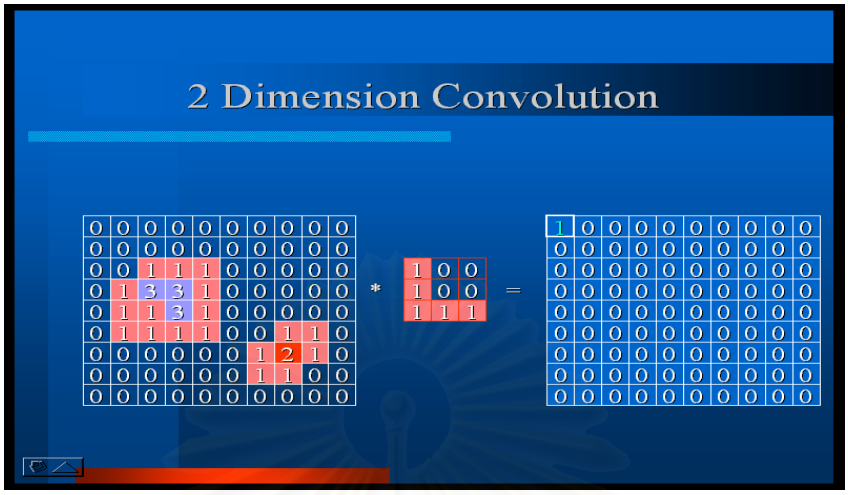



รูปที่ 2-7 ฟังก์ชัน A(x,y)

B(x,y) เป็นสัญญาณที่ต้องการนำมาคอนโวลูชันกับ A(x,y) ดังรูปที่ 2-8




รูปที่ 2-8 ฟังก์ชัน B(x,y) ที่นำมาคอนโวลูชันกับสัญญาณ A(x,y)



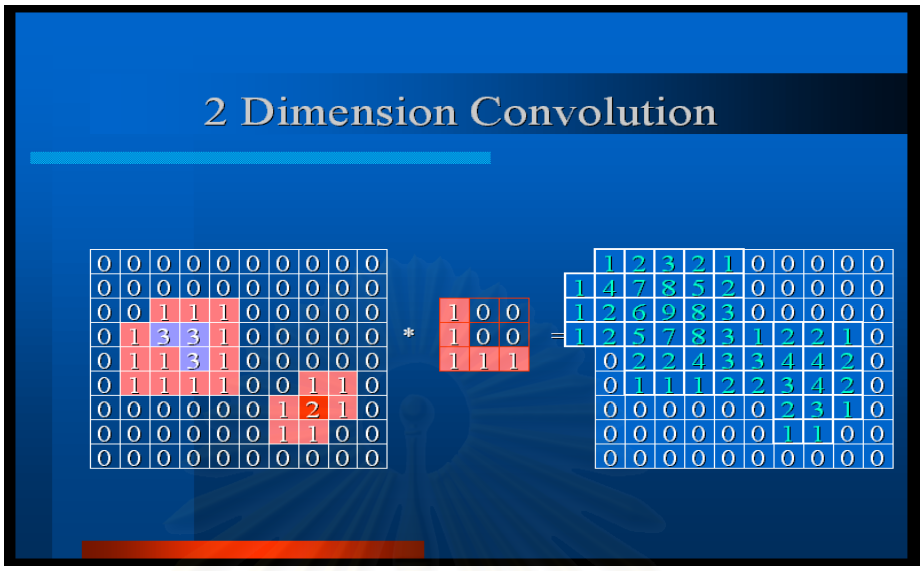

รูปที่ 2-9 ฟังก์ชันC(x,y) ซึ่งเกิดจาก A(x,y)*B(x,y)

และ C(x,y) คือสัญญาณภาพที่เกิดจากการคอนโวลูชันระหว่าง A(x,y)และ B(x,y) ดังรูปที่ 2-9 ซึ่งการคอนโวลูชันจะขึ้นอยู่กับขนาดกรอบของ B(x,y) โดยมีวิธีการทำดังนี้

**C(1,1)** = A(1,1)*B(1,1) + A(2,1)*B(2,1) + A(3,1)*B(3,1) + A(3,2)*B(3,2) + A(3,3)*B(3,3)

**C(1,1)** = 0 + 0 + 0 + 0 + 1 = **1**

ในค่าพิกัดอื่นๆไม่มีการนำมาคิด เนื่องจากไม่มีข้อมูลใน B(x,y) เมื่อนำมา กระทำการ convolution ก็จะให้ข้อมูลเป็น 0 เราจึงไม่นำมาคิด และเราจะกระทำการเช่นนี้จนกระทั่งครบข้อมูลภาพของA(x,y) ซึ่งในส่วนอื่นก็จะคิดเช่นเดียวกันกับจุด C(1,1) ซึ่งผลลัพธ์ของ C(x,y) จะมีขนาดเท่ากับ A(x,y) ดังแสดงในรูปที่ 2-10 ซึ่งเป็นภาพของ C(x,y) ภายหลังจากกระทำการคอนโวลูชันครบแล้ว




รูปที่ 2-10 ฟังก์ชัน C(x,y) ภายหลังการทำคอนโวลูชัน

**สรุปการทำคอนโวลูชัน**

ดังนั้นการทำคอนโวลูชันจริงๆ คือการรวมสัญญาณหลายสัญญาณเข้าด้วยกันโดยสามารถกระทำได้กับสัญญาณแบบ 1 มิติ หรือหลายมิติ แต่สัญญาณนั้นต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณเวลาแบบเต็มหน่วย ( การรวมสัญญาณแบบเวลาต่อเนื่องเราใช้วิธีที่เรียกว่า modulations ) การแปลงสัญญาณเวลาต่อเนื่องให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณเวลาเต็มหน่วยเราเรียกว่าการชักสัญญาณ ( sampling ) ซึ่งอัตราการชักสัญญาณต้องเหมาะสมคือต้องมีค่าน้อยที่สุดเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้นๆ

## 2.3 การออกแบบโปรแกรมเชิงวัตถุ

### 2.3.1 การโปรแกรมเชิงวัตถุ

แนวคิดเรื่องการโปรแกรมเชิงวัตถุหรือ OOP (Object-Oriented Programming) เป็นเรื่องที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาระบบงาน หรือโปรแกรมสมัยใหม่เพราะแนวความคิดเกี่ยวกับการโปรแกรมแบบเดิมเริ่มใช้งานไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ

กับสภาวะงานในปัจจุบันที่มีขอบเขตของงานขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากๆ ซึ่งหลักการของแนวความคิดเชิงวัตถุเป็นการมองการพัฒนาโปรแกรม เหมือนกับการมองโลกแห่งความเป็นจริง คือมองสิ่งต่างๆเป็นวัตถุหรือออบเจ็กต์ ซึ่งแต่ละออบเจ็กต์มีคุณสมบัติและการทำงานเฉพาะตัว บางออบเจ็กต์ก็มีความสัมพันธ์กับออบเจ็กต์อื่นๆ และถ้าออบเจ็กต์ที่มีคุณลักษณะบางประการคล้ายๆ กันเราก็จะจัดกลุ่มให้แก่ออบเจ็กต์เหล่านั้น

สำหรับกลวิธีในการพัฒนาแอพพลิเคชันมีอยู่มากมาย แต่ในที่นี้เราจะพิจารณาเพียง 2 วิธีที่เป็นที่นิยม ได้แก่

(ก) วิธีการเชิงฟังก์ชัน (Functional)

วิธีการเชิงฟังก์ชัน หรือบางครั้งเรียกว่าอัลกอริทึม ดีคอมโพซิชัน (Algorithmic decomposition) ถือกำเนิดจากงานอุตสาหกรรม โดยมีหลักการว่าให้มองปัญหาในรูปของกระบวนการทำงาน จากนั้นแตกกระบวนการทำงานดังกล่าวออกเป็นส่วนย่อยๆ เรียกว่า “ฟังก์ชัน” แล้วค่อยนำฟังก์ชันทั้งหลายมาเชื่อมโยงการทำงานเข้าด้วยกันในภายหลัง วิธีการเชิงฟังก์ชันนับว่าเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมาเป็นเวลานานมาก กระทั่งในปัจจุบันงานบางอย่างก็ยังคงใช้วิธีการนี้อยู่ ตัวอย่างภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเชิงฟังก์ชัน เช่นภาษาปาส-คาล, ภาษาซี เป็นต้น

(ข) วิธีการเชิงวัตถุ (Object oriented)

วิธีการเชิงวัตถุเป็นการคิดค้นและสร้างระบบงานในลักษณะของโลกแห่งความเป็นจริง โดยมองสิ่งต่างๆเป็นวัตถุหรือออบเจ็กต์ ซึ่งออบเจ็กต์ต่างๆจะมีความเป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกัน แต่มีการทำงานร่วมกัน ตัวอย่างภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธีการเชิงวัตถุ เช่น ภาษาจาวา, ภาษาซี++ เป็นต้น

### 2.3.2 ลักษณะของออบเจ็กต์

ออบเจ็กต์คือสิ่งใดๆที่เราสนใจ อาจจะเป็นสิ่งที่จับต้องได้ เช่น สินค้า , ลูกค้า หรืออาจเป็นสิ่งที่จับต้องไม่ได้ เช่น บริษัท หรือฝ่ายต่างๆ เป็นต้นโดยที่ออบเจ็กต์ต่างๆ จะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ด้วยการส่งแมสเสจ (message) ถึงกัน

ออบเจ็กต์หนึ่งออบเจ็กต์ ไม่ว่าจะเป็นออบเจ็กต์แบบใดก็ตามล้วนมีลักษณะสามประการดังต่อไปนี้

2.3.2.1 สถานะของความเป็นออบเจ็กต์ (State) ซึ่งจะมีคุณสมบัติเฉพาะบางประการที่ทำให้เรารู้ว่าออบเจ็กต์นั้นคืออะไร

2.3.2.2 พฤติกรรมของออบเจ็กต์ (Behavior) ซึ่งอาจจะเป็นการส่งแมสเสจไปยังอีกออบเจ็กต์หนึ่ง โดยอาจเป็นการส่งแมสเสจตอบกลับหรือเป็นการกระทำบางอย่างเพื่อให้สถานะเปลี่ยนไปจากเดิม

2.3.2.3 คุณลักษณะเฉพาะของออบเจ็กต์ (Identity) เป็นคุณลักษณะบางอย่างที่ทำให้ออบเจ็กต์แต่ละออบเจ็กต์แตกต่างกัน ทำให้เรารู้ว่าเป็นคนละออบเจ็กต์กัน

### 2.3.3 สร้างแบบแปลนให้ออบเจ็กต์ด้วยคลาส

วิธีการเชิงวัตถุจะมีกลไกอย่างหนึ่งคือ “คลาส” (Class) เป็นการจัดกลุ่มให้กับออบเจ็กต์ต่างๆ ที่มีคุณสมบัติหรือพฤติกรรมบางอย่างเหมือนกัน เมื่อเวลาที่เราจะใช้งาน เราจะไม่ใช้งานคลาสตรงๆ แต่เราจะสร้างสิ่งที่เรียกว่า “อินสแตนซ์” (Instance) ของคลาสขึ้นมาใช้งานแทน กลไกดังกล่าวทำให้เราสามารถใช้เพียงคลาสๆ เดียว แต่สร้างอินสแตนซ์ของคลาสไปทำงานได้หลายอินสแตนซ์ ซึ่งอินสแตนซ์ของคลาสก็คือออบเจ็กต์นั่นเอง เราจึงหล่าวว่าออบเจ็กต์หนึ่งๆ เป็นอินสแตนซ์ของคลาสหนึ่ง เปรียบเทียบดังเช่น เรามีแปลนบ้านหนึ่งเราสามารถนำแปลนบ้านนี้ไปสร้างเป็นบ้านกี่หลังก็ได้ตามความต้องการ

### 2.3.4 คุณลักษณะของวิธีการเชิงวัตถุ

วิธีการเชิงวัตถุจะสมบูรณ์ได้ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบสี่อย่าง ได้แก่

2.3.4.1 มุมมองออบเจ็กต์ (Abstraction)

มุมมองออบเจ็กต์ คือมุมมองต่อออบเจ็กต์หนึ่งๆ ว่าเป็นอย่างไรเช่น เมื่อเราพูดถึงคอมพิวเตอร์ บางคนอาจจะคิดถึงคอมพิวเตอร์พีซี บางคนอาจคิดถึงคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค เป็นต้น ในทางปฏิบัติ abstraction จะเข้ามามีบทบาทอย่างยิ่งในการพัฒนาระบบ กล่าวคือ สมาชิกในทีมพัฒนาซอฟท์แวร์แต่ละคนอาจมีมุมมองต่อระบบที่แตกต่างกัน ซึ่งเราจะต้องพยายามให้มุมมองของทีมพัฒนาระบบเป็นไปในทางเดียวกันเพื่อให้ระบบงานตรงตามต้องการจริงๆ

2.3.4.2 คุณค่าภายในออบเจ็กต์ (Encapsulation)

คุณค่าภายในออบเจ็กต์ เป็นกลไกซ่อนสารสนเทศบางอย่างเอาไว้ในออบเจ็กต์ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเวลาเราใช้คอมพิวเตอร์ เราก็เพียงแต่กดปุ่มเปิดเครื่องและใช้เม้าส์กับคีย์บอร์ดสั่งงาน แต่กลไกการทำงานที่แท้จริงของคอมพิวเตอร์นั้นคือวงจรไฟฟ้าต่างๆ ที่ถูกซ่อนอยู่ภายในเคส (case)

2.3.4.3 ลำดับชั้นของออบเจ็กต์ (Hierarchy)

ลำดับชั้นของออบเจ็กต์ เป็นการนำออบเจ็กต์มาจัดกลุ่มและสร้างลำดับความสัมพันธ์ เช่น เมื่อเราพูดถึงสัตว์ เราอาจแบ่งเป็นสองประเภท คือ แมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ในส่วนของแมลงอาจจำแนกได้เป็นผึ้ง,ผีเสื้อ,ตั๊กแตน ในส่วนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมก็อาจจำแนกเป็นกระต่าย,ช้าง,แมว เป็นต้น

2.3.4.4 การตอบสนองต่อออบเจ็กต์ (Polymorphism)

การตอบสนองต่อออบเจ็กต์ เป็นพฤติกรรมที่ออบเจ็กต์ต่างๆเมื่อมีแมสเสจหนึ่งส่งมาออบเจ็กต์ต่างๆจะมีการตอบสนองต่อแมสเสจเดียวกันนั้นแตกต่างกันไป ยกตัวอย่างในแง่ของโปรแกรมมิ่ง เช่น เราส่งแมสเสจ “+” ไปให้ “25” กับ “2” ถ้า 25 และ 2 เป็นออบเจ็กต์ที่เป็นตัวเลขแมสเสจ “+” ที่ส่งไปก็หมายถึงการเอาตัวเลขมาบวกกันก็จะได้ผล-ลัพท์เป็น 27 แต่ถ้า 25 กับ 2 เป็นสตริง แมสเสจ “+” ก็จะเป็นการรวมตัวอักษรผลลัพท์ที่ได้ก็จะเป็น 252 เป็นต้น

**2.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างออบเจ็กต์**

ความสัมพันธ์ระหว่างออบเจ็กต์มีอยู่สองแบบ คือ

2.3.5.1 ความสัมพันธ์แบบลิงค์ (Links)

ลิงค์ (Links) เป็นความสัมพันธ์ในระดับที่ออบเจ็กต์ หนึ่งขอใช้บริการบางอย่างจากอีกออบเจ็กต์หนึ่ง โดยในการลิงค์นั้นออบเจ็กต์จะมีการส่งแมสเสจถึงกันด้วย โดยปกติการลิงค์ของออบเจ็กต์จะเป็นไปในทิศทางเดียว (uni-directional) แต่มีบางกรณีที่ลิงค์แบบ 2 ทิศทาง (bi-directional) ยกตัวอย่างเช่น เครื่องคิดเลขในส่วนของปุ่มตัวเลข (Keypad) จะมีลิงค์ในการแสดงส่วนการคำนวณ (Display Panel) ด้วยการส่งแมสเสจไปให้ส่วนส่วนแสดงการคำนวณนั้นแสดงตัวเลข (Display) ตามที่เรากดปุ่มไป ในส่วนของปุ่มตัวเลขจะมีลิงค์ไปยังชิป (Chip) และส่งแมสเสจไปให้ชิปเพื่อให้ชิปคำนวณ (Calculate) ผลลัพธ์จากตัวเลขและเครื่องหมายที่กดปุ่มไป ในขณะเดียวกันชิปเองก็มีลิงค์กับส่วนแสดงผลโดยมีเมสเสจไปให้ว่าเมื่อชิปคำนวณผลลัพธ์เสร็จแล้วให้ส่วนแสดงผลนำผลลัพธ์ไปแสดงด้วย

2.3.5.2 ความสัมพันธ์แบบแอกกริเกชัน (Aggregation)

แอกกริเกชัน คือความสัมพันธ์ในลักษณะที่ออบเจ็กต์หนึ่ง

เป็นส่วนหนึ่งของอีกออบเจ็กต์หนึ่ง จากตัวอย่างข้างต้น ปุ่มตัวเลข, ส่วนแสดงผล และชิป ต่างก็เป็นส่วนหนึ่งของออบเจ็กต์เครื่องคิดเลขเป็นต้น

### 2.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส

มีอยู่สองแบบคือ

2.3.6.1 การสืบทอด (Inheritance)

การสืบทอด เป็นความสัมพันธ์ระดับคลาสในลักษณะของคลาสๆ หนึ่ง “ชนิดหรือประเภทหนึ่ง” ของอีกคลาสหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เราจะมองสิ่งมีชีวิตแบ่งเป็นพืชและสัตว์ ซึ่งเรากล่าวว่า คลาสพืชและคลาสสัตว์เป็นคลาสของสิ่งมีชีวิตนั่นเอง

2.3.6.2 การใช้งานร่วมกัน (Utilization)

การใช้งานร่วมกัน เป็นความสัมพันธ์ระหว่างคลาสคือการที่คลาสหนึ่งมีการขอใช้ออบเจ็กต์จากอีกคลาสหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น คลาสของนักเรียนใช้ออบเจ็กต์ดินสอของคลาสเครื่องเขียน เป็นต้น

### 2.3.7 ประวัติและสถาปัตยกรรม MFC

ด้วยปรัชญาการออกแบบ MFC (Microsoft foundation class) ได้ให้อินเตอร์-เฟสเชิงวัตถุ แก่ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) ที่สนับสนุนการนำโค้ดกลับมาใช้ได้ใหม่และอื่นๆอีกตามหลักการของ OOP (Object Oriented Programming) นอกจากนี้ MFC ยังมีคลาสต่างๆ จำนวนมากที่ห่อหุ้มวินโดวส์ ไดอะล็อกซ์บอกซ์ และอื่นๆ มีผลให้การใช้ MFC มาพัฒนาความสามารถด้านการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน (GUI:Graphic User Interface) แอพพลิ-เคชั่นบนวินโดวส์ ได้อย่างง่าย และรวดเร็ว

#### 2.3.7.1 ประวัติของ MFC (Microsoft Foundation Class)

ในช่วงปลายทศวรรษที่ 1980 ภาษา BASIC แอสเซมบลี และ PASCAL เป็นภาษาที่นิยมใช้กันทั่วไปสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์บนดอส (Dos :Disk Operation System) ช่วงนี้ภาษา C ก็ได้เกิดขึ้นโดย Denis Ritchie ที่ Bell Lab และเริ่มต้นใช้ในระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ และมีประสิทธิภาพสูงมากทางไมโครซอฟต์ได้เห็นความสำคัญนี้จึงได้เลือกใช้ภาษา C (บวกกับภาษาแอสเซ็มบลี) มาพัฒนาระบบปฏิบัติการ Windows

เมื่อปี พ.ศ. 2530 หรือ ค.ศ. 1987 ไมโครซอฟต์ได้มีการแนะนำโปรแกรมเมอร์ และนักพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการบนดอส ให้มารู้วิธีการเขียนโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ด้วยการใช้ Windows API (Application Programming Interface) สำหรับเครื่อง พีซี ซึ่งมีการเพิ่มฟังก์ชั่นใหม่จำนวนมากๆ

Windows API รุ่นแรก (เป็นแบบ 16 บิต) ได้มีการใช้สภาพแวดล้อมจะเป็น Windows SDK (Software Development Kit) รวมทั้งได้มีคอมพ์ไพเลอร์ C มาด้วย นักพัฒนาโปรแกรมได้มีการเริ่มต้นทำแอพพลิเคชั่นแบบ GUI (Graphic User Interface) ซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของวินโดวส์ API มาใช้

โดยทั่วๆไปแล้วภาษาคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย 2 แนวความคิดคือ ข้อมูล (Data) และอัลกอริทึมเป็นวิธีการ (Algorithm) ข้อมูลประกอบด้วยข่าวสารต่างๆ ที่โปรแกรมใช้และทำกระบวนการ หรือโพรเซส อัลกอริทึมเป็นวิธีการ (Method) ที่โปรแกรมใช้ภาษา C เป็นภาษา Procedure ดังนั้นมันจึงเน้นหนักไปทางด้านอัลกอลิทึมมากกว่า ส่วนทางด้านข้อมูลนั้นภาษา C ทำได้ไม่ดี เมื่อนำไปใช้ในการพัฒนาโปแกรมขนาดใหญ่ๆ ด้วยข้อจำกัดนี้ จึงได้มีการพัฒนาภาษา C ใหม่โดย Bjarne Stroustrup ที่ Bell Lab ภาษาใหม่นี้คือ C++ ซึ่งเป็นภาษาเชิงวัตถุ (Object Oriented Langauge) โดยการนำเอาภาษา C บวกกับการโปรแกรมเชิงวัตถุ (OOP : Object Oriented Programming)

คุณสมบัติของ OOP มีการเน้นไปทางด้านข้อมูลมากกว่าที่จะเน้นทางด้านภาษาแบบ Procedure ดังนั้นภาษาแบบ OOP จะไม่ค่อยมีการเขียน Flow Chart แสดงการทำงานกันนัก ยกเว้นในส่วน Algorithm ที่ยังนิยมใช้กันอยู่

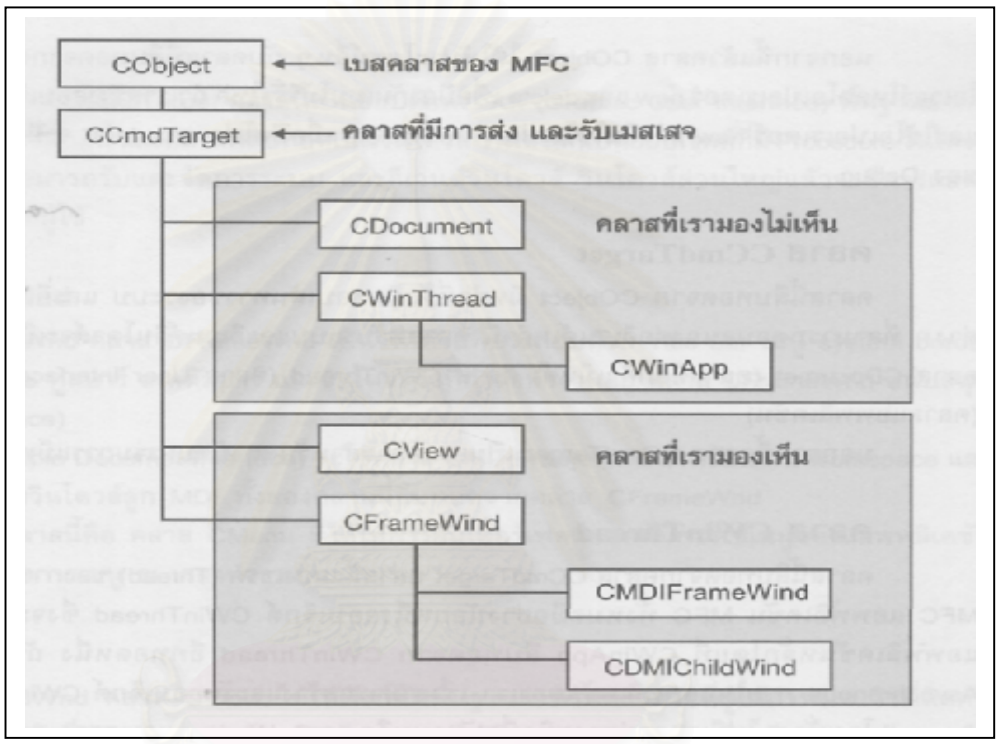
เมื่อภาษา C++ ได้รับความนิยมมากขึ้น คุณสมบัติของ OOP ได้รวมกับการอินเตอร์เฟสกับ Windows API ท้ายสุดทางไมโครซอฟท์ได้พัฒนาการอินเตอร์เฟสนี้กลายเป็นชื่อผลิตภัณฑ์ AFX (Application Framework) และการพัฒนาการนี้นำไปสู่ผลิตภัณฑ์ MFC ซึ่งปรากฏอยู่ในทุกวันนี้

ใน MFC จะประกอบด้วยไลบรารี่ MFC ซึ่งเป็นการรวมคลาสของ C++ และ AFX จำนวนมากมาย ที่ถูกออกแบบมาเพื่อนำมาสร้างแอพพลิเคชันบนแพลตฟอร์มวินโดวส์ การรวมคลาสต่างๆนี้เพื่อขยายขอบเขตของภาษา C++ ออกไปโดยการรวมส่วนโครงสร้างพื้นฐานต่างๆไว้เป็นหลัก ซึ่งส่วนโครงสร้างพื้นฐานนี้จะนำมาใช้สร้างแอพพลิเคชัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.3.7.2 สถาปัตยกรรมของ MFC และข้อดีของการใช้ MFC

ก่อนที่เราจะทำการเขียนโปรแกรมด้วยการใช้ MFC เราต้องทำความเข้าใจสถาปัตยกรรมของ MFC ก่อน เพื่อที่จะเข้าใจโครงสร้างของคลาส MFC รวมถึงการนำมาใช้




รูปที่ 2-11 สถาปัตยกรรมของ MFC.

### 2.3.7.3 คลาส CObject

คลาส CObject ของ MFC เป็นคลาสแม่ หรืออาจจะเรียกว่าเบสคลาส (Base Class) ซึ่งมีคลาสต่างๆที่สืบทอดจากคลาสนี้มากกว่า 200 คลาส และมีอีก 30 กว่าคลาสที่ไม่ได้สืบทอดมาจากคลาส CObject

คลาส MFC เกือบทั้งหมด (รวมทั้งที่สร้างขึ้นใหม่ด้วย) จะต้องสนับสนุน การจัดการกับ Runtime type information และจัดการกับการ Persistance ออบเจ็กต์ หรือที่พูดกันว่าการทำซีเรียลไลเซชัน (Serialization) และกระทำเอาท์พุทที่วิเคราะห์ไว้สำหรับออบเจ็กต์ที่สืบทอดมา นอกจากนี้คลาสที่สืบทอดจาก CObject สามารถบรรจุอยู่ในคลาสคอนเทรนเนอร์ MFC ได้

คลาสทั้งหลายที่สืบทอดมาจากคลาส CObject จะต้องมีคุณลักษณะอย่างน้อยหนึ่งในสามอย่างดังนี้

(ก) การสนับสนุนการวิเคราะห์ทั่วๆไป : คลาสที่สืบทอดจะต้องมีคุณลักษณะนี้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งถูกสร้างอยู่ภายในคลาส CObject ที่อนุญาตให้เรากระทำการตรวจสอบออบเจ็คต์ที่สืบทอดจาก CObject ใช้ได้หรือไม่ และการใส่ข้อมูลการตรวจสอบจากอินพุทที่อ่านได้ และเอาท์พุทที่แสดงในหน้าต่างเอาท์พุทของ Debugger ได้หรือไม่

(ข) การสนับสนุน Run Time Type Information (RTTI) : เมื่อคลาส MFC สนับสนุน RTTI มันสามารถดึงชื่อคลาสออบเจ็กต์ ณ เวลาทำงาน (Run Time)

(ค) การสนับสนุน Serialization : การ Serialization เป็นกระบวนการของการไหล (Stream) ข้อมูลที่คงอยู่เรื่อยๆ ของออบเจ็กต์ไปยังฮาร์ดดิสก์ (การบันทึก)หรือจากฮาร์ดดิสก์ออกไป (การอ่าน)

#### 2.3.7.4 คลาส CCmdTarget

คลาสนี้สืบทอดจาก CObject มีหน้าที่รับผิดชอบเส้นทางของระบบและอีเวนต์วินโดวส์เพื่อไปยังออบเจ็กต์ต่างๆที่สามารถตอบสนองต่ออีเวนต์เหล่านี้ คลาสที่รับระบบและอีเวนต์วินโดวส์จะเป็นคลาส CWnd (คลาสวินโดวส์) คลาส CDocument (คลาสด็อกคิวเมนต์) คลาส CWinThread (คลาส User Interface Thread) และคลาส CWinApp (คลาสแอพพลิเคชัน) นอกจากนี้คลาส CCmdTarget เป็นเบสคลาสสำหรับสถาปัตยกรรมแม็พเมสเสจ

**2.3.7.5 คลาส CwinThread**

คลาสนี้สืบทอดมาจากคลาส CCmdTarget คลาสนี้แสดงเธรด (Thread) ของการ Execution ภายในแอพพลิเคชัน MFC แอพพลิเคชัน MFC ทั้งหมดมีอย่างน้อยหนึ่งออบเจ็กต์ CWinThread ซึ่งจะเป็นออบเจ็กต์ CWinApp ของแอพพลิเคชันหลักโดยที่ CWinApp สืบทอดมาจาก CWinThread อีกทอดหนึ่ง ถ้าเราต้องการที่เพิ่มการโพรเซส Asynchronous ภายในแอพพลิเคชันของเรา เราสามารถสร้างและรันออบเจ็กต์ CWinThread เพิ่มอีกเมื่อจำเป็น

โดยทั่วๆไปมีเธรดอยู่สองชนิดที่สนับสนุนคือ เธรด Worker และเธรด user-interface เธรด Worker ไม่มีการลูปแมสเสจ ตัวอย่าเช่นเธรดที่กระทำการคำนวณที่เป็นฉากหลังในแอพพลิเคชัน spreadsheet ส่วนเธรด user-interface มีการลูปแมสเสจและโพรเซสแมสเสจได้รับมาจากระบบ

**2.3.7.4 คลาส CWinApp**

คลาสนี้สืบทอดมาจากคลาส CWinThread คลาสนี้ไม่เพียงแค่แสดงเธรดหลักของโปรแกรมเมื่อมันทำงาน แต่ยังแสดงตัวแอพพลิเคชันของมันเองด้วย ผลลัพท์ที่ได้ก็คือมีเพียงออบเจ็คเดียวในแอพพลิเคชัน MFC ใดๆ ออบเจ็กต์ได้ให้เมมเบอร์ฟังก์ชันสำหรับการเริ่มต้นแอพพลิเคชันของเรา (และอินสแตนซ์ของมัน) และสำหรับการรันแอพพลิเคชันแต่ละแอพพลิเคชันซึ่งใช้คลาส MFC สามารถมีเพียงหนึ่งออบเจ็กต์ท่านั้นที่สืบทอดจาก CWinApp

**2.3.7.5 คลาส Cdocument**

คลาสนี้สืบทอดจากคลาส CCmdTarget คลาสCDocument ถูกสร่งโดยออบเจ็กต์ Document Template คลาสนี้ไให้ฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับคลาสด็อกคิวเมนท์แสดงหน่วยของข้อมูล?โดยปกติผู้ใช้เปิดด้วยคำสั่งไฟล์ Open และบันทึกด้วยคำสั่งไฟล์ Save

คลาสนี้สนับสนุนการทำงานมาตรฐาน เช่น การสร้างเอกสารการโหลด และการบันทึกเอกสาร ซึ่งคลาสที่เกี่ยวข้องกับด็อกคิวเมนต์อีกคลาสหนึ่งคือ คลาส CArchieve ที่อำนวยความสะดวกในการโอนย้ายข้อมูลของด็อกคิวเมนต์กับฮาร์ดดิสก์

#### 2.3.7.6 คลาส CWnd

คลาสนี้สืบทอดมาจากคลาส CCmdTarget คลาสนี้เป็นออบเจ็กต์ GUI (Graphic User Interface) พื้นฐานมากที่สุดในคลาส MFC อินสตนซ์ของคลาสนี้ และคลาสที่สืบทอดเป็นวินโดวส์ วินโดวส์ก็เป็นออบเจ็กต์ที่มี Procedure วินโดวส์ซึ่งถูกรีจิสแล้ว และดังนั้นมันสามารถรับและจัดการระบบ และอีเวนต์วินโดวส์ วินโดวส์ส่วนใหญ่แล้วจะมีการแสดงกราฟฟิก อละตอบสนองกับอินพุทของผู้ใช้

#### 2.3.7.7 คลาส CFrameWnd

คลาสนี้สืบทอดจาก CWnd คลาส CFrameWnd เป็นวินโดวส์ที่ประกอบด้วย Title Bar เมนู System border บ็อกซ์ maximize ทูลบาร์ สเตตัสบาร์ และวินโดวส์วิวที่กำลังทำงานอยู่ คลาส CFrameWnd สนับสนุน SDI (Single Document Interface แต่ถ้าเป็น MDI (Multiple Document Interface) จะใช้คลาส CMDIFrameWnd สำหรับเฟรม Workspace และคลาส CMDIChildWnd สำหรับวินโดวส์ลูก MDI ทั้งสองคลาสนี้สืบทอดมาจากคลาส CFrameWnd คลาสที่เกี่ยวข้องกับคลาสนี้คือ คลาส CMenu ที่ได้ให้การอินเตอร์เฟสตลอดที่มีการใช้ของแอพพลิเคชันจะมีประโยชน์มากสำหรับการจัดการเมนู ณ เวลาทำงาน

#### 2.3.7.8 คลาส CView

คลาสนี้สืบทอดมาจาก CWnd คลาส CView ได้ให้ฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับคลาสวิวที่ผู้ใช้กำหนด วิวที่ติดก็อกคิวเมนต์ และกระทำเหมือนกับสื่อกลางระหว่างด็อกคิวเมนต์และผู้ใช้ วิววาดภาพของด็อกคิวเมนต์บนหน้าจอ หรือเครื่องพิมพ์ และตความหมายจากอินพุทผู้ใช้ให้ปรากฏบนด็อกคิวเมนต์ วิวเป็นลูกของเฟรมวินโดวส์ วิวที่มากกว่าหนึ่งวิว

สามารถใช้เฟรมวินโดวส์เหมือนกับในกรณีของการแยกวินโดวส์ (Splitter windows) ความสัมพันธ์ระหว่างคลาสวิว คลาสเฟรมวินโดวส์ และคลาสด็อกคิวเมนต์จะถูกสร้างโดยคลาส CDocTemplate เมื่อผู้ใช้เปิดวินโดวส์ หรือแยกวินโดวส์ เฟรมเวิร์คจะสร้างวิวใหม่ และยังคงยึดติดกับด็อกคิวเมนต์ วิวสามารถยึดติดกับด็อกคิวเมนต์เดียว แต่ด็อกคิวเมนต์หนึ่งสามารถมีได้หลายๆวิว

### 2.3.8 ประโยชน์จากการใช้คลาส MFC

คลาส MFC ได้ให้ข้อดีหลายๆอย่างในการพัฒนาแอพพลิเคชันบนวินโดวส์ ถึงแม้ว่าคลาส MFC ไม่ได้ห่อหุ้มฟังก์ชัน Win32API ทั้งหมด แต่มันก็ได้รวบรวมส่วนที่เป็นโครวสร้างของเฟรมเวอร์คหลักให้มีผลในการพัฒนาแอพพลิเคชันต่างๆบนวินโดวส์ง่ายลงไปมาก เช่นการสร้าง ActiveX Control และ Component การสร้างแอพพลิเคชันอินเตอร์เน็ตเป็นต้น ซึ่งสามารถสรุปข้อดีได้ดังต่อไปนี้

1. ความสามารถเข้ากันได้อย่างดีระหว่างคลาส MFC ในเวอร์ชันที่แล้วๆกับคลาส C++ ใหม่
2. เฟรมเวิร์ค MFC ใช้เทคนิคของ OOP มีผลให้โค้ดสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่
3. การสร้างแอพพลิเคชันเฟรมเวอร์คหลักให้ ซึ่งมีผลให้เราลดการเขียนค้ดลงไปมาก เมื่อเทียบกับการเขียนโดยใช้ SDK
4. เมื่อใช้คลาส MFC แล้วตัวคอมไพลเลอร์ยังคงสนับสนุนไลบรารี่มารฐาน ANSI C

ส่วนข้อเสียของการใช้ MFC เมื่อเทียบกับ SDK คือใช้โค้ดจำนวนมากกว่า เนื่องจากโค้ด MFC เมื่อคอมไพล์ จะมีการแปลงโค้ด MFC อีกครั้งหนึ่ง และมีผลให้การทำงานโปรแกรมช้ากว่าเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามมันยังคงเร็วกว่าภาษาระดับสูง เช่น Pascal และ Visual Basic

## 2.4 แว่นตาผลึกเหลว

แว่นผลึกเหลวทำหน้าที่เปิด (โปร่งแสง) และปิด (ทึบแสง) ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ คือแสดงภาพมุมมองของดวงตาด้านซ้ายในขณะที่ปิดดวงตาด้านขวา สลับกับการแสดงภาพมุมมองของดวงตาด้านขวาในขณะที่ปิดดวงตาด้านซ้าย หากการสลับดังกล่าวกระทำ

ในเวลาอันสั้น โสตประสาทส่วนการรับรู้จะสามารถรวมภาพทั้งสองเข้าด้วยการ และผลของการรวมภาพก็คือการรับรู้ความลึกของภาพ

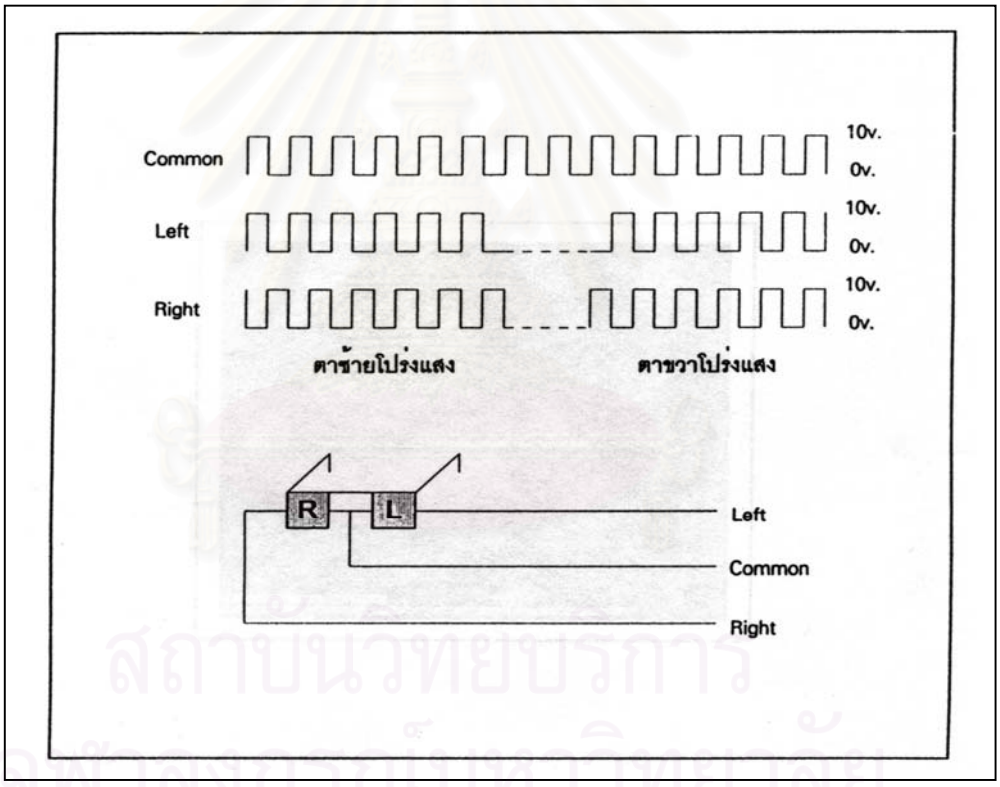
สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำแว่นผลึกเหลวชนิดที่สามารถจัดหาได้ทั่วไปตามร้านค้าจำหน่ายอุปกรณ์เครื่องเล่นเกมส์ มาประยุกต์ใช้กับการมองภาพเวลาจริงจากกล้องเว็บแคมเมอรา (Web Camera) และผลการวิจัยหลายแห่งได้ชี้ว่า ในการแสดงผลภาพสเตอริโอคู่สลับเชิงเวลานี้ ถ้าต้องการให้ภาพที่ได้ไม่มีอาการสั่นพริ้วจะต้องแสดงภาพสำหรับดวงตาแต่ละข้างด้วยอัตรา 60 ภาพต่อวินาทีเป็นอย่างน้อย ซึ่งหมายถึงจะต้องใช้จอแสดงผลชนิดที่มีความถี่ในการกวาดภาพทางแนวตั้ง 120 Hz ในงานวิจัยชิ้นนี้เราใช้ระบบคอมพิวเตอร์ ไอบีเอ็ม พีซี คอม-แพติเบิล ซึ่งจอแสดงผลสามารถทำงานกวาดภาพทางแนวตั้ง 60 – 72 Hz ทำให้อัตราการกวาดภาพสำหรับดวงตาแต่ละข้างเหลือเพียงประมาณ 30 ภาพต่อวินาที โดยมนอุตสาหกรรมการผลิตแว่นตาผลึกเหลวได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ ระดับคุณภาพสูงและคุณภาพปานกลาง ระดับคุณภาพสูงนั้นจะเป็นระบบที่ทำงานด้วยความถี่ 120 Hz ขึ้นไป บริษัทชั้นนำในด้านนี้ คือ บริษัท StereoGraphic Corporation บริษัทดังกล่าวได้เริ่มในการผลิตแว่นผลึกเหลวสำหรับการแสดงผลสเตอริโอบนเครื่องพีซีมาตั้งแต่ปี 1980 สำหรับระดับคุณภาพปานกลางส่วนใหญ่ใช้แว่นผลึกเหลวของบริษัท Sega Electronics Corporation สามารถทำงานด้วยความถี่ในการกวาดภาพในแนวตั้งได้ที่ 60 – 72 Hz ซึ่งพบว่ามีการสั่นของภาพเกิดขึ้น มีรายงานว่าผู้ใช้หลายรายไม่สามารถทนต่ออาการสั่นของภาพได้เนื่องจากรู้สึกปวดหัว แต่ก็พบว่ามีผู้ใช้จำนวนมากสามารถปรับตัวให้เข้ากับอาการสั่นของภาพได้หลังจากใช้งานไปประมาณ 5 – 10 นาที การวิจัยพบว่าสาเหตุส่วนใหญ่ของอาการสั่นของภาพมาจาก 2 แหล่งคือ

