

การตรวจสอบภาพถ่ายรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHOTO INSPECTION OF EXTERNAL CRACK IN REINFORCED CONCRETE BUILDING



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

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบภาพถ่ายรอยแตกร้าวภายนอกอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก
โดย	น.ส.ชนมน จารุญนาม
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.รุ่งรวี วัฒนพรพรหม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชชา จองวิวัฒน์สกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.รุ่งรวี วัฒนพรพรหม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ธนพล ญาณวีรศักดิ์)

ชนมน จารุญนาม : การตรวจสอบภาพถ่ายรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก. (PHOTO INSPECTION OF EXTERNAL CRACK IN REINFORCED CONCRETE BUILDING) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วิฑิต ปานสุข, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. รุ่งรวี วัฒนพรพรหม

การตรวจสอบรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในปัจจุบัน วิศวกรหรือผู้เชี่ยวชาญจะทำการตรวจสอบโดยการร่างลักษณะและประเมินขนาดความกว้างรอยแตกร้าวเบื้องต้น ซึ่งจะต้องใช้เวลา กำลังคน และค่าใช้จ่ายสูงในการทำงาน จึงได้มีการนำเทคโนโลยีการบันทึกภาพรอยแตกร้าวนำมาปรับปรุงใช้ในการตรวจสอบอาคาร ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำเอาเทคโนโลยีการบันทึกภาพรอยแตกร้าวเข้ามาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพ และการบันทึกภาพจากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) อีกทั้งยังทำการเปรียบเทียบการตรวจสอบดังกล่าวกับการตรวจสอบที่ใช้ทั่วไปคือการตรวจสอบโดยการประเมินด้วยสายตา และยังหาข้อบกพร่องในเรื่องระยะเวลาการถ่ายภาพที่เหมาะสมอีกด้วย จากผลการศึกษสามารถหาระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสมได้ และจากการเปรียบเทียบการตรวจสอบด้วยวิธีการประเมินด้วยสายตา วิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจาก UAV พบว่าวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจาก UAV เป็นวิธีที่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับความกว้างรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริง เหมาะสมที่จะใช้ในการตรวจสอบภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6070147821 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: photo inspection, crack inspection, crack width

Chanamon Jarroonnarm : PHOTO INSPECTION OF EXTERNAL CRACK IN REINFORCED CONCRETE BUILDING. Advisor: Assoc. Prof. WITHIT PANSUK, Ph.D. Co-advisor: Rungrawee Wattanapornprom, Ph.D.

An inspection of external cracks in reinforced concrete has been inspected by drawing a draft and estimate the width of initial cracks directly. The method would consume time, manpower, and also high in expense. Therefore, a new technology that could be used as a tool to capture all the cracks and measure crack width is utilized. In this research, the photograph shooting technology was applied to the external inspection of reinforced concrete structure's cracks shooting with a camera and Unmanned Aerial Vehicle: UAV. Besides, the results from above inspection would compare to the general visual inspection to determine the most accuracy method. The study was also investigated on the appropriate photo shooting distance for the inspection. The results from the comparison among those three schemes showed that UAV photo inspection provide the smallest error percentage compared to the crack width data in actual concrete cracks. Hence, it can be concluded that UAV inspection would be the most appropriate method for the external inspection.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Civil Engineering

Academic Year: 2019

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาและช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา การให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาและแนวทางการดำเนินงาน อีกทั้งข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ ทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณโรงเรียนนานาชาติชาเตอร์ และนายเมธา เขียรประสิทธิ์ ผู้อำนวยการโรงเรียน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการตรวจสอบอาคาร และขอขอบคุณบริษัท เซ็นโทรวิชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์การทำงานและให้ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้กราบขอบพระคุณมารดา คุณป้า คุณยาย น้องชาย และเพื่อนๆ ของข้าพเจ้า ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้ความอุปการะ และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ชนมน จารุญนาม

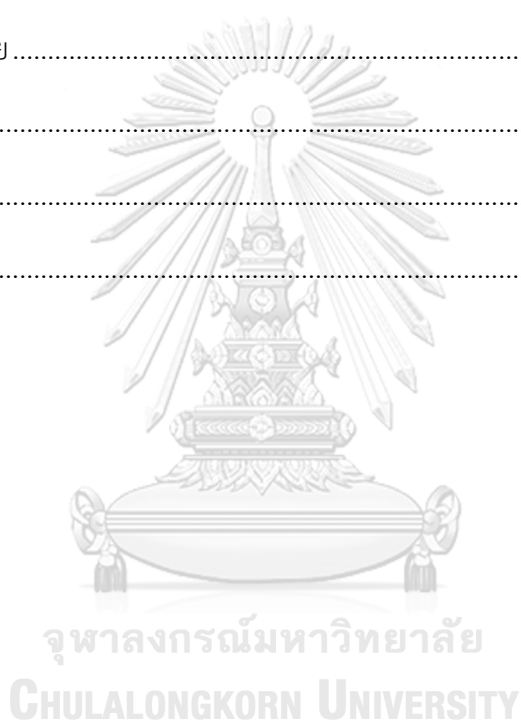


สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	13
1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา	13
1.2 วัตถุประสงค์	14
1.3 ขอบเขตการวิจัย	14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
1.5 แผนการดำเนินงาน	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
2.1 การแตกตัวของคอนกรีตเสริมเหล็ก	16
2.1.1 ขั้นตอนการเกิดการแตกร้าว	16
2.1.2 หน่วยแรงกับการแตกร้าว	18
2.1.3 สาเหตุของการแตกร้าวของคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	19
2.2 ขนาดรอยร้าวของคอนกรีตที่ส่งผลความเสียหายต่อโครงสร้าง.....	21
2.3 ระยะและองศาการถ่ายภาพที่เหมาะสม.....	23

2.3.1	ระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสม.....	23
2.3.2	องศาการถ่ายภาพที่เหมาะสม.....	25
2.4	วิธีการเก็บข้อมูลภาพถ่าย.....	26
2.5	หลักการการต่อภาพของโปรแกรม Pix4D.....	29
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบภาพถ่าย.....	30
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....		32
3.1	การเลือกอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	33
3.2	วิธีการหาระยะและองศาการถ่ายภาพที่เหมาะสม.....	33
3.2.1	เทคนิคในการถ่ายภาพ.....	33
3.2.2	การหาขนาดรอยแตกร้าว.....	34
3.2.3	วิธีการทดลองการหาระยะและองศาการถ่ายภาพที่เหมาะสม.....	36
3.3	การตรวจสอบรอยแตกร้าวและหาความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	36
3.3.1	วิธีการตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยการประเมินด้วยสายตา.....	36
3.3.2	วิธีการตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล.....	37
3.3.3	วิธีการตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยใช้ UAV (Unmanned Aerial Vehicles).....	38
3.4	การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบรอยแตกร้าวและความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้โดยการตรวจสอบด้วยวิธีการต่างๆ.....	40
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....		41
4.1	ระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสม.....	41
4.2	อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่าง.....	47
4.3	ตำแหน่งรอยแตกร้าวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่าง.....	48
4.3	การตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยการประเมินด้วยสายตา.....	51
4.4	การตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยใช้กล้องถ่ายภาพ.....	55

4.5 การตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยใช้ UAV (Unmanned Aerial Vehicles).....	61
4.6 การวัดขนาดรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริง.....	70
4.7 การเปรียบเทียบความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการตรวจสอบ ด้วยวิธีการต่างๆ	71
4.8 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบรอยแตกร้าวและความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากวิธีการต่างๆ.....	73
บทที่ 5 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	81



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก [34]	21
ตารางที่ 2.2 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าว [35].....	22
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลกล้องถ่ายภาพดิจิทัล EOS Rebel SL1 [43].....	37
ตารางที่ 4.1 ผลการหาระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสม.....	45
ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบความกว้างของรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการประเมินด้วยสายตา	51
ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบความกว้างของรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้กล้องถ่ายภาพ	56
ตารางที่ 4.4 การตรวจสอบความกว้างของรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ UAV (Unmanned Aerial Vehicles)	62
ตารางที่ 4.5 การตรวจสอบความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดขึ้นจริง	70
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการตรวจสอบด้วยวิธีการต่างๆ.....	71

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีตที่ปลายทั้งสองด้านไม่ถูกยึด [31].....	16
รูปที่ 2.2 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีตที่ถูกยึดปลายทั้งสองเมื่อแห้งตัวลง จะเกิดแรงดึงขึ้น [31].....	17
รูปที่ 2.3 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีตเมื่อเวลาผ่านไป จะเกิดความคืบขึ้น หน่วยแรงดึงจะลดลง [31]	17
รูปที่ 2.4 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีตเกิดรอยร้าวเมื่อหน่วยแรงดึงสุทธิสูงกว่า กำลังของคอนกรีต [31]	17
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงดึงสุทธิที่เกิดขึ้นและกำลังรับแรงของคอนกรีต [31]	18
รูปที่ 2.6 ชนิดของการแตกร้าวประเภท Non-Structural Crack [31].....	20
รูปที่ 2.7 ความชัดลึกที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ [36].....	23
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างผลของความชัดลึก [36].....	23
รูปที่ 2.9 ระยะห่างในการจับภาพของเลนส์ [36].....	24
รูปที่ 2.10 การเก็บข้อมูลรอบวัตถุ [39].....	26
รูปที่ 2.11 การเก็บข้อมูลขนานระนาบ [39].....	27
รูปที่ 2.12 การเก็บข้อมูลภายในอาคาร [39]	27
รูปที่ 2.13 การเก็บข้อมูลเข้าหาวัตถุหรือลักษณะทางเดิน [39].....	28
รูปที่ 2.14 การเก็บข้อมูลเพื่อทำแผนที่ [39].....	28
รูปที่ 2.15 หลักการเรขาคณิต Epipolar [40].....	29
รูปที่ 2.16 หลักการเรขาคณิต Epipolar ที่เกิดจากภาพมากกว่าสองภาพขึ้นไป [42]	30
รูปที่ 2.17 โครงสร้างคอนกรีตที่ทำการตรวจสอบรอยร้าว [17]	31
รูปที่ 2.18 โครงสร้างคอนกรีตที่ผ่านการใช้เทคนิคการปรับแต่งภาพ [17]	31

รูปที่ 3.1 รูรับแสงขนาดต่างๆ	33
รูปที่ 3.2 ความยาวโฟกัสขนาดต่างๆ	33
รูปที่ 3.3 การถ่ายภาพรอยแตกร้าวและวัตถุอ้างอิง	34
รูปที่ 3.4 การนำภาพถ่ายเข้าโปรแกรม Photoshop.....	35
รูปที่ 3.5 การวัดขนาดของรอยแตกร้าวโดยใช้พิกเซลของภาพถ่าย	35
รูปที่ 3.6 ก้อนคอนกรีตที่เกิดรอยแตกร้าวและสเกลหน่วยเซนติเมตร.....	36
รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล EOS Rebel SL1 [43]	37
รูปที่ 3.8 โดรนรุ่น DJI Inspire 2 [44].....	39
รูปที่ 3.9 ตัวกล้อง Zenmuse X5S Inspire 2 ที่ใช้กับโดรน [44].....	39
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 1 เมตร	41
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 3 เมตร	41
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 5 เมตร	42
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 7 เมตร	42
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 10 เมตร	42
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 12 เมตร	43
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 15 เมตร	43
รูปที่ 4.8 การหาความกว้างของรอยร้าวที่เกิดขึ้นจริงของตัวอย่างก้อนคอนกรีตเสริมเหล็ก	44
รูปที่ 4.9 ความกว้างของรอยร้าวที่เกิดขึ้นจริงของตัวอย่างก้อนคอนกรีตเสริมเหล็ก	44
รูปที่ 4.10 ความกว้างของรอยร้าวสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงของตัวอย่างก้อนคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	45
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนกับระยะการถ่ายภาพ.....	46
รูปที่ 4.12 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	47
รูปที่ 4.13 แผนผังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบและตัวเลขแสดงผนังอาคาร	47
รูปที่ 4.14 ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 1	48

รูปที่ 4.15	ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 2	48
รูปที่ 4.16	ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 3	49
รูปที่ 4.17	ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 4	49
รูปที่ 4.18	ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 5	50
รูปที่ 4.19	ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 6	50
รูปที่ 4.20	ตัวอย่างขนาดความกว้างของรอยร้าว 0.5 1 และ 2 มิลลิเมตรที่ใช้เป็นเกณฑ์	51
รูปที่ 4.21	ตัวอย่างรอยแตกร้าวบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45	58
รูปที่ 4.22	ตัวอย่างการลบแสงและเงาที่ไม่สม่ำเสมอออกบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45	58
รูปที่ 4.23	ตัวอย่างเทคนิคการทำขีดแบ่ง (Thresholding Techniques) บนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45	59
รูปที่ 4.24	ตัวอย่างการวัดพิทเชลรอยแตกร้าวทั้ง 10 จุด บนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45	59
รูปที่ 4.25	ตัวอย่างการวัดพิทเชลจุดอ้างอิงบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45	60
รูปที่ 4.26	ตัวอย่างขนาดพิทเชลรอยแตกร้าวและจุดอ้างอิงบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45 ..	60
รูปที่ 4.27	ตัวอย่างขนาดพิทเชลรอยแตกร้าวและจุดอ้างอิงบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45 ..	60
รูปที่ 4.28	ตัวอย่างผนังอาคารด้านที่ 4 ที่ได้จากการต่อภาพ	68
รูปที่ 4.29	ตัวอย่างการวัดขนาดรอยแตกร้าวทั้ง 10 จุด บนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45	69
รูปที่ 4.30	ตัวอย่างขนาดรอยแตกร้าวหน่วยมิลลิเมตรบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45	70
รูปที่ 4.31	ตัวอย่างขนาดรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริงบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45	71
รูปที่ 4.32	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการตรวจสอบด้วยวิธีการต่างๆ	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา

ความเสียหายของอาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคาร ส่งผลให้อาคารนั้นไม่สามารถใช้งานตามวัตถุประสงค์ได้อย่างปลอดภัย อาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร ทรัพย์สิน และบุคคลได้ ซึ่งเป็นหน้าที่ของวิศวกรผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่จะต้องเป็นผู้วิเคราะห์และประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นว่าจำเป็นจะต้องมีการซ่อมแซมหรือไม่ โดยในการตรวจสอบสามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างในขณะรับน้ำหนัก ผลในด้านการบริการหรือการใช้งาน พิจารณาจากการแอ่นตัว ความกว้างรอยแตกร้าว การเสื่อมสภาพทางเคมี การยึดหดของโครงสร้างหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความคงทน เป็นต้น จากที่กล่าวมาข้างต้นการตรวจสอบที่สังเกตได้ง่ายที่สุดก็คือรอยแตกร้าว ดังนั้นการที่พบว่าผนังอาคารมีรอยแตกร้าวเพียงเล็กน้อย หรือมีอยู่เพียงรอยเดียวก็แสดงให้เห็นถึงความไม่ปลอดภัยและต้องดำเนินการตรวจสอบต่อไป

โดยความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตนั้น มักจะเกิดควบคู่กับรอยแตกร้าวแต่ควรจะตระหนักว่ารอยแตกร้าวไม่จำเป็นต้องซ่อมทั้งหมด ทั้งนี้ในการพิจารณารอยแตกร้าวของโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน วิศวกรหรือผู้เชี่ยวชาญจะทำการตรวจสอบโดยการร่างลักษณะและประเมินขนาดความกว้างรอยแตกร้าวเบื้องต้น ซึ่งจะต้องใช้เวลา กำลังคน และค่าใช้จ่ายสูงในการทำงาน [1, 2] จึงได้มีการนำเทคโนโลยีการบันทึกภาพรอยแตกร้าวโดยใช้กล้องถ่ายภาพนำมาปรับปรุงใช้ในการตรวจสอบมากขึ้น ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบรอยแตกร้าวสะพาน [3, 4] การตรวจสอบรอยแตกร้าวบนผนังอุโมงค์ [5, 6] การตรวจสอบรอยแตกร้าวของท่อระบายน้ำ [7-9] การตรวจสอบรอยแตกร้าวของถนนและทางเท้า [10-13] การตรวจสอบรอยแตกร้าวของแผ่นหินแกรนิต [14] การตรวจสอบการซึมผ่าน [15, 16] และในงานตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเองด้วย [17-22] ซึ่งในปัจจุบันการบันทึกภาพไม่ได้ทำได้จากกล้องถ่ายภาพเท่านั้น แต่ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการบันทึกภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) มาใช้ในงานหลายด้านด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การสำรวจและทำแผนที่ [23, 24] การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ [25-27] งานด้านการเกษตร [28] รวมถึงการตรวจสอบอาคารด้วย [29] ทั้งนี้เพื่อการตรวจสอบที่รวดเร็วขึ้น ลดเวลา [30] ลดกำลังคน และในการตรวจสอบขนาดใหญ่อาจลดค่าใช้จ่ายได้ด้วย ซึ่งในการ

ถ่ายภาพเพื่อรอยแตกร้าวภายนอกของอาคารคอนกรีต ยังมีข้อบกพร่องในส่วนองระยะของภาพถ่าย ถ้าระยะการถ่ายภาพไกลจะไม่สามารถพิจารณารอยแตกร้าวของคอนกรีตได้อย่างแม่นยำ ความคมชัดของรอยแตกที่ได้จากภาพถ่ายลดลง ในขณะที่เดียวกันถ้าระยะการถ่ายภาพใกล้ความ คมชัดของรอยแตกที่ได้จากภาพถ่ายเพิ่มขึ้น แต่จะบันทึกภาพพื้นที่ของสิ่งที่ถ่ายได้ลดลง ดังนั้นถ้ามีรอยแตกร้าว ในบริเวณข้างเคียงก็ไม่สามารถบันทึกมาวิเคราะห์ได้ในครั้งเดียว ทั้งนี้ไม่ว่าระยะห่างจากการถ่ายภาพ จะอยู่ใกล้หรือไกล จะต้องสามารถวิเคราะห์รอยร้าวที่ได้จากภาพถ่ายได้ รวมทั้งสามารถวิเคราะห์ ความเสียหายที่เกิดขึ้นทั้งจากภายนอกอาคารและภายในอาคารได้ด้วยเช่นกัน

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงได้นำเอาเทคโนโลยีการบันทึกภาพรอยแตกร้าวเข้ามาประยุกต์ใช้ ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งการบันทึกภาพด้วยกล้อง ถ่ายภาพ และการบันทึกภาพจากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) อีกทั้งยังทำการเปรียบเทียบการตรวจสอบดังกล่าวกับการตรวจสอบที่ใช้ทั่วไปคือการตรวจสอบ โดยการประเมินด้วยสายตา และยังหาข้อบกพร่องในเรื่องระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสมอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายภาพที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์รอยแตกร้าวภายนอก อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. ตรวจสอบและทำการเปรียบเทียบขนาดความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีต เสริมเหล็กโดยการใช้วิธีการประเมินด้วยสายตา วิธีการตรวจภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ และ วิธีการตรวจสอบภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)
3. ประยุกต์ใช้หลักการการต่อภาพผนังอาคารของวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายที่ได้จากอากาศ ยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการตรวจสอบและหาขนาดความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีต เสริมเหล็กที่ทราบสาเหตุและปัญหาของความเสียหายอยู่แล้ว ทำการทดสอบในเวลากลางวัน มีแสง ส่องสว่างเพียงพอ และทิศทางของแสงตกกระทบที่รอยแตกร้าว เพื่อหลีกเลี่ยงเงาที่เกิดขึ้นให้มากที่สุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายภาพที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์รอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. สามารถตรวจสอบและเปรียบเทียบขนาดความรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการใช้วิธีการประเมินด้วยสายตา วิธีการตรวจภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ได้
3. สามารถประยุกต์ใช้หลักการการถ่ายภาพผนังอาคารของวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ได้

1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ขั้นที่ 1 ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบภาพถ่ายรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ขั้นที่ 2 เขียนโครงร่างงานวิจัยและนำเสนอ
- ขั้นที่ 3 ทำการหาระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์รอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ขั้นที่ 4 เลือกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่างที่เกิดความเสียหายและรับทราบสาเหตุของปัญหา
- ขั้นที่ 5 ทำการตรวจสอบและหาขนาดความรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการใช้วิธีการประเมินด้วยสายตา วิธีการตรวจภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)
- ขั้นที่ 6 ทำการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบและขนาดความรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการใช้วิธีการประเมินด้วยสายตา วิธีการตรวจภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)
- ขั้นที่ 7 วิเคราะห์และสรุปงานวิจัย
- ขั้นที่ 8 นำเสนอวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

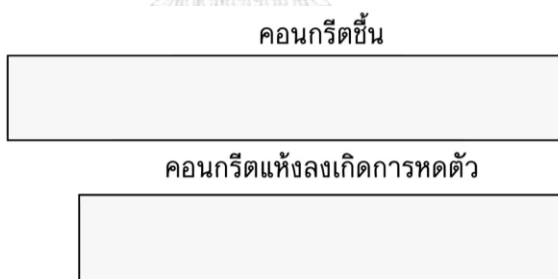
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแตกร้าวของคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.1.1 ขั้นตอนการเกิดการแตกร้าว

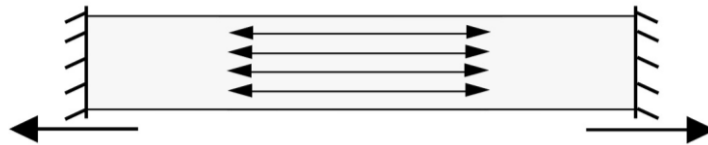
เพื่อแสดงถึงขั้นตอนของการแตกร้าวอย่างชัดเจนจึงใช้แบบจำลองของแท่งคอนกรีตมาเป็นตัวอย่างในการพิจารณา ดังนี้

1. พิจารณาแท่งคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวซึ่งยังมีความชื้นอยู่และปลายทั้งสองด้านของแท่งคอนกรีตถูกปล่อยไว้อย่างอิสระไม่ยึดติดกับวัตถุอื่นใด ต่อมาเมื่อแท่งคอนกรีตแข็งตัวและแห้งลงก็จะเกิดการหดตัวอย่างอิสระโดยไม่ถูกรั้งที่ปลายทั้งสองด้านจึงไม่เกิดหน่วยแรง (Stress) ใดๆในเนื้อคอนกรีต ในสภาวะเช่นนี้จะไม่เกิดการแตกร้าวขึ้น ดังรูปที่ 2.1



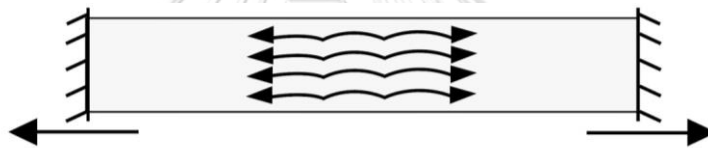
รูปที่ 2.1 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีตที่ปลายทั้งสองด้านไม่ถูกยึด [31]

2. เมื่อคอนกรีตแห้งตัวจะทำให้เกิดหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ขึ้นในเนื้อคอนกรีต ลักษณะเช่นนี้เหมือนกับที่เราปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวและเกิดการหดตัวโดยอิสระ ดังรูปที่ 2.2



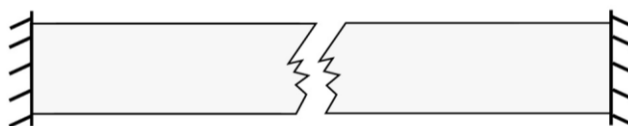
รูปที่ 2.2 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีตที่ถูกยึดปลายทั้งสองเมื่อแห้งตัวลง จะเกิดแรงดึงขึ้น [31]

3. ในขณะเดียวกันก็ดึงแท่งคอนกรีตนี้ให้ยาวออกไปเท่าเดิมแต่เมื่อเวลาผ่านไปคอนกรีตจะเกิดความคืบ (Creep) ขึ้นซึ่งทำให้หน่วยแรงดึงในคอนกรีตลดลง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีตเมื่อเวลาผ่านไป จะเกิดความคืบขึ้น หน่วยแรงดึงจะลดลง [31]

4. คอนกรีตสดหรือคอนกรีตที่แห้งตัวแล้วถ้าหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ที่เกิดขึ้นสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (Tensile Strength) คอนกรีตจะเกิดการแตกร้าวและหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตจะหมดไป ดังรูปที่ 2.4

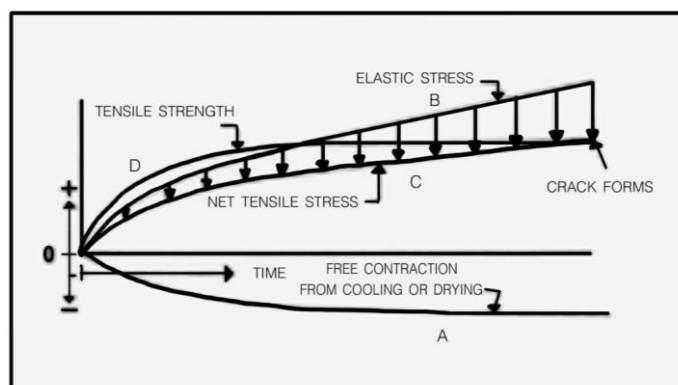


รูปที่ 2.4 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีตเกิดรอยร้าวเมื่อหน่วยแรงดึงสุทธิสูงกว่ากำลังของคอนกรีต [31]

2.1.2 หน่วยแรงกับการแตกร้าว

การแตกร้าวเป็นผลเกิดจากการกระทำของหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตซึ่งสามารถแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 2.5 ที่ชี้ให้เห็นถึงการกระทำของหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตดังนี้ให้แกนนอนเป็นแกนของเวลาส่วนแกนตั้งจะเป็นแกนของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหน่วยแรง (Stress) กำลัง (Strength) และความคืบ (Creep) เมื่อเวลาผ่านไปคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลงก็จะเกิดการหดตัวของเส้นโค้ง A แต่ถ้าปลายทั้งสองของคอนกรีตถูกยึดไว้ก็จะเกิดหน่วยแรงขึ้นในแท่งคอนกรีตตั้งเส้นโค้ง B ขณะเดียวกันความคืบ (Creep) ในคอนกรีตก็จะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันซึ่งจะทำให้หน่วยแรงดึงในคอนกรีตลดลงตั้งเส้นโค้ง C เป็นผลให้หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นน้อยกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตซึ่งแทนด้วยเส้นโค้ง D เมื่อไรก็ตามที่หน่วยแรงดึง C มีค่าเท่ากับกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตคอนกรีตก็จะแตก แต่ถ้าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่ากำลังรับแรงดึงการแตกร้าวก็จะไม่เกิดขึ้น

จากที่กล่าวมาพอจะสรุปได้ว่าการแตกร้าวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ การหดตัวของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นลง คอนกรีตถูกยึดไว้ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้อิสระ ความยืดหยุ่นของคอนกรีต (Elasticity) ความคืบของคอนกรีต (Creep) และ กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (Tensile Strength)



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงดึงสุทธิที่เกิดขึ้นและกำลังรับแรงของคอนกรีต [31]

2.1.3 สาเหตุของการแตกร้าวของคอนกรีตเสริมเหล็ก

การแตกร้าวของคอนกรีตเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการ ดังนี้