(ก) แสงไฟภายนอก (Room Flicker) มักมีสาเหตุมาจากแสงไฟภายในห้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งการแก้ไขสามารถทำได้โดยปิดหลอดฟลูออ-เรสเซนต์ ในห้อง

(ข) ภาพที่แสดง (Image Flicker) มีสาเหตุมาจากความเข้มของแสงในภาพ บวกกับอัตราการแสดงของภาพที่ต่ำเกินไป ปัจจัยนี้แก้ไขได้ลำบากในระบบเช่นนี้ แต่อย่างไรก็ตาม การทดลองปรับความเข้นของแสงสว่างของจอภาพ หรือการปรับโทนสีของภาพอาจช่วยได้บ้าง

### 2.4.1 การทำงานของแว่นผลึกเหลว

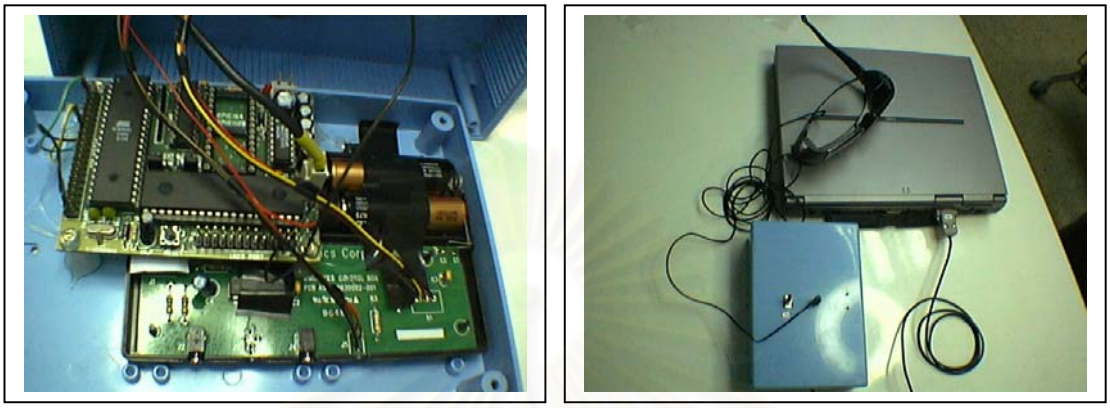
ในการวิจัยชิ้นนี้เราได้ใช้แว่นผลึกเหลวที่มีคุณภาพปานกลาง ซึ่งแว่นในระบบนี้จะทำงานโดยรับสัญญาณควบคุม 3 เส้นจากกล่องควบคุม คือ สัญญาณร่วม (Ground), สัญญาณช่องซ้าย (Left), สัญญาณช่องขวา (Right) โดยสัญญาณทั้งสามจะเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square wave) มีความถี่ประมาณ 9600 Hz (ความถี่สัญญาณนาฬิกาของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051) และมีระดับแรงดันประมาณ 10 โวลท์ดังแสดงในรูปที่ 2-12




รูปที่ 2-12 สัญญาณที่ใช้ควบคุมแว่นตาผลึกเหลว

จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อต้องการให้เลนส์ข้างใดของแว่นตาปิด ให้ทำการจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้า 10โวลท์ ให้กับเลนส์ข้างนั้น

**อุปกรณ์ควบคุมและการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์**



**(ก)** **(ข)**

รูปที่ 2-13 (ก)บอร์ดควบคุม MCS 8051
(ข) การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และแว่นตาผลึกเหลว

จากรูปสัญญาณนาฬิกาความถี่ 9600 Hz ถูกใช้เป็นสัญญาณพาหะ เพื่อนำสัญญาณควบคุมจากพอร์ตอนุกรมส่งต่อให้แว่นตา โดยที่สัญญาณ RTS และ DTR จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ถูกใช้เพื่อควบคุมแว่นตาข้างซ้ายและขวาตามลำดับ โดยเมื่อตรรกะ (Logic) เป็น “1” จะเป็นการปิดเลนส์ข้างนั้นๆของแว่นตา และในทำนองเดียวกันถ้าต้องการให้แว่นตาเปิดก็ป้อนตรรกะ “0” ให้แว่นตา

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.Kimura[4] และคณะได้เสนอกรรมมวิธีการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตภาพสเตอริโอแกรมแบบอัตราภาพวิดีโอของมหาวิทยาลัยคาร์เนกี เมลลอน โดยที่เครื่องมือดังกล่าวนี้ใช้เทคนิคใหม่ที่เรียกว่า multi baseline สำหรับสร้างภาพสเตอริโอแกรม และหาแผนที่ความแตกต่างของความเข้มในภาพ ซึ่งใช้กล้องวิดีโอจำนวน 6 ตัวสำหรับเทคนิคดังกล่าว สำหรับประ-สิทธิภาพของเครื่องมือดังกล่าวนี้สามารถปรับอัตราการแสดงภาพได้สูงถึง 30 ภาพต่อ

วินาที, สร้างภาพที่มีขนาดถึง 256 x 240 pixel และค้นหาระยะของจุดที่ไม่เหมือนกันได้ถึง 60 pixels ซึ่งมีระบบงานย่อยที่แตกต่างกันอยู่ 5 ระบบย่อยดังนี้ คือ

1. ระบบย่อยสำหรับกล้องหลายตัว
2. ระบบย่อยสำหรับอุปกรณ์รับภาพหลายภาพ
3. ระบบย่อยสำหรับการคำนวณ Lapacian Of Gaussian (LOG)
4. ระบบย่อยการคำนวณแบบขนานสำหรับหาค่า Sum of Square Difference (SSD) และค่าฟังก์ชัน Sum of SSD's (SSSD)
5. ระบบย่อยสำหรับคำนวณหาค่าน้อยที่สุดของ SSSD การประมาณค่าความไม่แน่นอนโดยใช้กลุ่มของอุปกรณ์คำนวณ DSP หมายเลข C40

และยังมีการออกแบบขั้นตอนการสอบเทียบระบบเพื่อให้ภาพที่มาจากกล้องหลายตัวมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ โดยมีขั้นตอนในการทำสอบเทียบอยู่ 2 ขั้นตอนคือ

1. การชดเชยความสามารถทางด้านเรขาคณิตของระบบ
2. การสอบเทียบหาจุดพิกเซลที่ตรงกันจากหลายกล้องหลายตัว

ผลของการทดสอบสามารถสร้างแผนที่ความแตกต่างของความเข้มในภาพเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนทำการสอบเทียบและหลังการทำสอบเทียบให้ผลความผิดพลาดอยู่ระหว่าง –2 ถึง 2 พิก-เซลรอบบริเวณร่วมของจุดที่ตรงกันในแต่ละกล้องสำหรับกรณีที่ยังไม่ได้สอบเทียบ และให้ผลผิดพลาด 0 พิกเซลรอบบริเวณร่วมของจุดที่ตรงกันสำหรับกรณีที่สอบเทียบแล้ว

Sing Bing Kang[5] และคณะ ได้เสนอวิธีการสร้างระบบรับภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงด้วยวิธีการคำนวณจากระยะห่างของอุปกรณ์รับภาพหลายๆค่า ซึ่งการทดลองได้ใช้วิธีการฉายภาพด้วยอุปกรณ์ที่สามารถปรับความเข้มแสงได้ เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการจับคู่จุดภาพที่ตรงกันจากภาพของกล้องวิดีโอทั้ง 4 ตัว ซึ่งผลการทดลองได้ให้ผลผิดพลาดเฉลี่ยน้อยกว่า 1 ม.ม. สำหรับระยะวัตถุระหว่าง 1.5 ถึง 3.5 เมตร

Takeo Kanadae[6] และคณะได้เสนอวิธีการวัดระยะวัตถุวิธีการใหม่ด้วยเทคนิค multi – baseline โดยใช้ชุดกล้องสเตอริโอแกรมแบบอัตราภาพวิดีโอที่พัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยคาร์เนกี เมลลอน ซึ่งเป็นกล้องสเตอริโอแกรมที่มีจำนวนกล้อง 6 ตัวทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับภาพและสามารถปรับอัตราการแสดงภาพได้สูงสุดถึง 30 ภาพต่อวินาที ใช้เวลาในการประมวลผล 33 ns. โดยที่เทคนิค multi baseline นี้คือการวัดระยะวัตถุด้วยกล้องวิดีโอจำนวน 3 ชุด โดยใช้

ระยะห่างระหว่างกล้องไม่เท่ากัน แล้วนำผลของการคำนวนระยะวัตถุของกล้องทั้งสามชุดนี้มาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าความไม่แน่นอน และค่าความผิดพลาด โดยที่เทคนิคดังกล่าวนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ 1. การกำจัดผลกระทบจากตัวแปรของเกณฑ์การขยายจากกล้องและแสงสว่างภายนอกด้วยการทำ LOG (Lapacian of Gausian) 2. การคำนวณค่า SSD (Sum of Square Difference) เพื่อสร้างฟังก์ชัน SSSD (Sum SSDs) ซึ่งเป็นการใช้เทคนิคการ Interpolation 3. การคำนวณค่าความไม่แน่นอนและความลึกของระยะวัตถุ ซึ่งจากการทดลองโดยวัดระยะความลึกระหว่าง 2 ถึง 15 เมตรด้วยเลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัส 8 มม. ได้ให้ผลในการวัดและการสร้างแผนที่จุดแตกต่างกันของความลึกได้เป็นอย่างดี

Andrew Woods[7] และคณะได้ทำการศึกษาถึงความบิดเบือนของภาพในระบบสเตอริโอแกรมชนิดวิดีโอ โดยได้อธิบายถึงตรีโกณมิติของระบบกล้องสเตอริโอแกรม, ระบบแสดงภาพ และการแปลงพิกัดในงานสเตอริโอแกรม ซึ่งจากการศึกษาทำให้สามารถจำแนกชนิดของความบิดเบือนในภาพได้เป็น 6 ชนิดคือ 1. Depth plane curvature หมายถึงความบิดเบือนบนระนาบความลึกของภาพซึ่งเป็นผลโดยตรงของระบบกล้องนั่นคือเมื่อเราเลือกใช้ระบบกล้องสเตอริโอแกรมแบบแกนลู่เข้าจะเกิดความบิดเบือนชนิดนี้มากกว่าการใช้กล้องระบบขนาน 2. Depth non-linearity หมายถึงความบิดเบือนแบบไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างระยะความลึกในภาพกับระยะความลึกของวัตถุ ซึ่งความไม่เป็นเชิงเส้นนี้จะเกิดมากที่ระยะภาพเพิ่มมากขึ้นนั่นหมายถึงเมื่อระยะภาพเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยแต่ระยะวัตถุได้เปลี่ยนแปลงมาก 3. Shear distortion คือความบิดเบือนชนิดเฉียงเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอทำให้ภาพที่ปรากฏขึ้นดูมีลักษณะคล้ายถูกเฉือน 4. Depth and size magnification หมายถึงการขยายขนาดของภาพที่ผิดสัดส่วนระหว่างความกว้างและความสูงของภาพไม่สัมพันธ์กันทำให้ภาพที่ได้ไม่มีความลึกและอาจจะแสดงภาพที่ตรงข้ามคือดูนูนออกมา 5. Keystone distortion หมายถึงความบิดเบือนที่เกิดขึ้นกับระบบกล้องสเตอริโอแกรมชนิดลู่เข้าแกนเท่านั้น ซึ่งเป็นเพราะระนาบของหน้ากล้องวิดีโอทั้งสองไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกันจึงทำให้เกิดระยะเหลื่อมที่เพิ่มมากขึ้นในบริเวณมุมของภาพ ซึ่งความบิดเบือนชนิดนี้จะเกิดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเราเพิ่มระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสองหรือลดระยะลู่เข้าแกนหรือลดระยะความยาวโฟกัส 6. Lens distortion หมายถึงความบิดเบือนที่เกิดจากความเป็นทรงกลมของเลนส์ทำให้ภาพที่ได้เกิดมีลักษณะเป็นทรงกลมป่องตรงกลางภาพ ซึ่งจากการศึกษา Lens distortion มีความสำคัญที่ส่งผลถึงการเหลื่อมภาพในแนวดิ่งเป็นอย่างมากแต่สามารถแก้ไขได้โดยใช้เลนส์รับภาพทรงกลมทำการชดเชย และความ

บิดเบือนแบบ depth non-linearity ที่เกิดจะขึ้นกับรูปทรงของวัตถุเป็นหลักสามารถแก้ไขด้วยการฝึกให้ผู้มองภาพดูภาพที่มีรูปทรงหลายๆแบบ

C. Lawrence Zitnick[8] และคณะ ได้เสนอวิธีการตรวจสอบตำแหน่งที่ตรงกันของจุดภาพในงานสเตอริโอแกรม ด้วยการผสมผสานเทคนิคในงานเรขาคณิตของภาพสเตอริโอแกรม กับความเข้มของภาพ เพื่อสร้างแผนที่ความแตกต่างของความเข้มในภาพ ด้วยการยึดภาพซ้ายเป็นภาพอ้างอิง และนำภาพขวา (ภาพที่ต้องการนำมาตรวจสอบตำแหน่งที่ตรงกันของจุดภาพ) ตรวจสอบจับคู่หาตำแหน่งจุดที่ตรงกันภายในภาพ จากนั้นจึงนำมาสร้างแผนที่ ซึ่งแผนที่นี้จะมีลักษณะเป็นอาเรย์สามมิติที่มีขนาดเท่ากับจำนวนจุดพิกเซลของภาพซ้ายมือ (แถว ,หลัก) ส่วนข้อมูลความเข้มของภาพจะได้มาจากการเปรียบเทียบภาพซ้ายกับภาพขวา ซึ่งสามารถสรุปวิธีการสร้างแผนที่ความแตกต่างของความเข้มในภาพได้ดังนี้

1. เตรียมอาเรย์สามมิติให้มีขนาดเท่ากับภาพอ้างอิง และระดับความเข้มเท่ากับภาพที่จะนำมาตรวจสอบ
2. กำหนดค่าเริ่มต้น $L_o$ สำหรับการจับคู่ภาพในฟังก์ชันความเข้มแสงของภาพ
3. ตรวจสอบการจับคู่ด้วยค่า $L_n$ จนกว่าจะพบจำนวนที่เท่ากัน
4. สำหรับค่าในอาเรย์ให้หาจากค่ามากที่สุดของการจับคู่
5. ถ้าค่าสูงที่สุดมีค่าสูงเกินกว่าค่าทุกค่าในภาพอ้างอิงให้ถือว่าจุดดังกล่าวเป็นจุดที่เกิดการอุดตันไม่สามารถจับคู่ได้

จากการทดลองทั้งในภาพที่สร้างขึ้นและภาพจริงจากกล้องวิดีโอให้ผลดีในเชิงความต่อเนื่องของแผนที่ความแตกต่างของความเข้มภาพ และรายละเอียดของภาพ ทั้งในภาพจริงและภาพที่สร้างขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการจับคู่ภาพอยู่ที่ระดับ 97 – 98 เปอร์เซ็นต์ทั้งในแผนที่ภาพที่มีขนาดอาเรย์ 3 x 3 x 3, 5 x 5 x 3 และ 7x7x3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3

# การทดลอง และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

## 3.1 การออกแบบโปรแกรมรับภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมรับภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง มีหลักการออกแบบดังนี้

3.1.1 กำหนด m_Left เป็นออบเจ็กต์ของคลาส Video1 driver ของกล้องซ้ายและ m_Rightเป็นออบเจ็กต์ของคลาส Video2 driver

3.1.2 ตรวจสอบค่าของ m_Left ถ้ามีค่าเป็นศูนย์ให้แสดงข้อความว่า “ Cannot Connect Video Left View” และ ตรวจสอบค่าของ m_Right ถ้ามีค่าเป็นศูนย์ให้แสดงข้อความว่า “ Cannot Connect Video Right View”

3.1.3 เรียกใช้งานช่องการสื่อสารแบบอนุกรมของวินโดวส์ ถ้าไม่พบให้แสดงข้อความว่า "Cannot Connect Serial port" และถ้าพบช่องการสื่อสารให้ทำการติดตั้งให้พร้อมใช้งาน หลังจากนั้นให้ซ่อนภาพจากกล้องทั้งสอง

3.1.4 กำหนดให้ m_VLH.SetRange เป็นค่าระยะของ Scroll Barในแนวนอนโดยมีค่าระยะตั้งแต่ –20 พิกเซลถึง 20 พิกเซล และกำหนดให้ m_VLV.SetRange เป็นค่าระยะของ Scroll Barในแนวตั้งโดยมีค่าระยะตั้งแต่ –20 พิกเซลถึง +20 พิกเซล และกำหนดให้ m_VLH.SetPos เก็บค่าของตำแหน่งตำแหน่งสุดท้ายของ Scroll Bar ในแนวนอน และกำหนดให้ m_VLV.SetPos เก็บค่าของตำแหน่งตำแหน่งสุดท้ายของ Scroll Bar ในแนวตั้ง

3.1.5 สร้างฟังก์ชันของปุ่มรับภาพซ้ายและภาพขวาแบบ temporary และเรียกใช้งานออบเจ็กต์ปุ่มรับภาพซ้ายและขวา

3.1.6 เริ่มใช้งานฟังก์ชัน capPreview สำหรับตัวแปร m_Left และ m_Right

3.1.7 ตรวจสอบค่า m_tmp ซึ่งเป็นตัวแปรแบบ temporary ชนิดอักขระว่ามีฟังก์ชันปุ่มรับภาพซ้ายหรือไม่ และถ้าเป็นฟังก์ชันปุ่มรับภาพซ้ายให้แสดงภาพจากกล้องขวา พร้อมทั้งเปลี่ยนค่าตัวอักษรบนปุ่มให้กลายเป็น “Right” หรือถ้าตรวจสอบค่าใน temporary แล้วพบว่ามีฟังก์ชันของปุ่มรับภาพขวา ให้แสดงภาพจากกล้องซ้ายและเปลี่ยนค่าตัวอักษรบนปุ่มให้กลายเป็น “Left”

3.1.8 สร้างฟังก์ชันการเชื่อมต่อกล้อง และภาคขับอุปกรณ์กับวินโดวส์

3.1.9 ตรวจสอบสภาวะของภาคขับอุปกรณ์ของกล้อง และตรวจสอบการเชื่อมต่อกล้องวิดีโอ

3.1.10 ปรับขนาดภาพให้มีขนาดเต็มกรอบภาพที่กำหนด

3.1.11 ปรับอัตราการกระพริบภาพ

3.1.12 กระตุ้นฟังก์ชันให้รับภาพจากกล้องอย่างต่อเนื่อง

3.1.1.13 ซอร์สโปรแกรม (Source Program)

```
BOOL CStereogramDlg::OnInitDialog()
{
    // TODO: Add extra initialization here
    CSettingVideoViewDlg Open;

    Open.DoModal(m_LeftView.GetDeviceName());        // set cam

    m_Left = m_LeftView.ConnectVideoDriver(Open.m_CLASSVideo1);
    m_Right = m_RightView.ConnectVideoDriver(Open.m_CLASSVideo2);
```

```
	if(m_Left== NULL)
		MessageBox("Cannot Connect Video Left View");
	if(m_Right == NULL)
		MessageBox("Cannot Connect Video Right View");
	OnButtonLeft();
	OnButtonLeft();

	m_Loop = false;

	m_VLH.SetRange(-20,20); // horizontal scroll bar range
	m_VLH.SetPos(AfxGetApp()->GetProfileInt("SETTING","VLH",0));  // record last horizontal scroll bar set
	m_VLV.SetRange(-20,20);  // vertical scroll bar range
	m_VLV.SetPos(AfxGetApp()->GetProfileInt("SETTING","VLV",0)); // // record last ver scroll bar set

	m_connect.SetCommPort(AfxGetApp()->GetProfileInt("SETTING","CONNECT USING",0)+1);   // read data
comport
	m_connect.SetPortOpen(true);  //  set comport
	if(!m_connect.GetPortOpen()) // connect com port
		MessageBox("Cannot Connect Serial port");

	m_MPRight.ShowWindow(0);  // hide image
	m_MPLeft.ShowWindow(0); // hide image

	COleVariant m_DVar("d");
	m_connect.SetOutput(m_DVar);  //  reach to bright lcd

	return TRUE;  // return TRUE  unless you set the focus to a control
}

HWND CVideoView::ConnectVideoDriver(int driver)
{
	CRect m_SizeWindows;

	GetWindowRect(m_SizeWindows); // read frame size
	HWNDCap = capCreateCaptureWindow("",WS_CHILD|WS_VISIBLE,0,0,  // cam driver
		m_SizeWindows.right,m_SizeWindows.bottom,CWnd::m_hWnd,NULL);  //  create cam driver

	if(HWNDCap == NULL) // check condition for can to connect cam.
```

```
                return HWNDCap;

    if(!capDriverConnect(HWNDCap,driver)) // check condition for can to connect cam driver
                return false;

        capPreviewRate(HWNDCap,50); // set refresh refresh rate
        capPreview(HWNDCap, true);  // activate cam to ru realtime
        capPreviewScale(HWNDCap,true); // adjust frame to fit on frame

        return HWNDCap;
}
void CStereogramDlg::OnButtonLeft()
{
        // TODO: Add your control notification handler code here
        CString m_tmp;

        m_ButtonLeft.GetWindowText(m_tmp);
        capPreview(m_Left, true);
        capPreview(m_Right, true);

        m_MPRight.ShowWindow(0); // hide
        m_MPLeft.ShowWindow(0);  // hide

        if(m_tmp == "LEFT")
        {
                m_LeftView.ShowWindow(0);
                m_RightView.ShowWindow(1);
                m_ButtonLeft.SetWindowText("RIGHT");
        }
        else if(m_tmp == "RIGHT")
        {
                m_LeftView.ShowWindow(1);
                m_RightView.ShowWindow(0);
                m_ButtonLeft.SetWindowText("LEFT");
        }
}
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.2 การออกแบบโปรแกรมมีนโอเปอเรชัน

3.2.1 ประกาศตัวแปร m_tmp เป็นตัวแปรชนิด string, m_bmp และ m_FileName เป็นตัวแปรสำหรับเก็บภาพเป็นชนิด bitmap

3.2.2 เรียกใช้งานฟังก์ชัน m_MPRight และ m_MPLeft

3.2.3 นำค่าออบเจ็กต์ m_ButtonLeft มาเก็บไว้ในฟังก์ชัน m_tmp

3.2.4 ตรวจสอบว่า m_tmp มีค่าเป็นภาพขวาหรือไม่ และถ้าเป็นให้เตรียมหน่วยความจำเพื่อสำหรับตั้งชื่อภาพรองรับผลการทำมีนโอเปอเรชันกับภาพขวาโดยไปอ่านชื่อโปร-เจคเนมส์ (Project name) จาก Edit Box แล้วตั้งชื่อภาพที่ผ่านการทำผลพิเศษเป็นชื่อ Project NamePRight.bmp และตั้งชื่อภาพที่ไม่ได้ทำผลพิเศษกับภาพว่า Project NameRight.bmp และถ้าตรวจสอบพบว่า m_tmpไม่มีค่าเป็นภาพขวา ให้ข้ามขั้นตอนมาเตรียมหน่วยความจำเพื่อสำหรับตั้งชื่อภาพรองรับผลการทำมีนโอเปอเรชันกับภาพซ้าย โดยไปอ่านชื่อโปรเจคเนมส์ (Project name) จาก Edit Box แล้วตั้งชื่อภาพที่ผ่านการทำผลพิเศษเป็นชื่อ Project NamePLeft.bmp และตั้งชื่อภาพที่ไม่ได้ทำผลพิเศษกับภาพว่า Project NameLeft.bmp

3.2.5 ประกาศตัวแปร m_setting ขนาดเมทริกส์ 3x3 สำหรับเก็บค่าสัมประสิทธ์ที่ผู้ใช้งานกำหนด และ m_x, m_y, i, j เป็นตัวแปรชนิด integer และ m_data เป็นตัวแปรที่ใช้เก็บข้อมูลภาพขนาดเมทริกส์ 3x3 และ m_dataout เป็นตัวแปรที่ใช้เก็บข้อมูลภาพที่ผ่านการกระทำผลพิเศษกับภาพมาแล้ว

3.2.6 กำหนดให้ m_Out.x เป็นตัวแปรแบบจำนวนเต็มค่าสัมบูรณ์มีขนาด 3/10 ของ m_rect.left-m_rect.right และ m_Out.y เป็นตัวแปรแบบจำนวนเต็มค่าสัมบูรณ์มีขนาด 3/10 ของm_rect.top-m_rect.bottom และ m_Out1.xเป็นตัวแปรแบบจำนวนเต็มค่าสัมบูรณ์มีขนาด

7/10 ของ m_rect.left-m_rect.right และ m_Out1.y เป็นตัวแปรแบบจำนวนเต็มค่าสัมบูรณ์มีขนาด 7/10 ของm_rect.top-m_rect.bottom

3.2.7 กำหนดค่าเริ่มต้นของ i และ j ให้มีค่าเป็น –1 กำหนดข้อมูลในตำแหน่ง m_x และ m_y ให้เป็นศูนย์

3.2.8 ลบข้อมูลภายใน m_data ให้มีค่าเป็นศูนย์

3.2.9 รับค่าสัมประสิทธ์จากตัวแปร m_setting

3.2.10 ตรวจสอบข้อมูลใน m_data ว่าอยู่ในช่วง 7/10 ของข้อมูลภาพทั้งหมดทั้งในแนวตั้งและแนวนอนหรือไม่ ซึ่งถ้าอยู่ในช่วงดังกล่าว ให้กระทำการอ่านข้อมูลของภาพในตำแหน่ง ที่ i และ j มีค่าเป็น –1 มาเก็บไว้ในตัวแปร m_data ตำแหน่งที่ (1,1) จากนั้นอ่านและเก็บข้อมูลจนครบทั้งเก้าจำนวณ และจัดค่าให้ m_x และ m_y มีตำแหน่งข้อมูลตรงกันกับ m_data

3.2.11 นำข้อมูลจาก m_setting ในตำแหน่งที่ตรงกันกับ m_data มาคูณกันจากนั้นนำผลคูณทั้งหมดบวกเข้าด้วยกันและนำไปจัดเก็บโดยเก็บไว้ที่ m_dataout ตำแหน่งที่ตรงกับ m_data ของภาพเดิม

3.2.12 ตรวจสอบข้อมูลใน m_data ว่าอยู่ในช่วง 3/10 ของข้อมูลภาพทั้งหมดทั้งในแนวตั้งและแนวนอนหรือไม่ ซึ่งถ้าอยู่ในช่วงดังกล่าวแล้วให้นำข้อมูลภาพจาก m_data ส่งต่อให้ m_dataout เพื่อเขียนลงในตำแหน่ง m_x และ m_y ของภาพ m_hdc โดยไม่ต้องนำมาคูณกับ m_setting

3.2.13 นำผลของ m_dataout ไปจัดเก็บในตำแหน่งภาพใหม่ โดยเก็บใน m_hdc โดยเก็บในตำแหน่งเดียวกันกับ m_x และ m_y

3.2.14 นำข้อมูลภาพของ m_hdc ส่งให้ CvideoViewLeft และ CvideoViewRight เพื่อแสดง

### 3.2.15 ซอร์สโปรแกรม (Source Program)

```
void CStereogramDlg::OnButtonMpOpertion()
{
	// TODO: Add your control notification handler code here
	CString m_tmp;
	HBITMAP m_bmp;
	LPTSTR m_FileName;

	m_ButtonLeft.GetWindowText(m_tmp);
	m_MPRight.ShowWindow(SW_HIDE);
	m_MPLeft.ShowWindow(SW_HIDE);
	if(m_tmp == "RIGHT")
	{ // prepare image before do efx for right image
		m_tmp = AfxGetApp()->GetProfileString("NAME Project","NAME");
		m_tmp += "Right.bmp";

		m_FileName = m_tmp.GetBuffer(m_tmp.GetLength());  // get image project name
		m_RightView.MPOpertion(m_Right,m_FileName);  // make blur image

		m_RightView.ShowWindow(SW_HIDE);  //
		m_MPRight.ShowWindow(SW_SHOW);

	m_bmp=(HBITMAP)LoadImage(NULL,m_tmp,IMAGE_BITMAP,0,0,LR_CREATEDIBSECTION
			| LR_DEFAULTSIZE | LR_LOADFROMFILE );  //  load bmp image
		m_MPRight.SetBitmap(m_bmp); // show bmp image
		m_bmp = NULL;
	}
	else if(m_tmp == "LEFT")
	{  // prepare image before do efx for left image
		m_tmp = AfxGetApp()->GetProfileString("NAME Project","NAME");
		m_tmp += "Left.bmp";

		m_FileName = m_tmp.GetBuffer(m_tmp.GetLength());
		m_LeftView.MPOpertion(m_Left,m_FileName);

		m_LeftView.ShowWindow(SW_HIDE);
		m_MPLeft.ShowWindow(SW_SHOW);
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            m_bmp=(HBITMAP)LoadImage(NULL,m_tmp,IMAGE_BITMAP,0,0,LR_CREATEDIBSECTION
                                    | LR_DEFAULTSIZE | LR_LOADFROMFILE );
                        m_MPLeft.SetBitmap(m_bmp);
                        m_bmp = NULL;
            }
}

void CVideoView::MPOpertion(HWND m_hWnd,LPTSTR m_FileName)
{  //  make blur image
            int m_x,m_y,i,j;
\           COLORREF m_data[3][3];
            COLORREF m_dataOut;
            CBitmap m_bitmap;
            CPoint m_Out,m_Out1;

            HDC m_hDC = ::GetDC(m_hWnd);

            CRect m_rect;
            ::GetClientRect(CWnd::m_hWnd,m_rect);
            m_Out.x = abs(m_rect.left-m_rect.right)*3/10;  // cal outer coordinate image
            m_Out.y = abs(m_rect.top-m_rect.bottom)*3/10;
            m_Out1.x = abs(m_rect.left-m_rect.right)*7/10;
            m_Out1.y = abs(m_rect.top-m_rect.bottom)*7/10;

            m_weight = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","WEIGHT")); // get weight image setting

            m_setting[0][0] = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("1","{0}{0}"));  //  get coef matrix seting
            m_setting[0][1] = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("1","{0}{1}"));
            m_setting[0][2] = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("1","{0}{2}"));
            m_setting[1][0] = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("1","{1}{0}"));
            m_setting[1][1] = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("1","{1}{1}"));
            m_setting[1][2] = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("1","{1}{2}"));
            m_setting[2][0] = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("1","{2}{0}"));
            m_setting[2][1] = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("1","{2}{1}"));
            m_setting[2][2] = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("1","{2}{2}"));

            i = -1;
            j = -1;
```

```
for(m_y=0;m_y<=abs(m_rect.top-m_rect.bottom);m_y++)  //  loop for convolution
{
        for(m_x=0;m_x<=abs(m_rect.left-m_rect.right);m_x++)
        {
                m_data[0][0] = 0;m_data[0][1] = 0;m_data[0][2] = 0;  // clear all image data to zero
                m_data[1][0] = 0;m_data[1][1] = 0;m_data[1][2] = 0;
                m_data[2][0] = 0;m_data[2][1] = 0;m_data[2][2] = 0;

                if(((m_y>=0)&&(m_y<=m_Out.y))||((m_y>=m_Out1.y)&&(m_y<=abs(m_rect.top-
                    m_rect.bottom))))
                {
                        if((i>=0)&&(j>=0))   // get image pixel 9 points  sider image
                                m_data[0][0] = GetPixel(m_hDC,m_x-1,m_y-1);

                        if(j>=0)
                        {
                                m_data[0][1] = GetPixel(m_hDC,m_x,m_y-1);
                                m_data[0][2] = GetPixel(m_hDC,m_x+1,m_y-1);
                        }

                        if(i>=0)
                        {
                                m_data[1][0] = GetPixel(m_hDC,m_x-1,m_y);
                                m_data[2][0] = GetPixel(m_hDC,m_x-1,m_y+1);
                        }

                        m_data[1][1] = GetPixel(m_hDC,m_x,m_y);
                        m_data[1][2] = GetPixel(m_hDC,m_x+1,m_y);
                        m_data[2][1] = GetPixel(m_hDC,m_x,m_y+1);
                        m_data[2][2] = GetPixel(m_hDC,m_x+1,m_y+1);

                        m_dataOut = Convolution(m_data,0);
                        SetPixel(m_hDC,m_x,m_y,m_dataOut);
                }
                else
                {  get image pixel 9 points header image
                        if(((m_x>=0)&&(m_x<=m_Out.x))||((m_x>=m_Out1.x)&&(m_x<=abs
                            (m_rect.left-m_rect.right))))
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                {
                        if((i>=0)&&(j>=0))
                                m_data[0][0] = GetPixel(m_hDC,m_x-1,m_y-1);

                        if(j>=0)
                        {
                                m_data[0][1] = GetPixel(m_hDC,m_x,m_y-1);
                                m_data[0][2] = GetPixel(m_hDC,m_x+1,m_y-1);
                        }

                        if(i>=0)
                        {
                                m_data[1][0] = GetPixel(m_hDC,m_x-1,m_y);
                                m_data[2][0] = GetPixel(m_hDC,m_x-1,m_y+1);
                        }

                        m_data[1][1] = GetPixel(m_hDC,m_x,m_y);
                        m_data[1][2] = GetPixel(m_hDC,m_x+1,m_y);
                        m_data[2][1] = GetPixel(m_hDC,m_x,m_y+1);
                        m_data[2][2] = GetPixel(m_hDC,m_x+1,m_y+1);

                        m_dataOut = Convolution(m_data,0);
                        SetPixel(m_hDC,m_x,m_y,m_dataOut);
                }
            }

            i++;
        }
        j++;
    }
    SaveWindowAsFile(m_FileName,this);
}
COLORREF CVideoView::Convolution(COLORREF m_data[3][3],int m_ver)
{   // read color image
    int i,j,m_r[3][3],m_g[3][3],m_b[3][3];
    COLORREF m_DataReture;

    for(j=0;j<=2;j++)
    {
```

```
                for(i =0;i<=2;i++)
                        GetRGB(m_data[i][j],m_r[i][j],m_g[i][j],m_b[i][j]);
        }
        m_r[0][0] = CalculatorMatrix(m_r,m_ver);  // convolution each of color to coef.matrix setting
        m_g[0][0] = CalculatorMatrix(m_g,m_ver);
        m_b[0][0] = CalculatorMatrix(m_b,m_ver);

        m_DataReture = RGB(m_r[0][0],m_g[0][0],m_b[0][0]);

        m_DataReture = (COLORREF)(m_DataReture*m_weight);
        return m_DataReture;
}

int CVideoView::CalculatorMatrix(int m_data[3][3],int m_ver)
{  //  convolution procedure
        int m_DataReture;

        m_DataReture = (int)((m_data[0][0]*m_setting[0][0])+(m_data[0][1]*m_setting[0][1])
                +(m_data[0][2]*m_setting[0][2])+(m_data[1][0]*m_setting[1][0])
                +(m_data[1][1]*m_setting[1][1])+(m_data[1][2]*m_setting[1][2])
                +(m_data[2][0]*m_setting[2][0])+(m_data[2][1]*m_setting[2][1])
                +(m_data[2][2]*m_setting[2][2]));

        return m_DataReture/9.0;
}

void CVideoView::GetRGB(COLORREF m_color, int &R, int &G, int &B)
{
        R = (BYTE) m_color;  //  get color image
        G = (BYTE) (m_color>>8);
        B = (BYTE) (m_color>>16);
}
```

## 3.3 การออกแบบโปรแกรมคำนวณความลึก

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณความลึก มีหลักการออกแบบดังนี้

3.3.1 กำหนดให้ m_VLHPos, m_VLVPos, Xcl, Ycl, Xcr, Ycr เป็นตัวแปรชนิด integer และกำหนดให้ X0, Y0, Z0, Xi, Yi, Zi, B, C, e, h, f, t, v, Ws, Wc, M, FA, FB, FC, FD เป็นตัวแปรชนิด double

3.3.2 ตรวจสอบค่าตัวแปร m_PointLeft และ m_PointRight ใน Edit Box ว่ามีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็นศูนย์ให้ออกจากส่วนการคำนวณความลึก

3.3.3 โปรแกรมอ่านค่าตำแหน่งของกรอบภาพ โดยเก็บค่าตำแหน่งเริ่มต้นของกรอบภาพซ้ายไว้ที่ m_VLHPos และเก็บค่าตำแหน่งเริ่มต้นของกรอบภาพขวาไว้ที่ m_VLVPos

3.3.4 นำตำแหน่งเริ่มต้นของกรอบภาพซ้ายและขวามาบวกกับค่าตำแหน่งพิกัดของจุดที่เมาส์คลิกบนภาพซ้ายและภาพขวา

3.3.5 กำหนดให้ FA = tan(atan((Xcl+m_h)/m_f)+m_B), FB = tan(atan((m_h-Xcr)/m_f)+m_B), FC = (2*m_e)-(4*m_M*m_h)+(2*m_M*m_f*(tan(atan((m_t-(2*X0))/(2*Z0))-m_B)+tan(atan((m_t+(2*X0))/(2*Z0))-m_B))), FD = m_e-(2*m_M*m_h)+(m_M*m_f*(tan(atan((m_t-(2*X0)))-m_B)+tan(atan((m_t+(2*X0)))-m_B))), M = m_Ws/m_Wc, X0 = -m_t/2, Z0 = m_t/(m_FA+m_FB), Y0 = Ycl*((Z0*cos(m_B))+X0+(m_t*sin(m_B)/2))/m_f,Xi=m_M*m_f*m_e*(tan(atan((m_t+(2*X0))/(2*Z0))-m_B)-tan(atan((m_t-(2*X0))/(2*Z0))-m_B))/m_FC, Zi = Z0*m_e/m_FC

3.3.6 อ่านค่าจาก Edit Box สำหรับค่าตัวแปร B, C, e, h, f, t, v, Ws, Wc, M, FA, FB, FC, FD ที่ผู้ใช้งานกำหนดค่า

3.3.7 นำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณในสมการที่กำหนด

3.3.8 แสดงผล X0, Y0, Z0, Xi, Yi, Zi ที่ได้จากการคำนวณ

3.3.9 ซอร์สโปรแกรม (Source Program)

```
void CStereogramDlg::OnButtonCalculation()
{
	// TODO: Add your control notification handler code here
	CString m_tmp;
	int m_VLHPos,m_VLVPos;
	double X0,Y0,Z0,Xi,Yi,Zi;

	UpdateData(true);
	if((m_PointLeft != "")||(m_PointRight != "")) //  check data in edit box setting if it null don't work
	{
		m_data.ResetContent();

		m_VLHPos = AfxGetApp()->GetProfileInt("SETTING","VLH",0);  // read position of image left
		m_VLVPos = AfxGetApp()->GetProfileInt("SETTING","VLV",0);  // read position of image right

		CalculatorObjectSpace(m_PPointLeft.x,m_PPointRight.y  // cal by equation
			,m_PPointRight.x+m_VLVPos,m_PPointRight.y+m_VLVPos,X0,Y0,Z0,Xi,Yi,Zi);
//  display result
		m_tmp.Format("X0 = %d",X0);
		m_data.AddString(m_tmp);

		m_tmp.Format("Y0 = %d",Y0);
		m_data.AddString(m_tmp);

		m_tmp.Format("Z0 = %d",Z0);
		m_data.AddString(m_tmp);

		m_tmp.Format("Xi = %d",Xi);
		m_data.AddString(m_tmp);

		m_tmp.Format("Yi = %d",Yi);
		m_data.AddString(m_tmp);

		m_tmp.Format("Zi = %d",Zi);
		m_data.AddString(m_tmp);
	}
}
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
void CStereogramDlg::CalculatorObjectSpace(int Xcl, int Ycl, int Xcr, int Ycr, double &X0, double &Y0, double &Z0,double &Xi,double &Yi,double &Zi)
{
	double m_B,m_C,m_e,m_h,m_f,m_t,m_v,m_Ws,m_Wc,m_M,m_FA,m_FB,m_FC,m_FD;

	m_C = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","C"));  //  read setting data for each of data
	m_e = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","E"));
	m_v = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","V"));
	m_Ws = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","WS"));
	m_Wc = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","WC"));
	m_f = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","F"));
	m_t = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","T"));
	m_B = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","B"));
	m_h = atof(AfxGetApp()->GetProfileString("SETTING","H"));
//  equation
	m_FA = tan(atan((Xcl+m_h)/m_f)+m_B);
	m_FB = tan(atan((m_h-Xcr)/m_f)+m_B);
	m_M = m_Ws/m_Wc;
	m_FC = (2*m_e)-(4*m_M*m_h)+(2*m_M*m_f*(tan(atan((m_t-(2*X0))/(2*Z0))-m_B)+tan(atan((m_t+(2*X0))/(2*Z0))-m_B)));

	X0 = -m_t/2;
	Z0 = m_t/(m_FA+m_FB);
	Y0 = Ycl*((Z0*cos(m_B))+X0+(m_t*sin(m_B)/2))/m_f;

	m_FD = m_e-(2*m_M*m_h)+(m_M*m_f*(tan(atan((m_t-(2*X0)))-m_B)+tan(atan((m_t+(2*X0)))-m_B)));

	Xi = m_M*m_f*m_e*(tan(atan((m_t+(2*X0))/(2*Z0))-m_B)-tan(atan((m_t-(2*X0))/(2*Z0))-m_B))/m_FC;
	//Yi =
	Zi = Z0*m_e/m_FC;
}
```

## 3.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มีหลักการออกแบบดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.5 ใช้งานช่องสัญญาณสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Port) ของคอมพิวเตอร์ โดยใช้งานขาสัญญาณ DTX, RTX และ RI

3.4.6 จัดเตรียมตัวแปร m_BVar สำหรับเก็บรหัสของตัวอักษร “b” เพื่อใช้ในการควบคุมแว่นตาด้านซ้าย และจัดเตรียมตัวแปร m_CVar สำหรับเก็บรหัสของตัวอักษร “c” เพื่อใช้ในการควบคุมแว่นตาด้านขวา

3.4.7 เริ่มต้น Loop การทำงานส่งสัญญาณควบคุมให้ตัวแปร m_CVar เพื่อควบคุมแว่นตาด้านขวา, เรียกอุปกรณ์ขับกล้องซ้ายมือใช้งานพร้อมทั้งซ่อนอุปกรณ์ขับกล้องขวามือ, ล้างข้อมูลสำหรับใช้แสดงผลในหน้าต่างซ้ายและขวา, แสดงภาพจากกล้องซ้ายมือจากฟังก์ชัน m_LeftView.ShowWindow และซ่อนภาพจากกล้องขวามือ, จบ Loop การทำงานและส่งสัญญาณควบคุมให้ตัวแปร m_BVar เพื่อเปลี่ยนการควบคุมแว่นตาจากด้านขวาไปเป็นด้านซ้าย

3.4.8 เริ่มต้น Loop การทำงานส่งสัญญาณควบคุมให้ตัวแปร m_BVar เพื่อควบคุมแว่นตาด้านซ้าย, เรียกอุปกรณ์ขับกล้องขวามือใช้งานพร้อมทั้งซ่อนอุปกรณ์ขับกล้องซ้ายมือ , ล้างข้อมูลสำหรับใช้แสดงผลในหน้าต่างซ้ายและขวา, แสดงภาพจากกล้องขวามือจากฟังก์ชัน m_RightView.ShowWindow และซ่อนภาพจากกล้องซ้ายมือ, จบ Loop การทำงานและส่งสัญญาณควบคุมให้ตัวแปร m_CVar เพื่อเปลี่ยนการควบคุมแว่นตาจากด้านซ้ายไปเป็นด้านขวา

3.4.9 การควบคุมแว่นตาสำหรับการทำงานในส่วนของภาพสเตอริโอแกรมแบบมีนโอเปอเรชัน เริ่มต้นจากจัดเตรียมตัวแปร m_BVar สำหรับเก็บรหัสของตัวอักษร “b” เพื่อใช้ในการควบคุมแว่นตาด้านซ้าย และจัดเตรียมตัวแปร m_CVar สำหรับเก็บรหัสของตัวอักษร “c” เพื่อใช้ในการควบคุมแว่นตาด้านขวา

3.4.10 เริ่มต้น Loop การทำงานส่งสัญญาณควบคุมให้ตัวแปร m_CVar เพื่อควบคุมแว่นตาด้านขวา, ล้างข้อมูลสำหรับใช้แสดงผลในหน้าต่างซ้ายและขวา, แสดงภาพจากกล้องซ้ายมือจากฟังก์ชัน m_LeftView.ShowWindow และซ่อนภาพจากกล้องขวามือ, จบ Loop การทำงานและส่งสัญญาณควบคุมให้ตัวแปร m_BVar เพื่อเปลี่ยนการควบคุมแว่นตาจากด้านขวาไปเป็นด้านซ้าย

3.4.6 เริ่มต้น Loop การทำงานส่งสัญญาณควบคุมให้ตัวแปร m_BVar เพื่อควบคุมแว่นตาด้านซ้าย, ล้างข้อมูลสำหรับใช้แสดงผลในหน้าต่างซ้ายและขวา, แสดงภาพจากกล้องขวามือจากฟังก์ชัน m_RightView.ShowWindow และซ่อนภาพจากกล้องซ้ายมือ, จบ Loop การทำงานและส่งสัญญาณควบคุมให้ตัวแปร m_CVar เพื่อเปลี่ยนการควบคุมแว่นตาจากด้านซ้ายไปเป็นด้านขวา

3.4.7 ซอร์สโปรแกรม (Source Program)

```
void CStereogramDlg::OnTimer(UINT nIDEvent)
{
	// TODO: Add your message handler code here and/or call default
	if(m_nTimer == nIDEvent)
	{
//		KillTimer(m_nTimer1);
		COleVariant m_BVar("b"); // Set B variable for store “b” code to control Left Eye
		COleVariant m_CVar("c"); // Set C variable for store “c” code to control Right Eye
		if(m_Loop)
		{
			m_connect.SetOutput(m_CVar);  //send signal to C Variable for control Right
			::ShowWindow(m_Left,1);  //  show Left  driver cam
			::ShowWindow(m_Right,0);  //  hide Right  driver cam

			m_LeftView.RedrawWindow();   // refresh  whole window frame left
			m_RightView.RedrawWindow(); // refresh  whole window frame right

			m_LeftView.ShowWindow(1);     // show image left
			m_RightView.ShowWindow(0);     // hide right image
			m_Loop = false;
			m_connect.SetOutput(m_BVar);   //  send signal to swap control  Right to Left
		}
		else
		{
			m_connect.SetOutput(m_BVar); //send signal to C Variable for control Left
			::ShowWindow(m_Right,1);  // Show driver of right camera
			::ShowWindow(m_Left,0);   // hide driver of left camera
```

```
                    m_RightView.RedrawWindow(); // Refresh whole left image
                    m_LeftView.RedrawWindow(); // Refresh whole right image

                    m_RightView.ShowWindow(1); // Show Right image
                    m_LeftView.ShowWindow(0); // Hide Left image
                    m_Loop = true;
                    m_connect.SetOutput(m_CVar); //  send signal to swap  Left to Right LCD

                }
            }

            if(m_nTimer1 == nIDEvent)
            {
//                  KillTimer(m_nTimer);
                    COleVariant m_BVar("b");  // Set B variable for store “b” code to control Left Eye
                    COleVariant m_CVar("c"); // Set C variable for store “c” code to control Right Eye
            if(m_Loop) //
                    {  // downside is for Mean Operation image stereogram
                            m_connect.SetOutput(m_CVar); // send signal to Right Eye
                            m_MPLeft.ShowWindow(1); // Show Left Image
                            m_MPRight.ShowWindow(0); // Hide Right Image
                            m_Loop = false;
                            m_connect.SetOutput(m_BVar); //  send signal to swap control Right to Left LCD
                    }
                    else
                    {
                            m_connect.SetOutput(m_BVar); // Send signal to Left Eye
                            m_MPLeft.ShowWindow(0); // Hide Left Image
                            m_MPRight.ShowWindow(1); // Show Right Image
                            m_Loop = true;
                            m_connect.SetOutput(m_CVar); //  send signal to swap  control Left to Right  LCD
                    }
            }
            CDialog::OnTimer(nIDEvent);
}
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมแว่นตาผลึกเหลว

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมแว่นตาผลึกเหลว มีหลักการออกแบบดังนี้

3.5.1 กำหนดใช้งานค่าตัวแปร i โดยให้เป็นตัวแปรชนิดอักขระ (Character)

3.5.2 กำหนดค่าเริ่มต้นของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้เริ่มใช้งานช่องการสื่อสารแบบอนุกรม โดยมีหมายเลขอ้างอิงที่ 0x52 ให้มีความถี่ความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 9600 บิตต่อวินาที, ไม่มีการตรวจสอบพาริตีบิต, เป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 8 บิต, ให้ส่งบิตสุดท้ายของชุดข้อมูลสื่อสารด้วยทุกครั้ง, กำหนดให้มีความถี่สัญญาณนาฬิกา 0x20, พร้อมทั้งเริ่มต้นใช้งานอุปกรณ์ไทม์เมอร์

3.5.3 เริ่มต้น Loop การทำงานโดยกำหนดให้รอรับข้อมูลที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม จนกระทั่งสัญญาณ RI มีตรรกะเป็น 0 ให้จัดเก็บชุดคำสั่งที่ส่งมาไว้ในตัวแปร i และตรวจสอบว่าชุดข้อมูลที่ส่งมามีค่าเป็นอย่างไร ถ้าข้อมูลที่ส่งมามีค่า 0x61 หมายถึงให้เปิดแว่นตาทั้งสองข้าง จากนั้นส่งสัญญาณควบคุมให้ Port 1ให้มีค่า 0x00 เพื่อควบคุมแว่นตา และถ้าข้อมูลที่ส่งมามีค่า 0x62 หมายถึงให้ปิดแว่นตาด้านขวา (0x62เป็นค่ารหัสแอสกีของตัวอักษร C) จากนั้นส่งสัญญาณควบคุมให้ Port 1ให้มีค่า0x02 และถ้าข้อมูลที่ส่งมามีค่า 0x63 หมายถึงให้ปิดแว่นตาด้านซ้าย (0x63เป็นค่ารหัสแอสกีของตัวอักษร B) จากนั้นส่งสัญญาณควบคุมให้ Port 1มีค่า0x40 และถ้าข้อมูลที่ส่งมามีค่า 0x64 หมายถึงให้ปิดแว่นตาทั้งสองข้าง จากนั้นส่งสัญญาณควบคุมที่ Port 1ให้มีค่า0x42 เพื่อควบคุมแว่นตา

3.5.4 จบวงรอบการทำงานโดยกำหนดค่าชุดข้อมูลที่ส่งและเก็บอยู่ในตัวแปร i ให้มีค่าเป็น 0x00 และเริ่มต้นรอสัญญาณ RI มีค่าตรรกะเป็น 0 อีกครั้ง