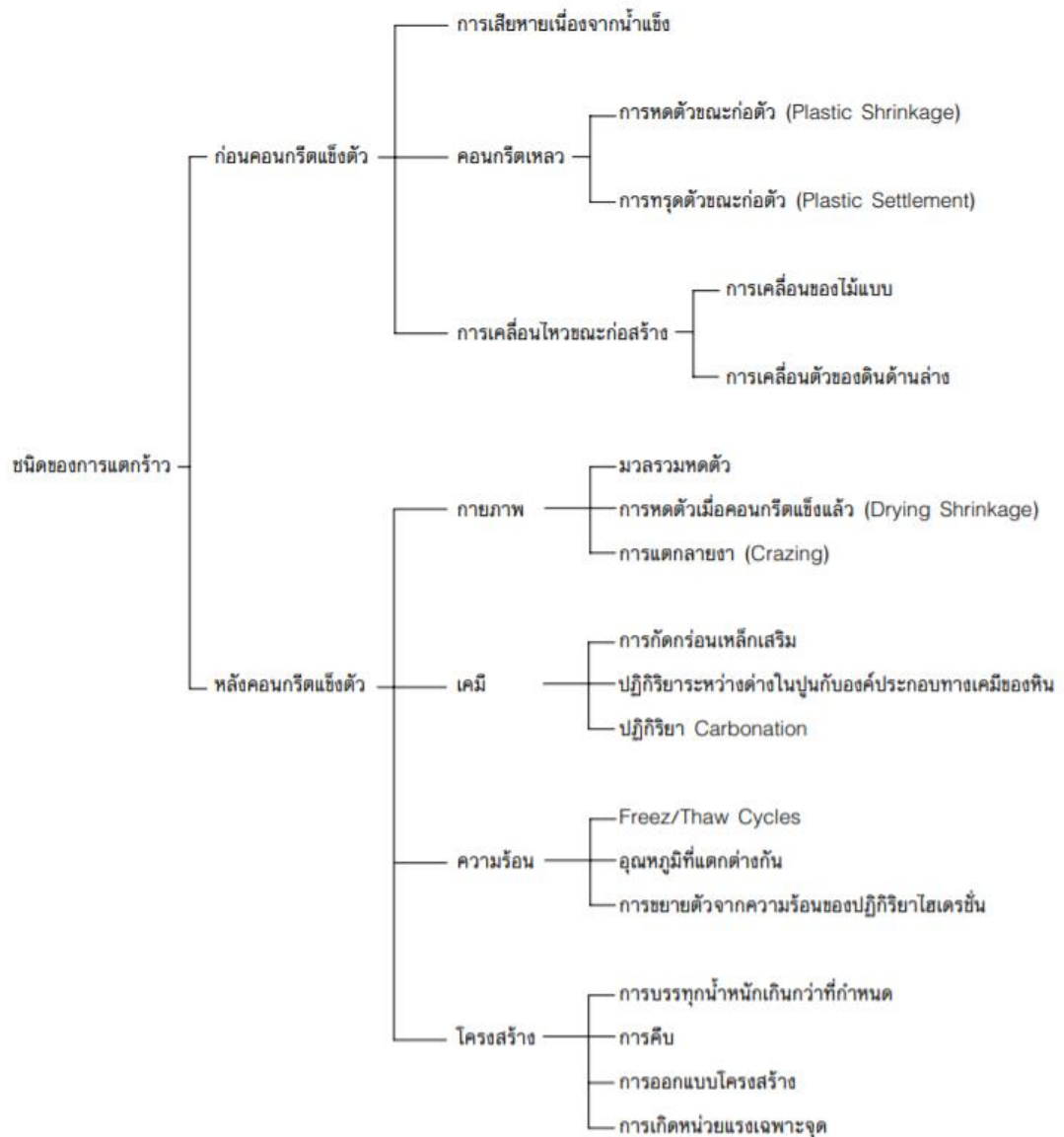
1. Structural Crack คือ การแตกร้าวของคอนกรีตในการก่อสร้างซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุหลัก 3 ประการต่อไปนี้

(1) การแตกร้าวเนื่องจากการออกแบบไม่ถูกต้อง เช่น การคำนวณออกแบบ หรือการให้รายละเอียดการเสริมเหล็กไม่ถูกต้อง

(2) การแตกร้าว เนื่องจากการใช้วัสดุก่อสร้างไม่มีคุณภาพ เช่น ใช้หินผุ หินมีดินปน ทรายสกปรก น้ำสกปรก หรือ ทำการผสมคอนกรีตไม่ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง รวมทั้งการใช้เหล็กเสริมที่เป็นสนิมมาก

(3) การแตกร้าวเนื่องจากการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน เช่น การผสม การขนส่ง การเทลงแบบ การหล่อคอนกรีตไม่ดีพอ การถอดค้ำยันก่อนกำหนด ขาดการบ่มที่ดีพอ หรือ แบบคอนกรีตไม่โค้งงอ

2. Non-Structural Crack คือ การแตกร้าวของคอนกรีตที่เกิดจากตัวเนื้อคอนกรีต อาจมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น การหดตัวของคอนกรีต การทรุดตัวของคอนกรีต ความร้อน เป็นต้น ซึ่งการแตกร้าวนี้สามารถจำแนกตามเวลาที่เกิดขึ้นได้ โดยเป็นการแตกร้าวก่อนคอนกรีตแข็งตัว และการแตกร้าวหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว สรุปได้ดังรูปที่ 2.6 [31]



รูปที่ 2.6 ชนิดของการแตกร้าวประเภท Non-Structural Crack [31]

2.2 ขนาดรอยร้าวของคอนกรีตที่ส่งผลความเสียหายต่อโครงสร้าง

เมื่ออาคารมีรอยแตกร้าวในลักษณะที่อาจมีสาเหตุจากปัญหาเรื่องความมั่นคงของโครงสร้าง การประเมินขนาดของรอยร้าวเป็นมาตรการที่ใช้บ่งชี้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงหรือไม่

ประเภทความกว้างจากรอยแตกร้าว สามารถแบ่งได้ดังนี้

- (1) Thin Crack - มีความกว้างน้อยกว่า 1 มม.
- (2) Medium Crack - ความกว้าง 1 ถึง 2 มม.
- (3) Wide Crack - ความกว้างมากกว่า 2 มม.
- (4) Crazing - การเกิดรอยแตกที่บริเวณผิวของวัสดุเกิดขึ้นอย่างใกล้ชิดเรียกว่า crazing [32]

ลักษณะรอยร้าวในอาคารเช่น ความกว้างจำนวนตำแหน่งและทิศทางของรอยร้าวเป็นตัวบ่งชี้ว่าอาคารมีความเสียหายหรือไม่และมีความเสียหายอย่างไรการประเมินความเสียหายของอาคารจำเป็นต้องใช้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญ อย่างไรก็ตามความกว้างของรอยร้าวเป็นตัวบ่งชี้สำคัญที่ทำให้ทราบถึงสภาพความเสียหายของอาคาร [33]

ตารางที่ 2.1 ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมให้ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก [34]

สถานะที่คอนกรีตสัมผัสกับ สิ่งแวดล้อม	ความกว้างของรอยแตกที่ยอมให้เกิดขึ้นได้	
	(นิ้ว)	(มม.)
อากาศแห้ง , มีการหุ้มป้องกัน	0.016	0.41
อากาศชื้น , ในดิน	0.012	0.30
สัมผัสกับสารเคมีสำหรับละลาย น้ำแข็ง	0.007	0.18
น้ำทะเล , ละอองน้ำทะเล , เปียก สลับแห้ง	0.006	0.15
โครงสร้างเก็บกักน้ำ	0.004	0.10

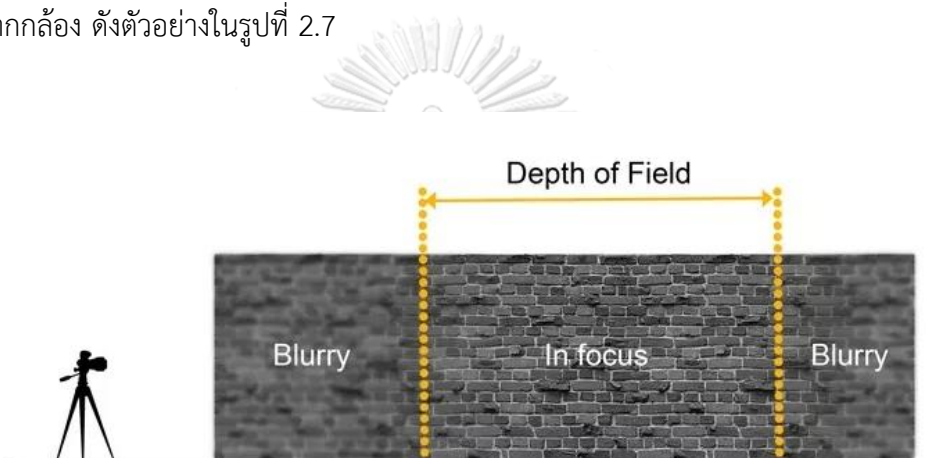
ตารางที่ 2.2 สภาพความเสียหายของอาคารจำแนกตามความกว้างของรอยร้าว [35]

สภาพความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย	ความกว้างของรอยร้าว
ไม่เสียหาย	รอยร้าวขนาดเส้นผม (Hairline Cracks)	< 0.1 มม.
น้อยมาก	รอยร้าวขนาดเล็ก สังเกตเห็นได้ยาก หากไม่ตรวจสอบอย่างดี รอยร้าวนี้ไม่จำเป็นต้องแก้ไข และสามารถปกปิดได้เมื่อมีการทาสี	< 1 มม.
เล็กน้อย	มีรอยร้าวที่สามารถสังเกตเห็นได้และอาจจำเป็นต้องตกแต่งโดยการยาปูน	< 5 มม.
ปานกลาง	มีรอยร้าวที่จำเป็นต้องแก้ไขโดยกระเทาะรอยร้าวออกและยาปูนใหม่ บางครั้งอาจจะต้องรื้อผนังบางส่วนออก	5 - 15 มม. หรือมีหลายรอยร้าว กว้างเกิน 3 มม.
ร้ายแรง	มีรอยร้าวขนาดใหญ่หลายรอยที่ต้องแก้ไขโดยการทุบผนังทิ้งบางส่วนแล้วสร้างใหม่ สามารถสังเกตเห็นได้จากพื้นลาดเอียงผนังเอียงไม่ได้ตั้งท่อแตกและคานอาจสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนัก	15-20 มม. และ ขึ้นอยู่กับจำนวนรอยร้าว
ร้ายแรงมาก	มีรอยร้าวที่ต้องแก้ไขโดยด่วน โดยอาจต้องรื้อสร้างใหม่ ทั้งหมดหรือบางส่วน เนื่องจากความสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักและโครงสร้างไม่มั่นคงปลอดภัย	> 25 มม. และขึ้นอยู่กับ กับ จำนวนรอยร้าว

2.3 ระยะและองศาการถ่ายภาพที่เหมาะสม

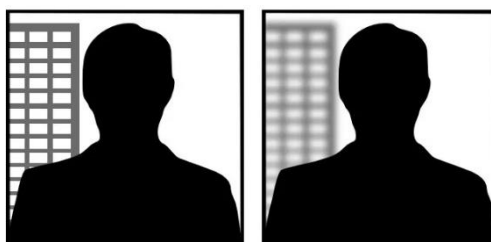
2.3.1 ระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสม

ระยะของการถ่ายภาพที่เหมาะสม โดยเฉพาะการถ่ายภาพอาคารหรือสถาปัตยกรรมต่างๆ ต้องคำนึงถึงหลักความชัดลึก (DOF) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการถ่ายภาพ หมายถึงโซนด้านหน้าของกล้องซึ่งอยู่ในโฟกัสขณะที่สิ่งที่ปรากฏก่อนและหลังโซนนี้จะปรากฏเป็นภาพนิ่ง ขนาดและตำแหน่งของโซนนี้สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยต่างๆ เช่น รูรับแสง ความยาวโฟกัสของเลนส์ และระยะห่างของวัตถุจากกล้อง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความชัดลึกที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ [36]

สำหรับผลของการใช้ความชัดลึกของเขตข้อมูล จากตัวอย่างรูปที่ 2.8 ภาพมีความชัดลึกและภาพพื้นหลังจะเบลอ นี่เป็นเทคนิคทั่วไปในการถ่ายภาพบุคคลเพื่อแยกแยะวัตถุ การถ่ายภาพแบบนี้มีประโยชน์ในการถ่ายภาพสถาปัตยกรรม เช่น รอยแตกร้าวของอาคาร โดยสามารถบรรลุผลกระทบนี้โดยใช้ช่องรับแสงขนาดใหญ่ (จำนวนต่ำ)



Example effect from a shallow depth of field

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างผลของความชัดลึก [36]

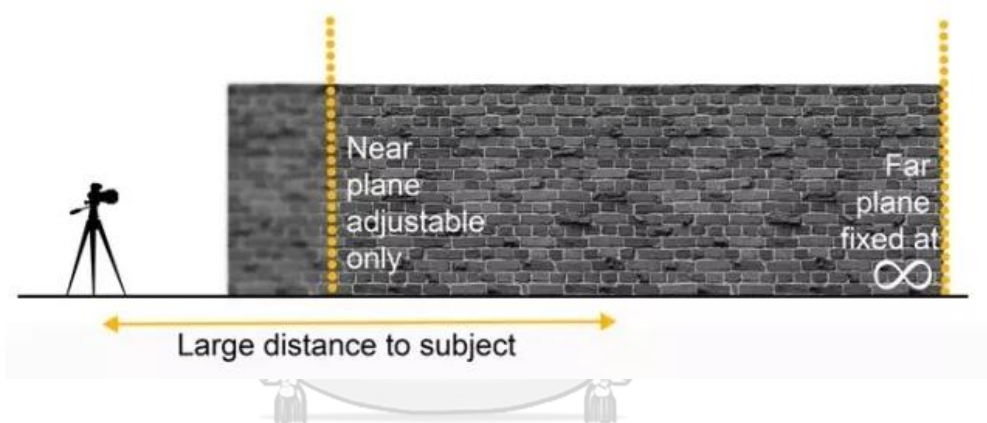
สิ่งที่ต้องพิจารณาที่จะสามารถส่งผลต่อความชัดลึกของภาพถ่ายอาคารประกอบด้วย 3 สิ่ง คือ

1. รูรับแสง

รูรับแสงเป็นตัวควบคุมที่สำคัญของความลึกของเขตข้อมูล รูรับแสงขนาดใหญ่ (ตัวเลขน้อย) ส่งผลให้ความลึกตื้น (ดีสำหรับรายละเอียด) ในขณะที่รูรับแสงขนาดเล็ก (ตัวเลขเยอะ) ส่งผลให้ความลึกของช่องกว้างขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับการถ่ายภาพสถาปัตยกรรม และอาคารต่างๆ

2. ระยะห่าง

เนื่องจากระยะห่างจากกล้องไปยังวัตถุจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับความชัดลึกของสนาม ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเรื่องยากที่จะทำให้ภาพพื้นหลังเบลอด้วยวัตถุขนาดใหญ่ เช่น การถ่ายภาพสถาปัตยกรรม หรืออาคารต่างๆ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ระยะห่างในการจับภาพของเลนส์ [36]

CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ความยาวโฟกัส

ความยาวโฟกัสหมายถึงระยะห่างระหว่างเซนเซอร์รับภาพกับจุดโฟกัส ซึ่งความยาวโฟกัสที่เล็กกว่าของเลนส์มีความลึกมากขึ้น ดังนั้นการใช้เลนส์มุมกว้างจะเป็นการเพิ่มความชัดลึก ในขณะที่เลนส์ซูมจะลดลง [36]

Cho และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์การส่องสว่างและระยะถ่ายภาพจากการบันทึกภาพรอยร้าวในตัวอย่างคอนกรีต โดยทำการบันทึกภาพรอยแตกร้าวในตัวอย่างคอนกรีตที่แสงส่องสว่างในเวลา กลางวันที่ 52,000 ลักซ์ และการส่องสว่างกลางคืนที่ 13 ลักซ์ ทำการบันทึกภาพโดยเพิ่มระยะการถ่ายภาพทุกๆ 5 เมตร จนถึง 100 เมตร พบว่าในระยะการถ่ายภาพที่มากขึ้นต้องใช้อุปกรณ์ส่องสว่างของแสงที่มากขึ้นด้วย เพื่อให้ได้ภาพรอยแตกร้าวที่มีความคมชัดสูง [37]

2.3.2 องค์การถ่ายภาพที่เหมาะสม

ตำแหน่งกล้องและมุมกล้องคือองค์ประกอบสองประการที่มีผลอย่างมากต่อภาพถ่าย เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อภาพอย่างเห็นได้ชัด การใช้ตำแหน่งกล้องและมุมกล้องที่หลากหลายจะทำให้มุมมองที่แตกต่างกันในภาพถ่าย

1. ตำแหน่งกล้อง: ระดับที่ถือกล้องถ่าย

ตำแหน่งกล้อง หมายถึง ระดับความสูงในการถือกล้องถ่ายที่สัมพันธ์กับพื้นดิน การถือกล้องในตำแหน่งปกติที่ระดับสายตาเรียกว่า ระดับสายตา ส่วนการถือกล้องในตำแหน่งที่สูงกว่าระดับสายตาเรียกว่า ระดับสูง และการถือกล้องในระดับต่ำกว่าสายตาเรียกว่า ระดับต่ำ

ระดับสูง ถือกล้องในระดับสูงโดยยกแขนขึ้นเหนือกว่าระดับสายตา หรือ ยืนอยู่ในตำแหน่งที่สูงขึ้นโดยใช้วิธียืนบนстулหรือแท่นวางเท้า ตำแหน่งถ่ายแบบนี้จะช่วยเพิ่มความลึกให้กับพื้นหลัง

ระดับสายตา คือตำแหน่งถ่ายภาพมาตรฐานในระดับความสูงที่มองผ่านช่องมองภาพขณะยืนถ่ายภาพ ดังนั้น ภาพที่ปรากฏจะเป็นการถ่ายทอดสิ่งที่เห็น และนำเสนอสภาพของตัวแบบที่กำลังถ่ายได้อย่างสมจริงที่สุด

ระดับต่ำ คือการถือกล้องในตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสายตาของคุณ

2. มุมกล้อง: ทิศทางที่ตั้งกล้องกับวัตถุที่ถ่าย

มุมกล้อง หมายถึง ระดับองศาที่เล็งกล้องไปที่ตัวแบบ การเล็งกล้องในระดับแนวนอนไปทางตัวแบบเรียกว่า มุมระดับสายตา การเล็งกล้องโดยหันหน้ากล้องลงเรียกว่า มุมสูง และการเล็งกล้องโดยหันหน้ากล้องขึ้นเรียกว่า มุมต่ำ

มุมสูง คือ มุมที่เอียงกล้องลงต่ำไปทางตัวแบบ ซึ่งเรียกอีกอย่างว่ามุมมองนกหรือเบิร์ดอายวิว เนื่องจากวิธีนี้สามารถเก็บภาพของตัวแบบได้ทั้งหมด ภาพที่ปรากฏจึงแสดงรายละเอียดและถ่ายทอดบรรยากาศโดยรอบที่เห็นได้อย่างชัดเจน

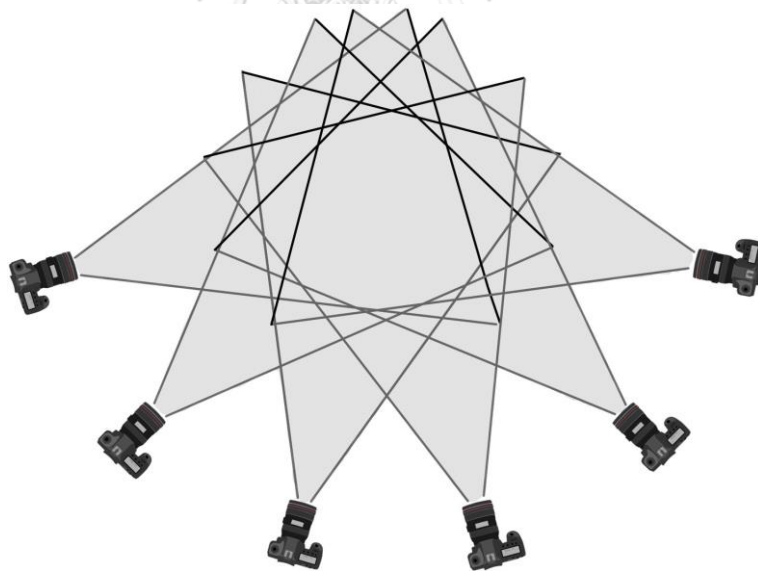
มุมระดับสายตา เป็นวิธีถ่ายภาพมาตรฐานที่ช่างภาพถือกล้องในระดับความสูงเท่ากับระดับสายตาแบบตรงๆ ขณะที่ถ่ายภาพในระดับสายตาเดียวกันกับตัวแบบ ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกับสายตาของมนุษย์ทั่วไป ภาพที่ได้จะดูเป็นธรรมชาติและคุ้นเคย และสื่อถึงความรู้สึกที่มั่นคง

มุมต่ำ คือวิธีที่ยกปากเลนส์กล้องขึ้นด้านบนไปที่ตัวแบบ การถ่ายภาพตัวแบบที่มีความสูงหรืออยู่สูงจากมุมต่ำจะช่วยสร้างมิติความลึก [38]

2.4 วิธีการเก็บข้อมูลภาพถ่าย

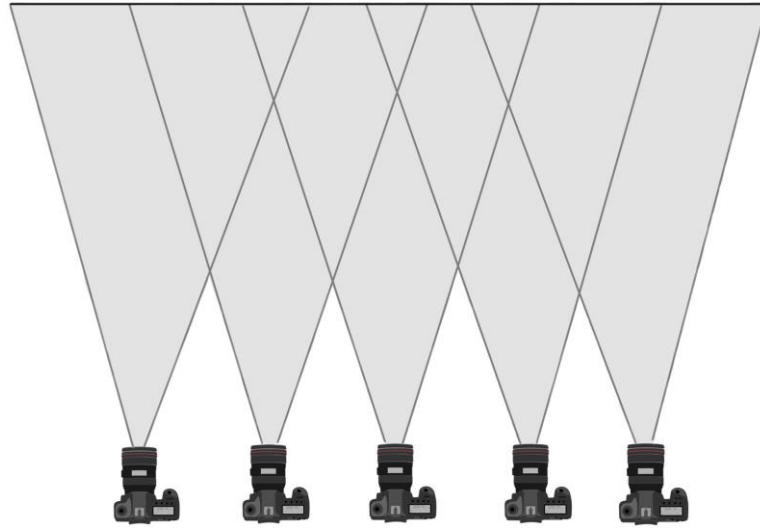
การเก็บข้อมูลภาพถ่ายมีทั้งหมด 5 วิธีหลัก

1. รอบวัตถุ หมายถึง การถ่ายโดยเคลื่อนย้ายกล้องถ่ายภาพไปรอบๆวัตถุ โดยมีจุดโฟกัสที่จุดเดิม ดังรูปที่ 2.10



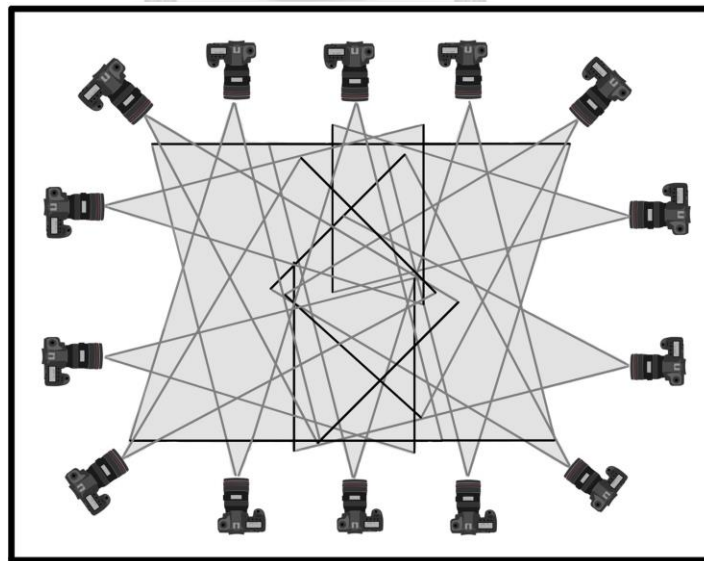
รูปที่ 2.10 การเก็บข้อมูลรอบวัตถุ [39]

2. ขนานระนาบ หมายถึง การถ่ายโดยเคลื่อนย้ายกล้องถ่ายภาพขนานระนาบ และมีพื้นที่ถ่ายซ้อนพื้นที่เดิมมากกว่าเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 2.11



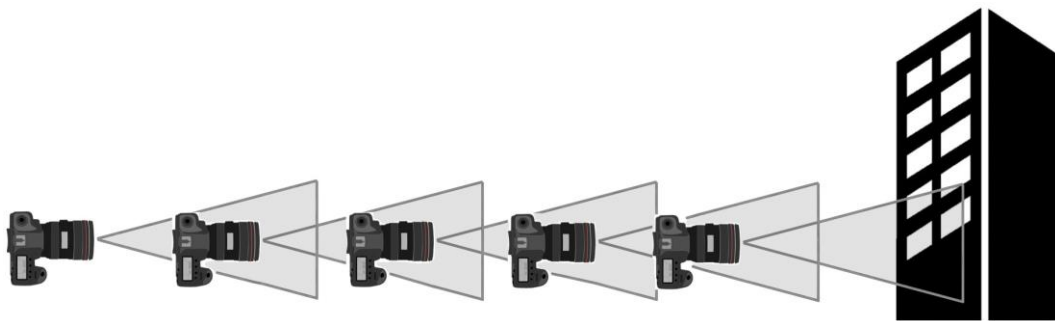
รูปที่ 2.11 การเก็บข้อมูลขนานระนาบ [39]

3. ภายในอาคาร หมายถึง การถ่ายโดยเคลื่อนย้ายกล้องถ่ายภาพรอบๆ ผนังอาคาร และหันหน้ากล้องไปบริเวณกลางอาคาร ดังรูปที่ 2.12



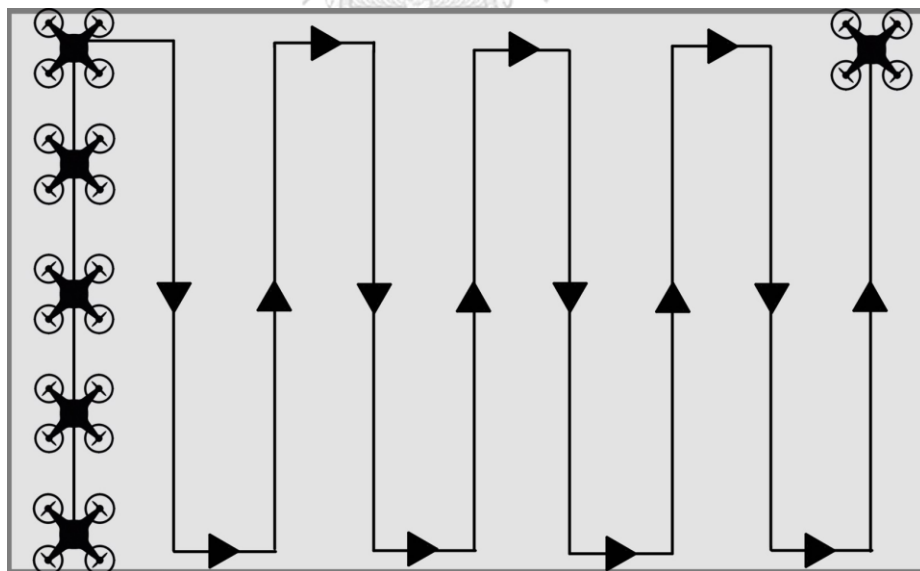
รูปที่ 2.12 การเก็บข้อมูลภายในอาคาร [39]

4. เข้าหาวัตถุหรือลักษณะทางเดิน หมายถึง การถ่ายโดยเคลื่อนย้ายกล้องถ่ายภาพเข้าหาวัตถุหรือออกห่างวัตถุเป็นลักษณะเส้นตรง ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การเก็บข้อมูลเข้าหาวัตถุหรือลักษณะทางเดิน [39]