3.5.5 ซอร์สโปรแกรม (Source Proam)

```
# pragma code
# include <reg51.h>
# include <stdio.h>
void main(void)
{
        unsigned char i;
        P1 = 0x00;

        SCON = 0x52; // initialize serial port
        TMOD = 0x20;  // initialize timer
        TH1 = 0xFD;     // Set Baud Rate at 9600,n,8,1
        TR1= 1; // start timer
        while(1)
        {
                while(!RI); // wait cpu recieve data
                RI = 0;
                i = SBUF; // storage data to i variable
                if(i == 0x61) // if i = 61 open both eye
                        P1 = 0x00; // Send code 0x00 to control LCD
                else if(i == 0x62) // if i = 62 left eye open ( C Code )
                        P1 = 0x02; // Send code 0x02 to control LCD
                else if(i == 0x63) // if i = 63 right eye open ( B Code )
                        P1 = 0x40; // Send code 0x40 to control LCD
                else if(i == 0x64) // if i = 64 close both eye
                        P1 = 0x42; // Send code 0x02 to control LCD
                i = 0x00;  // if I = 0 is mean no have data sended
           SBUF = 0x00; // Clear transmit buffer to zero
        }
}
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.6 การออกแบบโปรแกรมส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน

โปรแกรมที่ได้รับการพัฒนานี้มีคุณสมบัติในการใช้งานโดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วนคือ

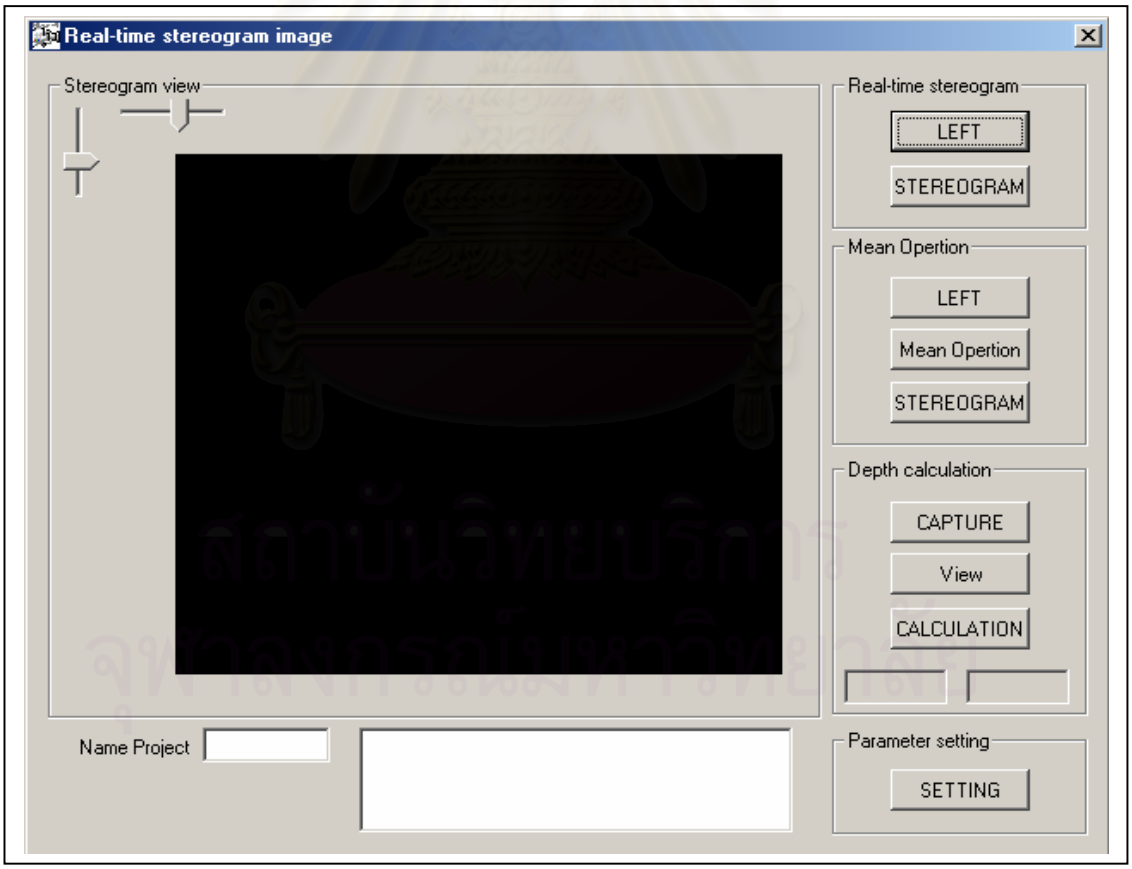
3.6.1 แสดงภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงจากกล้องเว็บแคเมอรา

3.6.2 ส่วนแสดงภาพสเตอริโอแกรมของภาพที่กระทำมีนโอเปอเรชัน

3.6.3 ส่วนการคำนวณความลึกของภาพ

3.6.4 ส่วนการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆของโปรแกรม

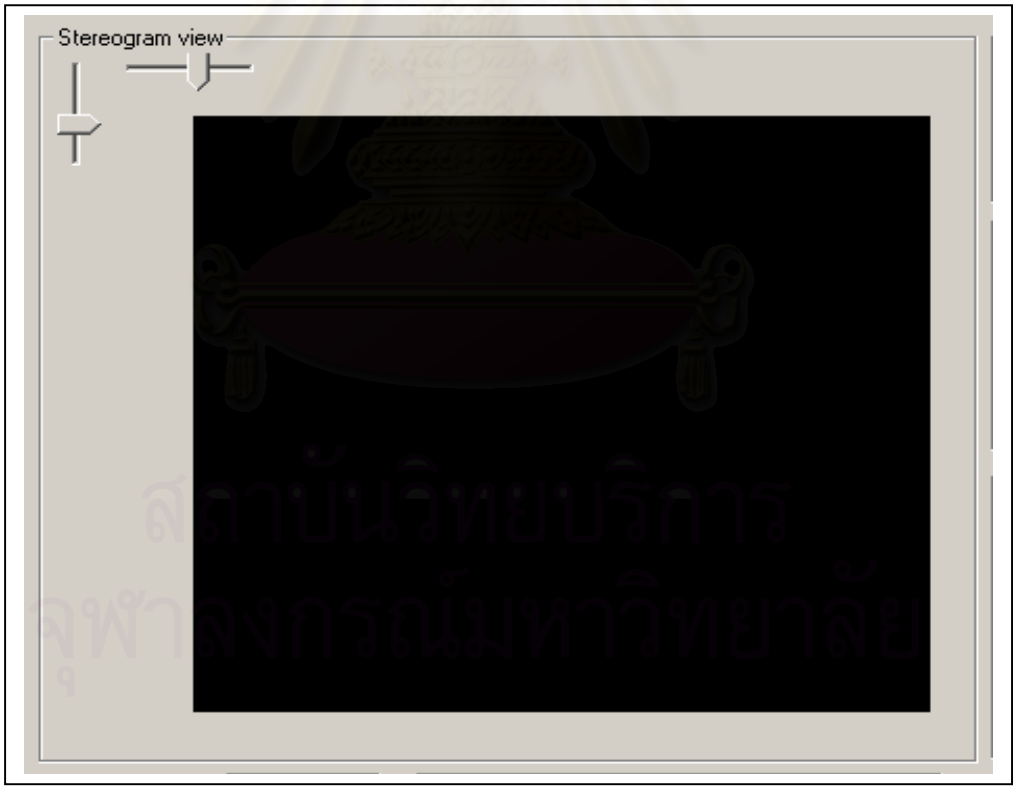
โดยหน้าจอหลักของโปรแกรมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-1




รูปที่ 3-1 แสดงหน้าหลักของโปรแกรม

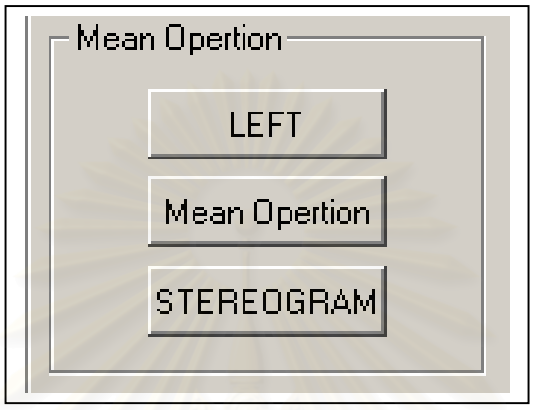
รูปที่ 3-2 แสดงภาพส่วนการสั่งงานการแสดงภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง และ
รูปที่ 3-3 แสดงภาพส่วนการแสดงผลภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงจากกล้องเว็บแคเมอรา

รูปที่ 3-2 แสดงภาพส่วนการสั่งงานการแสดงภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง



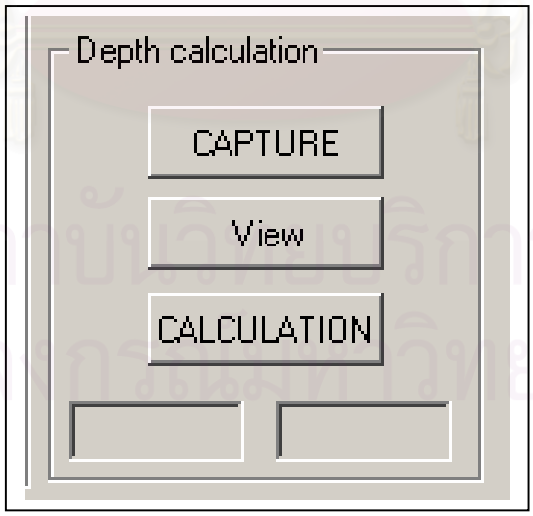

รูปที่ 3-3 แสดงภาพส่วนการแสดงผลภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง

และรูปที่ 3-4 แสดงภาพหน้าจอของส่วนสั่งงานการทำผลพิเศษกับภาพแบบมีนโอ-เปอเรชัน และในส่วนของการแสดงผลของภาพที่เกิดขึ้น ได้ออกแบบให้ใช้งานร่วมกันกับส่วนการแสดงผลภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง

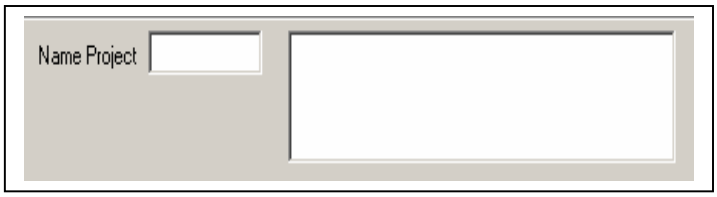



รูปที่ 3-4 แสดงหน้าจอของส่วนสั่งงานการทำผลพิเศษกับภาพแบบมีนโอเปอเรชัน

รูปที่ 3-5 แสดงภาพหน้าจอของส่วนสั่งงาน การคำนวณความลึกของภาพสเตอริ-โอแกรม และรูปที่ 3-6 แสดงภาพของส่วนการแสดงผลความลึกที่ได้จากการคำนวณ

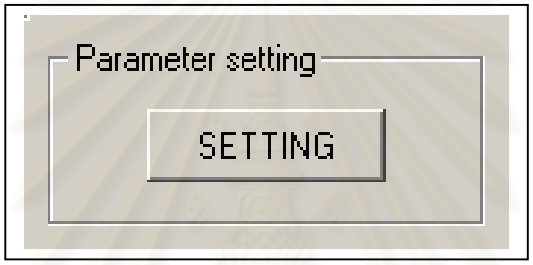



รูปที่ 3-5 แสดงหน้าจอของส่วนสั่งงานการคำนวณความลึก

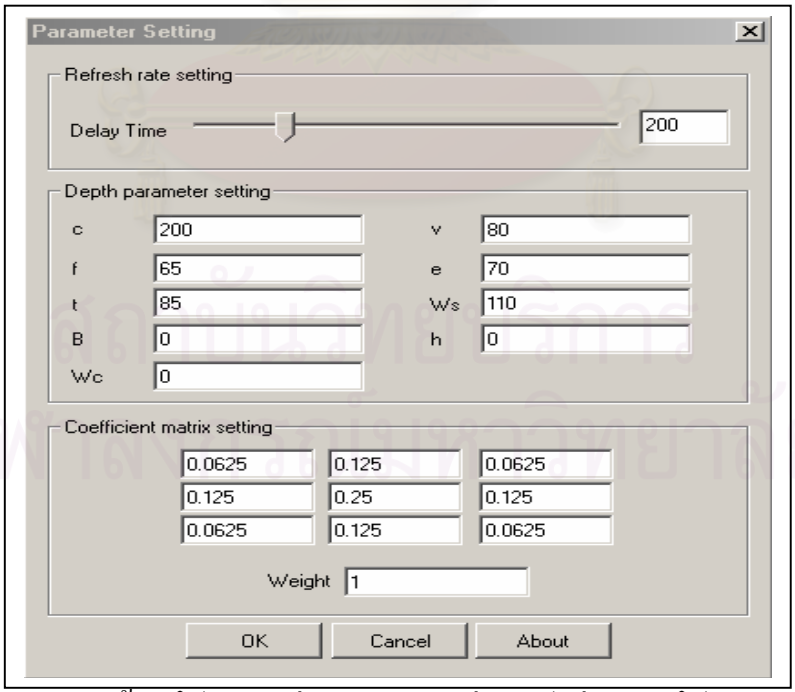



รูปที่ 3-6 แสดงภาพหน้าจอของส่วนการแสดงผลความลึก

และรูปที่ 3-7 แสดงภาพของส่วนการสั่งงานการกำหนดค่าตัวแปรของโปรแกรม และภาพที่ 3-8 แสดงภาพของส่วนการกรอกค่าของผู้ใช้งาน




รูปที่ 3-7 แสดงภาพของส่วนการสั่งงานการกำหนดค่าตัวแปร




รูปที่ 3-8 แสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆของโปรแกรม

## 3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างระบบสเตอริโอแกรม

3.7.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็ม หรือไอบีเอ็มคอมแพททิเบิล ที่มีไมโครโปรเซสเซอร์เพนเทียม ขึ้นไป มีหน่วยความจำตั้งแต่ 2 เมกกะไบท์ มีหน่วยอ่านแผ่นคอมแพค-ดิสก์หนึ่งช่อง ช่องทางติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม 1 ช่องทาง และมีช่องทางติดต่อแบบยูเอสบีอย่างน้อยสองช่องทาง (USB Port)

3.7.2 ซอฟท์แวร์ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98 ขึ้นไป

3.7.3 จอภาพและการ์ดแสดงผลแบบวีจีเอ

3.7.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS8051 พร้อมสายสัญญาณควบคุมแบบอนุกรม 1 เส้น

3.7.5 แว่นตาแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD Shutter Eyeglasses) 1 ชุด

3.7.6 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าขนาด 6 โวลท์ 1000 มิลลิแอมป์ 1 ชุด

3.7.7 ขาตั้งกล้องแบบสเตอริโอแกรมพร้อมอุปกรณ์วัดแนวระดับ 1 ชุด

3.7.8 กล้องวิดีโอชนิดที่ใช้ยูเอสบีพอร์ตในการส่งข้อมูลภาพ 2 ตัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 4

## ผลการวิจัยและการทดสอบโปรแกรม

จากแนวความคิดในการใช้เทคนิคทางจิตวิทยามาช่วยในงานสร้างภาพสเตอริโอแกรม คือใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชันกับภาพสเคอริโอแกรมดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ในบทนี้จะเป็นการทดสอบผลที่เกิดขึ้นกับภาพของการใช้เทคนิคดังกล่าว และทดสอบโปรแกรมสร้างภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงที่พัฒนาขึ้นกับวัตถุที่เตรียมไว้ต่างๆ

หลักการที่ใช้ทดสอบผลที่เกิดขึ้นกับภาพจากการใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชันมีดังต่อไปนี้

### 4.1 การวัดประสิทธิภาพ

ในการที่จะวิเคราะห์ผลการทำงานของการใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชันกับภาพสเตอริโอแกรมมีปัจจัยที่นำมาพิจารณาคือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มจุดภาพที่ผ่านการใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชัน และความสามารถของส่วนการคำนวณระยะวัตถุของโปรแกรมสร้างภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริง

#### 4.1.1 ค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพ

ค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพสามารถวัดผลการทำงานของเทคนิคมีนโอเปอเรชันได้จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มจุดภาพก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยกับภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

เมื่อ $f(n_1,n_2)$ คือฟังก์ชันค่าความเข้มของรูปภาพที่ยังไม่ได้ผ่านเทคนิคมีนโอเปอเรชัน และ $p(n_1,n_2)$ คือฟังก์ชันค่าความเข้มของรูปภาพที่ผ่านการใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชัน

$$MP.Mean(f(n_1,n_2)) = \frac{\sum f(n_1,n_2)}{N} \qquad (4\text{-}1)$$

$$MP.Mean(p(n_1,n_2)) = \frac{\sum p(n_1,n_2)}{N} \quad (4\text{-}2)$$

4.1.2 ความผิดพลาดของการคำนวณระยะวัตถุ

ระยะวัตถุที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรมสามารถวัดค่าความผิดพลาดได้โดยเปรียบเทียบกับการวัดระยะจริงโดยวิธีการคำนวณสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4-1

$$\% \text{ ความผิดพลาดของการคำนวณ} = \frac{\text{ระยะทางจริง} - \text{ค่าเฉลี่ยจากการคำนวณ}}{\text{ระยะทางจริง}} \times 100 \quad (4\text{-}3)$$

## 4.2 ขั้นตอนการทดสอบโปรแกรม

4.2.1 การทดสอบระยะวัตถุ

4.2.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการคำนวณระยะวัตถุ

(ก) ภาพจุดสี่เหลี่ยมสีขาวด้านซ้ายขนาด 324 x 241 พิกเซล ระดับความเข้ม 65,536 ระดับ ระยะตั้งแต่ 10 Cm. จนถึง 60 Cm.

(ข) ภาพจุดสี่เหลี่ยมสีขาวด้านขวาขนาด 324 x 241 พิกเซล ระดับความเข้ม 65,536 ระดับ ระยะตั้งแต่ 10 Cm. จนถึง 60 Cm.

4.2.1.2 กล้องวิดีโอบันทึกภาพ โซนี รุ่น DCR TRV25 ความยาวโฟกัสของเลนส์ตั้งแต่ 3.7 ม.ม. ถึง 37 ม.ม. ขนาดของอุปกรณ์รับภาพ (CCD Size) ¼” นิ้ว

4.2.1.3 ติดตั้งระบบกล้องสเตอริโอแกรมพร้อมฉากวัดระยะและเชื่อมต่อระบบกล้องสเตอริโอแกรมกับคอมพิวเตอร์

4.2.1.4 เปิดโปรแกรม Real time Stereogram Image

4.2.1.5 ปรับตั้งระบบกล้องจนได้ระยะสเตอริโอแกรม พร้อมทั้งกำหนดค่าคุณสมบัติของระบบสเตอริโอแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณระยะวัตถุในส่วนกำหนดค่า

4.2.1.6 ตั้งฉากวัดที่ระยะ 10 Cm. พร้อมทั้งเริ่มเก็บภาพจากกล้องซ้ายและขวาหลังจากนั้นเรียกภาพดังกล่าวมาแสดงที่หน้าจอ

4.2.1.7 ทำการเลือกจุดเดียวกันจากภาพซ้ายและขวา โดยใช้เมาส์คลิก

4.2.1.8 กดปุ่มคำนวณเพื่อเริ่มการคำนวณระยะวัตถุ

4.2.1.7 ทำการคำนวณซ้ำจนครบ 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ไปหาค่าเฉลี่ยก่อนนำไปคำนวณหาค่าความผิดพลาดต่อไป

4.2.2 การทดสอบค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพ

4.2.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบหาความเข้มจุดภาพ

(ก) ภาพจุดสี่เหลี่ยมสีขาวด้านซ้ายขนาด 8 x 8 พิกเซล ระดับความเข้ม 65,536 ระดับ ระยะตั้งแต่ 10 Cm. จนถึง 60 Cm.

(ข) ภาพจุดสี่เหลี่ยมสีขาวด้านขวาขนาด 8 x 8 พิกเซล ระดับความเข้ม 65,536 ระดับ ระยะตั้งแต่ 10 Cm. จนถึง 60 Cm.

4.2.2.2 กล้องวิดีโอบันทึกภาพ โซนี รุ่น DCR TRV25 ความยาวโฟกัสของเลนส์ตั้งแต่ 3.7 ม.ม. ถึง 37 ม.ม. ขนาดของอุปกรณ์รับภาพ (CCD Size) ¼” นิ้ว

4.2.2.3 ติดตั้งระบบกล้องสเตอริโอแกรมพร้อมฉากวัดระยะและเชื่อมต่อระบบกล้องสเตอริโอแกรมกับคอมพิวเตอร์

4.2.2.4 เปิดโปรแกรม Real time Stereogram Image ปรับตั้งระบบกล้องจนได้ระยะสเตอริโอแกรม ตั้งฉากวัดที่ระยะ 10 Cm. ตั้งชื่อไฟล์ภาพที่ส่วนตั้งชื่อไฟล์โปรเจค จากนั้นกดปุ่มใช้งานเทคนิคมีนโอเปอเรชันกับภาพจากกล้องทั้งสองตัว

4.2.2.5 ใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการอ่านค่าความเข้มของภาพโดยเปิดไฟล์ภาพที่บันทึกไว้ทั้งภาพที่ยังไม่ได้ผ่านเทคนิคมีนโอเปอเรชัน และภาพหลังการใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชันโดยวัดที่จุดภาพตำแหน่งที่ผ่านกระบวนการเฉลี่ยภาพ

4.2.2.6 นำค่าความเข้มของภาพที่ได้จากการอ่านมาเข้าสมการคำนวณหาค่าเฉลี่ยความเข้มของจุดภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.3 ผลการทดสอบโปรแกรม

### 4.3.1 ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพ

จากการทดลองใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชันกับภาพที่ระยะวัตถุต่างๆ ให้ผลเปลี่ยนแปลงกับค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพมีทิศทางลดลง มีผลการทดลองดังนี้

**ตารางที่ 4-1 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มจุดภาพ**

| ระยะวัตถุ | ค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย | | ค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย | |
|---|---|---|---|---|
| | ภาพซ้าย | ภาพขวา | ภาพซ้าย | ภาพขวา |
| 10.0 Cm. | 37.015 | 38.703 | 32.225 | 33.452 |
| 11.0 Cm. | 37.015 | 41.093 | 32.225 | 36.783 |
| 12.0 Cm. | 37.015 | 37.609 | 32.225 | 31.116 |
| 13.0 Cm. | 32.875 | 34.348 | 28.904 | 30.448 |
| 14.0 Cm. | 33.453 | 38.000 | 28.924 | 32.997 |
| 15.0 Cm. | 36.781 | 41.640 | 31.937 | 36.983 |
| 16.0 Cm. | 36.421 | 40.250 | 31.337 | 35.833 |
| 17.0 Cm. | 33.921 | 38.640 | 29.364 | 33.736 |
| 18.0 Cm. | 36.953 | 35.078 | 31.938 | 30.963 |
| 19.0 Cm. | 24.765 | 33.875 | 20.973 | 28.374 |
| 20.0 Cm. | 34.468 | 35.640 | 30.374 | 30.773 |
| 21.0 Cm. | 90.468 | 86.531 | 86.453 | 81.163 |
| 22.0 Cm. | 141.015 | 132.359 | 138.474 | 133.274 |
| 23.0 Cm. | 169.703 | 177.984 | 164.332 | 172.873 |
| 24.0 Cm. | 167.250 | 172.937 | 162.732 | 169.034 |
| 25.0 Cm. | 167.171 | 175.968 | 162.384 | 170.447 |
| 26.0 Cm. | 169.234 | 173.421 | 164.264 | 169.283 |

| ระยะวัตถุ | ความแตกต่างความเข้มจุดภาพก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย | | ความแตกต่างความเข้มจุดภาพหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย | |
|---|---|---|---|---|
| | ภาพซ้าย | ภาพขวา | ภาพซ้าย | ภาพขวา |
| 27.0 Cm. | 166.000 | 174.078 | 161.824 | 169.394 |
| 28.0 Cm. | 153.015 | 165.203 | 148.832 | 160.473 |
| 29.0 Cm. | 114.437 | 129.234 | 109.374 | 124.384 |
| 30.0 Cm. | 71.359 | 91.406 | 66.384 | 86.374 |
| 31.0 Cm. | 35.843 | 47.109 | 30.284 | 42.384 |
| 32.0 Cm. | 21.750 | 25.203 | 16.3737 | 20.004 |
| 33.0 Cm. | 26.343 | 28.687 | 21.384 | 23.394 |
| 34.0 Cm. | 18.859 | 25.046 | 13.284 | 20.385 |
| 35.0 Cm. | 19.375 | 24.578 | 14.385 | 19.382 |
| 36.0 Cm. | 23.421 | 22.031 | 18.392 | 17.385 |
| 37.0 Cm. | 19.031 | 26.769 | 14.383 | 21.334 |
| 38.0 Cm. | 21.000 | 28.875 | 16.034 | 23.493 |
| 39.0 Cm. | 22.000 | 24.968 | 15.383 | 19.993 |
| 40.0 Cm. | 22.515 | 22.984 | 16.392 | 16.292 |
| 41.0 Cm. | 19.453 | 21.250 | 14.389 | 15.335 |
| 42.0 Cm. | 21.000 | 25.515 | 16.449 | 20.293 |
| 43.0 Cm. | 21.500 | 24.906 | 16.284 | 19.003 |
| 44.0 Cm. | 21.312 | 22.750 | 16.389 | 16.384 |
| 45.0 Cm. | 19.000 | 23.375 | 14.339 | 17.283 |
| 46.0 Cm. | 23.250 | 21.718 | 17.395 | 16.389 |
| 47.0 Cm. | 32.500 | 25.187 | 28.483 | 20.394 |
| 48.0 Cm. | 63.125 | 26.093 | 58.384 | 21.339 |
| 49.0 Cm. | 91.515 | 24.609 | 86.382 | 19.393 |
| 50.0 Cm. | 133.078 | 24.348 | 128.394 | 19.373 |

| ระยะวัตถุ | ความแตกต่างความเข้มจุดภาพก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย | | ความแตกต่างความเข้มจุดภาพหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย | |
|---|---|---|---|---|
| | ภาพซ้าย | ภาพขวา | ภาพซ้าย | ภาพขวา |
| 51.0 Cm. | 159.828 | 21.993 | 154.284 | 16.384 |
| 52.0 Cm. | 169.281 | 26.281 | 164.334 | 21.294 |
| 53.0 Cm. | 154.625 | 20.953 | 149.493 | 15.385 |
| 54.0 Cm. | 158.390 | 26.171 | 153.284 | 20.384 |
| 55.0 Cm. | 149.500 | 24.000 | 144.384 | 20.332 |
| 56.0 Cm. | 150.078 | 26.375 | 145.492 | 138.392 |
| 57.0 Cm. | 148.031 | 20.671 | 143.842 | 15.394 |
| 58.0 Cm. | 147.078 | 24.046 | 143.392 | 19.304 |
| 59.0 Cm. | 149.875 | 22.937 | 144.593 | 18.394 |
| 60.0 Cm. | 144.468 | 22.562 | 139.294 | 19.883 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ผลการคำนวณระยะวัตถุและค่าร้อยละของความผิดพลาด

จากการทดลองคำนวณระยะวัตถุกับภาพที่ระยะต่างๆ ได้ให้ผลการคำนวณผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 4-2 ผลการคำนวณระยะวัตถุและค่าร้อยละของความผิดพลาด**

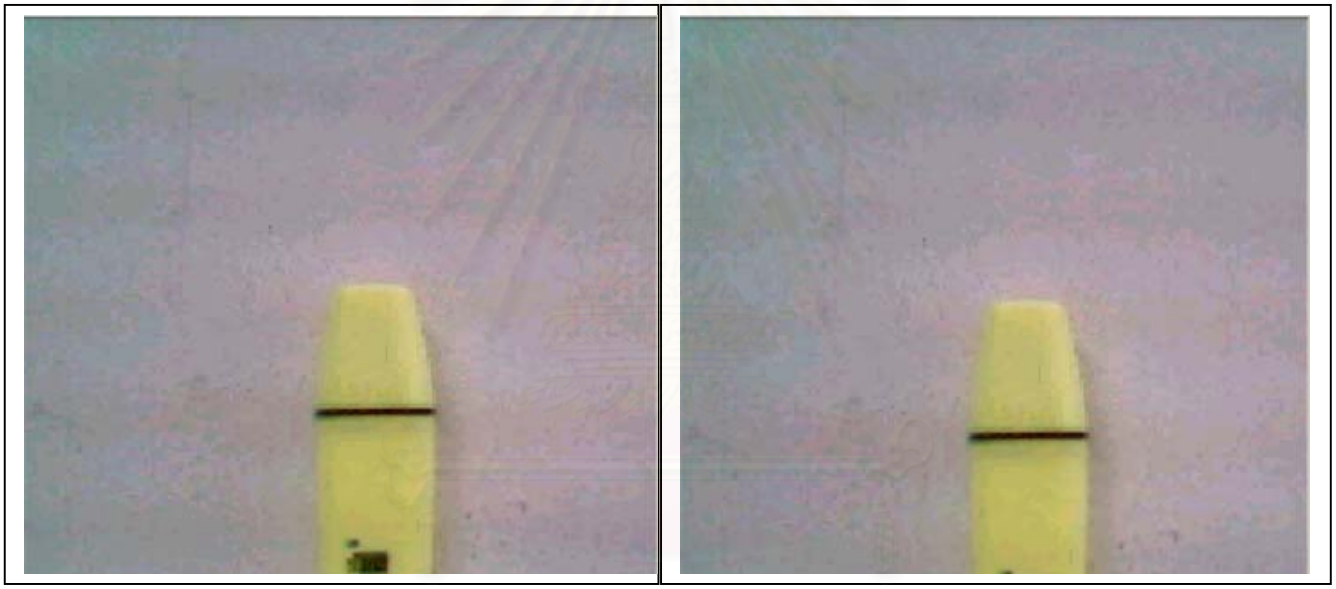
| ระยะทางจากการวัด | คำนวณครั้งที่ 1 | คำนวณครั้งที่ 2 | คำนวณครั้งที่ 3 | % Error |
|---|---|---|---|---|
| 10.0 Cm. | 10.5 | 10.4 | 10.6 | 5.3 |
| 11.0 Cm. | 11.5 | 11.2 | 11.2 | 2.8 |
| 12.0 Cm. | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 5.1 |
| 13.0 Cm. | 13.8 | 13.8 | 13.9 | 6.5 |
| 14.0 Cm. | 14.8 | 14.7 | 14.5 | 5.1 |
| 15.0 Cm. | 15.9 | 15.3 | 15.8 | 4.2 |
| 16.0 Cm. | 16.9 | 16.9 | 16.8 | 5.4 |
| 17.0 Cm. | 17.6 | 17.7 | 17.8 | 4.4 |
| 18.0 Cm. | 18.5 | 18.2 | 18.2 | 1.9 |
| 19.0 Cm. | 19.8 | 19.7 | 19.6 | 3.9 |
| 20.0 Cm. | 20.8 | 20.6 | 20.5 | 3.5 |
| 21.0 Cm. | 21.5 | 21.8 | 21.5 | 3.1 |
| 22.0 Cm. | 22.9 | 22.8 | 22.8 | 3.9 |
| 23.0 Cm. | 23.3 | 23.2 | 23.8 | 2.1 |
| 24.0 Cm. | 24.8 | 24.6 | 24.4 | 2.7 |
| 25.0 Cm. | 25.3 | 25.3 | 25.3 | 1.7 |
| 26.0 Cm. | 26.2 | 26.8 | 26.3 | 1.9 |
| 27.0 Cm. | 27.7 | 27.3 | 27.8 | 2.5 |
| 28.0 Cm. | 28.4 | 28.4 | 28.3 | 1.5 |
| 29.0 Cm. | 29.3 | 29.8 | 29.9 | 1.9 |
| 30.0 Cm. | 30.4 | 30.6 | 30.3 | 0.5 |

| ระยะทางจากการวัด | คำนวณครั้งที่ 1 | คำนวณครั้งที่ 2 | คำนวณครั้งที่ 3 | % Error |
|---|---|---|---|---|
| 31.0 Cm. | 31.3 | 31.8 | 31.1 | 0.1 |
| 32.0 Cm. | 32.8 | 32.8 | 32.7 | 0.4 |
| 33.0 Cm. | 33.2 | 33.7 | 33.4 | 0.9 |
| 34.0 Cm. | 34.7 | 34.3 | 34.8 | 0.9 |
| 35.0 Cm. | 35.4 | 35.8 | 35.7 | 0.6 |
| 36.0 Cm. | 36.2 | 36.4 | 36.8 | 0.8 |
| 37.0 Cm. | 37.8 | 37.9 | 37.2 | 1.5 |
| 38.0 Cm. | 38.2 | 38.6 | 38.9 | 1.4 |
| 39.0 Cm. | 39.6 | 39.9 | 39.7 | 1.5 |
| 40.0 Cm. | 40.8 | 40.7 | 40.9 | 1.5 |
| 41.0 Cm. | 41.8 | 42.1 | 41.9 | 1.7 |
| 42.0 Cm. | 42.9 | 42.3 | 42.6 | 1.4 |
| 43.0 Cm. | 44.1 | 43.7 | 43.8 | 1.7 |
| 44.0 Cm. | 45.3 | 44.9 | 44.9 | 1.6 |
| 45.0 Cm. | 46.2 | 46.4 | 45.9 | 1.9 |
| 46.0 Cm. | 47.3 | 47.2 | 47.2 | 2.1 |
| 47.0 Cm. | 48.6 | 48.3 | 48.8 | 2.6 |
| 48.0 Cm. | 49.3 | 49.2 | 48.9 | 2.3 |
| 49.0 Cm. | 51.2 | 50.8 | 50.6 | 2.6 |
| 50.0 Cm. | 51.7 | 51.6 | 52.2 | 2.9 |
| 51.0 Cm. | 53.3 | 52.9 | 52.8 | 3.7 |
| 52.0 Cm. | 54.2 | 53.7 | 53.7 | 3.0 |
| 53.0 Cm. | 54.6 | 54.9 | 54.7 | 2.7 |
| 54.0 Cm. | 56.7 | 55.9 | 55.8 | 3.3 |
| 55.0 Cm. | 57.7 | 57.5 | 56.8 | 3.6 |
| 56.0 Cm. | 58.6 | 57.9 | 57.7 | 3.3 |
| 57.0 Cm. | 59.5 | 59.9 | 58.3 | 3.6 |
| 58.0 Cm. | 60.6 | 60.3 | 59.3 | 3.7 |

| ระยะทางจากการวัด | คำนวณครั้งที่ 1 | คำนวณครั้งที่ 2 | คำนวณครั้งที่ 3 | % Error |
|---|---|---|---|---|
| 59.0 Cm. | 62.3 | 61.3 | 61.2 | 3.5 |
| 60.0 Cm. | 63.3 | 64.8 | 63.2 | 4.7 |

4.3.3 ผลของภาพภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทดลองใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพสองชุด ซึ่งทั้งสองชุดให้ผลในทิศทางเดียวกันคือ ทำให้ภาพดูนุ่มนวลขึ้น แสดงดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แสดงภาพที่ผ่านการใช้สัมประสิทธิ์ตัวกระทำการเฉลี่ยที่แตกต่างกัน

(ก) 1/9, 1/9, 1/9, 1/9, 1/9, 1/9, 1/9, 1/9, 1/9

(ข) 1/16, 1/8, 1/16, 1/8 1/4, 1/8, 1/16, 1/8, 1/16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มจุดภาพก่อนและภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-2 และ 4-3 โดยภาพทั้งสองนี้แสดงค่าความเข้มจุดภาพที่มีขนาด 8 x 8 จุดภาพ

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 20 | 21 | 22 | 23 | 23 | 25 | 27 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 29 | 28 |
| 17 | 16 | 18 | 18 | 20 | 20 | 20 | 13 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 29 | 29 | 29 | 25 |
| 25 | 24 | 27 | 27 | 29 | 29 | 30 | 39 |
| 117 | 119 | 121 | 121 | 122 | 121 | 122 | 132 |
| 160 | 163 | 164 | 164 | 166 | 165 | 165 | 160 |
| 162 | 163 | 163 | 163 | 164 | 163 | 164 | 161 |
| 20 | 20 | 21 | 22 | 23 | 23 | 25 | 27 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 29 | 31 | 32 | 34 | 33 | 35 | 35 |
| 29 | 30 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 | 33 |
| 29 | 30 | 30 | 28 | 29 | 27 | 28 | 36 |
| 40 | 42 | 44 | 44 | 46 | 44 | 45 | 27 |
| 89 | 91 | 96 | 100 | 105 | 107 | 109 | 119 |
| 147 | 149 | 153 | 156 | 159 | 162 | 163 | 160 |
| 176 | 174 | 173 | 169 | 168 | 166 | 165 | 166 |
| 170 | 169 | 169 | 167 | 167 | 166 | 165 | 167 |

รูปที่ 4-2 ค่าความเข้มของจุดภาพก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยขนาดจุดภาพ 8x8 จุดภาพ

(ก) ภาพซ้ายที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:57 , 50:57)

(ข) ภาพขวาที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:57 , 50:57)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

รูปที่ 4-3 ค่าความเข้มของจุดภาพภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยขนาดจุดภาพ 8x8 จุดภาพ

(ก) ภาพซ้ายที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:57 , 50:57)

(ข) ภาพขวาจุดภาพที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:57 , 50:57)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-4 และ 4-5 แสดงค่าความเข้มจุดภาพก่อนและภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพ รูปที่ 4-4 และ 4-5 นี้แสดงค่าความเข้มจุดภาพของภาพขนาด 16 x 16 จุดภาพ

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 20 | 21 | 22 | 23 | 23 | 25 | 27 | 26 | 25 | 25 | 22 | 21 | 20 | 20 | 27 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 29 | 28 | 28 | 28 | 27 | 25 | 24 | 24 | 23 | 33 |
| 17 | 16 | 18 | 18 | 20 | 20 | 20 | 13 | 13 | 12 | 13 | 11 | 11 | 10 | 11 | 22 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 29 | 29 | 29 | 25 | 26 | 26 | 26 | 27 | 27 | 26 | 27 | 36 |
| 25 | 24 | 27 | 27 | 29 | 29 | 30 | 39 | 40 | 40 | 41 | 41 | 42 | 43 | 43 | 47 |
| 117 | 119 | 121 | 121 | 122 | 121 | 122 | 132 | 133 | 134 | 136 | 137 | 138 | 138 | 138 | 135 |
| 160 | 163 | 164 | 164 | 166 | 165 | 165 | 160 | 161 | 164 | 165 | 166 | 168 | 167 | 167 | 158 |
| 162 | 163 | 163 | 163 | 164 | 163 | 164 | 161 | 161 | 162 | 162 | 163 | 163 | 163 | 163 | 160 |
| 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 |
| 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 |
| 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 |
| 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 |
| 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 |
| 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 |
| 159 | 161 | 163 | 162 | 162 | 161 | 160 | 156 | 156 | 154 | 154 | 151 | 151 | 150 | 150 | 155 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 29 | 31 | 32 | 34 | 33 | 35 | 35 | 34 | 33 | 32 | 30 | 29 | 28 | 28 | 20 |
| 29 | 30 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 | 33 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 29 | 28 | 18 |
| 29 | 30 | 30 | 28 | 29 | 27 | 28 | 36 | 36 | 36 | 36 | 35 | 36 | 34 | 34 | 33 |
| 40 | 42 | 44 | 44 | 46 | 44 | 45 | 27 | 27 | 28 | 28 | 29 | 29 | 27 | 28 | 41 |
| 89 | 91 | 96 | 100 | 105 | 107 | 109 | 119 | 119 | 120 | 120 | 121 | 122 | 121 | 122 | 141 |
| 147 | 149 | 153 | 156 | 159 | 162 | 163 | 160 | 160 | 161 | 161 | 163 | 163 | 164 | 165 | 171 |
| 176 | 174 | 173 | 169 | 168 | 166 | 165 | 166 | 166 | 167 | 168 | 171 | 172 | 173 | 173 | 162 |
| 170 | 169 | 169 | 167 | 167 | 166 | 165 | 167 | 167 | 167 | 167 | 168 | 168 | 169 | 169 | 165 |
| 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 |
| 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 |
| 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 |
| 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 |
| 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 |
| 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 |
| 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 |
| 164 | 165 | 166 | 164 | 161 | 158 | 155 | 169 | 167 | 162 | 161 | 159 | 161 | 164 | 165 | 168 |

รูปที่ 4-4 ค่าความเข้มของจุดภาพก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย ขนาด 16x16 จุดภาพ

(ก) ภาพซ้ายที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:66 , 50:66)

(ข) ภาพขวาที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:66 , 50:66)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

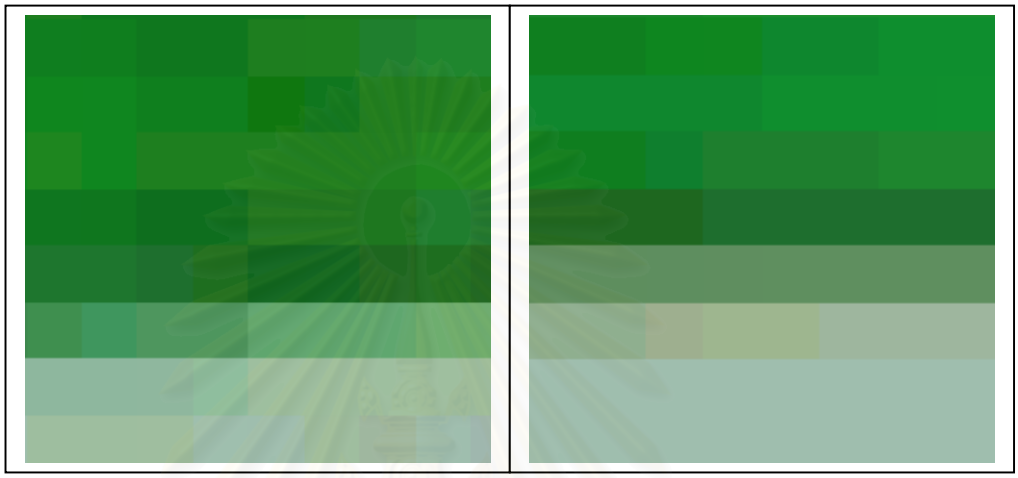
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

รูปที่ 4-5 ค่าความเข้มของจุดภาพภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย ขนาด 16x16 จุดภาพ

(ก) ภาพซ้ายที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:66 , 50:66)

(ข) ภาพขวาที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:66 , 50:66)

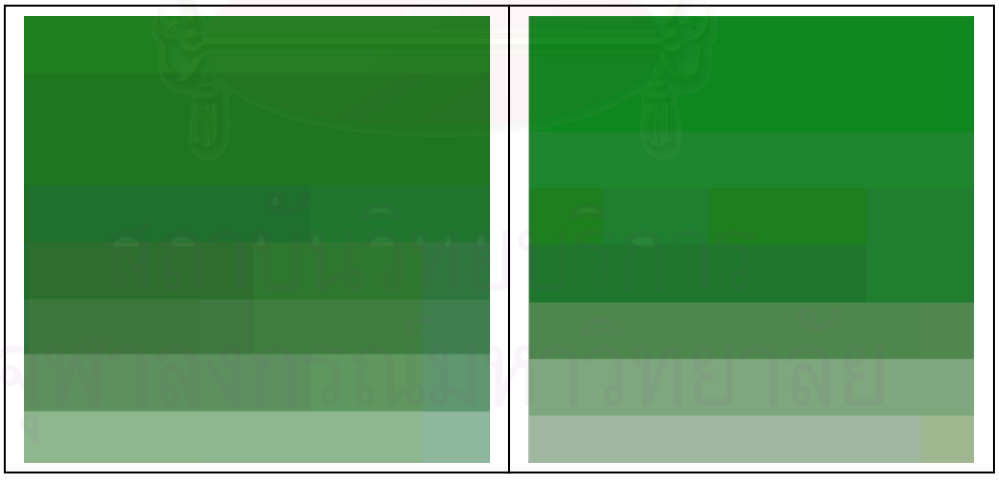
รูปที่ 4-6, 4-7, 4-8, และ 4-9 แสดงภาพของความเข้มจุดภาพก่อนและภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพขนาด 8 x 8 และ16 x 16 จุดภาพตามลำดับ



รูปที่ 4-6 ภาพความเข้มจุดภาพขนาด 8x8 จุดภาพก่อนใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพ

(ก) ภาพซ้ายที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:57 , 50:57)

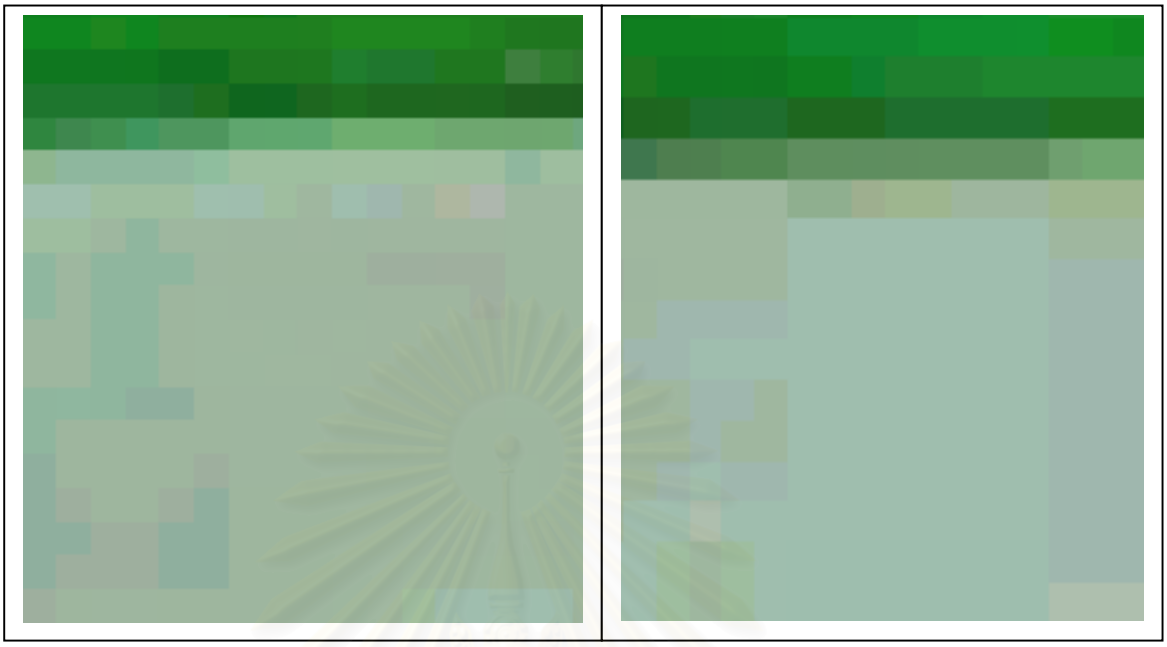
(ข) ภาพขวาที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:57 , 50:57)



รูปที่ 4-7 ภาพความเข้มจุดภาพขนาด 8x8 จุดภาพภายหลังใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพ

(ก) ภาพซ้ายที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:57 , 50:57)

(ข) ภาพขวาที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:57 , 50:57)



รูปที่ 4-8 ภาพความเข้มจุดภาพขนาด 16x16 จุดภาพก่อนใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพ

(ก) ภาพซ้ายที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:66 , 50:66)

(ข) ภาพขวาที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:66 , 50:66)

รูปที่ 4-9 ภาพความเข้มจุดภาพขนาด 16x16 จุดภาพภายหลังใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยภาพ

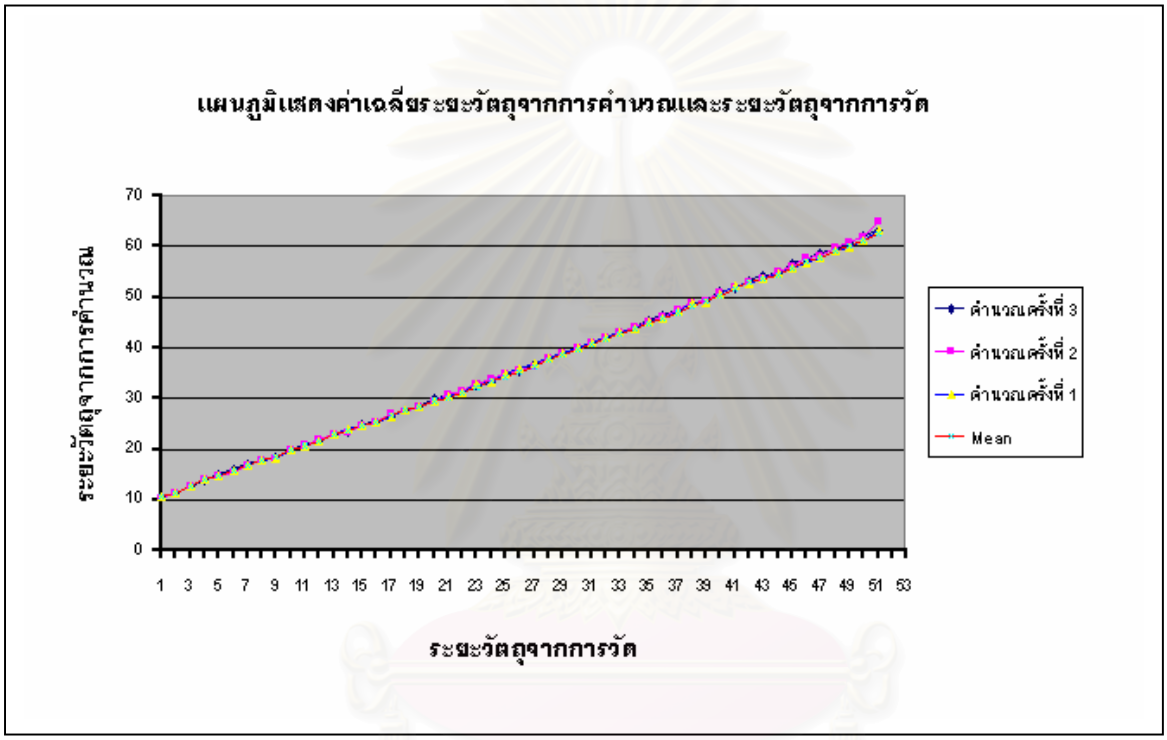
(ก) ภาพซ้ายที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:66 , 50:66)

(ข) ภาพขวาที่ระยะวัตถุ 30 เซนติเมตร พิกัดภาพ (50:66 , 50:66)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 ผลการเปรียบเทียบค่าการคำนวณระยะวัตถุ

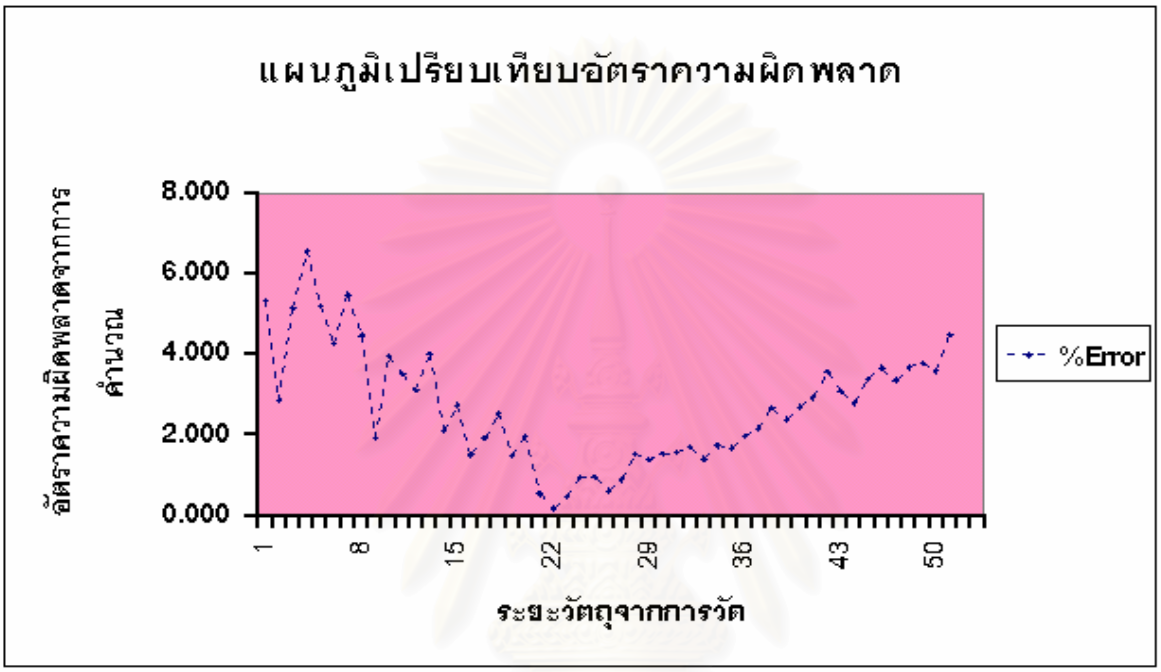
โปรแกรมสามารถคำนวณระยะวัตถุเปรียบเทียบกับการวัดระยะวัตถุจากการวัดระยะทางจริงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-10 ซึ่งจากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่าการคำนวณกับค่าเฉลี่ยมีทิศทางที่สอดคล้องกัน ไม่มีค่าความผิดพลาดของการคำนวณที่แสดงให้เห็นชัดเจน




รูปที่ 4-10 การเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยระยะวัติถุจากการคำนวณและระยะวัติถุจากการวัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-11 แสดถึงผลผิดพลาดของการใช้โปรแกรมคำนวณระยะวัตถุ ซึ่งแผนภูมิได้แสดงให้เห็นถึงผลผิดพลาดที่มีค่าไม่เกินร้อยละ 5

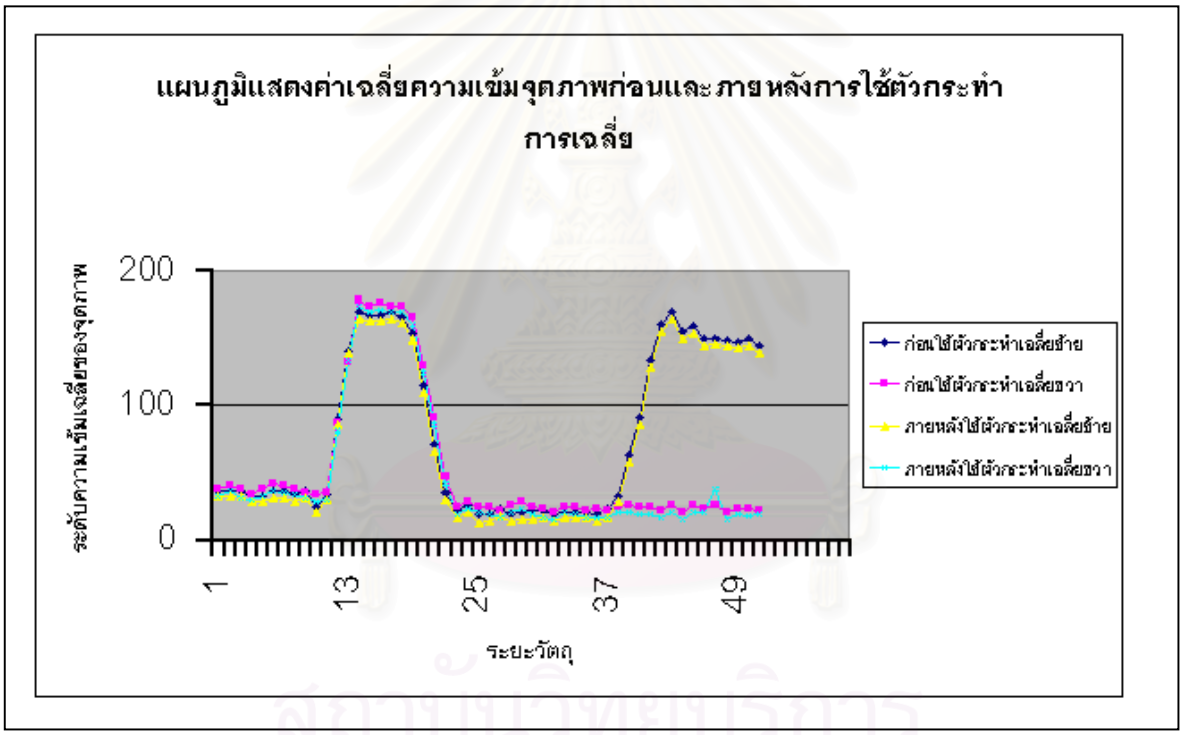



รูปที่ 4-11 การเปรียบเทียบระหว่างระยะวัตถุจากการวัดและอัตราความผิดพลาดจากการคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 4.3.5 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพ

การวัดผลการทำงานของตัวกระทำการเฉลี่ยภาพสามารถวัดได้จากความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับความเข้มจุดภาพก่อนและภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยกับภาพ ซึ่งจากรูปที่ 4-12 แสดงแผนภูมิของการเปรียบเทียบความเข้มจุดภาพเฉลี่ยของภาพขนาด 8 x 8 จุดภาพ (ข้อมูลจากตารางที่ 4-2) ของภาพซ้ายและภาพขวาก่อนและภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยกับภาพ ซึ่งแผนภูมิได้ชี้ให้เห็นว่าค่าความเข้มจุดภาพภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยมีค่าลดลง




รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มจุดภาพก่อนและหลังการใช้ตัวกระทำเฉลี่ย

# บทที่ 5

# บทสรุป

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์เรื่องการสร้างภาพสเตอริโอแกรมแบบเวลาจริงโดยใช้มีนโอเปอเรชัน ได้ประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดีในแง่ของการศึกษาและสร้างระบบภาพสเตอริโอแกรม ซึ่งนอกเหนือจากการได้ศึกษาระบบภาพสเตอริโอแกรมแล้วยังได้ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของเทคนิคการสร้างภาพสามมิติทั้งในเชิงจิตศาสตร์ และเชิงสรีระศาสตร์ ในเชิงจิตศาสตร์เราได้ใช้เลือกใช้เทคนิคสามมิติแบบแอเรียล เพอร์สเพคทีฟและใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชันกระทำกับภาพเพื่อให้ได้ผลของภาพตามเทคนิคผลแอเรียลเพอร์สเพคทีฟ ซึ่งผลของการใช้เทคนิคมีนโอเปอเรชันกับภาพได้แสดงให้เห็นถึงค่าความเข้มจุดภาพที่ลดลง ซึ่งหมายถึงค่าความเปรียบต่าง (Contrast)ภายในภาพได้ลดลงด้วย ถึงแม้ว่าค่าความเข้มจุดภาพจะลดลงเพียงเล็กน้อยแต่กลับส่งผลดีในแง่ของความเป็นเชิงเส้นภายในภาพ ส่วนการสร้างภาพสามมิติในเชิงสรีระศาสตร์เราเลือกเทคนิค Binocular disparity ซึ่งก็คือการสร้างระบบภาพสเตอริโอแกรม โดยวิทยานิพนธ์นี้เลือกการควบคุมการมองเห็นภาพที่แตกต่างโดยใช้แว่นตา LCD ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานได้เป็นอย่างดี สามารถปรับอัตราการกระพริบภาพได้ถึง 90 ภาพต่อวินาที และผลจากการสร้างระบบภาพสเตอริโอแกรมนี้ทำให้เราได้โปรแกรมการคำนวณระยะวัตถุเพิ่มมาด้วย ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวนี้สามารถใช้งานได้โดยให้ผลผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 5

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

(ก) ในส่วนของระบบการรับภาพสเตอริโอแกรมควรออกแบบส่วนการเชื่อมต่ออุปกรณ์กล้องถ่ายภาพวิดีโอเพิ่มเติม เนื่องจากกล้องถ่ายภาพวิดีโอที่ต่างชนิดกันจะส่งผลถึงส่วนการคำนวณระยะวัตถุ เพราะมีค่าคุณสมบัติของกล้องที่แตกต่างกัน

(ข) ควรมีการทำวิจัยเพิ่มเติมในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ตัวกระทำการเฉลี่ยที่เหมาะสม ที่สามารถให้ความรู้สึกสมจริงในเชิงมิติกับภาพได้มากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# รายการอ้างอิง


1. Stereographisc Corporation. Stereographic Developer's Handbook. New York: Stereographisc Corporation. 1997
2. Ralph E Jacobson, Sidney F Ray, and Geoffy G Attridge. The Manual of Photography. p 42. London Boston: Focal Press, 1988.
3. Weeks, A.R., Jr. Fundamental of Electronic Image Processing. p 473.Washington: SPIE Press, 1996.
4. S.Kimura, H.Kano, A. Yoshida, E.Kawamura,and K.Oda. CMU. Video-Rate Stereo Machine. Proceeding of 15th Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR).18-20 June, San Francisco: 1996, p 80-90.
5. Sing Bing Kang, Jon Webb, C.Lawrence Zitnick, and Takeo Kaneda. An active multibaseline stereo systems with real-time image aczuisition.CMU-CS-94-167. School of Computer Science Carnegie Mellon University Pittburgh PA:1994, p 167.
6. Takeo Kaneda, Hiroshi Kano, Shigeru Kimura, Atsushi Yoshida and Kazuo Oda., Development of a Video-Rate Stereo Machine. Proceeding of Robotics and Systems Conference (IROS'95). San Francisco: SPIE 1996, p 95-100.
7. Andrew Woods, Tom Docherty, and Rolf Koch. Image Distortion in Stereoscopic Video System. Proceeding of Stereoscopic Display and Application IV. San Jose CA: SPIE 1998, p 120-138.
8. C.Lawrence Zitnick, and Takeo Kanade. A Cooperative for Stereo Matching and Occlusion Detection. CMU-RI-TR-99-35. School of Computer Science Carnegie Mellon University Pittburgh PA: 1999, p 35.

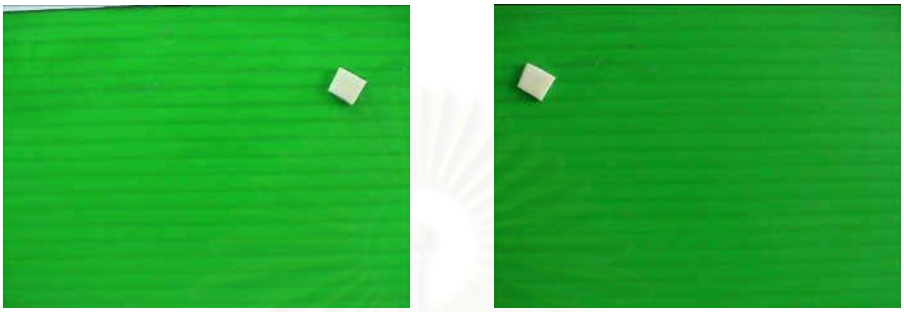

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

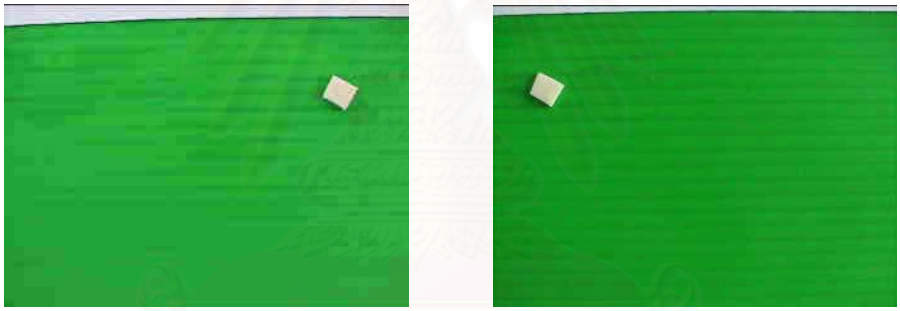
# ภาคผนวก ก.

## ตัวอย่างภาพถ่ายของวัตถุที่ระยะต่างๆ



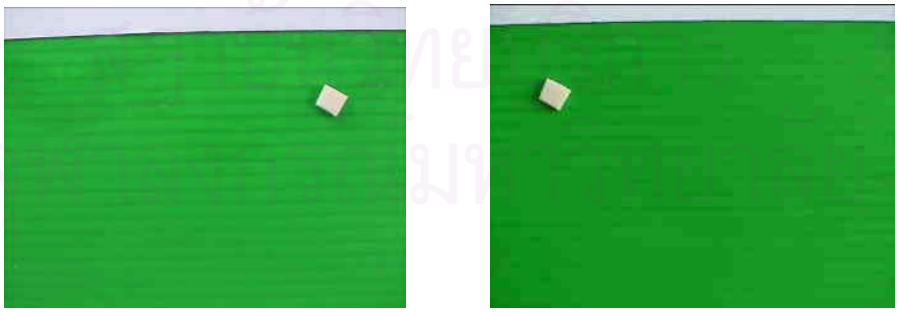
(ก) (ข)

รูปที่ 1 ที่ระยะ 10 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



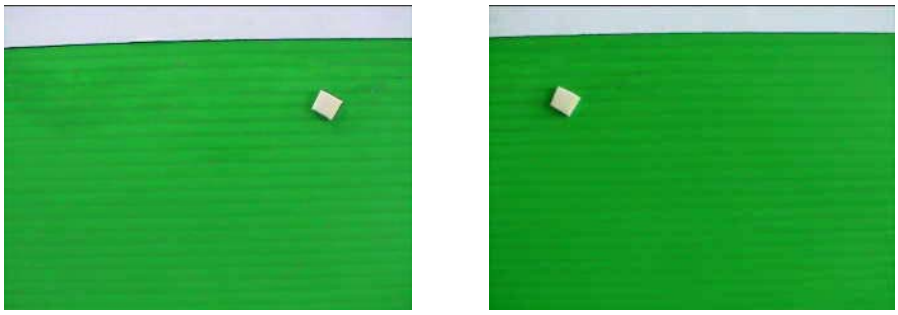
(ก) (ข)

รูปที่ 2 ที่ระยะ 11 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



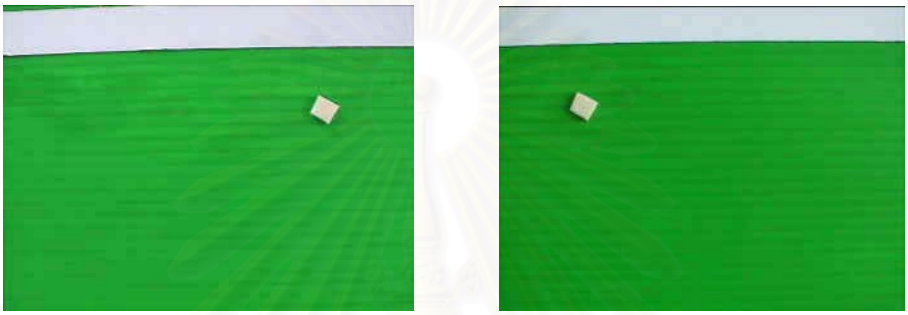
(ก) (ข)

รูปที่ 3 ที่ระยะ 12 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



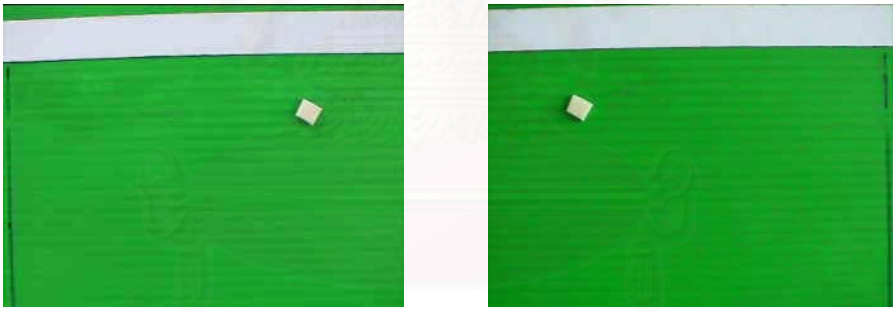
(ก) (ข)

รูปที่ 4 ที่ระยะ 13 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



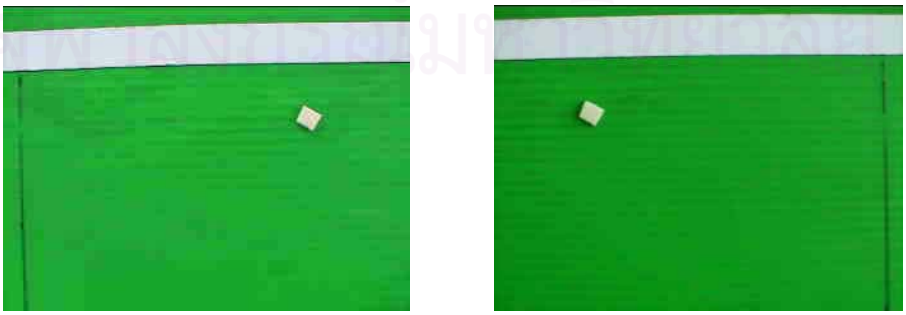
(ก) (ข)

รูปที่ 5 ที่ระยะ 14 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



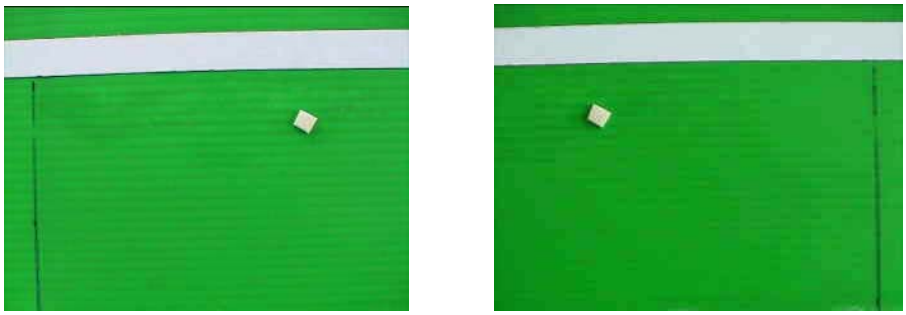
(ก) (ข)

รูปที่ 6 ที่ระยะ 15 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



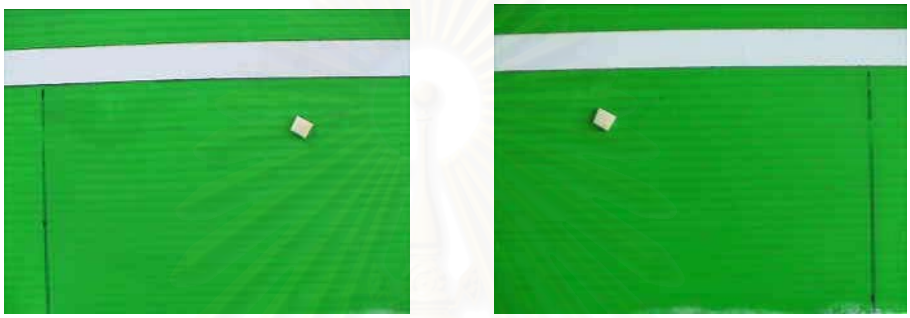
(ก) (ข)

รูปที่ 7 ที่ระยะ 16 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



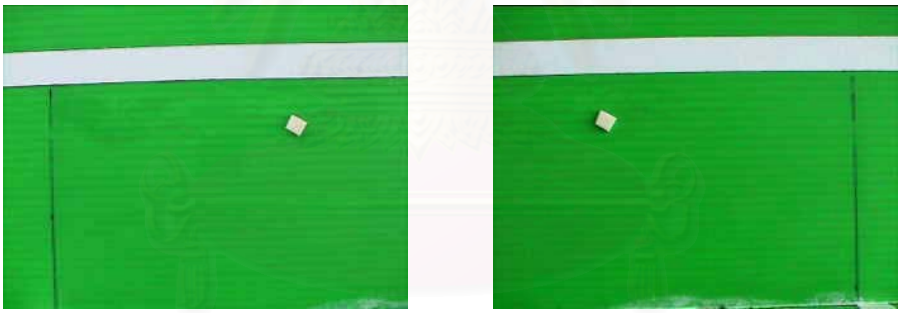
(ก) (ข)

รูปที่ 8 ที่ระยะ 17 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



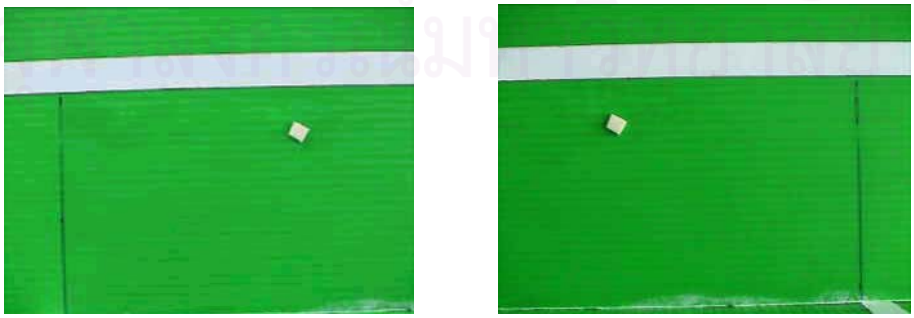
(ก) (ข)

รูปที่ 9 ที่ระยะ 18 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



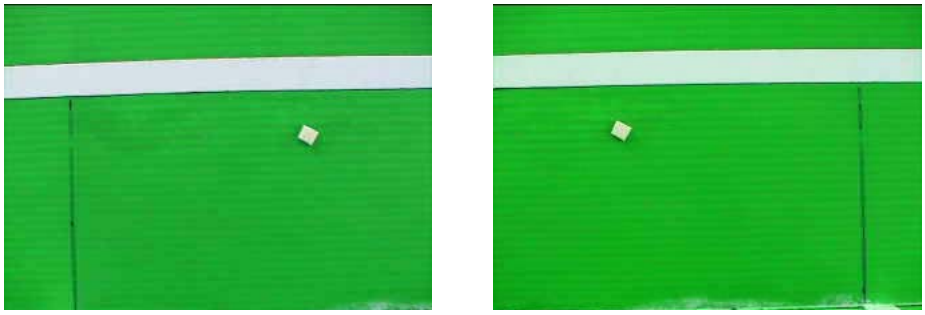
(ก) (ข)

รูปที่ 10 ที่ระยะ 19 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

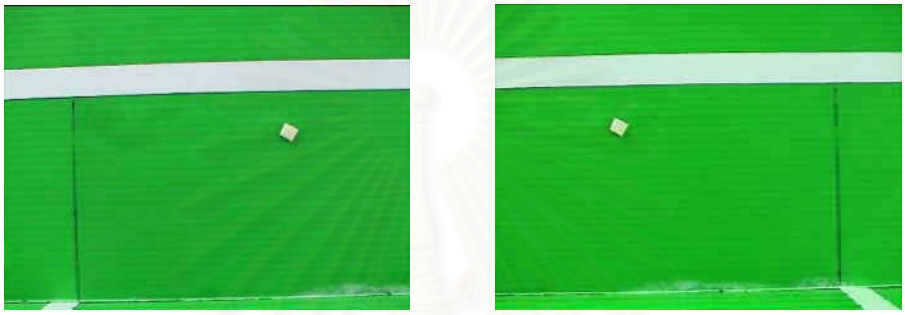


(ก) (ข)

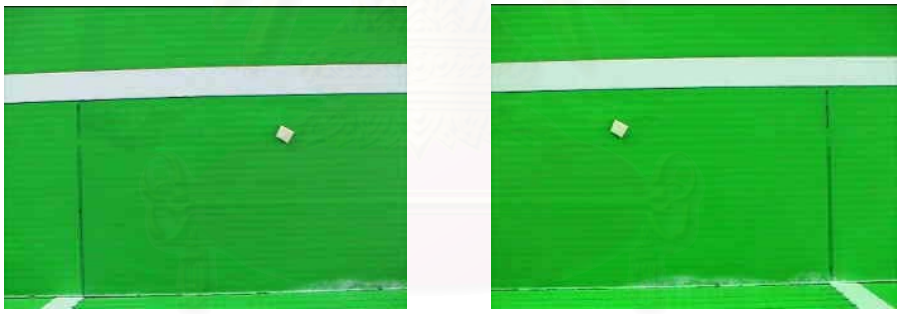
รูปที่ 11 ที่ระยะ 20 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



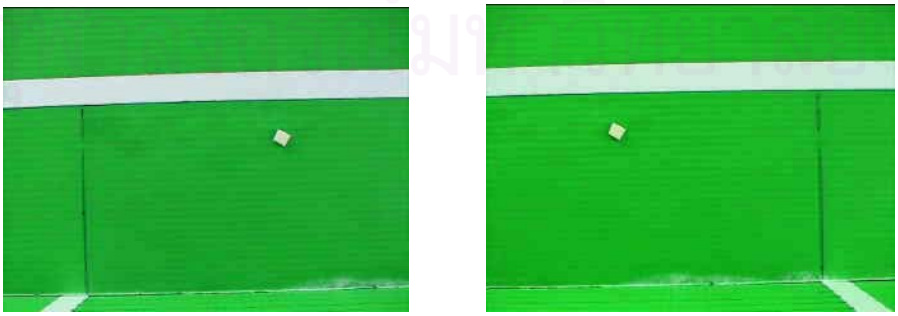
รูปที่ 12 ที่ระยะ 21 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



รูปที่ 13 ที่ระยะ 22 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

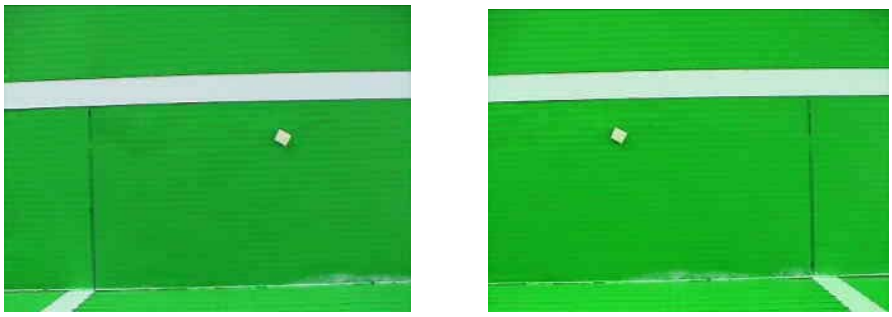


รูปที่ 14 ที่ระยะ 23 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



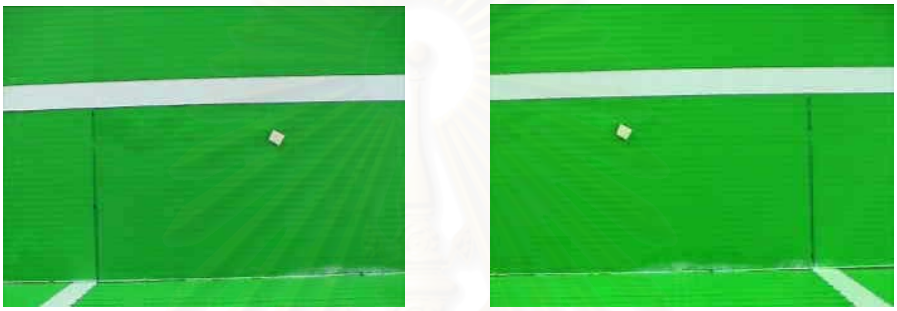
(ก) (ข)

รูปที่ 15 ที่ระยะ 24 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



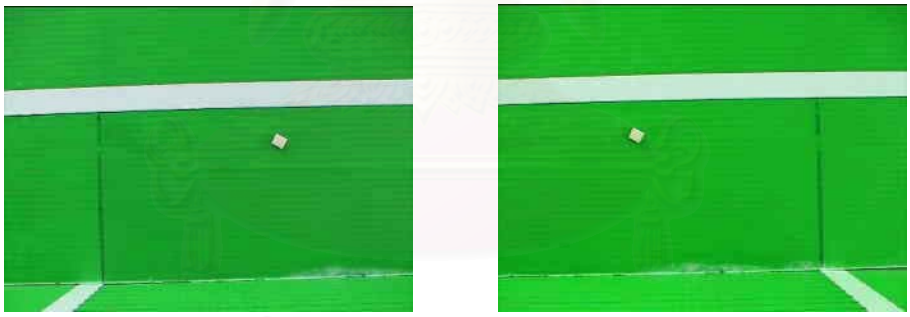
(ก) (ข)

รูปที่ 16 ที่ระยะ 25 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



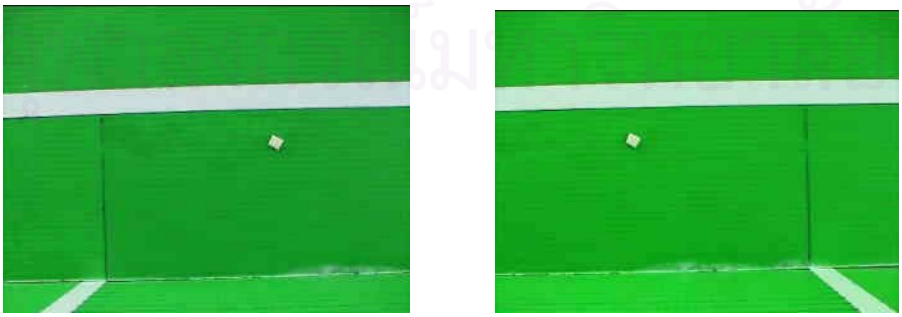
(ก) (ข)

รูปที่ 17 ที่ระยะ 26 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



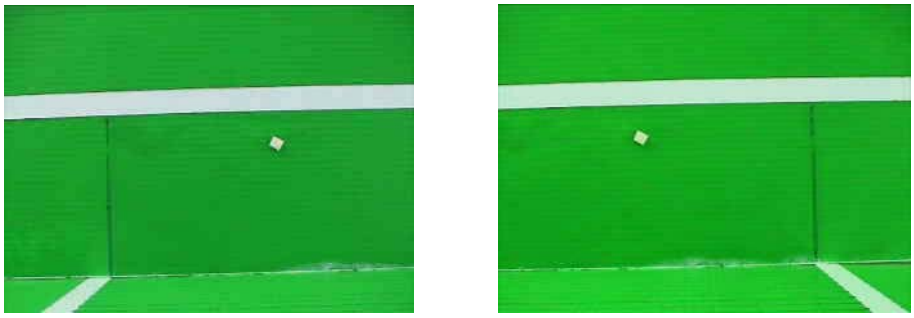
(ก) (ข)

รูปที่ 18 ที่ระยะ 27 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



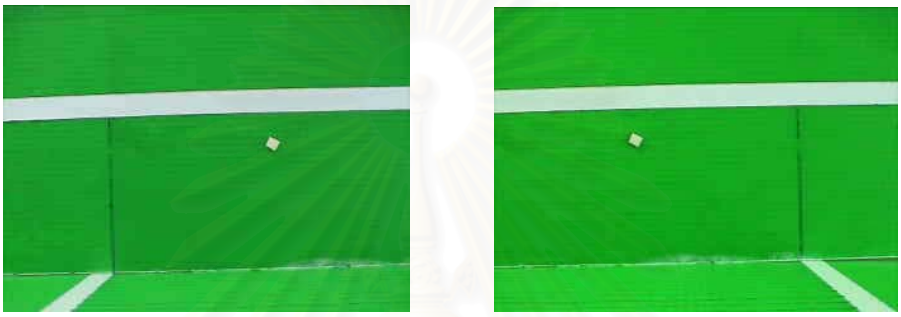
(ก) (ข)

รูปที่ 19 ที่ระยะ 28 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



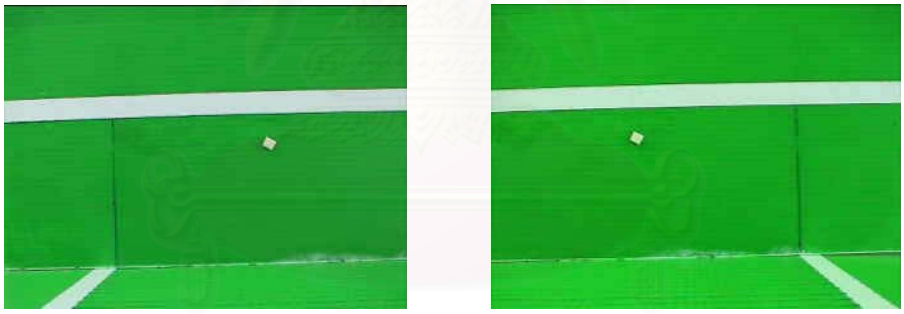
(ก) (ข)

รูปที่ 20 ที่ระยะ 29 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



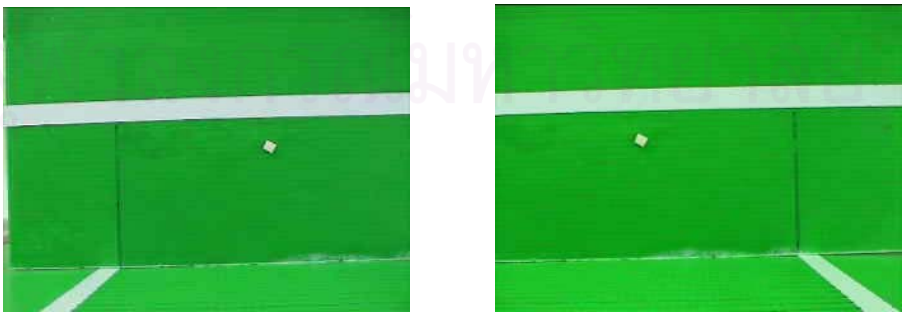
(ก) (ข)

รูปที่ 21 ที่ระยะ 30 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



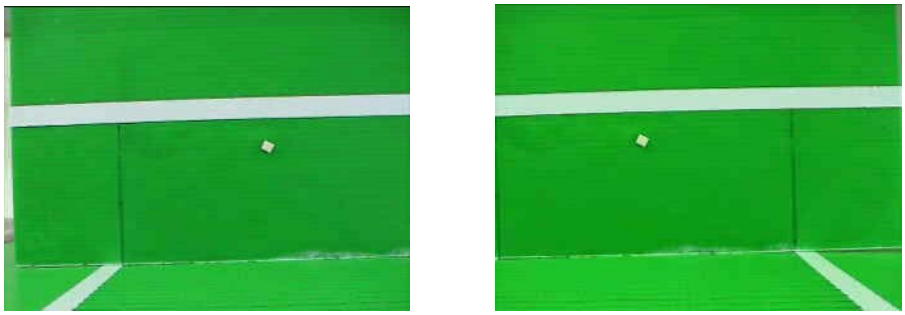
(ก) (ข)

รูปที่ 22 ที่ระยะ 31 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



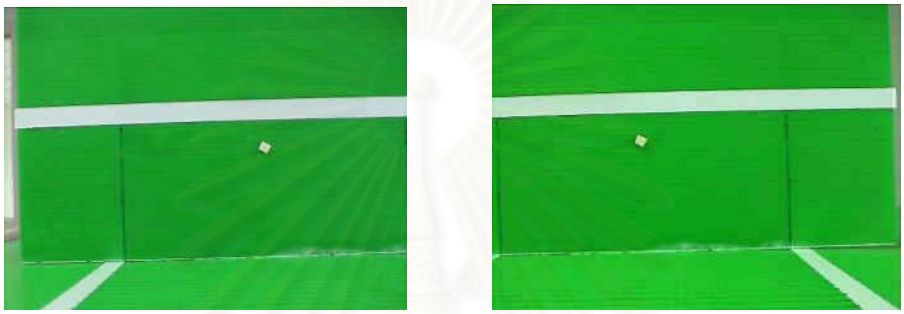
(ก) (ข)

รูปที่ 23 ที่ระยะ 32 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



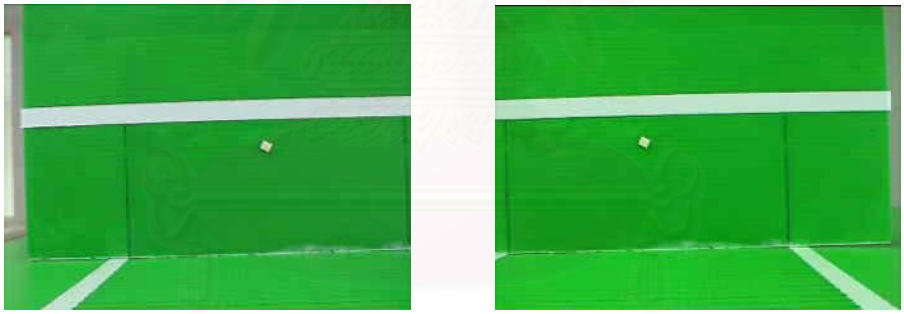
(ก) (ข)

รูปที่ 24 ที่ระยะ 33 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



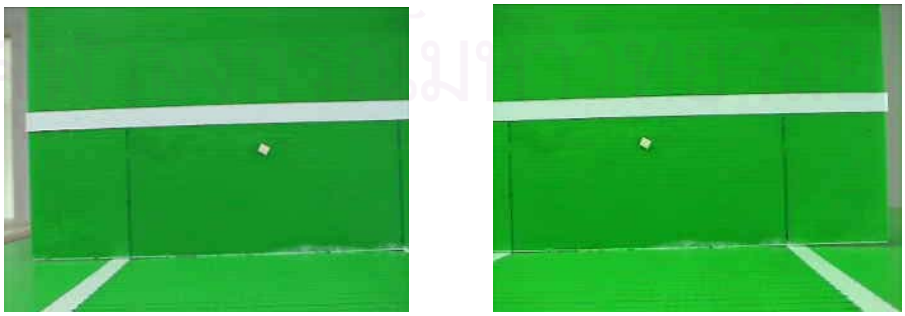
(ก) (ข)

รูปที่ 25 ที่ระยะ 34 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



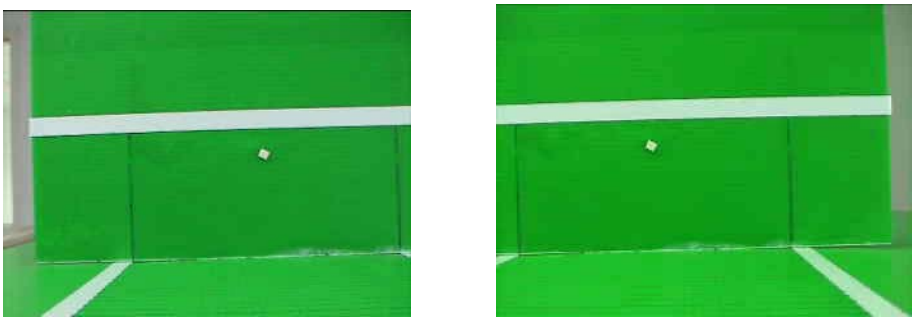
(ก) (ข)

รูปที่ 26 ที่ระยะ 35 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



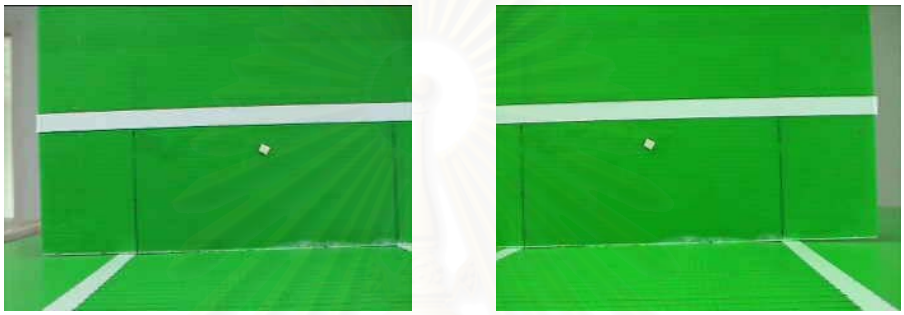
(ก) (ข)

รูปที่ 27 ที่ระยะ 36 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



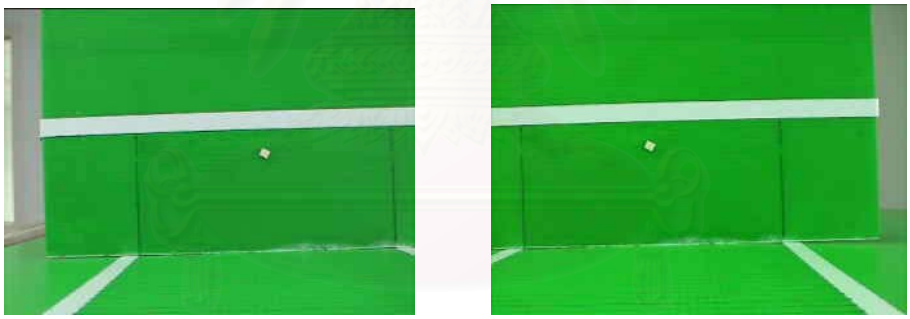
(ก) (ข)

รูปที่ 28 ที่ระยะ 37 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



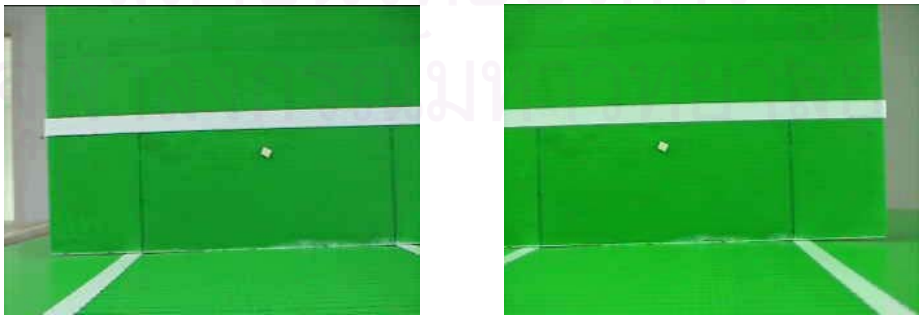
(ก) (ข)

รูปที่ 29 ที่ระยะ 38 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



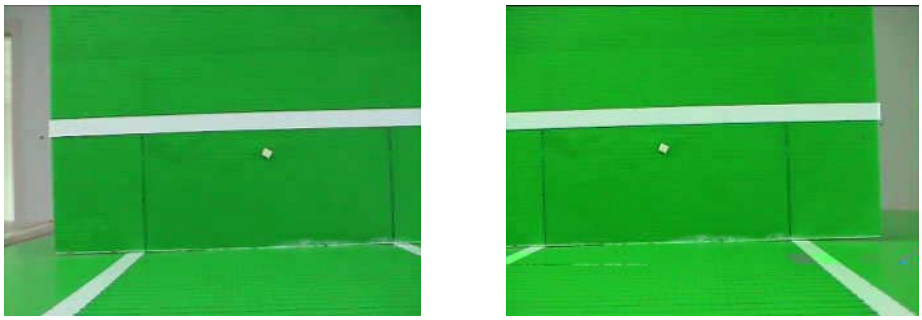
(ก) (ข)

รูปที่ 30 ที่ระยะ 39 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



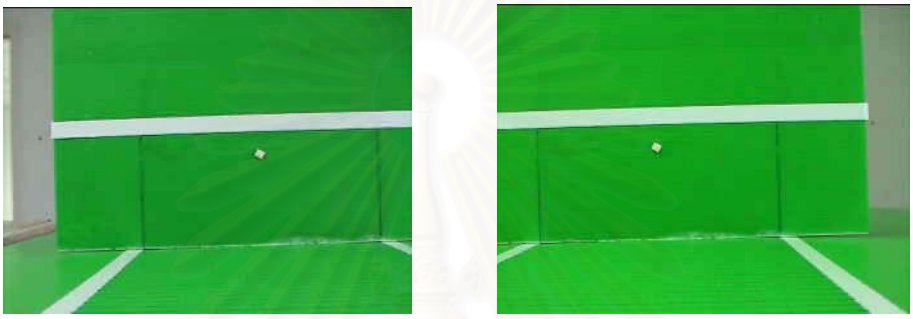
(ก) (ข)

รูปที่ 31 ที่ระยะ 40 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



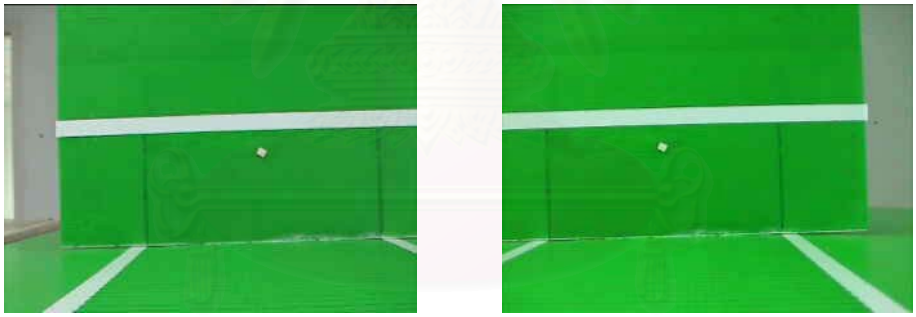
(ก) (ข)

รูปที่ 32 ที่ระยะ 41 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



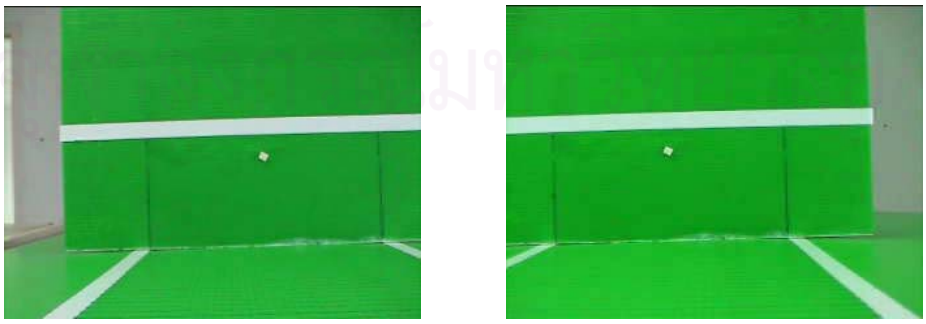
(ก) (ข)

รูปที่ 33 ที่ระยะ 42 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



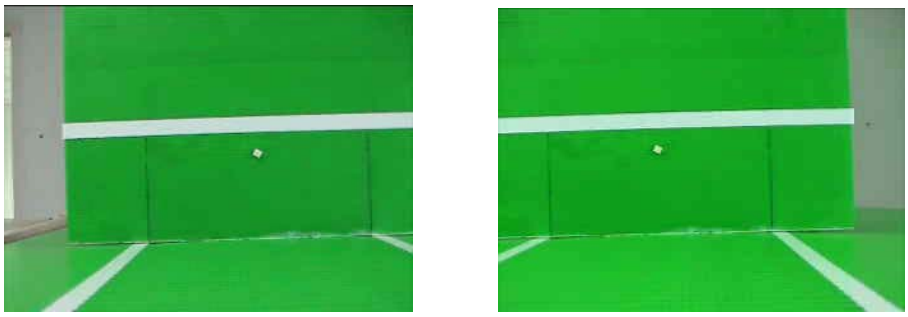
(ก) (ข)

รูปที่ 34 ที่ระยะ 43 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



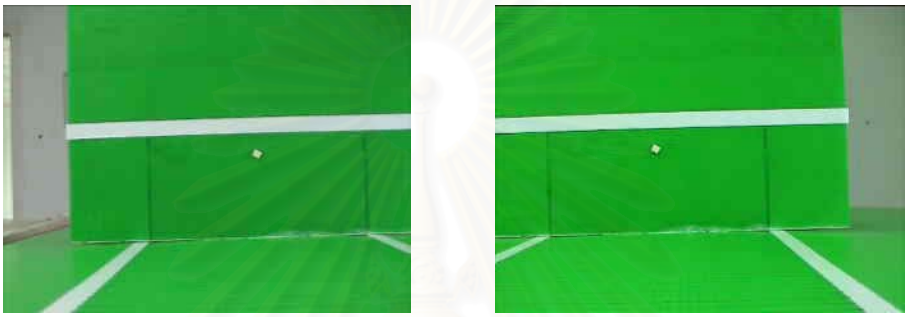
(ก) (ข)

รูปที่ 35 ที่ระยะ 44 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



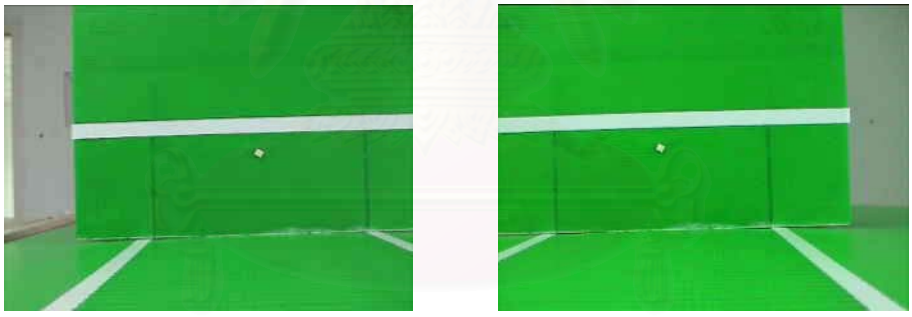
(ก) (ข)

รูปที่ 36 ที่ระยะ 45 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



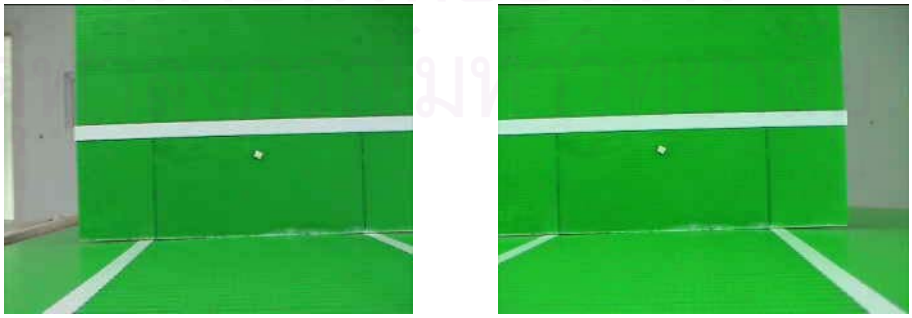
(ก) (ข)

รูปที่ 37 ที่ระยะ 46 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



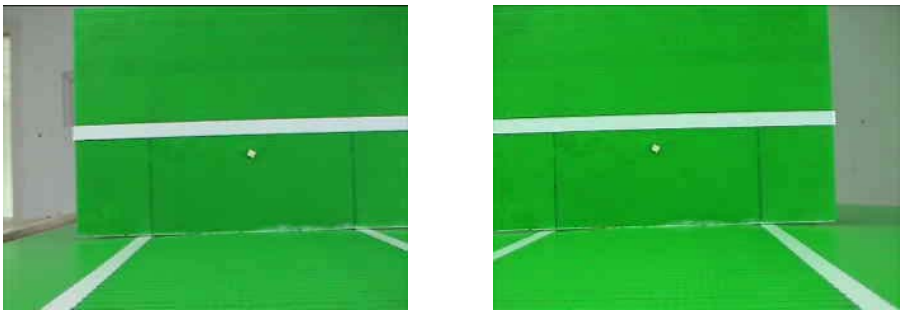
(ก) (ข)

รูปที่ 38 ทีระยะ 47 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



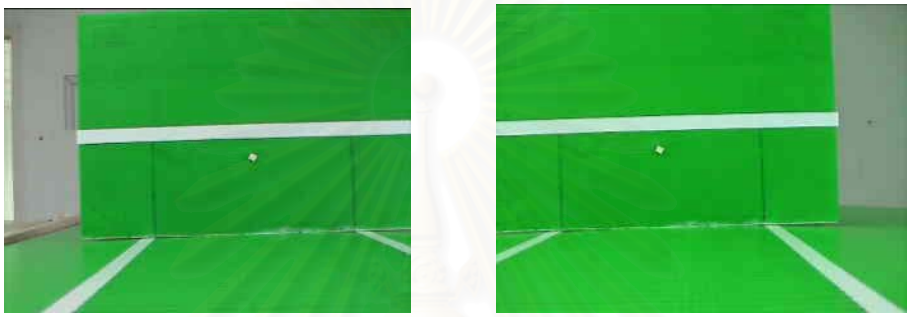
(ก) (ข)

รูปที่ 39 ที่ระยะ 48 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



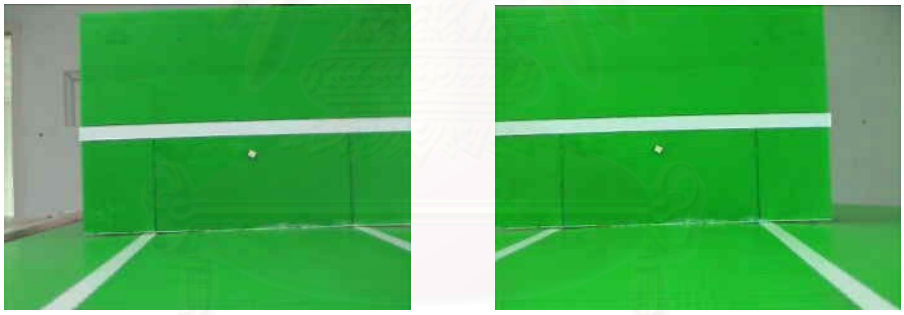
(ก) (ข)

รูปที่ 40 ที่ระยะ 49 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



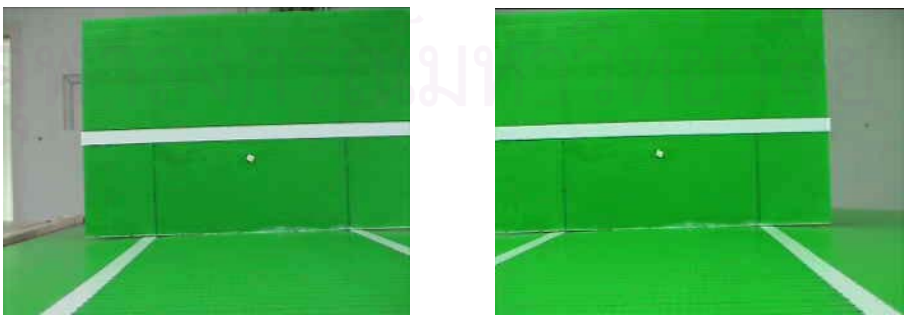
(ก) (ข)

รูปที่ 41 ที่ระยะ 50 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



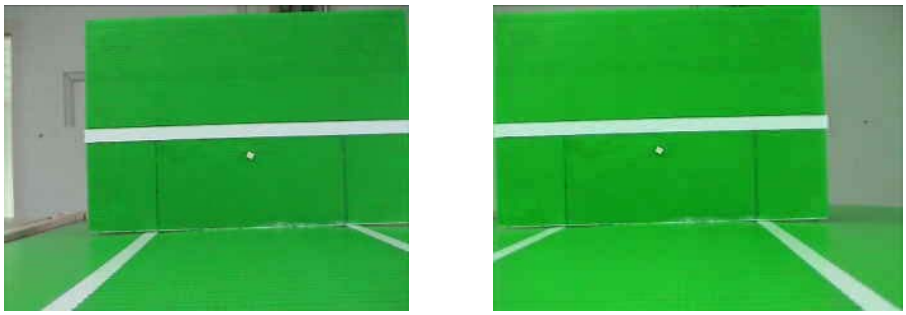
(ก) (ข)

รูปที่ 42 ที่ระยะ 51 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



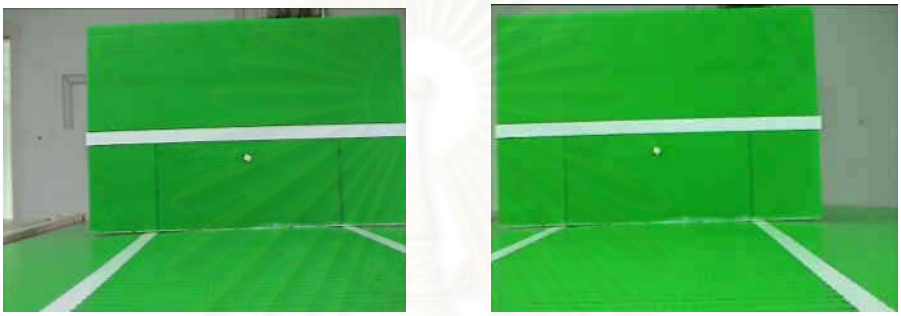
(ก) (ข)

รูปที่ 43 ที่ระยะ 52 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



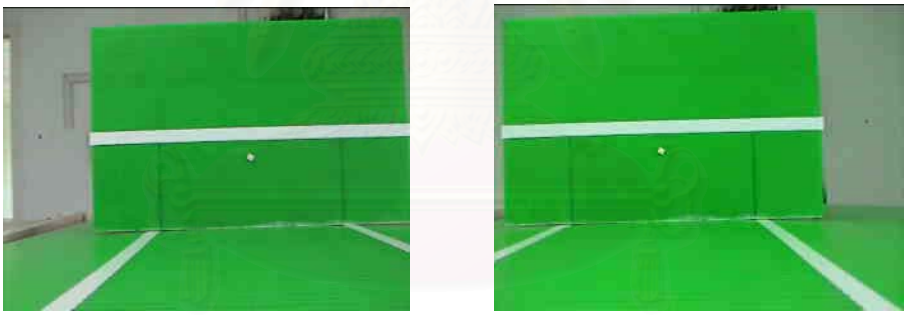
(ก) (ข)

รูปที่ 44 ที่ระยะ 53 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



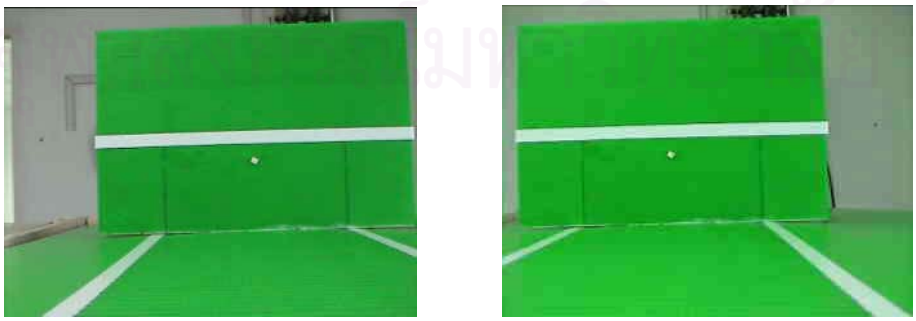
(ก) (ข)

รูปที่ 45 ที่ระยะ 54 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



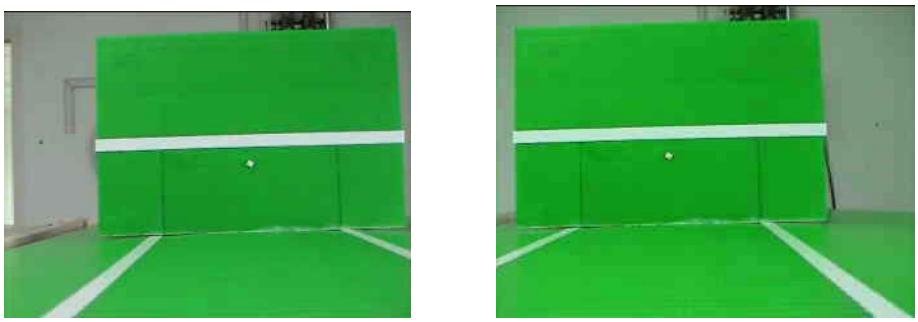
(ก) (ข)

รูปที่ 46 ที่ระยะ 55 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



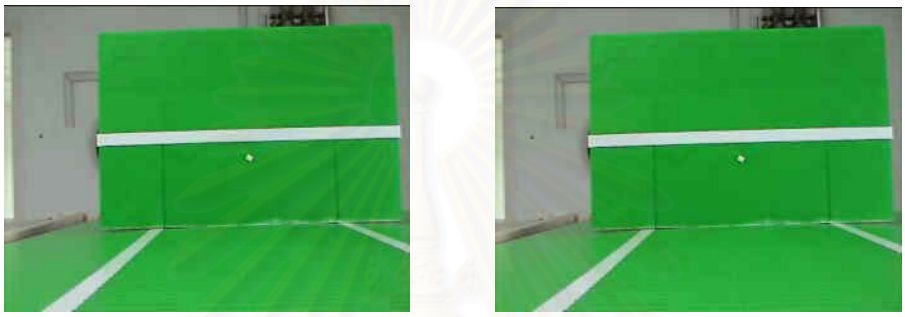
(ก) (ข)

รูปที่ 47 ที่ระยะ 56 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



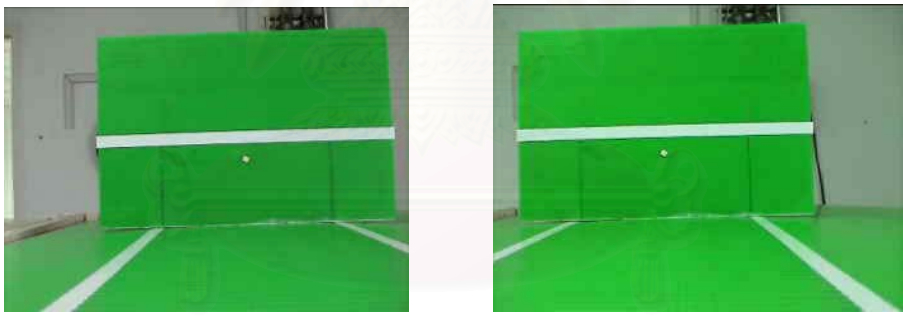
(ก) (ข)

รูปที่ 48 ที่ระยะ 57 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 49 ที่ระยะ 58 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 50 ที่ระยะ 59 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

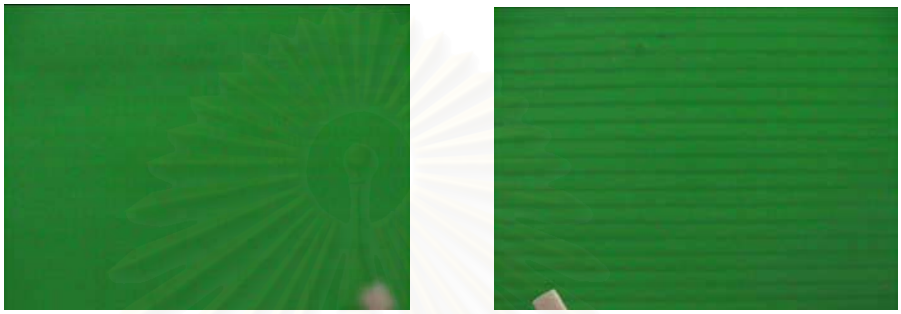
(ก) (ข)

รูปที่ 51 ที่ระยะ 60 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

## ภาคผนวก ข

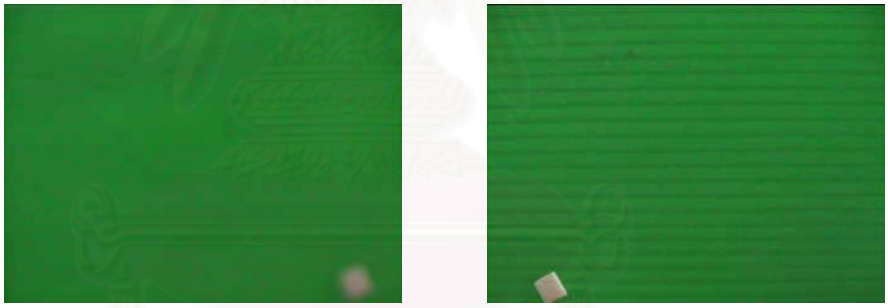
## ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะต่างๆ ของการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย (Mean Operation)

๑. ภาพถ่ายก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย (Mean Operation)



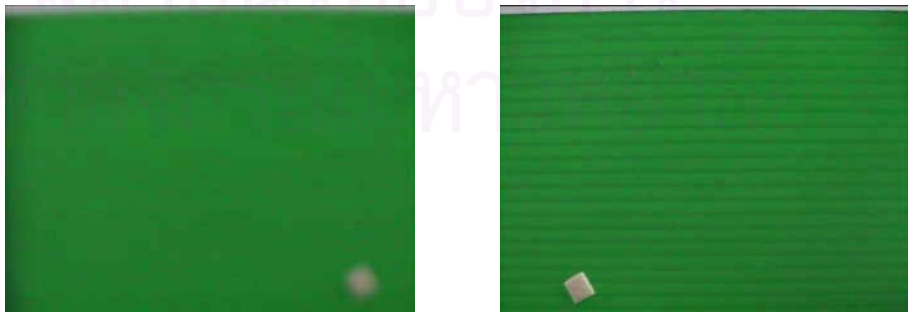
(ก) (ข)

รูปที่ 1 ที่ระยะ 10 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



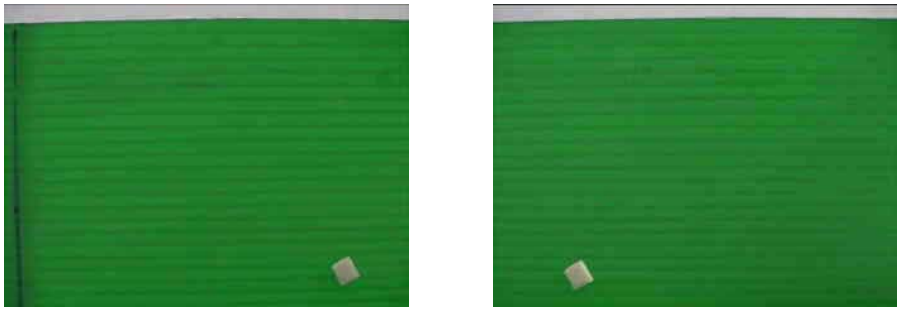
(ก) (ข)

รูปที่ 2 ที่ระยะ 11 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



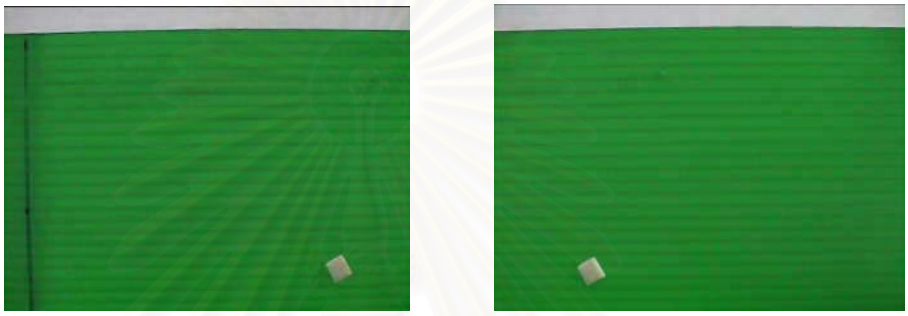
(ก) (ข)

รูปที่ 3 ที่ระยะ 12 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



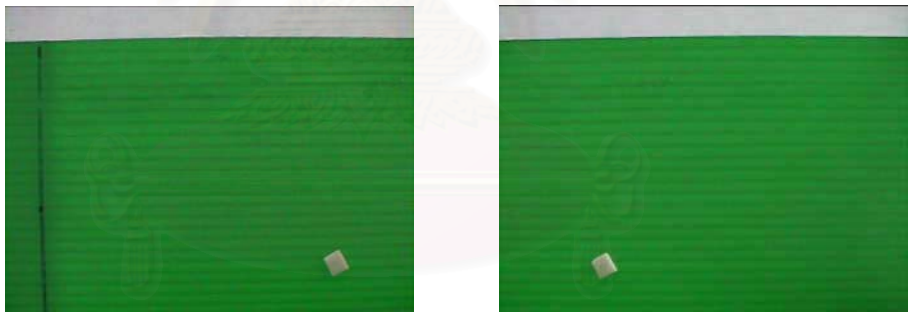
(ก) (ข)

รูปที่ 4 ที่ระยะ 13 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



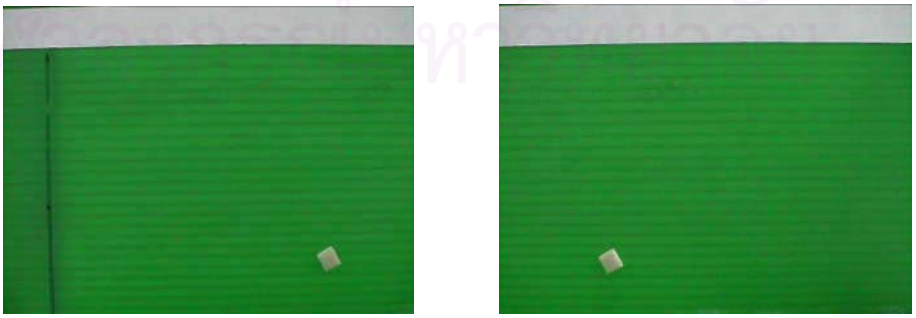
(ก) (ข)

รูปที่ 5 ที่ระยะ 14 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 6 ที่ระยะ 15 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 7 ที่ระยะ 16 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

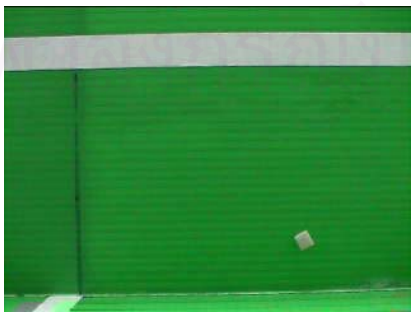
รูปที่ 8 ที่ระยะ 17 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 9 ที่ระยะ 18 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

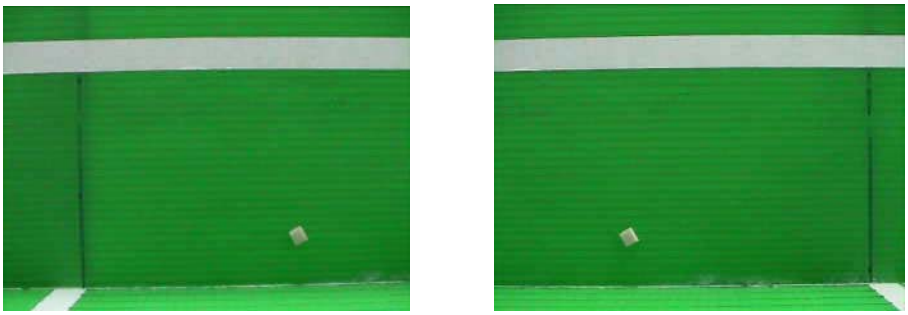
(ก) (ข)

รูปที่ 10 ที่ระยะ 19 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



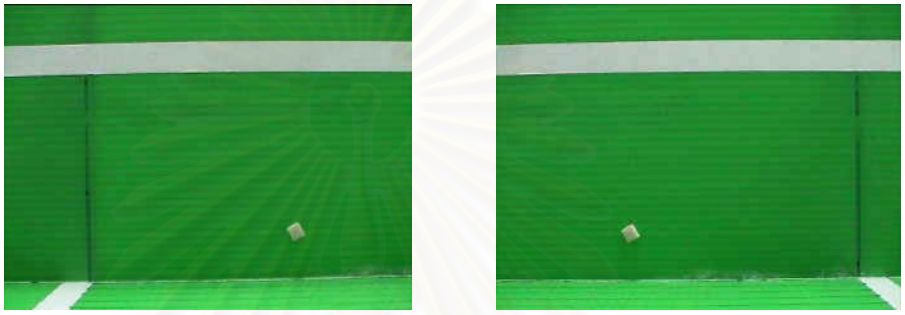
(ก) (ข)

รูปที่ 11 ที่ระยะ 20 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 12 ที่ระยะ 21 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

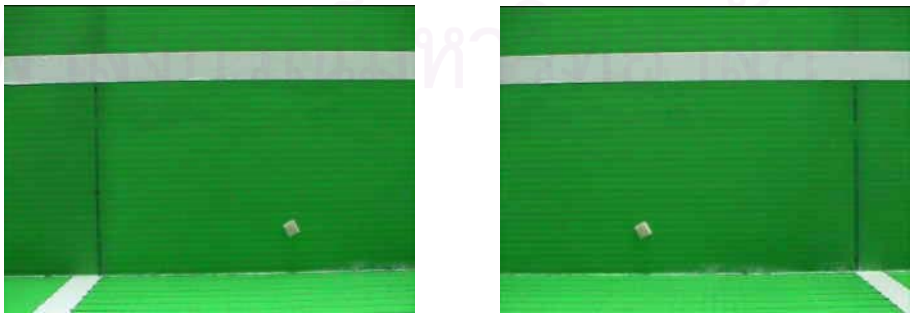


(ก) (ข)

รูปที่ 13 ที่ระยะ 22 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

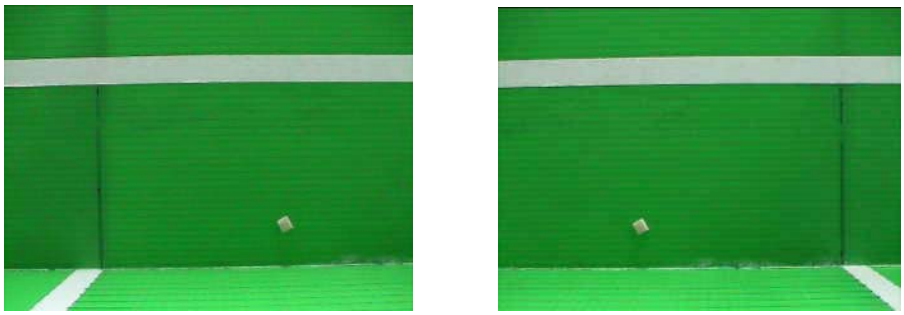
(ก) (ข)

รูปที่ 14 ที่ระยะ 23 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



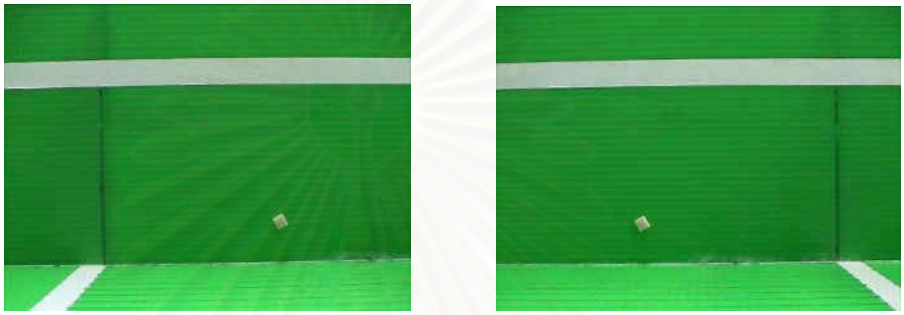
(ก) (ข)

รูปที่ 15 ที่ระยะ 24 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



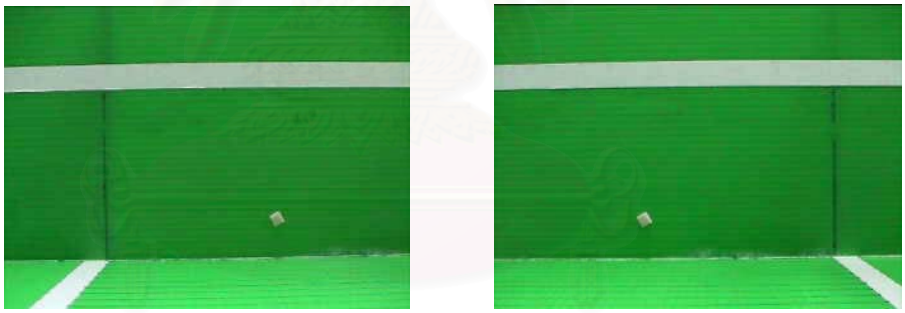
(ก) (ข)

รูปที่ 16 ที่ระยะ 25 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



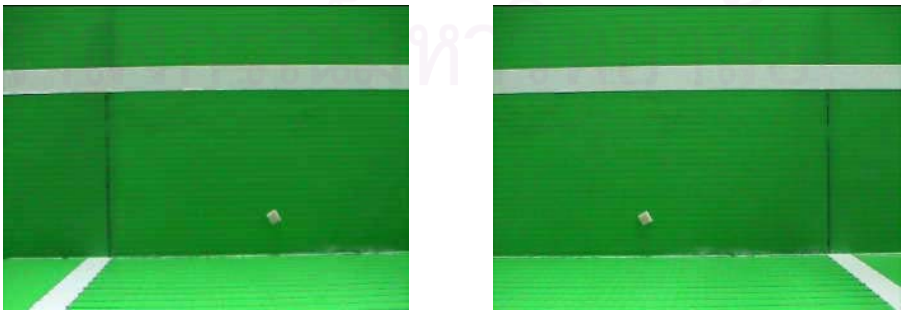
(ก) (ข)

รูปที่ 17 ที่ระยะ 26 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



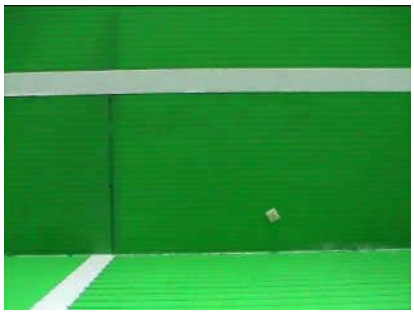
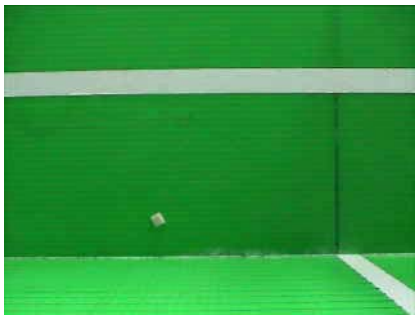
(ก) (ข)

รูปที่ 18 ที่ระยะ 27 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 19 ที่ระยะ 28 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

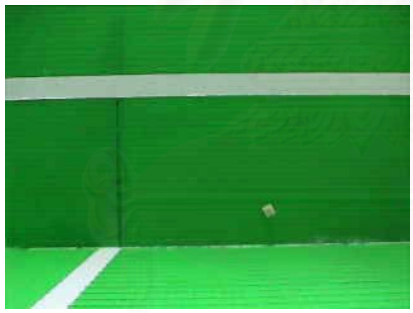



(ก) (ข)

รูปที่ 20 ที่ระยะ 29 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

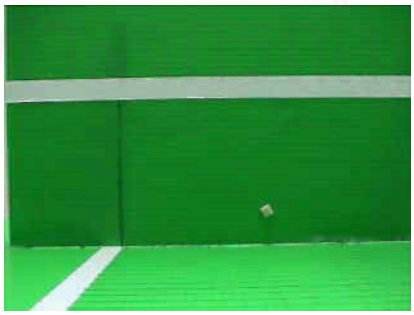
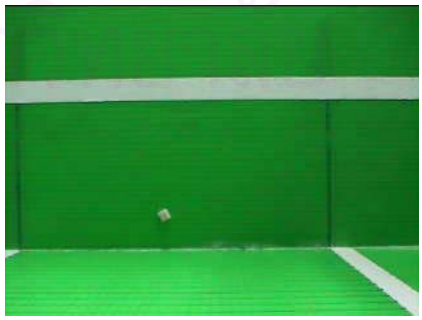
(ก) (ข)

รูปที่ 21 ที่ระยะ 30 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