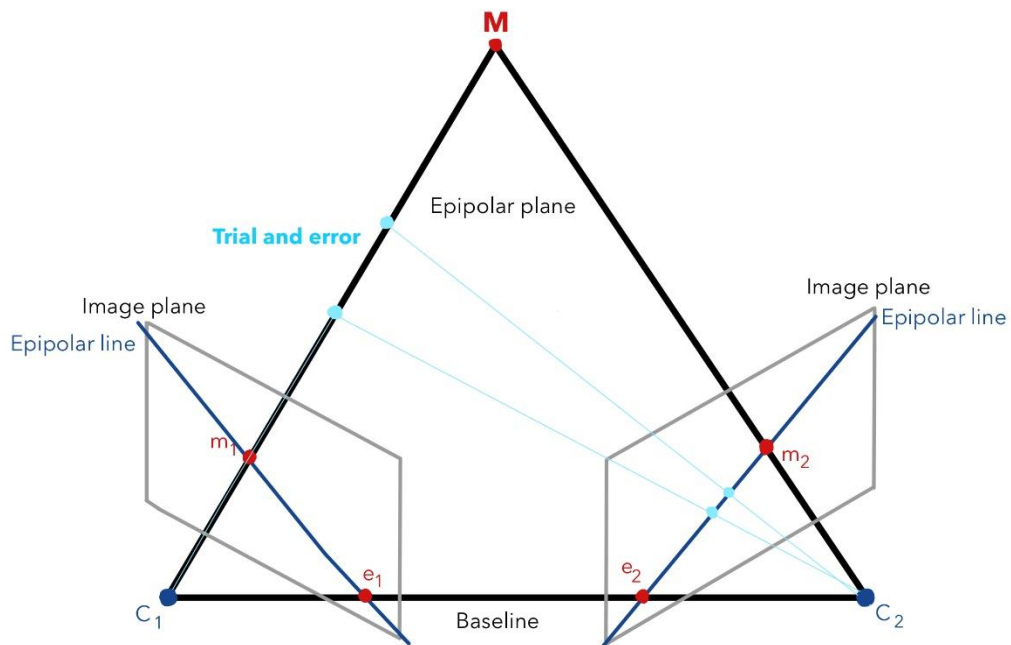
5. แผนที่ หมายถึง การถ่ายจากซ้ายไปขวาหรือขวาไปซ้ายจนเต็มพื้นที่ที่ต้องการทำแผนที่ ดังรูปที่ 2.14



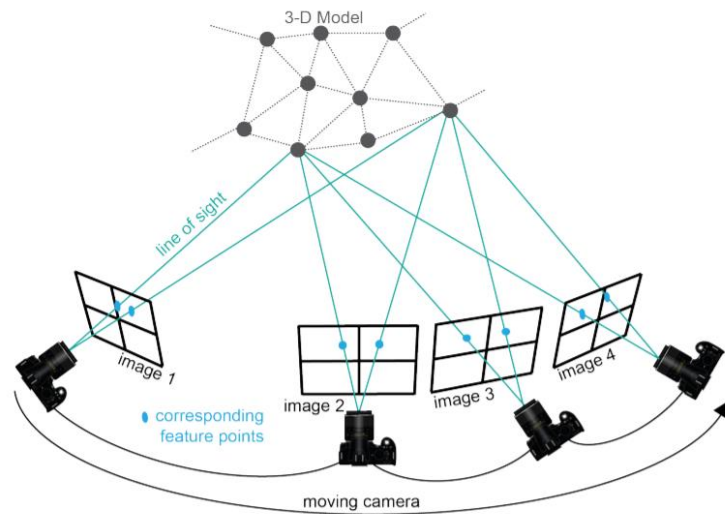
รูปที่ 2.14 การเก็บข้อมูลเพื่อทำแผนที่ [39]

2.5 หลักการการต่อภาพของโปรแกรม Pix4D

การตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยใช้ UAV (Unmanned Aerial Vehicles) ในการบันทึกภาพ ทำให้ได้ภาพถ่ายจำนวนมาก จึงนำภาพที่ได้มาต่อภาพเป็นเป็นผนังอาคารแต่ละด้านผ่านโปรแกรม Pix4D เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบต่อไป และในส่วนหลักการการต่อภาพมาจากหลักการเรขาคณิต Epipolar [40] แสดงในรูปที่ 2.15 ในการบันทึกภาพวัตถุใดวัตถุหนึ่ง (M) จะได้พิกัดของวัตถุในภาพสองภาพ (m_1, m_2) และแนวเส้นตรงการเคลื่อนของกล้อง (Baseline) เมื่อ Baseline ตัดกับระนาบของภาพจะเกิดจุดตัด Epipole ในระนาบภาพทั้งสองภาพ (e_1, e_2) ทำให้เกิดระนาบ Epipolar (Epipolar Plane) และเมื่อลากเส้นตรงที่ตัดกันระหว่าง Epipolar Plane กับระนาบของภาพผ่านจุด Epipole จะได้ Epipolar line จากนั้นทำการ Trial and error จะทำให้ทราบพิกัดของกล้องสองกล้อง (C_1, C_2) ทั้งนี้เพื่อให้ได้จุดตัดพิกัดของวัตถุที่เกิดขึ้นจริง และในหลักการนี้สามารถเกิดจากภาพได้มากกว่าสองภาพขึ้นไป แสดงในรูป 2.16 จากนั้นทำการปรับแก้ภาพที่ได้ให้สมบูรณ์โดยการช่วยโปรแกรมระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพให้ถูกต้องหรือลบภาพที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนออก [41]



รูปที่ 2.15 หลักการเรขาคณิต Epipolar [40]



รูปที่ 2.16 หลักการเรขาคณิต Epipolar ที่เกิดจากภาพมากกว่าสองภาพขึ้นไป [42]

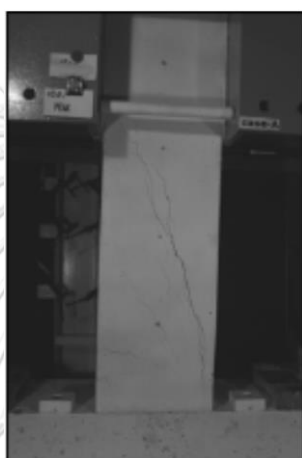
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบภาพถ่าย

การตรวจสอบภาพถ่ายได้ถูกนำมาศึกษาและประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีตมากขึ้น ดังนี้

Yamaguchi และ Hashimoto ได้ทำการตรวจสอบรอยแตกร้าวและการซึมผ่านบนพื้นผิวคอนกรีต เนื่องจากวิธีการตรวจสอบรอยแตกร้าวแบบดั้งเดิมนั้น ดำเนินการโดยผู้ตรวจสอบที่มีประสบการณ์ซึ่งวาดรูปแบบรอยแตกด้วยตนเอง ซึ่งวิธีการตรวจสอบดังกล่าวมีราคาแพงและใช้เวลาในการตรวจสอบที่มาก ดังนั้นจึงนำเสนอเทคนิคการตรวจสอบรอยแตกอัตโนมัติที่ใช้การประมวลผลภาพ ทำการถ่ายภาพรอยแตกร้าวและนำมาวิเคราะห์โดยใช้เรื่องฟิสิกส์เข้ามาใช้ ผลการศึกษาพบว่าความเข้มสีของฟิสิกส์มีความสำคัญต่อความลึกของรอยแตกร้าวของคอนกรีตมาก เนื่องจากบริเวณที่มีความเข้มสีมากแสดงถึงรอยแตกร้าวที่มีความลึกมากกว่าความเข้มสีที่อ่อน [20]

Fujita และคณะ ได้นำเสนอสองกระบวนการที่เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบภาพถ่ายรอยแตกร้าวบนโครงสร้างคอนกรีต กระบวนการแรกทำการลบแสงและเงาที่ไม่สม่ำเสมอออกจากภาพถ่าย กระบวนการที่สองทำการเน้นความเข้มของเส้นรอยแตกร้าวในภาพถ่ายให้ชัดเจนขึ้น ผลที่ได้คือทั้งสองกระบวนการทำให้เห็นภาพรอยแตกร้าวชัดเจนขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบ [19]

Ito และคณะ ได้นำเสนอการตรวจสอบและวิเคราะห์ขนาดรอยแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีต โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพจากฟิสิกเซล ซึ่งได้นำเอาเทคนิคการปรับแต่งภาพมาใช้ โดยทำการลบแสงและเงาที่ไม่สม่ำเสมอในภาพออกดังรูปที่ 2.19 (ก) จากนั้นใช้เทคนิคการทำขีดแบ่ง (Thresholding Techniques) เป็นการพิจารณาว่าจุดภาพใดควรเป็นจุดขาวหรือจุดดำ ซึ่งทำได้โดยการเปรียบเทียบระหว่างจุดภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าความเข้มแสงค่าหนึ่งที่ใช้แยกแยะประเภทของจุดภาพดังรูปที่ 2.19 (ข) และทำการวัดขนาดของฟิสิกเซล วิธีการที่เสนอนั้นสามารถวัดขนาดรอยแตกร้าวได้แม่นยำและเพิ่มประสิทธิภาพของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการตรวจสอบได้มากขึ้น [17]



รูปที่ 2.17 โครงสร้างคอนกรีตที่ทำการตรวจสอบรอยร้าว [17]



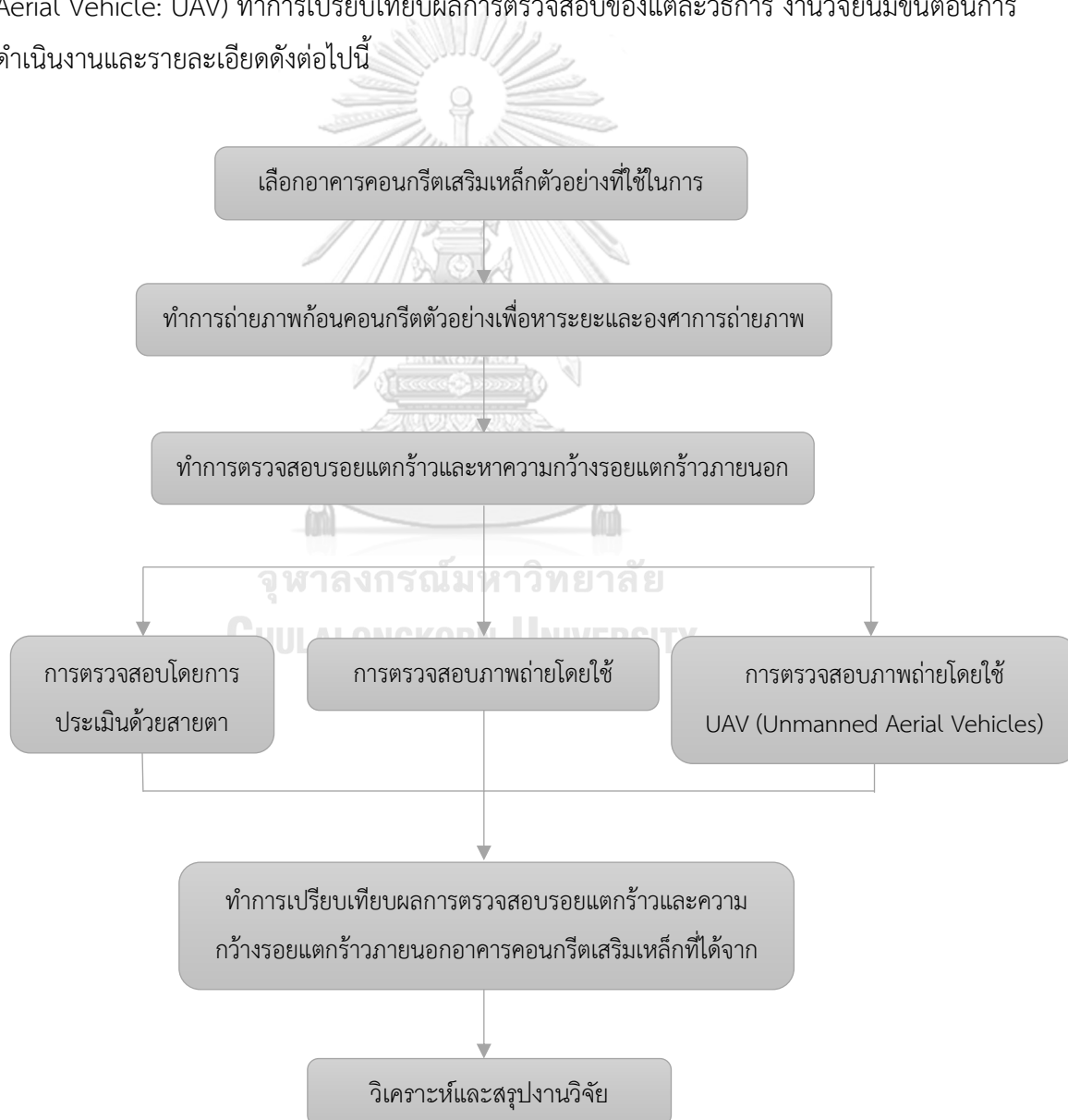
(ก) ลบแสงและเงาที่ไม่สม่ำเสมอออก (ข) เทคนิคการทำขีดแบ่ง (Thresholding Techniques)

รูปที่ 2.18 โครงสร้างคอนกรีตที่ผ่านการใช้เทคนิคการปรับแต่งภาพ [17]

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการหาระยะและองค์การถ่ายภาพที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์รอยแตกร้าวของอาคารคอนกรีต เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวและหาความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการประเมินด้วยสายตา วิธีการตรวจภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ทำการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบของแต่ละวิธีการ งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานและรายละเอียดดังต่อไปนี้



3.1 การเลือกอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

งานวิจัยนี้เลือกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทราบสาเหตุและปัญหาความเสียหายอยู่แล้ว สามารถทำการทดสอบได้ในเวลากลางวัน และได้รับการอนุญาตจากนิติบุคคลของอาคารหรือผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ

3.2 วิธีการหาระยะและองศาการถ่ายภาพที่เหมาะสม

3.2.1 เทคนิคในการถ่ายภาพ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือความชัดลึก (DOF) ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดความชัดลึก (DOF) และเหมาะสำหรับการถ่ายภาพอาคาร มีดังนี้

1. รูรับแสง เลข f มาก = รูรับแสงแคบ = แสงเข้าได้น้อย = ได้ภาพชัดลึก



รูปที่ 3.1 รูรับแสงขนาดต่างๆ

2. ความยาวโฟกัส การเลือกใช้เลนส์มุมกว้างหรือเลนส์ที่มีระยะโฟกัสไกลกว่า (เลขมากกว่า) จะเป็นการเพิ่มความชัดลึก ในขณะที่เลนส์ซูมจะลดลง ซึ่งเหมาะกับการทดสอบครั้งนี้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ความยาวโฟกัสขนาดต่างๆ

3. ระยะในการถ่ายภาพ เนื่องจากระยะห่างจากกล้องไปยังวัตถุเพิ่มขึ้นเป็นเรื่องที่ดีที่สามารถเก็บภาพได้กว้างขึ้นแต่ต้องคำนึงถึงเรื่องความชัดลึกของภาพ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเรื่องยากที่จะหาระยะที่เหมาะสม จึงจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการ Trial and Error ขณะทดสอบหน้างานจริง