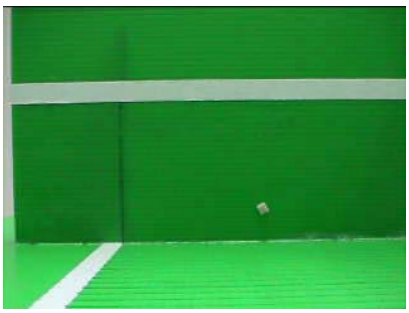
(ก) (ข)

รูปที่ 22 ที่ระยะ 31 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

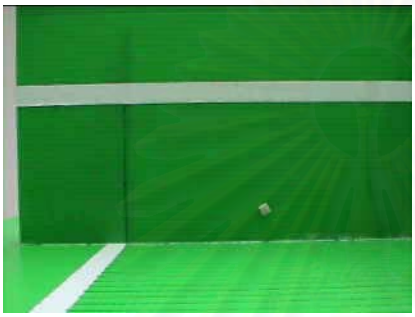
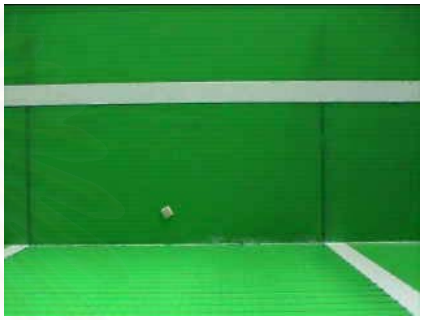
(ก) (ข)

รูปที่ 23 ที่ระยะ 32 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



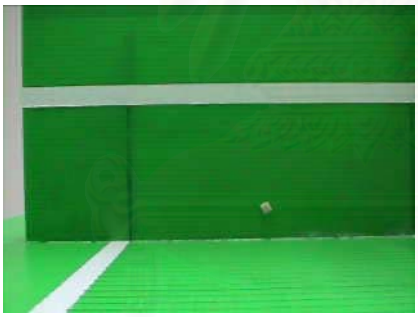
(ก) (ข)

รูปที่ 24 ที่ระยะ 33 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

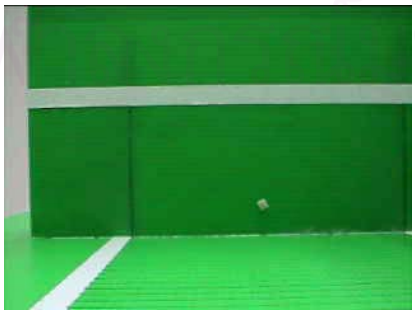
(ก) (ข)

รูปที่ 25 ที่ระยะ 34 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



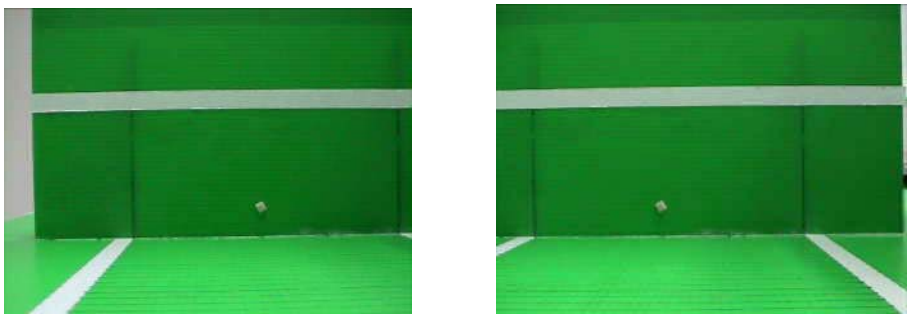
(ก) (ข)

รูปที่ 26 ที่ระยะ 35 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



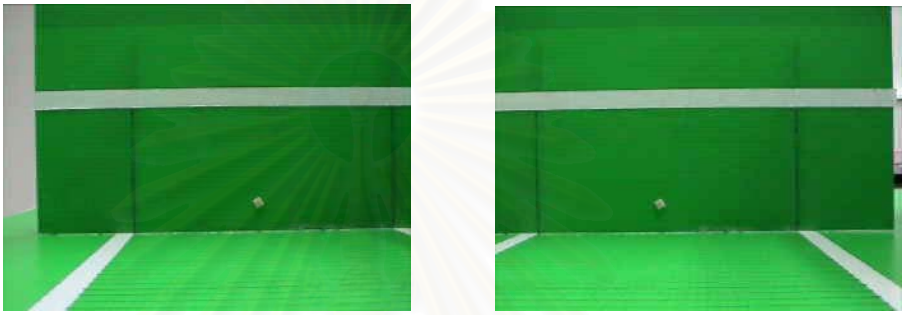
(ก) (ข)

รูปที่ 27 ที่ระยะ 36 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



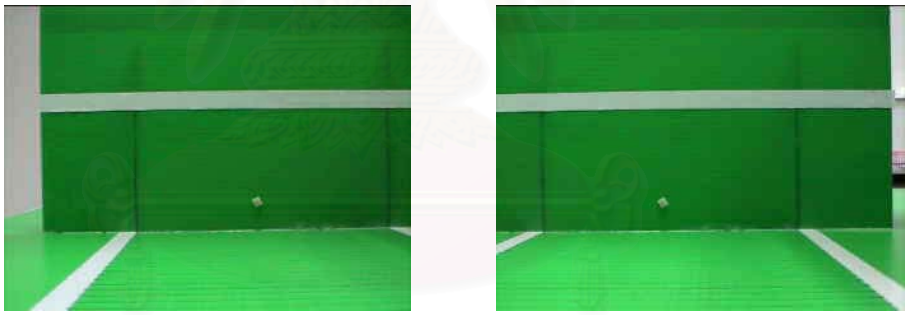
(ก) (ข)

รูปที่ 28 ที่ระยะ 37 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



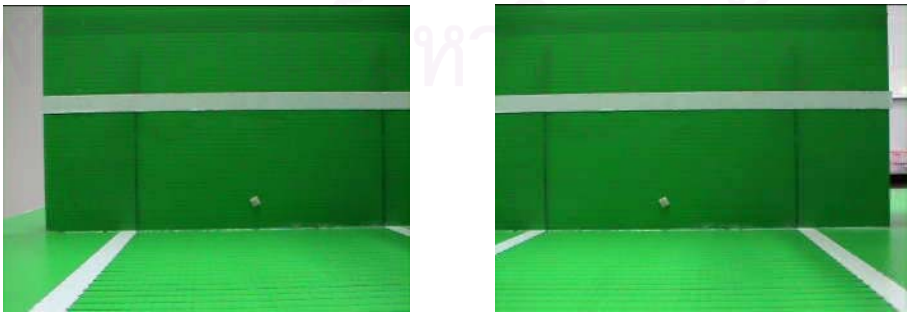
(ก) (ข)

รูปที่ 29 ที่ระยะ 38 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



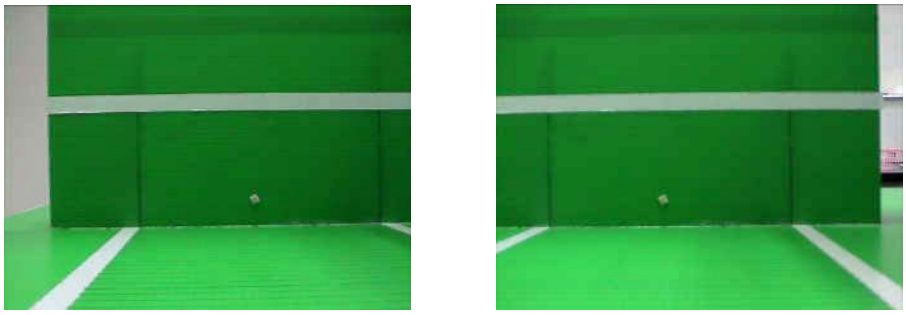
(ก) (ข)

รูปที่ 30 ที่ระยะ 39 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



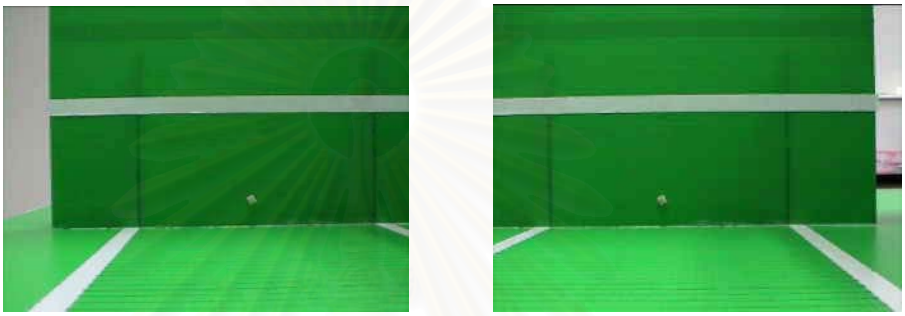
(ก) (ข)

รูปที่ 31 ที่ระยะ 40 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



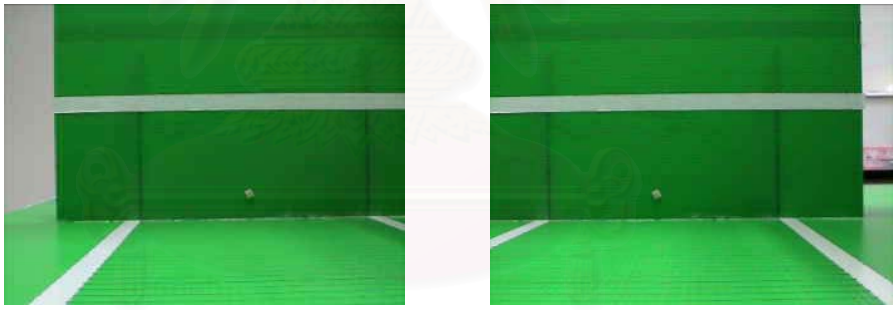
(ก) (ข)

รูปที่ 32 ที่ระยะ 41 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



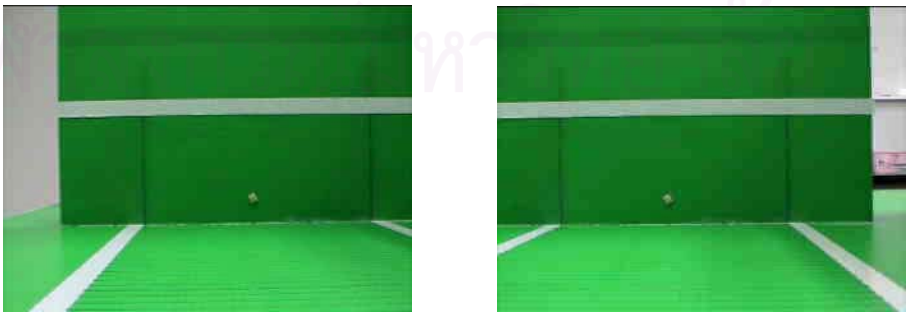
(ก) (ข)

รูปที่ 33 ที่ระยะ 42 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 34 ที่ระยะ 43 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

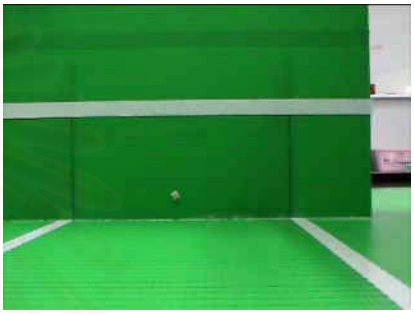


(ก) (ข)

รูปที่ 35 ที่ระยะ 44 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 36 ที่ระยะ 45 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

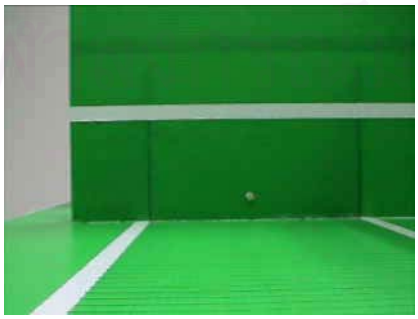


(ก) (ข)

รูปที่ 37 ที่ระยะ 46 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

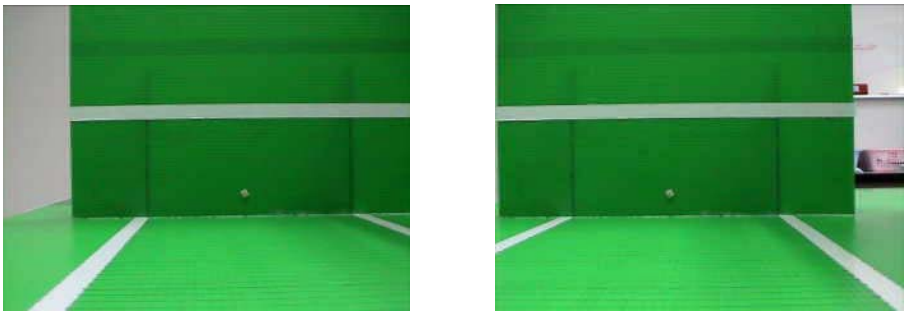
(ก) (ข)

รูปที่ 38 ที่ระยะ 47 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



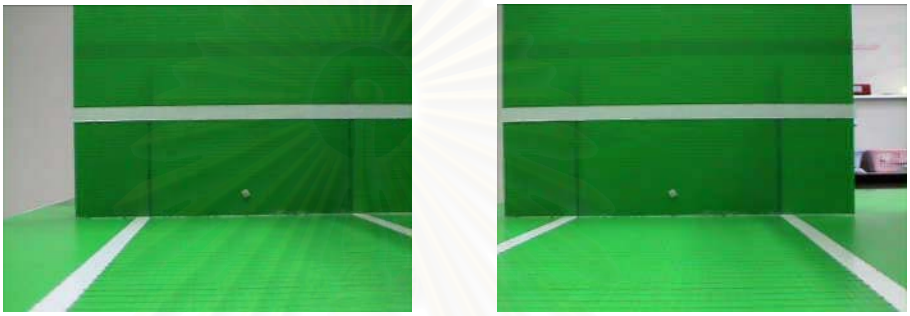
(ก) (ข)

รูปที่ 39 ที่ระยะ 48 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



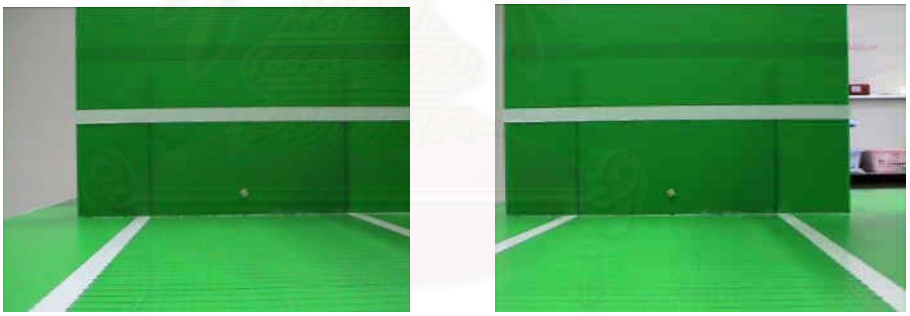
(ก) (ข)

รูปที่ 40 ที่ระยะ 49 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



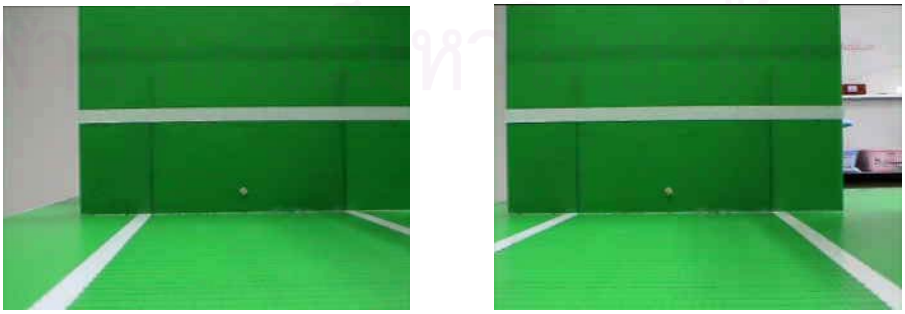
(ก) (ข)

รูปที่ 41 ที่ระยะ 50 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



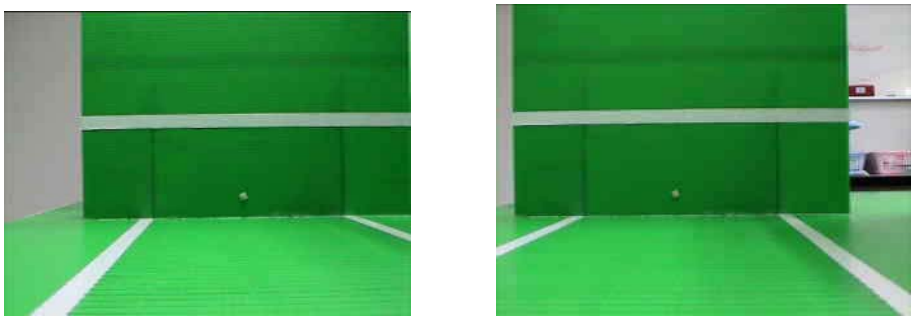
(ก) (ข)

รูปที่ 42 ที่ระยะ 51 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



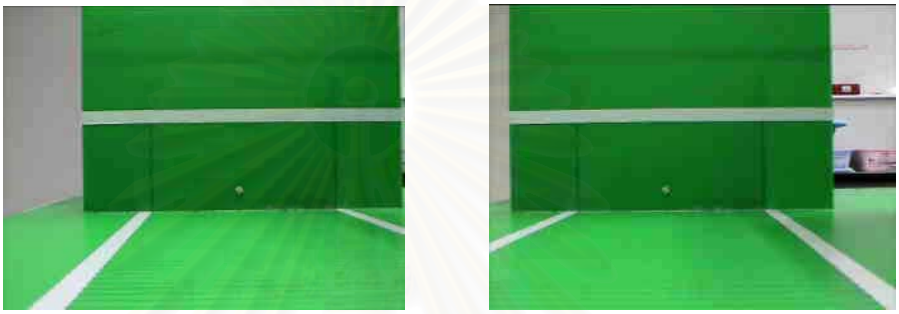
(ก) (ข)

รูปที่ 43 ที่ระยะ 52 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



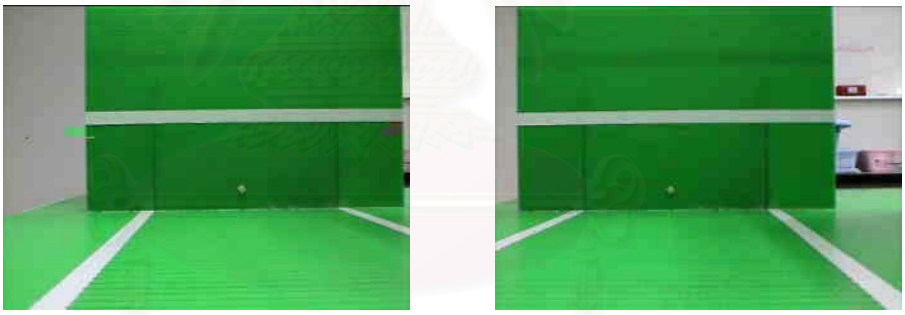
(ก) (ข)

รูปที่ 44 ที่ระยะ 53 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



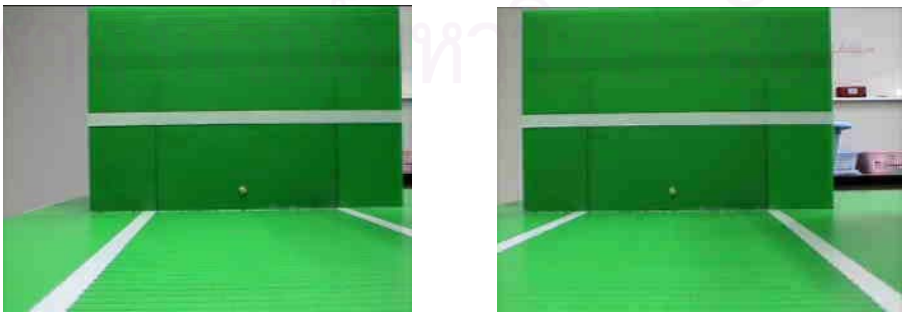
(ก) (ข)

รูปที่ 45 ที่ระยะ 54 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



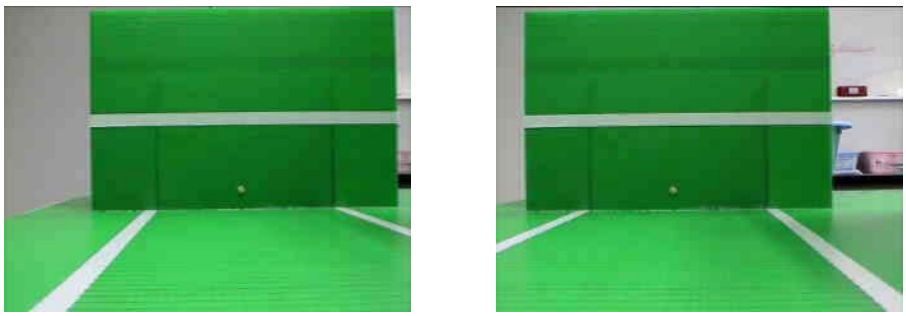
(ก) (ข)

รูปที่ 46 ที่ระยะ 55 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



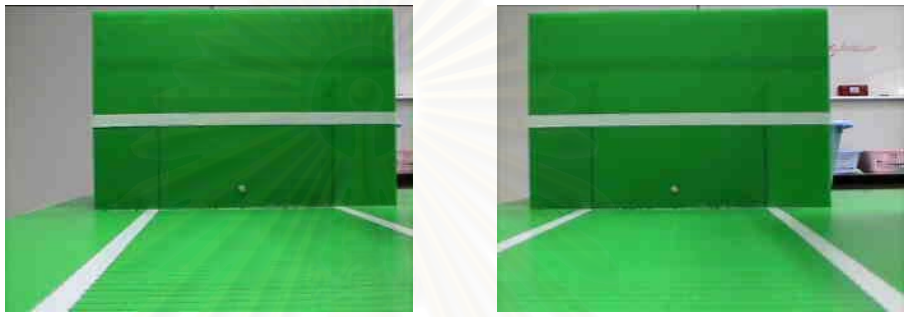
(ก) (ข)

รูปที่ 47 ที่ระยะ 56 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



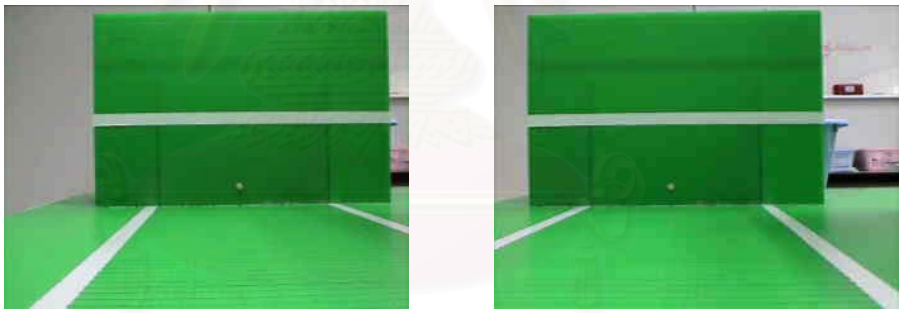
(ก) (ข)

รูปที่ 48 ที่ระยะ 57 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



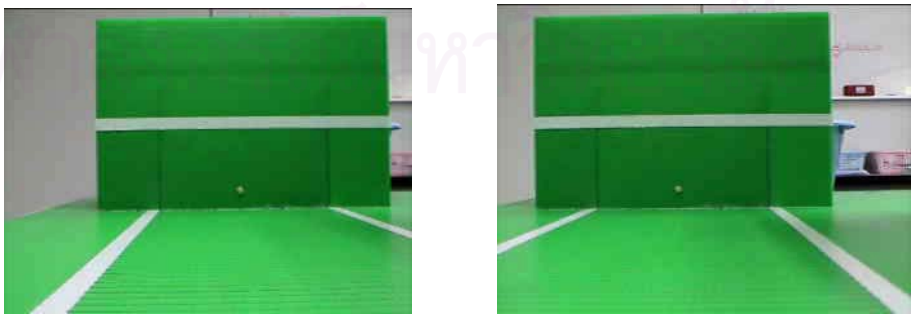
(ก) (ข)

รูปที่ 49 ที่ระยะ 58 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 50 ที่ระยะ 59 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 51 ที่ระยะ 60 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

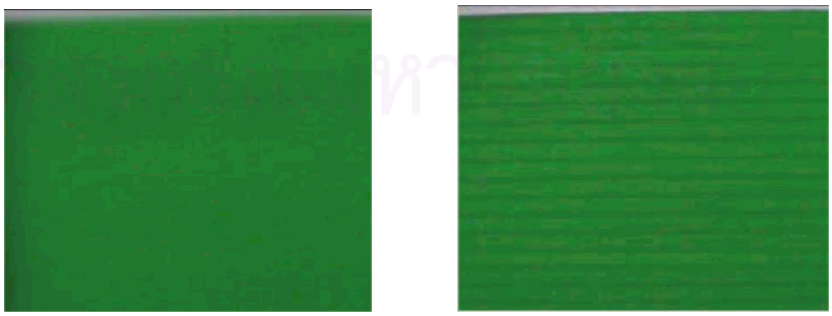
๒. ภาพถ่ายภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย (Mean Operation)

(ก) (ข)

รูปที่ 1 ที่ระยะ 10 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

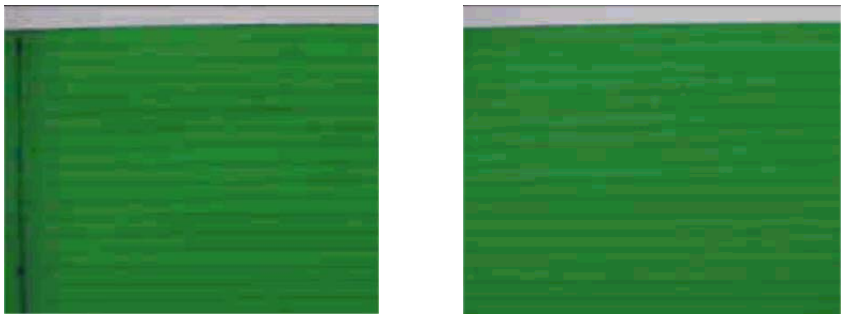
รูปที่ 2 ที่ระยะ 11 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

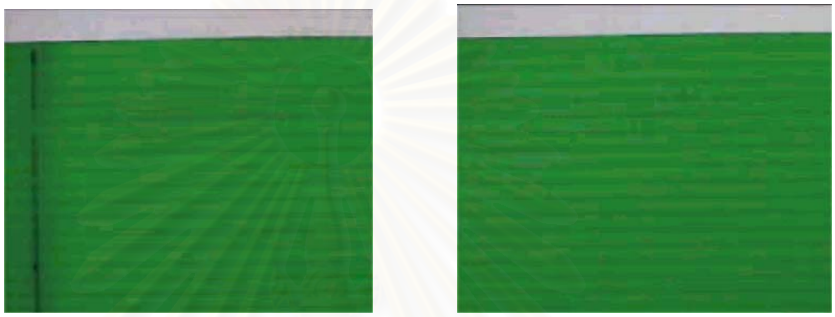
รูปที่ 3 ที่ระยะ 12 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข)

รูปที่ 4 ที่ระยะ 13 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

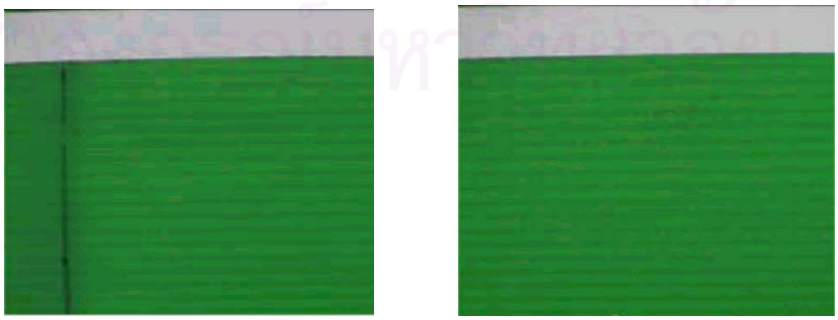


(ก) (ข)

รูปที่ 5 ที่ระยะ 14 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 6 ที่ระยะ 15 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

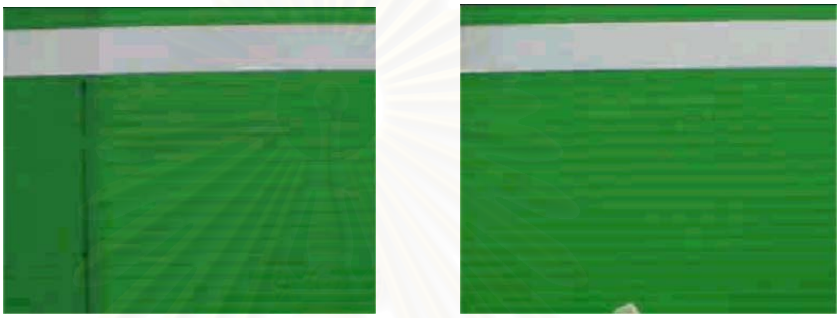


(ก) (ข)

รูปที่ 7 ที่ระยะ 16 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 8 ที่ระยะ 17 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

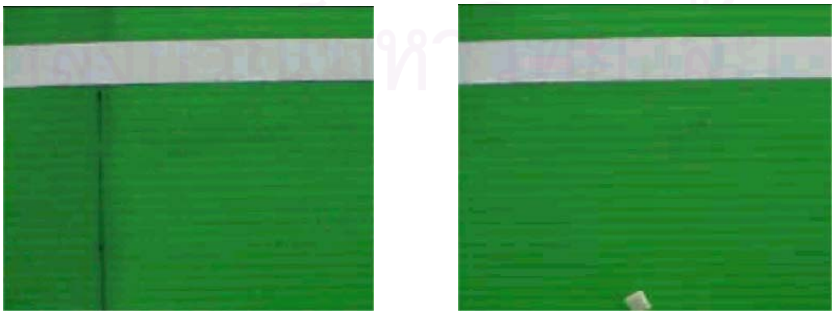


(ก) (ข)

รูปที่ 9 ที่ระยะ 18 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 10 ที่ระยะ 19 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 11 ที่ระยะ 20 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

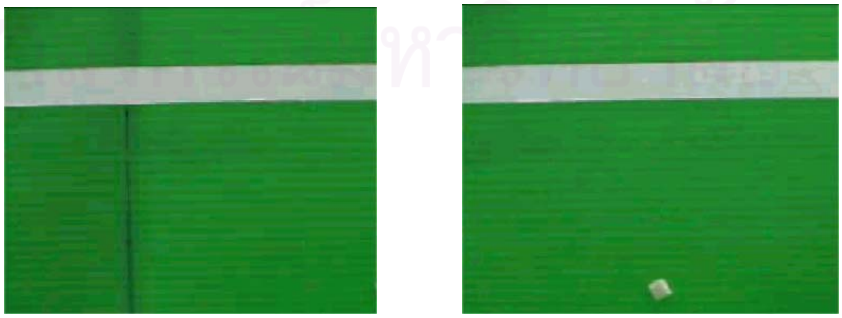
รูปที่ 12 ที่ระยะ 21 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 13 ที่ระยะ 22 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 14 ที่ระยะ 23 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

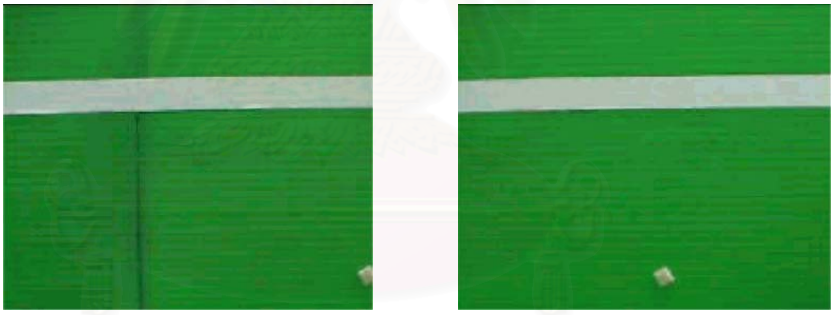
รูปที่ 15 ที่ระยะ 24 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 16 ที่ระยะ 25 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

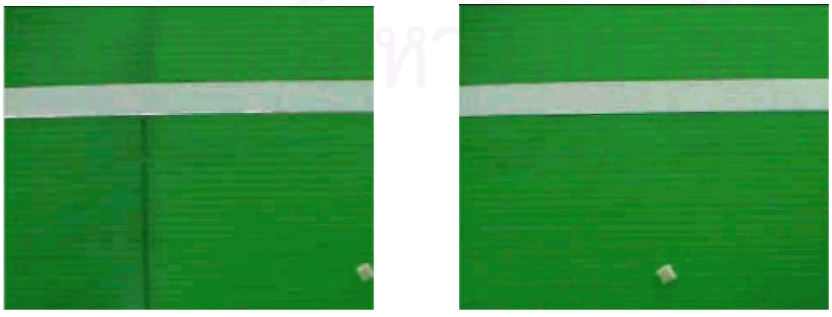
(ก) (ข)

รูปที่ 17 ที่ระยะ 26 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



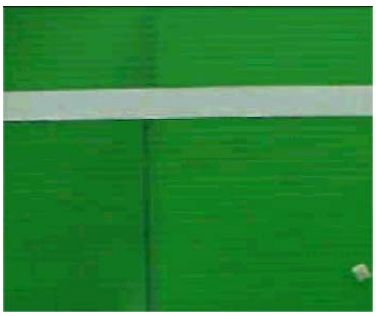
(ก) (ข)

รูปที่ 18 ที่ระยะ 27 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 19 ที่ระยะ 28 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 20 ที่ระยะ 29 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

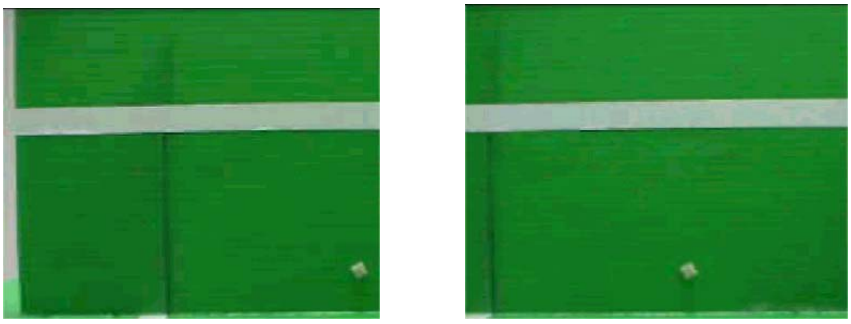
รูปที่ 21 ที่ระยะ 30 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 22 ที่ระยะ 31 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

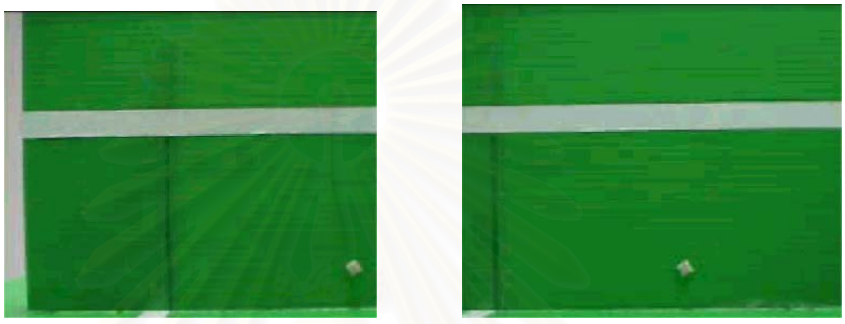
(ก) (ข)

รูปที่ 23 ที่ระยะ 32 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 24 ที่ระยะ 33 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

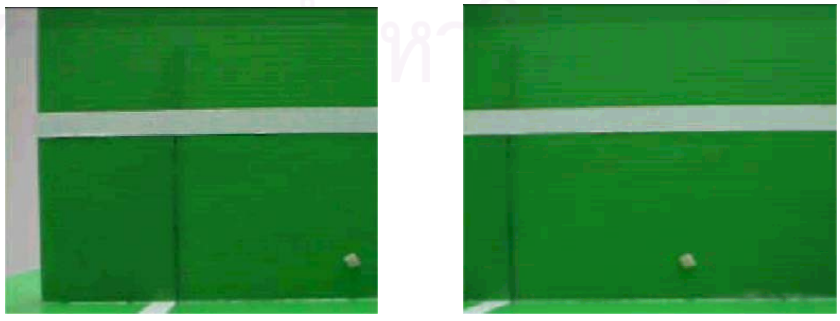


(ก) (ข)

รูปที่ 25 ที่ระยะ 34 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

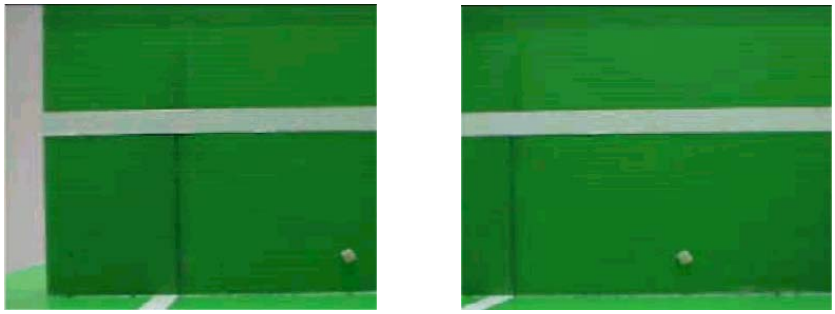
(ก) (ข)

รูปที่ 26 ที่ระยะ 35 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



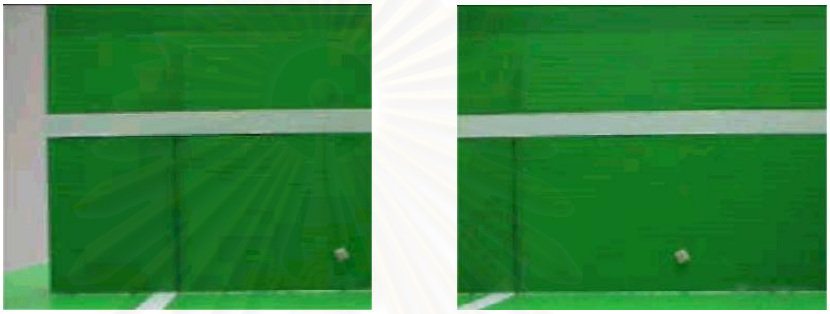
(ก) (ข)

รูปที่ 27 ที่ระยะ 36 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



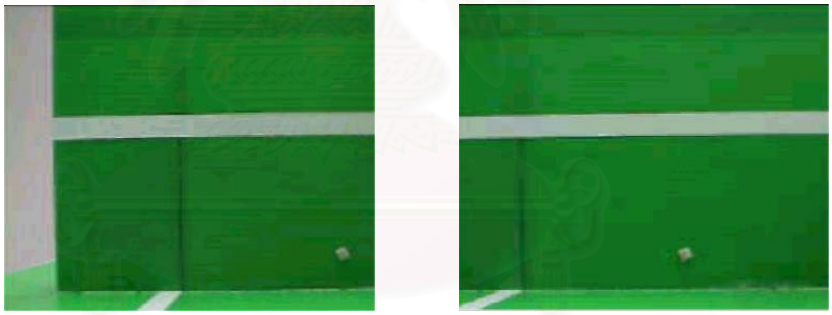
(ก) (ข)

รูปที่ 28 ที่ระยะ 37 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



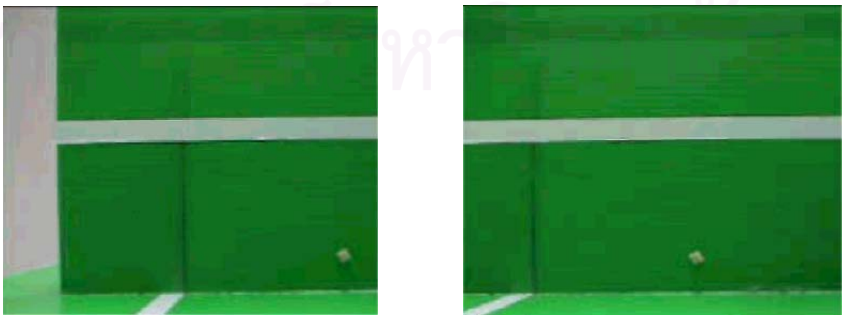
(ก) (ข)

รูปที่ 29 ที่ระยะ 38 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



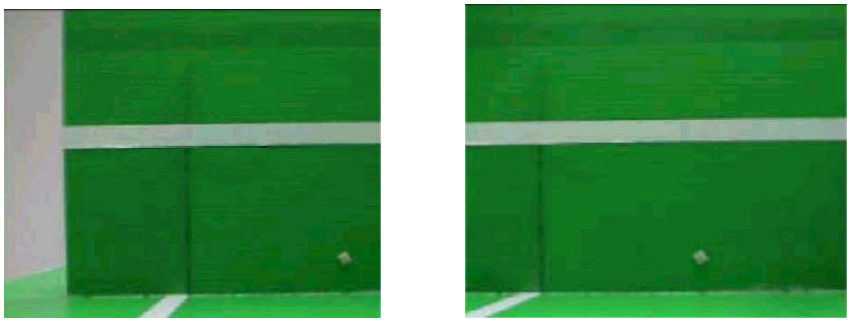
(ก) (ข)

รูปที่ 30 ที่ระยะ 39 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



(ก) (ข)

รูปที่ 31 ที่ระยะ 40 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

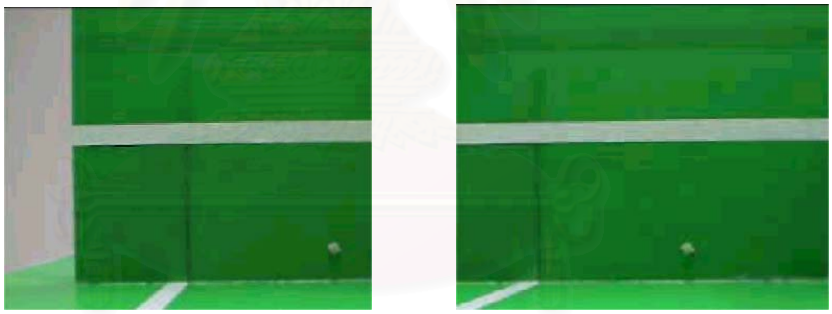


(ก) (ข)

รูปที่ 32 ที่ระยะ 41 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

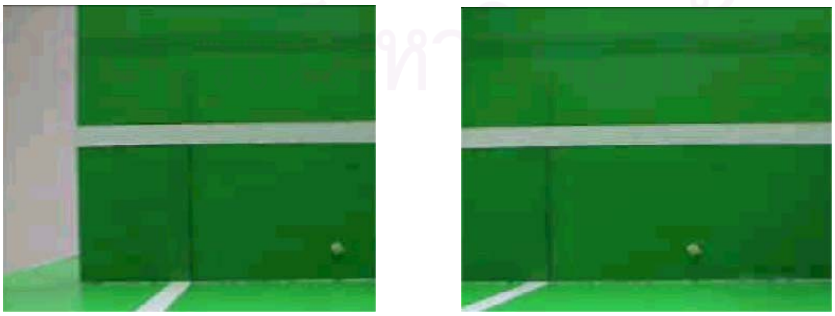
(ก) (ข)

รูปที่ 33 ที่ระยะ 42 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



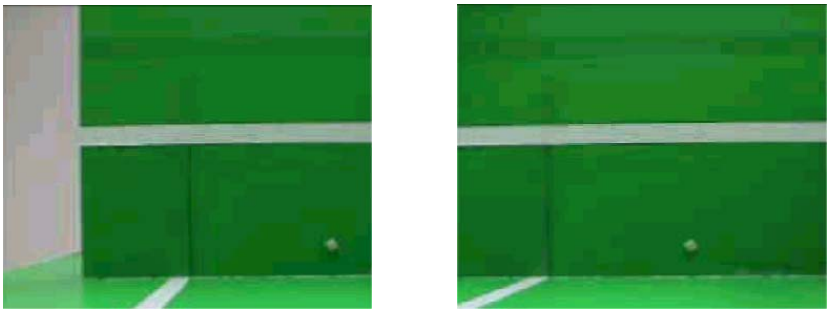
(ก) (ข)

รูปที่ 34 ที่ระยะ 43 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



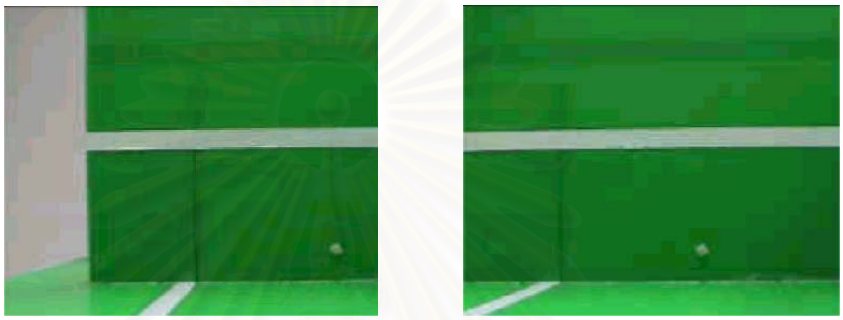
(ก) (ข)

รูปที่ 35 ที่ระยะ 44 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



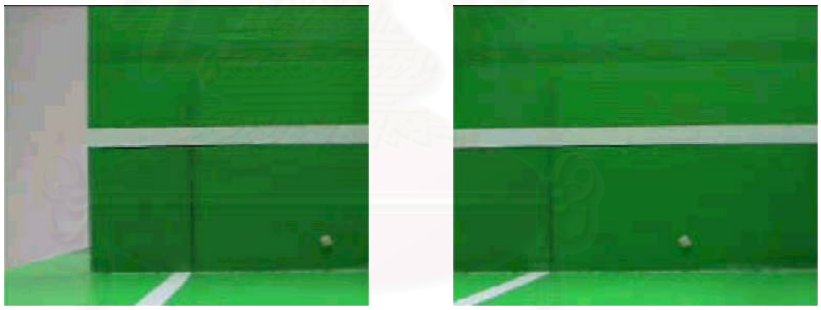
(ก) (ข)

รูปที่ 36 ที่ระยะ 45 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



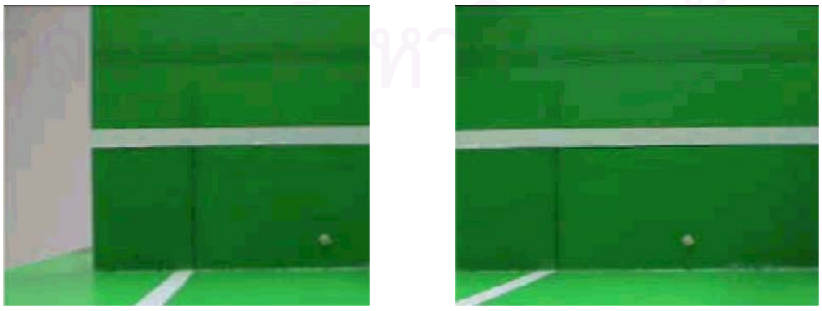
(ก) (ข)

รูปที่ 37 ที่ระยะ 46 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



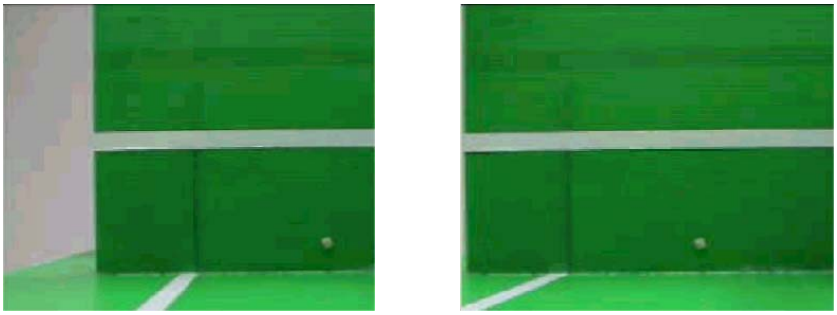
(ก) (ข)

รูปที่ 38 ที่ระยะ 47 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



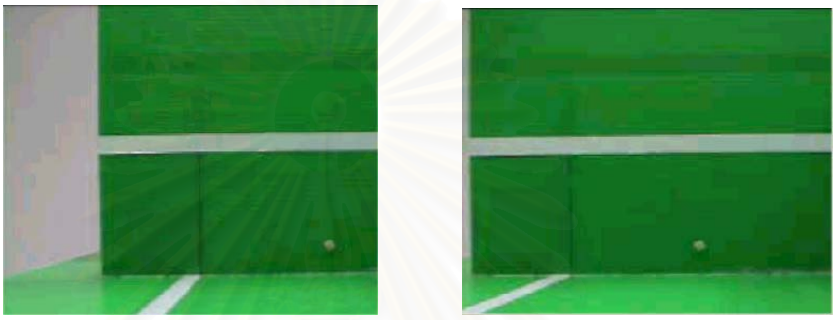
(ก) (ข)

รูปที่ 39 ที่ระยะ 48 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



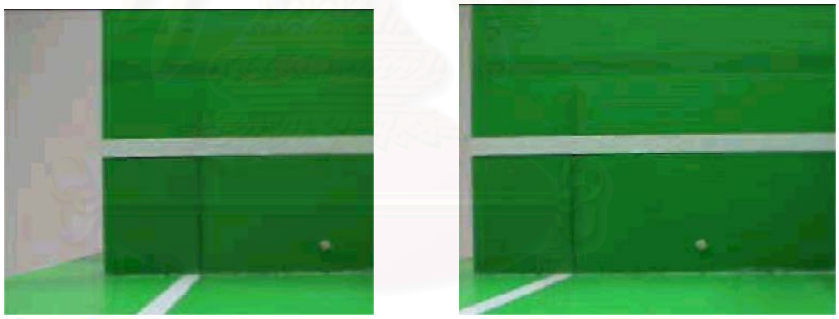
(ก) (ข)

รูปที่ 40 ที่ระยะ 49 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



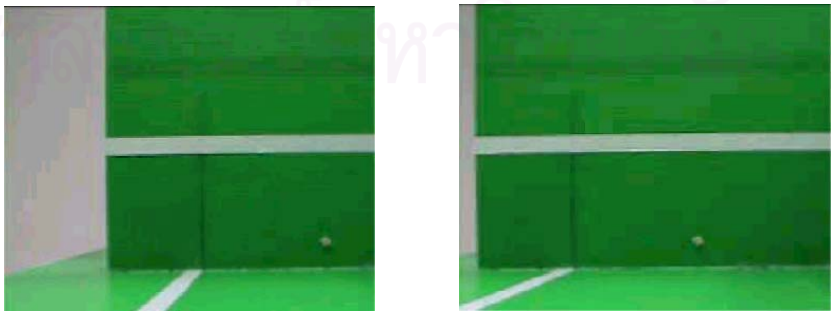
(ก) (ข)

รูปที่ 41 ที่ระยะ 50 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



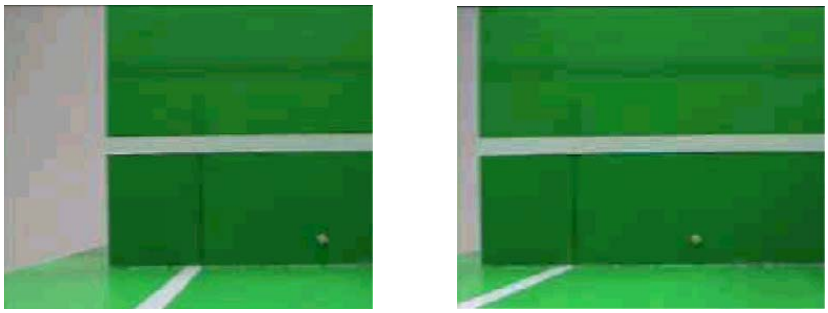
(ก) (ข)

รูปที่ 42 ที่ระยะ 51 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



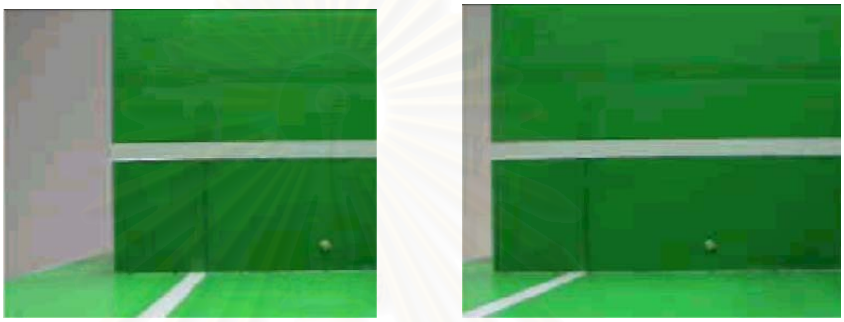
(ก) (ข)

รูปที่ 43 ที่ระยะ 52 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



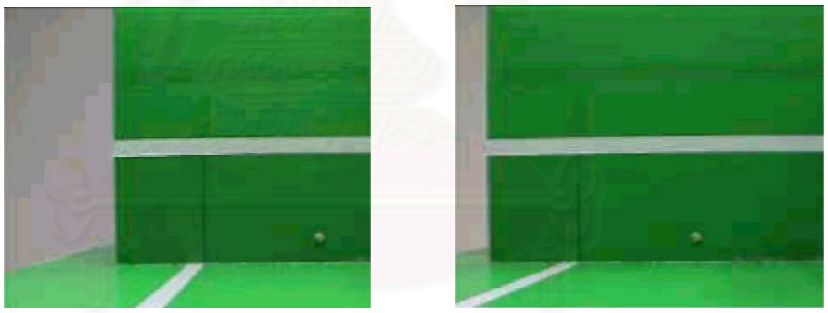
(ก) (ข)

รูปที่ 44 ที่ระยะ 53 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



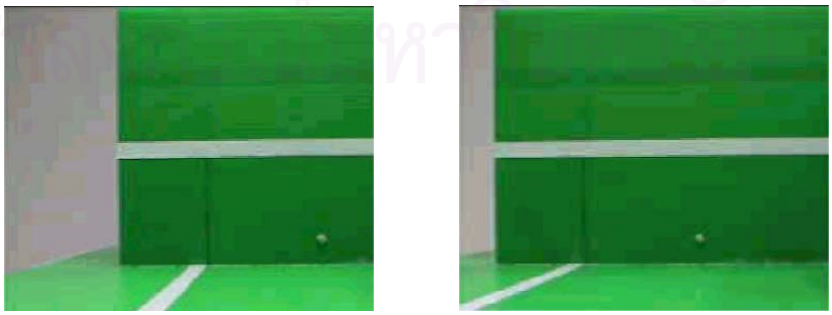
(ก) (ข)

รูปที่ 45 ที่ระยะ 54 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



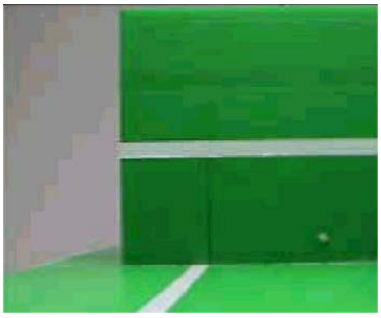
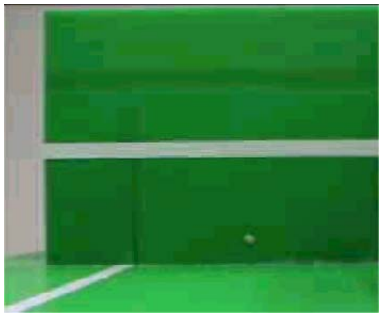
(ก) (ข)

รูปที่ 46 ที่ระยะ 55 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา



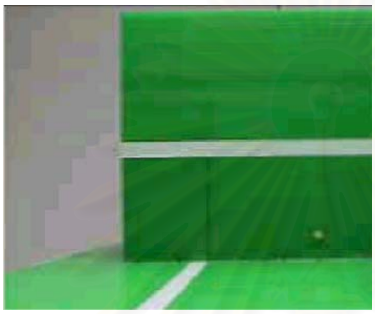
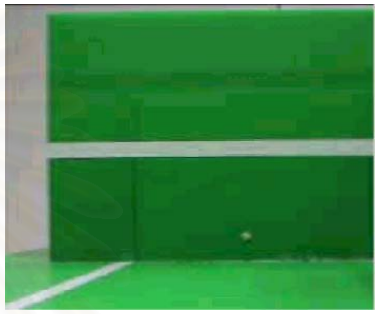
(ก) (ข)

รูปที่ 47 ที่ระยะ 56 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

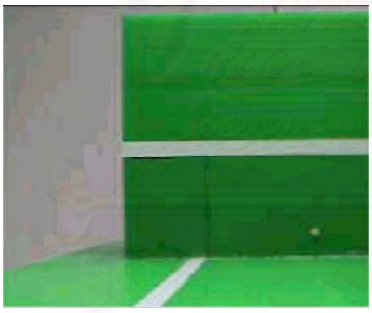
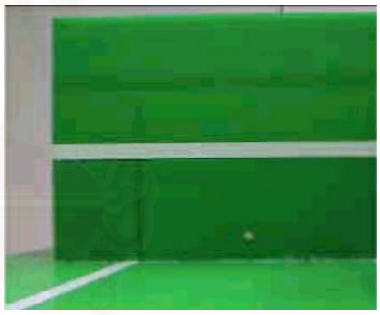
(ก) (ข)

รูปที่ 48 ที่ระยะ 57 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

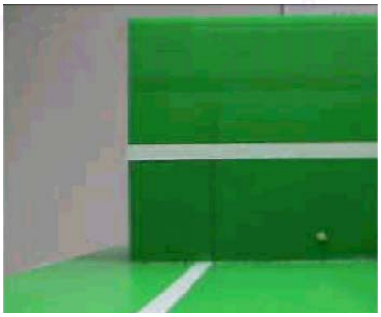
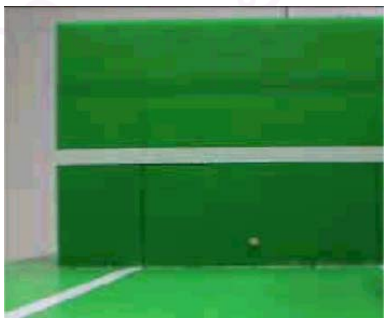
(ก) (ข)

รูปที่ 49 ที่ระยะ 58 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 50 ที่ระยะ 59 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

(ก) (ข)

รูปที่ 51 ที่ระยะ 60 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

## ภาคผนวก ค

## ตัวอย่างค่าความเข้มจุดภาพที่ระยะต่างๆ ของภาพ ก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย และภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย

1. ค่าความเข้มจุดภาพก่อนการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ยที่พิกัดภาพ (50:57,50:57)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 34 | 33 | 33 | 32 | 33 | 32 | 32 | 32 |
| 34 | 33 | 33 | 32 | 33 | 32 | 32 | 32 |
| 36 | 34 | 34 | 33 | 33 | 33 | 33 | 34 |
| 38 | 37 | 37 | 36 | 36 | 36 | 35 | 36 |
| 41 | 40 | 40 | 39 | 39 | 39 | 38 | 39 |
| 43 | 42 | 43 | 42 | 42 | 41 | 41 | 41 |
| 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 41 | 41 | 40 |
| 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 40 | 41 | 41 | 42 | 43 | 43 | 41 |
| 36 | 36 | 37 | 37 | 38 | 39 | 39 | 37 |
| 34 | 34 | 36 | 36 | 37 | 38 | 38 | 36 |
| 36 | 36 | 37 | 37 | 38 | 39 | 39 | 37 |
| 39 | 39 | 40 | 40 | 41 | 42 | 42 | 40 |
| 40 | 40 | 41 | 41 | 42 | 43 | 43 | 41 |
| 39 | 39 | 40 | 41 | 41 | 42 | 42 | 40 |
| 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 36 | 36 | 34 |

(ข)

รูปที่ 1 ที่ระยะ 10 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 31 | 33 | 33 | 33 | 33 | 31 | 31 | 31 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| 35 | 36 | 36 | 36 | 36 | 35 | 35 | 35 |
| 36 | 37 | 37 | 37 | 37 | 36 | 36 | 36 |
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 43 |
| 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 |
| 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 |
| 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 43 |
| 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 43 |
| 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 43 |
| 37 | 37 | 36 | 36 | 37 | 37 | 37 | 41 |
| 35 | 34 | 33 | 33 | 34 | 35 | 36 | 35 |

(ข)

รูปที่ 2 ที่ระยะ 11 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 38 |
| 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 40 |
| 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 38 |
| 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 33 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 30 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 36 |

(ข)

รูปที่ 3 ที่ระยะ 12 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 31 | 31 | 32 | 32 | 31 | 31 |
| 33 | 33 | 32 | 32 | 33 | 33 | 32 | 30 |
| 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 28 |

(ข)

รูปที่ 4 ที่ระยะ 13 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 33 |
| 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 34 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 36 |
| 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 35 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 35 | 35 | 35 | 33 |
| 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 35 | 36 | 33 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 34 | 37 | 37 | 41 | 41 | 44 | 44 | 44 |
| 33 | 36 | 36 | 41 | 41 | 44 | 44 | 46 |
| 33 | 36 | 36 | 40 | 40 | 43 | 43 | 47 |
| 31 | 34 | 34 | 39 | 39 | 42 | 42 | 46 |
| 31 | 34 | 34 | 38 | 38 | 41 | 41 | 44 |
| 30 | 33 | 33 | 38 | 38 | 41 | 41 | 42 |
| 30 | 33 | 33 | 38 | 38 | 41 | 41 | 41 |
| 32 | 33 | 33 | 34 | 34 | 35 | 35 | 36 |

(ข)

รูปที่ 5 ที่ระยะ 14 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 34 | 33 | 33 | 33 | 33 | 32 | 32 | 32 |
| 35 | 35 | 34 | 33 | 34 | 32 | 32 | 33 |
| 37 | 37 | 38 | 37 | 36 | 34 | 35 | 35 |
| 41 | 41 | 41 | 41 | 40 | 38 | 39 | 36 |
| 42 | 42 | 42 | 41 | 41 | 40 | 40 | 37 |
| 43 | 43 | 42 | 40 | 41 | 40 | 39 | 36 |
| 39 | 39 | 39 | 37 | 38 | 37 | 37 | 34 |
| 33 | 33 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 33 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 44 | 43 | 43 | 41 | 41 | 40 | 40 | 37 |
| 47 | 46 | 46 | 44 | 44 | 43 | 43 | 39 |
| 48 | 48 | 48 | 46 | 46 | 44 | 44 | 39 |
| 47 | 46 | 46 | 45 | 45 | 44 | 44 | 40 |
| 45 | 45 | 45 | 44 | 44 | 42 | 42 | 40 |
| 44 | 44 | 44 | 42 | 42 | 41 | 41 | 42 |
| 41 | 39 | 39 | 39 | 39 | 37 | 37 | 40 |
| 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 35 |

(ข)

รูปที่ 6 ที่ระยะ 15 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 31 | 32 | 37 | 38 | 42 | 42 | 40 |
| 28 | 31 | 32 | 35 | 36 | 38 | 39 | 37 |
| 32 | 34 | 34 | 35 | 36 | 37 | 37 | 35 |
| 38 | 38 | 38 | 36 | 38 | 36 | 37 | 35 |
| 43 | 42 | 42 | 37 | 39 | 36 | 36 | 33 |
| 45 | 41 | 42 | 37 | 37 | 33 | 33 | 31 |
| 45 | 40 | 41 | 34 | 34 | 29 | 29 | 28 |
| 39 | 38 | 39 | 38 | 38 | 37 | 37 | 36 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| 41 | 41 | 40 | 40 | 41 | 41 | 40 | 40 |
| 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 42 | 42 | 42 | 40 | 40 | 40 | 40 | 38 |

(ข)

รูปที่ 7 ที่ระยะ 16 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 35 | 36 | 35 | 36 | 35 | 35 | 36 |
| 37 | 37 | 38 | 36 | 38 | 37 | 37 | 36 |
| 36 | 36 | 37 | 35 | 37 | 36 | 36 | 33 |
| 32 | 32 | 34 | 32 | 34 | 33 | 33 | 29 |
| 29 | 30 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 28 |
| 30 | 30 | 32 | 31 | 32 | 31 | 31 | 30 |
| 33 | 33 | 34 | 33 | 34 | 33 | 33 | 34 |
| 36 | 36 | 37 | 36 | 37 | 36 | 37 | 38 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| 41 | 41 | 40 | 40 | 41 | 41 | 40 | 40 |
| 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 42 | 42 | 42 | 40 | 40 | 40 | 40 | 38 |

(ข)

รูปที่ 8 ที่ระยะ 17 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 29 | 30 | 32 | 33 | 34 | 35 | 44 |
| 29 | 30 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 | 44 |
| 31 | 32 | 33 | 35 | 36 | 37 | 39 | 44 |
| 32 | 33 | 35 | 36 | 39 | 40 | 40 | 44 |
| 34 | 35 | 37 | 39 | 41 | 42 | 42 | 44 |
| 35 | 36 | 39 | 40 | 42 | 43 | 43 | 44 |
| 34 | 35 | 37 | 39 | 40 | 42 | 43 | 44 |
| 31 | 32 | 34 | 35 | 37 | 39 | 40 | 44 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 30 |

(ข)

รูปที่ 9 ที่ระยะ 18 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | 28 | 20 | 22 | 32 | 34 | 31 | 29 |
| 36 | 25 | 12 | 13 | 28 | 35 | 31 | 30 |
| 37 | 22 | 4 | 5 | 26 | 35 | 30 | 29 |
| 38 | 22 | 0 | 0 | 26 | 36 | 29 | 26 |
| 40 | 23 | 0 | 0 | 28 | 37 | 28 | 26 |
| 42 | 26 | 0 | 0 | 30 | 40 | 26 | 27 |
| 40 | 26 | 4 | 5 | 30 | 37 | 27 | 30 |
| 31 | 21 | 19 | 20 | 26 | 29 | 30 | 30 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | 36 | 35 | 35 | 36 | 36 | 35 | 35 |
| 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 39 |
| 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 38 |

(ข)

รูปที่ 10 ที่ระยะ 19 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 102 | 100 | 94 | 85 | 80 | 78 | 80 | 65 |
| 26 | 25 | 25 | 22 | 22 | 22 | 23 | 30 |
| 33 | 35 | 39 | 40 | 41 | 41 | 41 | 27 |
| 31 | 33 | 32 | 31 | 27 | 23 | 19 | 16 |
| 32 | 33 | 33 | 33 | 28 | 24 | 18 | 1 |
| 26 | 27 | 29 | 31 | 29 | 24 | 18 | 0 |
| 34 | 34 | 35 | 38 | 34 | 26 | 17 | 0 |
| 28 | 29 | 33 | 42 | 38 | 27 | 17 | 0 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 34 | 36 | 35 | 34 | 30 | 29 | 35 |
| 55 | 55 | 56 | 55 | 54 | 51 | 49 | 39 |
| 32 | 31 | 33 | 31 | 31 | 26 | 25 | 25 |
| 33 | 35 | 36 | 33 | 33 | 29 | 27 | 35 |
| 31 | 31 | 33 | 31 | 31 | 26 | 25 | 27 |
| 38 | 38 | 39 | 38 | 37 | 34 | 32 | 39 |
| 41 | 41 | 43 | 41 | 41 | 38 | 36 | 34 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 35 |

(ข)

รูปที่ 11 ที่ระยะ 20 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 174 | 174 | 174 | 174 | 174 | 174 | 174 | 171 |
| 183 | 184 | 183 | 184 | 183 | 184 | 184 | 178 |
| 167 | 168 | 167 | 168 | 167 | 168 | 168 | 155 |
| 67 | 68 | 67 | 68 | 67 | 68 | 68 | 63 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 39 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 30 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 38 |
| 32 | 32 | 32 | 33 | 33 | 34 | 34 | 44 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 168 | 169 | 171 | 172 | 171 | 167 | 167 | 169 |
| 212 | 210 | 209 | 208 | 204 | 201 | 199 | 200 |
| 130 | 127 | 126 | 123 | 120 | 115 | 113 | 113 |
| 54 | 54 | 54 | 53 | 51 | 48 | 46 | 51 |
| 32 | 35 | 37 | 35 | 36 | 34 | 33 | 37 |
| 33 | 36 | 37 | 37 | 36 | 34 | 33 | 30 |
| 43 | 43 | 44 | 42 | 41 | 38 | 37 | 34 |
| 37 | 36 | 37 | 36 | 36 | 35 | 35 | 34 |

(ข)

รูปที่ 12 ที่ระยะ 21 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 169 | 171 | 173 | 173 | 174 | 173 | 172 | 172 |
| 176 | 177 | 177 | 177 | 175 | 174 | 173 | 168 |
| 175 | 175 | 175 | 173 | 170 | 167 | 166 | 179 |
| 164 | 165 | 167 | 168 | 167 | 166 | 164 | 171 |
| 163 | 165 | 168 | 169 | 170 | 169 | 170 | 169 |
| 163 | 163 | 162 | 160 | 157 | 155 | 153 | 163 |
| 120 | 117 | 113 | 108 | 103 | 99 | 96 | 94 |