4. ตำแหน่งกล้อง เลือกระดับสายตา เพราะภาพที่ปรากฏจะเป็นการถ่ายทอดสิ่งที่เห็น และนำเสนอสภาพของตัวแบบที่กำลังถ่ายได้อย่างสมจริงยิ่งขึ้น

5. มุมกล้อง เลือกมุมระดับสายตา เพราะเป็นวิธีถ่ายภาพมาตรฐานที่ช่างภาพถือกล้องในระดับความสูงเท่ากับระดับสายตาแบบตรงๆ ทำให้ภาพที่ได้จะดูเป็นธรรมชาติและสมจริงยิ่งขึ้น

3.2.2 การหาขนาดรอยแตกร้าว

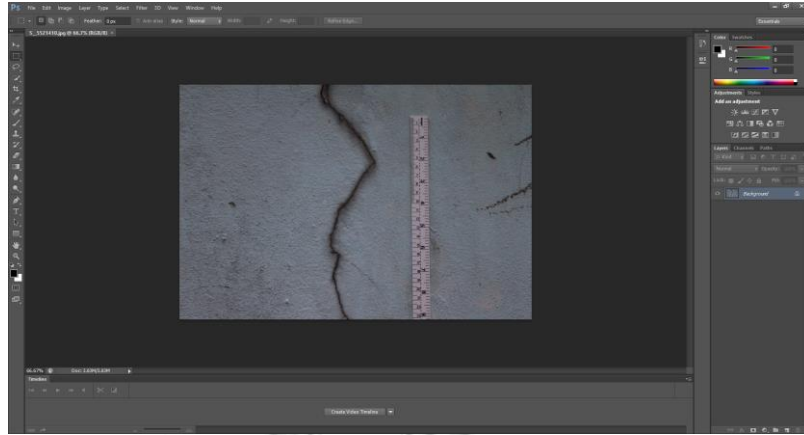
งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการหาขนาดรอยแตกร้าวในภาพถ่ายภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยนำเรื่องของฟิสิกส์ภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาขนาดของรอยแตกร้าว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในการถ่ายได้นำวัตถุที่ทราบขนาดอยู่แล้วมาเป็นตัวอ้างอิงขนาดของรอยร้าว โดยนำไปติดในระนาบเดียวกับรอยร้าว
2. ทำการถ่ายภาพรอยแตกร้าวและวัตถุอ้างอิงที่ได้นำไปติดไว้ โดยให้ทั้งสองอยู่ในรูปเดียวกัน



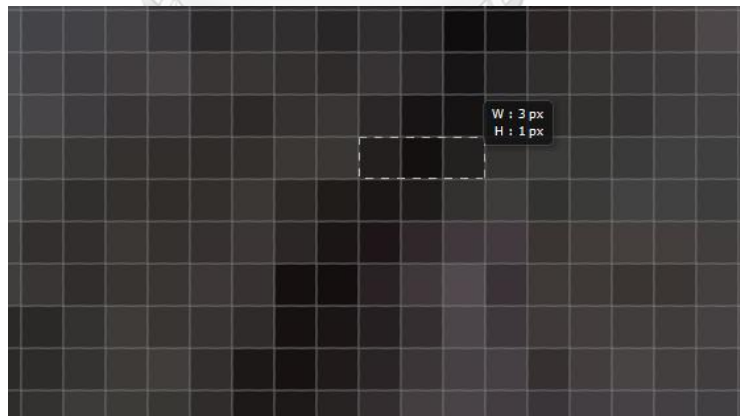
รูปที่ 3.3 การถ่ายภาพรอยแตกร้าวและวัตถุอ้างอิง

3. นำภาพถ่ายที่ได้เข้าโปรแกรม Photoshop



รูปที่ 3.4 การนำภาพถ่ายเข้าโปรแกรม Photoshop

4. ปรับแต่งภาพโดยการลบแสงและเงาที่ไม่สม่ำเสมอและใช้เทคนิคการทำขีดแบ่ง (Thresholding Techniques) จากนั้นทำการใช้เครื่องมือที่ชื่อว่าตัวเลือกแบบสี่เหลี่ยม (rectangular marquee tool) วัดขนาดของวัตถุอ้างอิงโดยใช้พิกเซลของภาพถ่ายเป็นตัวกำหนดเพื่อหาขนาดรอยแตกร้าวในภาพถ่าย



รูปที่ 3.5 การวัดขนาดของรอยแตกร้าวโดยใช้พิกเซลของภาพถ่าย

3.2.3 วิธีการทดลองการหาระยะและองศาการถ่ายภาพที่เหมาะสม

1. ก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดรอยแตกกว้างมาเขียนสเกลหน่วยเซนติเมตรเพื่อใช้อ้างอิง



รูปที่ 3.6 ก้อนคอนกรีตที่เกิดรอยแตกกว้างและสเกลหน่วยเซนติเมตร

2. นำก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดรอยแตกกว้างมาบันทึกภาพที่ระยะการถ่ายที่ 1,3,5,7,10,12 และ 15 เมตร โดยกล้องที่ใช้ คือ EOS Rebel SL1 55mm
3. นำน้ำมาทำให้ก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดรอยแตกกว้างเปียกและบันทึกภาพที่ระยะการถ่ายที่ 1,3,5,7,10,12 และ 15 เมตร
4. นำภาพถ่ายรอยแตกกว้างของก้อนคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้มาหาความกว้างของรอยแตกกว้าง โดยใช้เรื่องของพิกเซลภาพถ่าย
5. ทำการวิเคราะห์เพื่อหาระยะที่เหมาะสม

3.3 การตรวจสอบรอยแตกกว้างและหาความกว้างรอยแตกกว้างภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบรอยแตกกว้างและหาความกว้างรอยแตกกว้างภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้วิธีการตรวจสอบทั้ง 3 วิธีดังนี้

3.3.1 วิธีการตรวจสอบรอยแตกกว้างโดยการประเมินด้วยสายตา

การตรวจสอบโดยการประเมินด้วยสายตาเป็นวิธีการที่วิศวกรต้องใช้ทักษะและประสบการณ์ในการคาดคะเนและประเมินความเสียหายจากสายตา ในตำแหน่งที่มองเห็นรอยแตกกว้างได้และทำการคาดคะเนความกว้างของรอยแตกกว้างเพื่อประเมินความเสียหายเบื้องต้นเท่านั้น

3.3.2 วิธีการตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล EOS Rebel SL1 ความยาวโฟกัสที่ 55mm แสดงในรูปที่ 3.7 เพื่อทำการบันทึกภาพรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่สามารถสังเกตเห็นและจุดอ้างอิงได้ บันทึกภาพในเวลากลางวันที่แสงส่องสว่างมองเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจน จากนั้นนำภาพที่ได้มาหาความกว้างของรอยแตกร้าวโดยใช้เรื่องของพิกเซลภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับการหาระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสมในหัวข้อ 3.2.2



รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล EOS Rebel SL1 [43]

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลกล้องถ่ายภาพดิจิทัล EOS Rebel SL1 [43]

ประเภท:	Compact SLR
	กล้องสะท้อนเลนส์เดี่ยว ขนาดเล็ก
ความละเอียดสูงสุด:	5184 x 3456
สัดส่วนของภาพ:	1:1, 4:3, 3:2, 16:9
จำนวนพิกเซลทั้งหมด:	19 เมกกะพิกเซล
ขนาดเซ็นเซอร์รับภาพ:	APS-C (22.3 x 14.9 mm)
ชนิดเซ็นเซอร์:	CMOS
ชิปประมวลผล:	Digic 5

ประเภท:	Compact SLR
	กล้องสะท้อนเลนส์เดี่ยว ขนาดเล็ก
ความไวแสง (ISO):	Auto, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 12800 (25600 with boost)
White balance (สำเร็จรูป):	6
ชนิดไฟล์แบบไม่บีบอัด:	RAW
ระบบออโต้โฟกัส:	Contrast Detect (sensor), Phase Detect, Multi-area, Center, Selective single-point, Tracking, Single, Continuous, Touch, Face Detection, Live View
ความเร็วชัตเตอร์ต่ำสุด:	30 sec
ความเร็วชัตเตอร์สูงสุด:	1/4000 sec
รูปแบบไฟล์วิดีโอ:	H.264, Motion JPEG

3.3.3 วิธีการตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยใช้ UAV (Unmanned Aerial Vehicles)

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ DJI Inspire 2 ตัวกล้อง Zenmuse X5S Inspire 2 แสดงในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นโดรนพร้อมบินประสิทธิภาพสูง ส่วนมากใช้สำหรับการถ่ายภาพยนต์ทางอากาศรวมถึงการถ่ายวิดีโอในงานต่างๆ และมีข้อมูลสำคัญในการเลือกใช้โดรน ดังนี้ [44]

1. วัสดุโดรน : ตัวเครื่องเป็นอลูมิเนียม และแขนขาเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ ความแข็งแรงและทนทานถือเป็นส่วนสำคัญในการตรวจสอบภายนอกอาคาร เพราะในการบินตามช่องอาคารอาจทำให้เกิดการกระทบกับผนังอาคารข้างเคียงได้

2. เวลาบิน 25-27 นาที : เวลาในการบินเป็นเรื่องสำคัญในการทำงานตรวจสอบภายนอกอาคารเป็นอย่างมาก เนื่องจากยังมีเวลาในการบินได้นานมากเท่าไรก็จะสามารถทำงานตรวจสอบได้รวดเร็วขึ้นเท่านั้น

3. ความคุมระยะไกล 7 กิโลเมตร : การตรวจสอบภายนอกอาคารเป็นการตรวจสอบผนังอาคารภายนอกทั้งหมดรวมถึงบริเวณหลังคา ถ้ายิ่งเป็นอาคารสูงระยะในการควบคุมก็เป็นสิ่งจำเป็นเช่นเดียวกัน

4. ความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที : สามารถเร่งความเร็วไปจนถึง 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภายในเวลา 4 วินาที และมีความเร็วสูงสุดที่ 107 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำให้ลดเวลาในการตรวจสอบภายนอกอาคารได้มาก



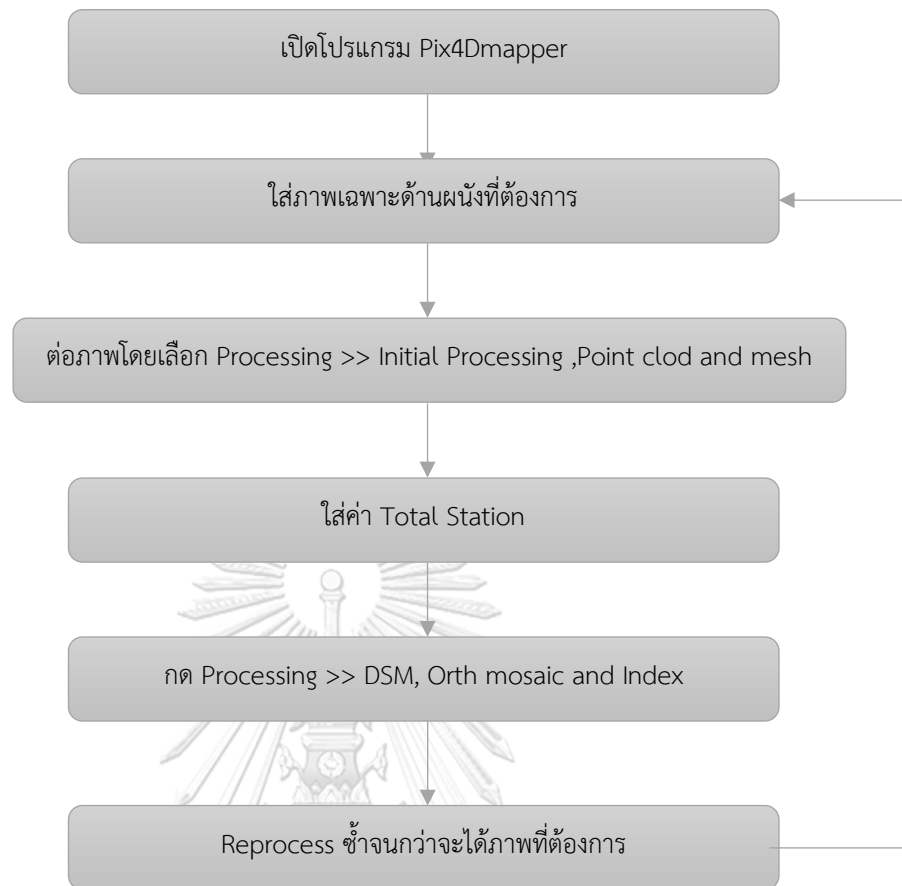
รูปที่ 3.8 โดรนรุ่น DJI Inspire 2 [44]



รูปที่ 3.9 ตัวกล้อง Zenmuse X5S Inspire 2 ที่ใช้กับโดรน [44]

จากการตรวจสอบภายนอกอาคารจะทำการบันทึกภาพถ่าย จากนั้นนำภาพที่ได้มาเข้ากระบวนการต่อภาพผนังอาคารและวัดความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนี้

1. กระบวนการต่อภาพผนังอาคาร ทำการบันทึกภาพรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในระยะเวลาถ่ายภาพที่เหมาะสม และบันทึกภาพในเวลากลางวันที่แสงส่องสว่างมองเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจน จากนั้นนำภาพที่ได้มาเข้ากระบวนการต่อภาพผนังอาคารเพื่อใช้ในการวัดรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งโปรแกรมที่ได้เลือกใช้ในงานครั้งนี้คือโปรแกรม Pix4D เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลอัตโนมัติขั้นสูง รองรับกล้องหลากหลายแบบภาพถ่าย 360 องศา และวิดีโอ มีขั้นตอนการต่อภาพดังนี้



2. การหาความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เลือกใช้โปรแกรม ArcMap เป็นโปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information system : GIS) และใช้เครื่องมือ Measure เพื่อวัดขนาดของรอยร้าว โดยใช้หลักการจากตำแหน่งพิกัด GIS ในภาพ

3.4 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบรอยแตกร้าวและความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้โดยการตรวจสอบด้วยวิธีการต่างๆ

นำผลการตรวจสอบรอยแตกร้าวและความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากทั้ง 3 วิธี มาเปรียบเทียบในเรื่องความกว้างของรอยแตกร้าวที่วัดได้ เวลา กำลังคน และงบประมาณที่ใช้ เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการทดสอบการหาระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวและความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้ง 3 วิธี จากผลการศึกษาสามารถอภิปรายได้ดังต่อไปนี้

4.1 ระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสม

1. ก่อนคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดรอยแตกร้าวมาบันทึกภาพที่ระยะการถ่ายที่ 1,3,5,7,10,12 และ 15 เมตร แสดงในรูปที่ 4.1 - 4.7



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายก่อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายก่อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 3 เมตร



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายก่อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 5 เมตร



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายก่อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 7 เมตร



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายก่อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 10 เมตร



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายก่อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 12 เมตร



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายก่อนคอนกรีตเสริมเหล็กสถานะแห้งและเปียกที่ระยะ 15 เมตร

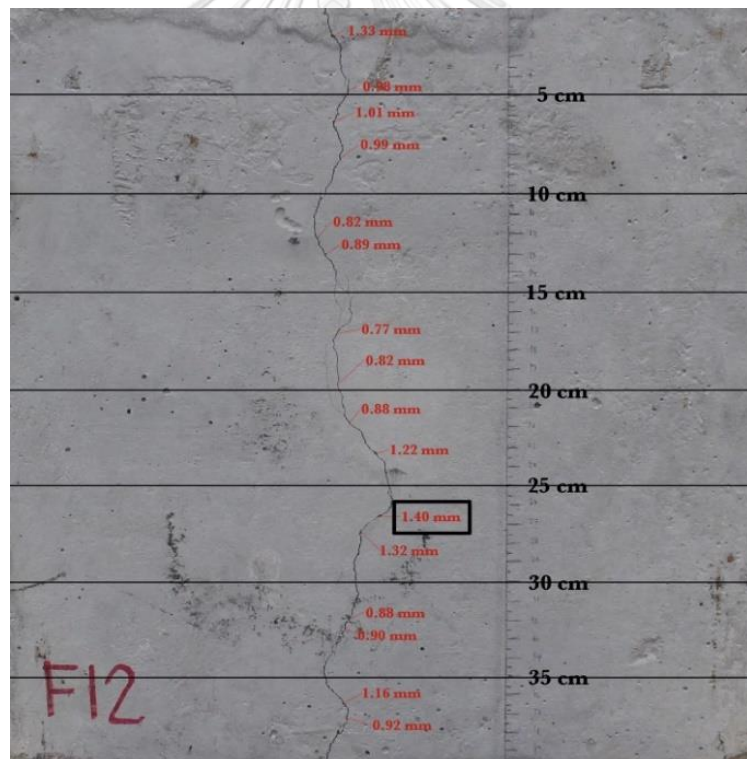
2. การวัดความกว้างของรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริง วิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

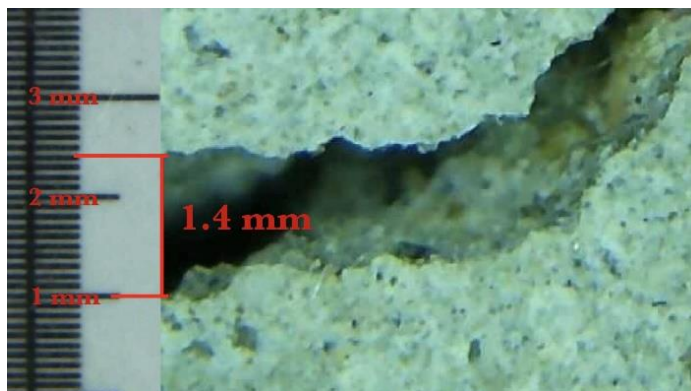
ทำการวัดความกว้างของรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริงด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล แสดงในรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 และเทียบกับสเกลไม้บรรทัดในหน่วยมิลลิเมตร โดยวัดในทิศทางตั้งฉากกับปากรอยร้าว และเลือกรอยร้าวที่มีขนาดกว้างสูงสุดเป็นจุดอ้างอิง และความกว้างของรอยแตกร้าวสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงคือ 1.4 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 4.11 เพื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายรอยร้าวในระยะเวลาการถ่ายภาพต่างๆ เนื่องจากในสถานการณ์ที่ใช้งานจริงจะวัดเฉพาะรอยร้าวที่มีขนาดกว้างสูงสุดเท่านั้น



รูปที่ 4.8 การหาความกว้างของรอยร้าวที่เกิดขึ้นจริงของตัวอย่างก้อนคอนกรีตเสริมเหล็ก
ด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล



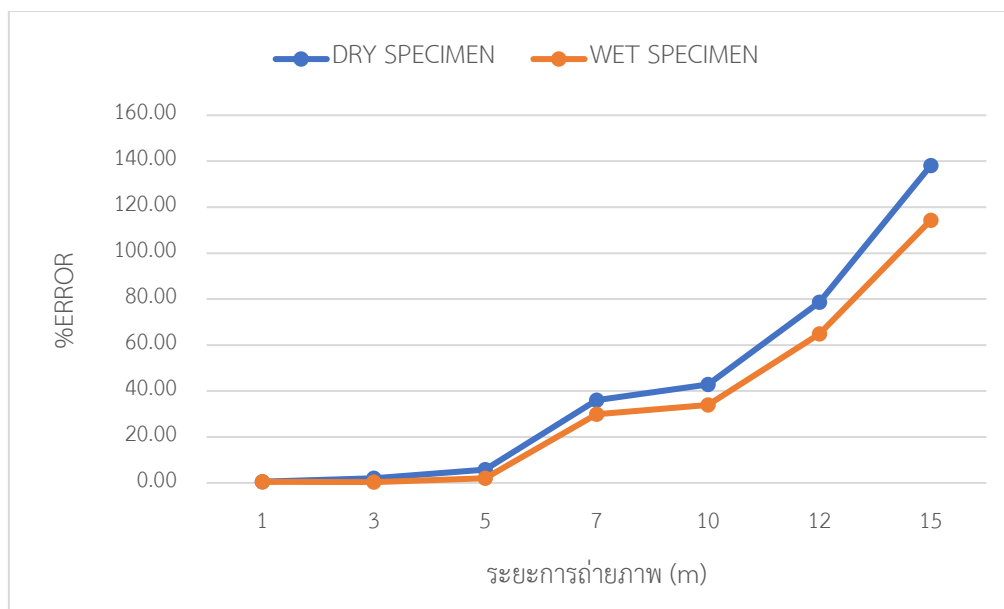
รูปที่ 4.9 ความกว้างของรอยร้าวที่เกิดขึ้นจริงของตัวอย่างก้อนคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 4.10 ความกว้างของรอยร้าวสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงของตัวอย่างก้อนคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตารางที่ 4.1 ผลการหาระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสม

ระยะการถ่ายภาพ (m)	สถานะของคอนกรีต	pixel/1cm	pixel/1mm	ความกว้างรอยร้าว (pixel)	ความกว้างรอยร้าว (mm)	%ERROR
1	DRY	135	13.5	19	1.41	0.53
3	DRY	42	4.2	6	1.43	2.04
5	DRY	27	2.7	4	1.48	5.82
7	DRY	21	2.1	4	1.90	36.05
10	DRY	15	1.5	3	2.00	42.86
12	DRY	12	1.2	3	2.50	78.57
15	DRY	9	0.9	3	3.33	138.10
1	WET	135	13.5	19	1.41	0.53
3	WET	43	4.3	6	1.40	0.33
5	WET	28	2.8	4	1.43	2.04
7	WET	22	2.2	4	1.82	29.87
10	WET	16	1.6	3	1.88	33.93
12	WET	13	1.3	3	2.31	64.84
15	WET	10	1	3	3.00	114.29



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนกับระยะการถ่ายภาพ

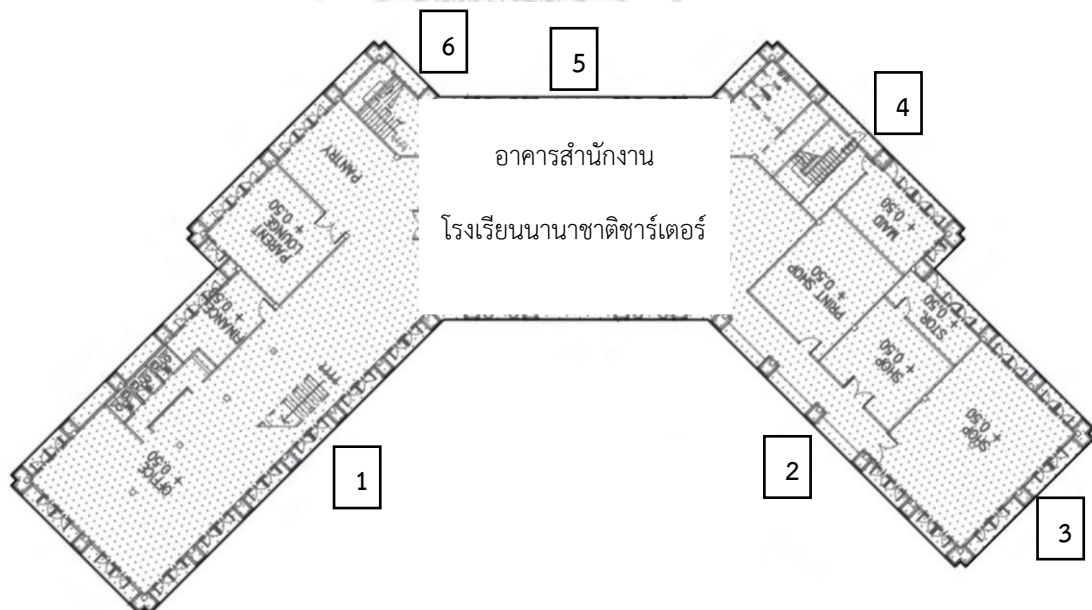
จากการถ่ายภาพเพื่อหาระยะที่เหมาะสม โดยทำการถ่ายภาพด้วยกล้อง DSLR EOS Rebel SL1 55 mm ที่ระยะโฟกัสห่างจากก้อนคอนกรีตตัวอย่างอยู่ที่ 1, 3, 5, 7, 10, 12 และ 15 เมตร เมื่อนำภาพถ่ายที่ได้ไปหาความกว้างของรอยร้าวโดยใช้วิธีการเทียบกับฟิกเซลได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าระยะการถ่ายภาพที่ทำการซูมแล้วภาพยังคงคมชัดอยู่ที่ระยะ 1, 3, 5, 7 เมตร แต่ระยะที่หากว้างของรอยร้าวได้ใกล้เคียงกับความกว้างที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุดอยู่ที่ 1, 3, 5 เมตร เห็นได้จากรูปที่ 4.11 ดังนั้นระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสมอยู่ที่ 5 เมตร เนื่องจากการที่ระยะการถ่ายภาพมากจะยิ่งทำให้เก็บภาพมุมกว้างมากขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่องานตรวจสอบรอยร้าวของคอนกรีตยิ่งขึ้น เพราะสามารถเก็บภาพพื้นที่ของผนังหรือสิ่งที่ตรวจสอบได้มากขึ้นต่อภาพหนึ่งภาพ และระยะ 5 เมตร ยังถือว่าเป็นระยะที่ยังคงหาความกว้างของรอยร้าวได้ใกล้เคียงกับรอยร้าวที่เกิดขึ้นจริง ทำให้การประเมินความเสียหายใกล้เคียงความถูกต้องมากที่สุด ส่วนปัจจัยที่นำมาช่วยในการทำให้ภาพถ่ายรอยร้าวคมชัดขึ้น คือการทำให้รอยร้าวที่เป็ยอก ผลที่ได้คือภาพถ่ายเมื่อซูมเข้าจะเห็นเส้นการแตกร้าวเข้มทำให้วัดความกว้างได้ดีขึ้น ทำให้ได้ค่าความกว้างที่ใกล้เคียงขึ้นแต่ก็ยังไม่ได้เกิดความแตกต่างมากนัก และในการทำให้รอยร้าวเป็ยอกอยู่ตลอดเวลาไม่น่าใช่เรื่องที่ง่ายเพราะสภาพอากาศทำให้คอนกรีตแห้งตัวเร็วมาก

4.2 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่าง

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเป็นอาคารของโรงเรียนนานาชาติชาร์เตอร์ ซึ่งอาคารที่ใช้ทดสอบเป็นอาคารสำนักงานที่ถูกสร้างขึ้นมานานกว่า 10 ปี แสดงในรูปที่ 4.12 และในการทดสอบพบว่า มีผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวทั้งหมด 6 ด้าน แสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.13 แผนผังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบและตัวเลขแสดงผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวทั้ง 6 ด้าน

4.3 ตำแหน่งรอยแตกร้าวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่าง

ในการทดสอบพบผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวทั้งหมด 6 ด้าน มีตำแหน่งที่ทำการหาความกว้างของรอยแตกร้าว แสดงในรูปที่ 4.14 – 4.19



รูปที่ 4.14 ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 1



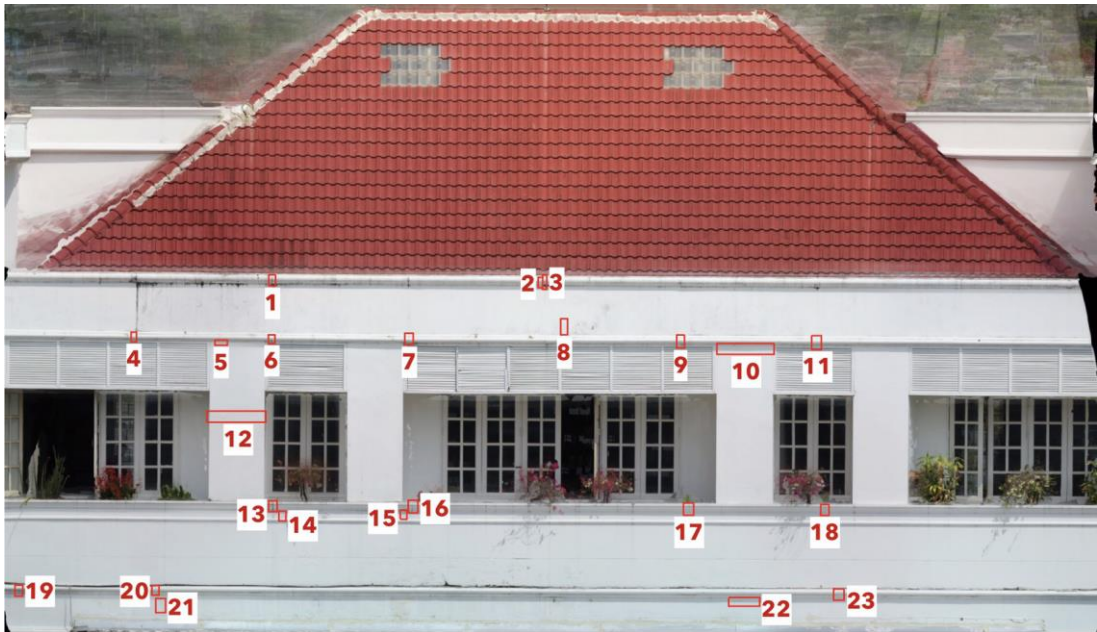
รูปที่ 4.15 ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 2



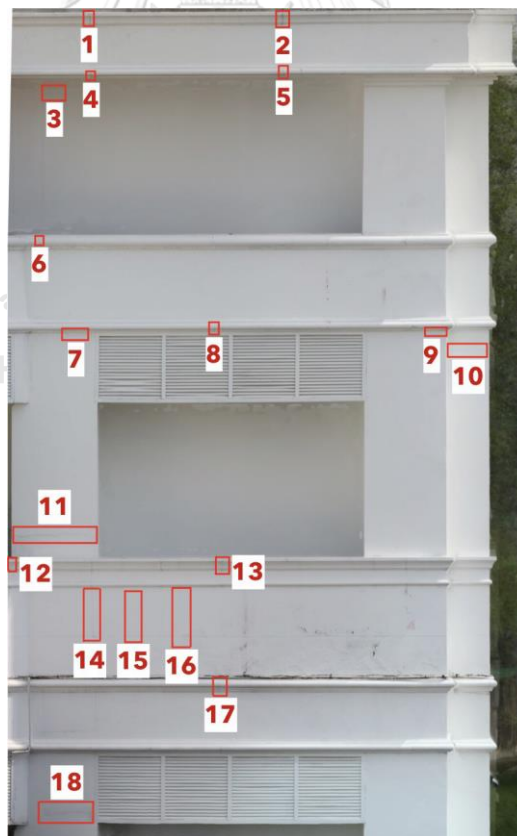
รูปที่ 4.16 ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 3



รูปที่ 4.17 ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 4



รูปที่ 4.18 ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 5



รูปที่ 4.19 ผนังอาคารที่เกิดรอยแตกร้าวด้านที่ 6

4.3 การตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยการประเมินด้วยสายตา

การตรวจสอบโดยการประเมินด้วยสายตาเป็นวิธีการที่วิศวกรต้องใช้ทักษะและประสบการณ์ในการคาดคะเนและประเมินความเสียหายจากสายตาในตำแหน่งที่มองเห็นรอยแตกร้าวได้ เกณฑ์ที่ใช้ในการคาดคะเนและประเมินขนาดความกว้างของรอยร้าวด้วยสายตาดังนี้ และแสดงในรูปที่ 4.20

0.5 มิลลิเมตร มองเห็นเป็นเส้นดำบางขนาดเท่าเส้นผม

1 มิลลิเมตร มองเห็นเป็นเส้นสีดำเข้ม

2 มิลลิเมตร มองเห็นเป็นเส้นสีดำเข้มและหนา



รูปที่ 4.20 ตัวอย่างขนาดความกว้างของรอยร้าว 0.5 1 และ 2 มิลลิเมตรที่ใช้เป็นเกณฑ์

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบความกว้างของรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการประเมินด้วยสายตา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้าง รอยร้าว (มม.)	ประเภท	ระดับความ เสียหาย	หมายเหตุ
1	1	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
1	2	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
1	3	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
1	4	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
1	5	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
1	6	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
1	7	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
1	8	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
1	9	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้าง รอยร้าว (มม.)	ประเภท	ระดับความ เสียหาย	หมายเหตุ
1	10	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
1	11	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
1	12	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
2	1	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
2	2	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
2	3	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
2	4	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
2	5	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
2	6	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
2	7	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
2	8	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
2	9	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
2	10	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
2	11	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
3	1	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
3	2	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	1	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	2	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	3	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
4	4	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
4	5	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	6	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	7	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	8	-	-	-	ไม่สามารถมองเห็นได้
4	9	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	10	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	11	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	12	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	13	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	14	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	15	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้าง รอยร้าว (มม.)	ประเภท	ระดับความ เสียหาย	หมายเหตุ
4	16	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	17	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	18	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
4	19	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	20	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	21	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	22	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	23	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	24	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	25	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	26	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	27	-	-	-	ไม่สามารถมองเห็นได้
4	28	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
4	29	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	30	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	31	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	32	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	33	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	34	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	35	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	36	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	37	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	38	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	39	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	40	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	41	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
4	42	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	43	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
4	44	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
4	45	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
5	1	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้าง รอยร้าว (มม.)	ประเภท	ระดับความ เสียหาย	หมายเหตุ
5	2	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
5	3	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
5	4	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	5	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
5	6	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	7	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	8	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
5	9	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	10	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
5	11	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	12	2	Wide Crack	เล็กน้อย	-
5	13	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	14	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
5	15	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
5	16	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	17	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	18	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	19	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
5	20	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
5	21	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
5	22	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
5	23	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
6	1	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
6	2	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
6	3	-	-	-	ไม่สามารถมองเห็นได้
6	4	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
6	5	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
6	6	-	-	-	ไม่สามารถมองเห็นได้
6	7	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
6	8	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
6	9	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้าง รอยร้าว (มม.)	ประเภท	ระดับความ เสียหาย	หมายเหตุ
6	10	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
6	11	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
6	12	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
6	13	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
6	14	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-
6	15	-	-	-	ไม่สามารถมองเห็นได้
6	16	-	-	-	ไม่สามารถมองเห็นได้
6	17	0.5	Thin Crack	น้อยมาก	-
6	18	1	Medium Crack	เล็กน้อย	-

จากผลการตรวจสอบและวัดขนาดความกว้างของรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการประเมินด้วยสายตา สามารถแบ่งเกณฑ์ตามลักษณะความกว้างของรอยแตกร้าวที่พบเห็นได้ 3 รูปแบบ ดังนี้ 0.5 มิลลิเมตร มองเห็นเป็นเส้นดำบางขนาดเท่าเส้นผม 1 มิลลิเมตร มองเห็นเป็นเส้นสีดำเข้ม และ 2 มิลลิเมตร มองเห็นเป็นเส้นสีดำเข้มและหนา จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าความกว้างที่ได้จัดอยู่ในระดับความเสียหายที่น้อยมาก และเล็กน้อยต่อโครงสร้าง และในบางตำแหน่งของรอยแตกร้าวบนผนังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ไม่สามารถประเมินความกว้างของรอยแตกร้าวได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมเป็นต้นไม้สูงรอบอาคาร ทำให้ไม่สามารถมองเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจน

4.4 การตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยใช้กล้องถ่ายภาพ

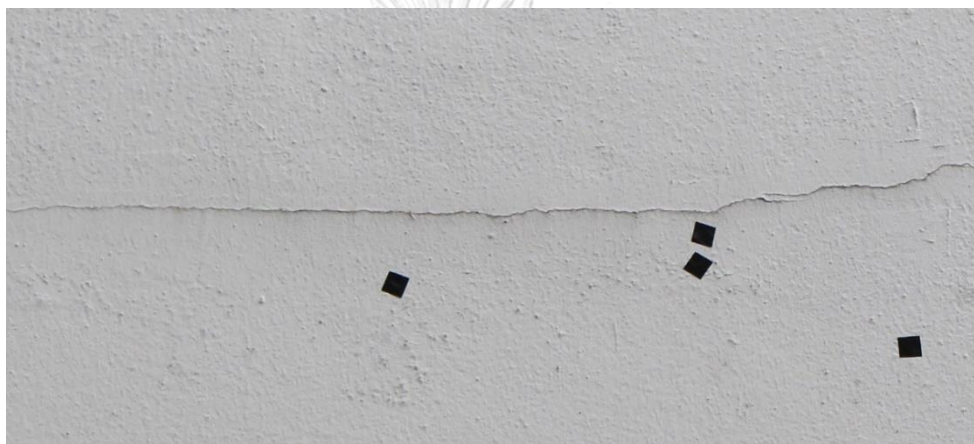
จากการบันทึกภาพรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยกล้องถ่ายภาพ DSLR EOS Rebel SL1 ความยาวโฟกัสที่ 55mm เพื่อทำการบันทึกภาพรอยแตกร้าว โดยบันทึกภาพในเวลากลางวันแสงส่องสว่างมองเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจน และทำการบันทึกภาพให้ใกล้เคียงระยะที่เหมาะสม 5 เมตรให้มากที่สุด นำภาพถ่ายรอยแตกร้าวที่ได้มาวัดหาความกว้างของรอยแตกร้าวตามวิธีการเปรียบเทียบพิคเซล ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2 จากนั้นทำการเลือกรอยแตกร้าวที่สังเกตเห็นว่ากว้างที่สุดในแต่ละช่วงการแตกร้าวและทำการวัดรอยแตกร้าวโดยวัดในทิศทางตั้งฉากกับปากรอยร้าวทั้งหมด 10 ตำแหน่ง และนำรอยแตกร้าวที่กว้างที่สุดมาประเมินความเสียหายดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบความกว้างของรอยแตกกว้างภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้กล้องถ่ายภาพ

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอย ร้าว	ความกว้างรอยร้าว										pixel/1cm	pixel/1mm	ความกว้าง รอยร้าว (pixel)	ความกว้าง รอยร้าว (mm)	ประเภท	ระดับ ความ เสียหาย	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							AVG
2	5	3	2	1	1	1	2	2	1	2	2	1.7	3	2.4	3	1.25	Medium Crack	เล็กน้อย
2	6	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1.6	2	2.7	2	0.74	Thin Crack	น้อยมาก	
4	19	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1.8	2	2.3	2	0.87	Thin Crack	น้อยมาก	
4	20	3	4	2	2	3	3	1	2	2	2.4	4	2.3	4	1.74	Medium Crack	เล็กน้อย	
4	21	2	3	2	2	2	2	2	1	2	2.1	3	1.3	3	2.31	Wide Crack	เล็กน้อย	
4	22	1	3	3	2	2	2	1	3	2	2.2	3	2.4	3	1.25	Medium Crack	เล็กน้อย	
4	45	2	2	6	6	7	9	6	7	5	5.5	9	4	9	2.25	Wide Crack	เล็กน้อย	
5	12	3	2	3	2	2	3	2	3	2	2.5	3	1.1	3	2.73	Wide Crack	เล็กน้อย	
5	13	2	3	6	2	3	2	2	2	3	2.9	6	1.1	6	5.45	Wide Crack	ปานกลาง	
5	14	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1.4	2	1.1	2	1.82	Medium Crack	เล็กน้อย	

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอย ร้าว	ความกว้างรอยร้าว										pixel/1cm	pixel/1mm	ความกว้าง รอยร้าว (pixel)	ความกว้าง รอยร้าว (mm)	ประเภท	ระดับ ความ เสียหาย	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							AVG
5	15	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1.5	2	1.3	2	1.54	Medium Crack	เล็กน้อย
5	16	2	3	3	2	3	2	3	2	1	2.3	3	1.3	3	2.31	Wide Crack	เล็กน้อย	
5	17	2	3	1	3	2	3	2	2	3	2.4	3	1.2	3	2.50	Wide Crack	เล็กน้อย	
5	18	2	1	3	3	1	2	3	2	1	2.1	3	1.2	3	2.50	Wide Crack	เล็กน้อย	
6	11	2	3	1	0	2	1	2	2	3	1.8	3	1.1	3	2.73	Wide Crack	เล็กน้อย	

จากการตรวจสอบและวัดขนาดความกว้างของรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้กล้องถ่ายภาพ เมื่อนำภาพถ่ายรอยแตกร้าวมาปรับแต่งแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 ทำให้วัดพิทเซลรอยแตกร้าวได้ชัดเจนขึ้นแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.24 เทียบกับพิทเซลของจุดอ้างอิงแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.25 และได้ผลการตรวจสอบ ดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าความกว้างที่ได้จัดอยู่ในระดับความเสียหายที่น้อยมาก เล็กน้อย และปานกลางต่อโครงสร้าง และในบางตำแหน่งของรอยแตกร้าวบนผนังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ไม่สามารถประเมินความกว้างของรอยแตกร้าวได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมเป็นต้นไม้สูงรอบอาคาร และการตรวจสอบวิธีนี้ต้องเปรียบเทียบพิทเซลกับจุดอ้างอิง และมีหลายตำแหน่งรอยแตกร้าวของผนังอาคารไม่สามารถกำหนดจุดอ้างอิงได้

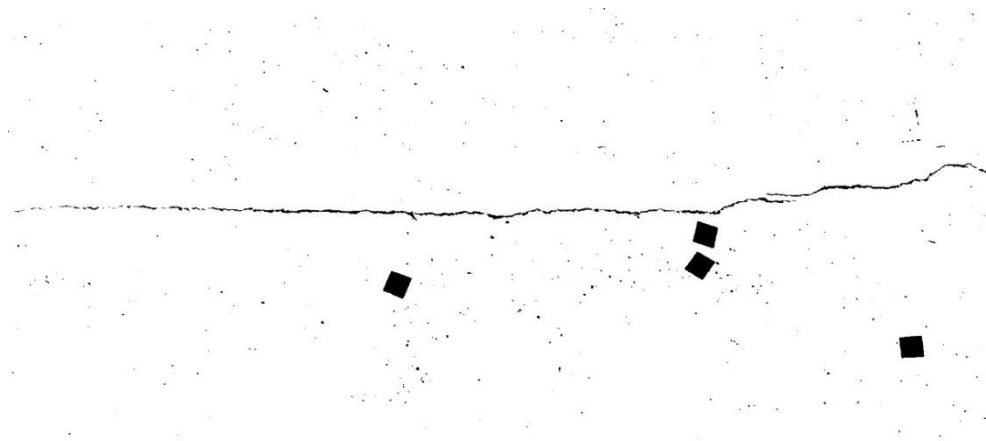


รูปที่ 4.21 ตัวอย่างรอยแตกร้าวบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