| 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 12 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 174 | 176 | 178 | 181 | 184 | 185 | 186 | 174 |
| 165 | 165 | 165 | 167 | 167 | 168 | 167 | 171 |
| 184 | 181 | 180 | 176 | 174 | 171 | 169 | 178 |
| 182 | 185 | 186 | 188 | 189 | 190 | 191 | 186 |
| 208 | 209 | 210 | 212 | 214 | 214 | 216 | 208 |
| 128 | 124 | 122 | 118 | 116 | 115 | 115 | 100 |
| 42 | 43 | 44 | 44 | 45 | 46 | 46 | 47 |
| 29 | 30 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 34 |

(ข)

รูปที่ 13 ที่ระยะ 22 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 169 | 168 | 167 | 167 | 168 | 169 | 170 | 171 |
| 169 | 168 | 167 | 167 | 168 | 169 | 170 | 171 |
| 170 | 169 | 168 | 168 | 169 | 170 | 171 | 171 |
| 171 | 170 | 169 | 169 | 170 | 171 | 172 | 171 |
| 172 | 170 | 169 | 169 | 170 | 172 | 173 | 171 |
| 172 | 171 | 170 | 170 | 171 | 172 | 173 | 171 |
| 173 | 172 | 171 | 171 | 172 | 173 | 174 | 171 |
| 162 | 163 | 165 | 165 | 167 | 168 | 170 | 171 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 176 |
| 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 179 |
| 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 181 |
| 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 180 |
| 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 |
| 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 175 |
| 177 | 177 | 178 | 178 | 179 | 179 | 179 | 177 |
| 174 | 174 | 176 | 178 | 179 | 180 | 181 | 180 |

(ข)

รูปที่ 14 ที่ระยะ 23 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 164 | 165 | 165 | 167 | 167 | 168 | 168 | 171 |
| 164 | 165 | 165 | 167 | 167 | 168 | 168 | 170 |
| 164 | 165 | 165 | 167 | 167 | 168 | 168 | 169 |
| 164 | 165 | 165 | 167 | 167 | 168 | 168 | 169 |
| 164 | 165 | 165 | 167 | 167 | 168 | 168 | 168 |
| 164 | 165 | 165 | 167 | 167 | 168 | 168 | 168 |
| 166 | 167 | 167 | 168 | 168 | 168 | 168 | 168 |
| 173 | 172 | 172 | 170 | 171 | 170 | 169 | 168 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 170 | 171 | 172 | 173 | 175 | 175 | 176 | 175 |
| 169 | 169 | 170 | 171 | 172 | 172 | 172 | 175 |
| 169 | 169 | 169 | 169 | 169 | 170 | 169 | 175 |
| 170 | 170 | 169 | 169 | 169 | 169 | 169 | 175 |
| 173 | 173 | 172 | 171 | 170 | 170 | 169 | 175 |
| 177 | 176 | 174 | 173 | 172 | 171 | 171 | 175 |
| 181 | 180 | 177 | 176 | 174 | 173 | 173 | 173 |
| 181 | 179 | 179 | 178 | 178 | 177 | 177 | 174 |

(ข)

รูปที่ 15 ที่ระยะ 24 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 170 | 170 | 170 | 169 | 169 | 168 | 168 | 169 |
| 170 | 169 | 169 | 168 | 168 | 168 | 167 | 169 |
| 170 | 169 | 169 | 168 | 168 | 167 | 167 | 169 |
| 169 | 168 | 168 | 167 | 167 | 166 | 166 | 168 |
| 168 | 168 | 168 | 167 | 167 | 166 | 166 | 167 |
| 168 | 167 | 167 | 166 | 166 | 166 | 165 | 167 |
| 168 | 167 | 167 | 166 | 166 | 165 | 165 | 167 |
| 167 | 165 | 164 | 163 | 163 | 162 | 162 | 166 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 175 | 174 | 173 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 |
| 175 | 174 | 173 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 |
| 175 | 174 | 173 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 |
| 175 | 174 | 173 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 |
| 175 | 174 | 173 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 |
| 175 | 174 | 173 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 |
| 179 | 178 | 177 | 176 | 177 | 177 | 178 | 176 |
| 185 | 185 | 186 | 182 | 184 | 183 | 182 | 175 |

(ข)

รูปที่ 16 ที่ระยะ 25 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| 164 | 164 | 164 | 164 | 164 | 164 | 164 | 163 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 |
| 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 |
| 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 |
| 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 |
| 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 |
| 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 |
| 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 |
| 176 | 176 | 177 | 177 | 178 | 178 | 178 | 171 |

(ข)

รูปที่ 17 ที่ระยะ 26 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 |
| 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 |
| 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 |
| 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 |
| 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 |
| 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 |
| 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 |
| 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 172 | 172 | 173 | 174 | 175 | 176 | 176 | 174 |
| 176 | 176 | 177 | 177 | 179 | 179 | 179 | 174 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 177 | 177 | 176 | 174 |
| 174 | 174 | 174 | 174 | 173 | 173 | 173 | 174 |
| 174 | 173 | 172 | 172 | 170 | 170 | 170 | 174 |
| 174 | 173 | 172 | 172 | 170 | 170 | 169 | 174 |
| 176 | 175 | 174 | 173 | 172 | 172 | 171 | 174 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 174 |

(ข)

รูปที่ 18 ที่ระยะ 27 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 68 | 69 | 67 |
| 165 | 165 | 166 | 167 | 167 | 168 | 167 | 168 |
| 165 | 164 | 165 | 164 | 165 | 165 | 165 | 165 |
| 172 | 171 | 171 | 171 | 170 | 171 | 170 | 169 |
| 170 | 169 | 169 | 168 | 168 | 167 | 167 | 166 |
| 163 | 163 | 161 | 161 | 160 | 160 | 159 | 162 |
| 161 | 161 | 160 | 159 | 158 | 158 | 157 | 161 |
| 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 166 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 88 | 92 | 96 | 101 | 105 | 112 | 113 | 126 |
| 178 | 179 | 181 | 183 | 183 | 187 | 187 | 176 |
| 165 | 165 | 166 | 168 | 168 | 170 | 171 | 182 |
| 160 | 163 | 165 | 169 | 171 | 174 | 176 | 171 |
| 169 | 169 | 169 | 169 | 170 | 170 | 171 | 169 |
| 178 | 177 | 175 | 175 | 173 | 170 | 170 | 173 |
| 178 | 177 | 178 | 180 | 180 | 180 | 181 | 174 |
| 179 | 178 | 178 | 176 | 176 | 175 | 175 | 170 |

(ข)

รูปที่ 19 ที่ระยะ 28 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 22 | 24 |
| 20 | 21 | 21 | 22 | 23 | 23 | 23 | 20 |
| 46 | 48 | 52 | 55 | 59 | 60 | 61 | 58 |
| 136 | 139 | 141 | 144 | 146 | 147 | 147 | 158 |
| 186 | 185 | 185 | 184 | 184 | 184 | 184 | 170 |
| 164 | 162 | 162 | 161 | 161 | 160 | 160 | 166 |
| 159 | 159 | 161 | 161 | 162 | 162 | 163 | 163 |
| 164 | 164 | 164 | 164 | 164 | 164 | 164 | 165 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 37 | 36 | 36 | 36 | 39 | 41 | 42 | 43 |
| 24 | 24 | 23 | 25 | 26 | 30 | 31 | 36 |
| 123 | 122 | 122 | 122 | 123 | 127 | 128 | 134 |
| 161 | 161 | 160 | 160 | 161 | 165 | 166 | 171 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 162 | 164 | 166 | 169 |
| 173 | 173 | 172 | 174 | 174 | 177 | 178 | 180 |
| 169 | 169 | 168 | 170 | 171 | 175 | 176 | 179 |
| 169 | 169 | 169 | 169 | 169 | 170 | 171 | 171 |

(ข)

รูปที่ 20 ที่ระยะ 29 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 20 | 21 | 22 | 23 | 23 | 25 | 27 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 29 | 28 |
| 17 | 16 | 18 | 18 | 20 | 20 | 20 | 13 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 29 | 29 | 29 | 25 |
| 25 | 24 | 27 | 27 | 29 | 29 | 30 | 39 |
| 117 | 119 | 121 | 121 | 122 | 121 | 122 | 132 |
| 160 | 163 | 164 | 164 | 166 | 165 | 165 | 160 |
| 162 | 163 | 163 | 163 | 164 | 163 | 164 | 161 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 29 | 31 | 32 | 34 | 33 | 35 | 35 |
| 29 | 30 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 | 33 |
| 29 | 30 | 30 | 28 | 29 | 27 | 28 | 36 |
| 40 | 42 | 44 | 44 | 46 | 44 | 45 | 27 |
| 89 | 91 | 96 | 100 | 105 | 107 | 109 | 119 |
| 147 | 149 | 153 | 156 | 159 | 162 | 163 | 160 |
| 176 | 174 | 173 | 169 | 168 | 166 | 165 | 166 |
| 170 | 169 | 169 | 167 | 167 | 166 | 165 | 167 |

(ข)

รูปที่ 21 ที่ระยะ 30 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 18 | 18 | 18 | 18 | 17 | 17 | 15 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 20 |
| 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 22 | 22 | 21 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 26 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 32 |
| 119 | 120 | 123 | 127 | 130 | 132 | 133 | 135 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 14 | 18 | 25 | 28 | 28 | 24 | 30 |
| 27 | 25 | 24 | 31 | 31 | 30 | 27 | 26 |
| 24 | 23 | 23 | 25 | 24 | 24 | 22 | 29 |
| 10 | 13 | 15 | 18 | 19 | 22 | 24 | 22 |
| 13 | 14 | 13 | 11 | 11 | 13 | 15 | 28 |
| 41 | 42 | 38 | 32 | 29 | 31 | 34 | 26 |
| 69 | 78 | 80 | 82 | 85 | 93 | 99 | 107 |
| 143 | 146 | 147 | 148 | 150 | 152 | 154 | 150 |

(ข)

รูปที่ 22 ที่ระยะ 31 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 17 | 18 | 20 | 22 | 23 | 25 | 25 | 26 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 25 | 25 | 24 | 24 | 25 | 25 | 24 | 24 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 28 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 26 | 26 | 26 | 25 | 26 | 25 | 25 | 24 |
| 29 | 28 | 29 | 28 | 29 | 29 | 29 | 31 |

(ข)

รูปที่ 23 ที่ระยะ 32 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 24 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 24 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 |
| 25 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 28 |
| 26 | 27 | 30 | 30 | 30 | 29 | 28 | 28 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 23 | 23 | 25 | 25 | 27 | 27 | 33 |
| 26 | 26 | 26 | 28 | 28 | 29 | 29 | 33 |
| 28 | 28 | 28 | 27 | 27 | 29 | 29 | 31 |
| 28 | 28 | 28 | 26 | 26 | 25 | 25 | 27 |
| 31 | 29 | 29 | 29 | 29 | 26 | 26 | 27 |
| 35 | 34 | 34 | 32 | 32 | 29 | 29 | 28 |
| 36 | 35 | 35 | 33 | 33 | 32 | 32 | 31 |
| 28 | 27 | 25 | 26 | 26 | 28 | 29 | 31 |

(ข)

รูปที่ 24 ที่ระยะ 33 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 19 |
| 16 | 16 | 15 | 15 | 16 | 16 | 15 | 20 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 23 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 24 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 21 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 19 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 21 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 20 | 20 | 21 | 22 | 22 | 22 | 22 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 28 | 23 |

(ข)

รูปที่ 25 ที่ระยะ 34 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |
| 19 | 19 | 18 | 18 | 19 | 19 | 18 | 21 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 20 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 20 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |
| 13 | 13 | 15 | 15 | 17 | 17 | 18 | 22 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 27 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 28 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 27 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 23 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 23 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 28 | 28 | 28 | 29 |
| 26 | 25 | 27 | 27 | 29 | 29 | 29 | 26 |

(ข)

รูปที่ 26 ที่ระยะ 35 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 23 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 21 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 26 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 23 |
| 24 | 24 | 26 | 24 | 26 | 26 | 26 | 25 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 19 |

(ข)

รูปที่ 27 ที่ระยะ 36 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 |
| 19 | 18 | 17 | 17 | 18 | 19 | 19 | 20 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 29 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 26 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 28 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 26 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 23 |
| 30 | 30 | 30 | 28 | 28 | 28 | 28 | 26 |

(ข)

รูปที่ 28 ที่ระยะ 37 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 22 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 22 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 20 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 22 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 |
| 17 | 17 | 18 | 18 | 20 | 20 | 20 | 20 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |

(ข)

รูปที่ 29 ที่ระยะ 38 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 22 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 20 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 22 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 27 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 27 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 23 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 23 |
| 31 | 31 | 30 | 30 | 31 | 31 | 30 | 30 |

(ข)

รูปที่ 30 ที่ระยะ 39 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 22 | 21 | 21 | 22 | 23 | 24 | 23 |
| 23 | 22 | 21 | 21 | 22 | 23 | 24 | 23 |
| 23 | 22 | 21 | 21 | 22 | 23 | 24 | 23 |
| 23 | 22 | 21 | 21 | 22 | 23 | 24 | 23 |
| 23 | 22 | 21 | 21 | 22 | 23 | 24 | 23 |
| 23 | 22 | 21 | 21 | 22 | 23 | 24 | 23 |
| 23 | 22 | 21 | 21 | 22 | 23 | 24 | 23 |
| 24 | 22 | 24 | 23 | 25 | 24 | 24 | 22 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 19 | 18 | 19 | 18 | 19 | 18 | 20 |
| 25 | 26 | 25 | 26 | 25 | 26 | 25 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 25 |
| 18 | 20 | 20 | 20 | 18 | 20 | 20 | 18 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 22 |
| 24 | 25 | 25 | 25 | 24 | 25 | 25 | 26 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 22 |
| 26 | 27 | 27 | 25 | 25 | 24 | 24 | 21 |

(ข)

รูปที่ 31 ที่ระยะ 40 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 24 |
| 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 24 |
| 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 23 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 20 |
| 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 19 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |

(ข)

รูปที่ 32 ที่ระยะ 41 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 26 |
| 24 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 26 |
| 24 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 26 |
| 24 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 26 |
| 24 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 26 |
| 24 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 26 |
| 23 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 27 | 26 |
| 20 | 20 | 21 | 22 | 24 | 25 | 26 | 26 |

(ข)

รูปที่ 33 ที่ระยะ 42 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 24 | 27 | 27 | 27 | 25 | 25 | 25 |
| 22 | 24 | 27 | 27 | 27 | 25 | 25 | 25 |
| 22 | 24 | 27 | 27 | 27 | 25 | 25 | 25 |
| 22 | 24 | 27 | 27 | 27 | 25 | 25 | 25 |
| 22 | 24 | 27 | 27 | 27 | 25 | 25 | 25 |
| 22 | 24 | 27 | 27 | 27 | 25 | 25 | 25 |
| 22 | 24 | 27 | 27 | 27 | 25 | 25 | 25 |
| 19 | 21 | 24 | 24 | 24 | 22 | 22 | 24 |

(ข)

รูปที่ 34 ที่ระยะ 43 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 23 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 19 | 21 | 22 | 24 | 25 | 25 | 27 |
| 19 | 19 | 21 | 22 | 24 | 25 | 25 | 27 |
| 19 | 19 | 21 | 22 | 24 | 25 | 25 | 27 |
| 19 | 19 | 21 | 22 | 24 | 25 | 25 | 27 |
| 19 | 19 | 21 | 22 | 24 | 25 | 25 | 27 |
| 19 | 19 | 21 | 22 | 24 | 25 | 25 | 27 |
| 19 | 19 | 21 | 22 | 24 | 25 | 25 | 27 |
| 19 | 19 | 21 | 22 | 24 | 25 | 25 | 27 |

(ข)

รูปที่ 35 ที่ระยะ 44 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 26 | 26 | 24 | 24 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 26 | 26 | 24 | 24 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 26 | 26 | 24 | 24 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 26 | 26 | 24 | 24 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 26 | 26 | 24 | 24 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 26 | 26 | 24 | 24 | 21 | 21 | 24 |
| 24 | 24 | 24 | 23 | 23 | 20 | 20 | 23 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 23 |

(ข)

รูปที่ 36 ที่ระยะ 45 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 21 | 24 |
| 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 21 | 24 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 27 | 26 | 22 | 21 | 19 | 19 | 16 |
| 27 | 27 | 26 | 22 | 21 | 19 | 19 | 16 |
| 27 | 27 | 26 | 22 | 21 | 19 | 19 | 16 |
| 27 | 27 | 26 | 22 | 21 | 19 | 19 | 16 |
| 27 | 27 | 26 | 22 | 21 | 19 | 19 | 16 |
| 27 | 27 | 26 | 22 | 21 | 19 | 19 | 16 |
| 26 | 26 | 25 | 21 | 20 | 18 | 18 | 16 |
| 25 | 24 | 23 | 19 | 19 | 17 | 15 | 16 |

(ข)

รูปที่ 37 ที่ระยะ 46 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 109 | 49 | 33 | 14 | 23 | 14 | 6 | 19 |
| 108 | 48 | 32 | 12 | 22 | 13 | 5 | 19 |
| 106 | 46 | 30 | 11 | 20 | 11 | 3 | 19 |
| 106 | 46 | 30 | 11 | 20 | 11 | 3 | 19 |
| 107 | 47 | 31 | 11 | 21 | 12 | 4 | 19 |
| 108 | 48 | 32 | 13 | 22 | 13 | 5 | 19 |
| 110 | 50 | 34 | 14 | 24 | 15 | 7 | 19 |
| 110 | 50 | 35 | 15 | 24 | 16 | 8 | 19 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 30 | 28 | 27 | 26 | 26 | 24 |
| 30 | 30 | 29 | 27 | 26 | 26 | 25 | 24 |
| 29 | 29 | 28 | 26 | 25 | 25 | 24 | 24 |
| 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 23 | 24 |
| 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 22 | 24 |
| 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 24 |
| 27 | 26 | 25 | 23 | 23 | 22 | 21 | 23 |
| 27 | 26 | 25 | 23 | 23 | 22 | 21 | 21 |

(ข)

รูปที่ 38 ที่ระยะ 47 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 168 | 122 | 93 | 35 | 22 | 15 | 22 | 26 |
| 168 | 122 | 93 | 35 | 22 | 15 | 22 | 26 |
| 168 | 122 | 93 | 35 | 22 | 15 | 22 | 26 |
| 168 | 122 | 93 | 35 | 22 | 15 | 22 | 26 |
| 168 | 122 | 93 | 35 | 22 | 15 | 22 | 26 |
| 168 | 122 | 93 | 35 | 22 | 15 | 22 | 26 |
| 168 | 122 | 93 | 35 | 22 | 15 | 22 | 26 |
| 172 | 125 | 96 | 38 | 25 | 16 | 23 | 24 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 26 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 |
| 29 | 29 | 28 | 28 | 29 | 29 | 28 | 26 |
| 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 26 |
| 29 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 25 |
| 23 | 22 | 22 | 21 | 21 | 20 | 20 | 19 |

(ข)

รูปที่ 39 ที่ระยะ 48 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 175 | 166 | 151 | 97 | 67 | 32 | 29 | 16 |
| 175 | 166 | 151 | 97 | 67 | 32 | 29 | 16 |
| 175 | 166 | 151 | 97 | 67 | 32 | 29 | 16 |
| 175 | 166 | 151 | 97 | 67 | 32 | 29 | 16 |
| 175 | 166 | 151 | 97 | 67 | 32 | 29 | 16 |
| 175 | 166 | 151 | 97 | 67 | 32 | 29 | 16 |
| 175 | 166 | 151 | 97 | 67 | 32 | 29 | 16 |
| 177 | 156 | 158 | 103 | 55 | 32 | 29 | 16 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 25 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 25 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 24 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 23 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 22 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 22 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 21 |
| 21 | 21 | 20 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |

(ข)

รูปที่ 40 ที่ระยะ 49 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 166 | 158 | 166 | 156 | 156 | 129 | 72 | 30 |
| 167 | 160 | 166 | 158 | 156 | 131 | 72 | 30 |
| 169 | 161 | 168 | 159 | 158 | 132 | 74 | 32 |
| 170 | 161 | 168 | 161 | 159 | 134 | 75 | 33 |
| 172 | 162 | 169 | 162 | 161 | 135 | 77 | 35 |
| 173 | 164 | 170 | 164 | 162 | 137 | 78 | 36 |
| 173 | 165 | 171 | 163 | 163 | 137 | 79 | 37 |
| 173 | 166 | 173 | 164 | 163 | 136 | 77 | 33 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 29 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 28 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 28 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 27 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 25 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 24 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 21 |

(ข)

รูปที่ 41 ที่ระยะ 50 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 165 | 167 | 167 | 165 | 165 | 159 | 159 | 129 |
| 165 | 167 | 167 | 165 | 165 | 159 | 159 | 129 |
| 165 | 167 | 167 | 165 | 165 | 159 | 159 | 129 |
| 165 | 167 | 167 | 165 | 165 | 159 | 159 | 129 |
| 165 | 167 | 167 | 165 | 165 | 159 | 159 | 129 |
| 165 | 167 | 167 | 165 | 165 | 159 | 159 | 129 |
| 165 | 167 | 167 | 165 | 165 | 159 | 159 | 129 |
| 169 | 170 | 170 | 168 | 168 | 162 | 162 | 128 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 25 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 25 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 21 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 20 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 20 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 19 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 21 |

(ข)

รูปที่ 42 ที่ระยะ 51 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 166 | 169 | 169 | 172 | 172 | 172 | 172 | 162 |
| 166 | 169 | 169 | 172 | 172 | 172 | 172 | 162 |
| 166 | 169 | 169 | 172 | 172 | 172 | 172 | 162 |
| 166 | 169 | 169 | 172 | 172 | 172 | 172 | 162 |
| 166 | 169 | 169 | 172 | 172 | 172 | 172 | 162 |
| 166 | 169 | 169 | 172 | 172 | 172 | 172 | 162 |
| 166 | 169 | 169 | 172 | 172 | 172 | 172 | 162 |
| 166 | 169 | 169 | 172 | 172 | 172 | 172 | 164 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 26 | 27 |
| 19 | 21 | 21 | 22 | 22 | 25 | 25 | 27 |

(ข)

รูปที่ 43 ที่ระยะ 52 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 163 | 153 | 153 | 147 | 147 | 157 | 157 | 160 |
| 163 | 153 | 153 | 147 | 147 | 157 | 157 | 160 |
| 163 | 153 | 153 | 147 | 147 | 157 | 157 | 160 |
| 163 | 153 | 153 | 147 | 147 | 157 | 157 | 160 |
| 163 | 153 | 153 | 147 | 147 | 157 | 157 | 160 |
| 163 | 153 | 153 | 147 | 147 | 157 | 157 | 160 |
| 163 | 153 | 153 | 147 | 147 | 157 | 157 | 160 |
| 163 | 153 | 153 | 147 | 147 | 157 | 157 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 18 |

(ข)

รูปที่ 44 ที่ระยะ 53 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 150 | 154 | 154 | 161 | 161 | 164 | 164 | 161 |
| 150 | 154 | 154 | 161 | 161 | 164 | 164 | 161 |
| 150 | 154 | 154 | 161 | 161 | 164 | 164 | 161 |
| 150 | 154 | 154 | 161 | 161 | 164 | 164 | 161 |
| 150 | 154 | 154 | 161 | 161 | 164 | 164 | 161 |
| 150 | 154 | 154 | 161 | 161 | 164 | 164 | 161 |
| 150 | 154 | 154 | 161 | 161 | 164 | 164 | 161 |
| 157 | 157 | 157 | 158 | 158 | 156 | 156 | 155 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 31 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 31 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 31 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 31 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 31 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 31 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 28 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |

(ข)

รูปที่ 45 ที่ระยะ 54 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 153 |
| 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 153 |
| 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 153 |
| 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 153 |
| 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 153 |
| 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 153 |
| 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 153 |
| 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 153 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |

(ข)

รูปที่ 46 ที่ระยะ 55 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 151 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 154 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |

(ข)

รูปที่ 47 ที่ระยะ 56 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 |
| 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 |
| 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 |
| 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 |
| 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 |
| 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 |
| 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 |
| 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 150 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 26 |

(ข)

รูปที่ 48 ที่ระยะ 57 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 152 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 152 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 152 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 152 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 152 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 152 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 152 |
| 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 149 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 |

(ข)

รูปที่ 49 ที่ระยะ 58 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 |
| 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 |
| 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 |
| 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 |
| 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 |
| 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 |
| 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 148 |
| 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 147 | 151 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 25 | 25 | 24 | 24 | 25 | 25 | 24 | 24 |
| 26 | 26 | 25 | 25 | 26 | 26 | 25 | 25 |
| 27 | 27 | 26 | 26 | 27 | 27 | 26 | 26 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |

(ข)

รูปที่ 50 ที่ระยะ 59 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 146 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 146 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 146 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 146 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 146 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 146 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 146 |
| 146 | 146 | 146 | 146 | 146 | 146 | 146 | 146 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 25 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 25 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 25 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 25 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 25 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 25 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |

(ข)

รูปที่ 51 ที่ระยะ 60 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

2. ค่าความเข้มภายหลังการใช้ตัวกระทำการเฉลี่ย (Mean Operation)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ข)

รูปที่ 1 ที่ระยะ 10 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ข)

รูปที่ 2 ที่ระยะ 11 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 |

(ข)

รูปที่ 3 ที่ระยะ 12 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ข)

รูปที่ 4 ที่ระยะ 13 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |

(ข)

รูปที่ 5 ที่ระยะ 14 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 48 | 48 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 48 | 48 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 48 | 48 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 32 | 32 | 31 | 31 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 32 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 47 | 47 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ข)

รูปที่ 6 ที่ระยะ 15 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 112 | 112 | 112 | 112 | 112 | 111 | 96 | 96 |
| 64 | 64 | 64 | 79 | 79 | 64 | 64 | 64 |
| 48 | 48 | 48 | 63 | 63 | 48 | 48 | 48 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 32 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 47 | 32 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 16 | 16 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 16 | 16 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 80 | 79 | 79 | 64 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| 48 | 48 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ข)

รูปที่ 7 ที่ระยะ 16 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 175 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 175 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 127 | 127 | 112 | 112 | 111 | 111 | 111 | 111 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 191 | 191 | 191 | 191 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 191 | 192 | 192 | 192 | 192 |
| 191 | 191 | 191 | 191 | 192 | 192 | 192 | 192 |
| 191 | 191 | 191 | 191 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 |

(ข)

รูปที่ 8 ที่ระยะ 17 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 191 | 191 | 191 | 191 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 191 | 191 | 191 | 191 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 191 | 191 | 191 | 191 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 191 | 191 | 191 | 191 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |

(ข)

รูปที่ 9 ที่ระยะ 18 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 191 | 191 | 191 | 191 |

(ข)

รูปที่ 10 ที่ระยะ 19 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |

(ข)

รูปที่ 11 ที่ระยะ 20 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 176 | 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 176 | 176 |

(ข)

รูปที่ 12 ที่ระยะ 21 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143 | 143 | 144 | 159 | 159 | 159 | 159 | 159 |
| 160 | 160 | 160 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 175 | 176 | 176 | 175 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 175 | 176 | 176 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 191 | 191 | 191 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 191 | 191 | 191 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |

(ข)

รูปที่ 13 ที่ระยะ 22 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 48 | 48 | 48 | 48 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| 79 | 80 | 80 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| 111 | 111 | 111 | 112 | 127 | 127 | 127 | 127 |
| 143 | 143 | 144 | 159 | 159 | 159 | 159 | 159 |
| 175 | 175 | 175 | 175 | 176 | 176 | 176 | 176 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 48 | 48 | 48 |
| 79 | 79 | 79 | 79 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| 127 | 127 | 127 | 127 | 128 | 128 | 128 | 128 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 175 | 176 | 176 | 176 | 176 | 175 | 175 | 175 |

(ข)

รูปที่ 14 ที่ระยะ 23 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 48 | 48 | 48 | 48 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 64 | 64 | 64 | 64 | 79 | 79 | 79 | 79 |

(ข)

รูปที่ 15 ที่ระยะ 24 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 64 | 64 | 64 | 64 | 79 | 79 | 79 | 79 |

(ข)

รูปที่ 16 ที่ระยะ 25 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 17 ที่ระยะ 26 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 18 ที่ระยะ 27 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 19 ที่ระยะ 28 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

(ข)

รูปที่ 20 ที่ระยะ 29 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 21 ที่ระยะ 30 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 22 ที่ระยะ 31 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 23 ที่ระยะ 32 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 24 ที่ระยะ 33 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 16 | 16 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 16 | 16 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 25 ที่ระยะ 34 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 15 | 15 | 16 | 16 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 26 ที่ระยะ 35 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 16 | 16 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 27 ที่ระยะ 36 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 28 ที่ระยะ 37 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 29 ที่ระยะ 38 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 30 ที่ระยะ 39 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143 | 95 | 48 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 143 | 95 | 48 | 32 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 143 | 95 | 48 | 32 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 143 | 95 | 48 | 32 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 143 | 95 | 48 | 32 | 31 | 31 | 31 | 16 |
| 143 | 95 | 48 | 32 | 31 | 31 | 31 | 16 |
| 143 | 95 | 48 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 143 | 95 | 48 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 31 ที่ระยะ 40 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 160 | 159 | 128 | 96 | 80 | 79 |
| 160 | 160 | 160 | 159 | 128 | 96 | 80 | 79 |
| 160 | 160 | 160 | 159 | 128 | 96 | 80 | 79 |
| 160 | 160 | 160 | 159 | 128 | 96 | 80 | 79 |
| 160 | 160 | 160 | 159 | 128 | 96 | 80 | 79 |
| 160 | 160 | 160 | 159 | 128 | 96 | 80 | 79 |
| 160 | 160 | 160 | 159 | 128 | 96 | 80 | 79 |
| 160 | 160 | 160 | 159 | 143 | 111 | 95 | 79 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 32 ที่ระยะ 41 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 159 |
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 159 |
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 159 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 159 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 159 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 159 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 159 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 159 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 33 ที่ระยะ 42 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 175 | 175 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 34 ที่ระยะ 43 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| 160 | 160 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 35 ที่ระยะ 44 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 36 ที่ระยะ 45 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 37 ที่ระยะ 46 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 38 ที่ระยะ 47 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 39 ที่ระยะ 48 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 40 ที่ระยะ 49 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 41 ที่ระยะ 50 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 159 | 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 42 ที่ระยะ 51 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 16 |
| 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 43 ที่ระยะ 52 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 159 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 44 ที่ระยะ 53 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143 | 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 45 ที่ระยะ 54 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 16 | 16 | 16 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 16 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 46 ที่ระยะ 55 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 31 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 31 |

(ข)

รูปที่ 47 ที่ระยะ 56 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 143 | 143 | 143 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 48 ที่ระยะ 57 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 31 | 31 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 49 ที่ระยะ 58 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 32 | 31 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 50 ที่ระยะ 59 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |

(ก)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 79 | 63 | 48 | 47 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 79 | 63 | 48 | 47 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 79 | 63 | 48 | 47 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 79 | 63 | 48 | 47 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 79 | 63 | 48 | 47 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 79 | 63 | 48 | 47 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 79 | 63 | 48 | 47 | 31 | 16 | 16 | 16 |
| 79 | 63 | 48 | 47 | 31 | 16 | 16 | 16 |

(ข)

รูปที่ 51 ที่ระยะ 60 เซนติเมตร (ก) ภาพซ้าย (ข) ภาพขวา

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายยุทธนา ลิลา เกิดวันที่ 23 พฤษภาคม 2516 อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สาขาอุปกรณ์การแพทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย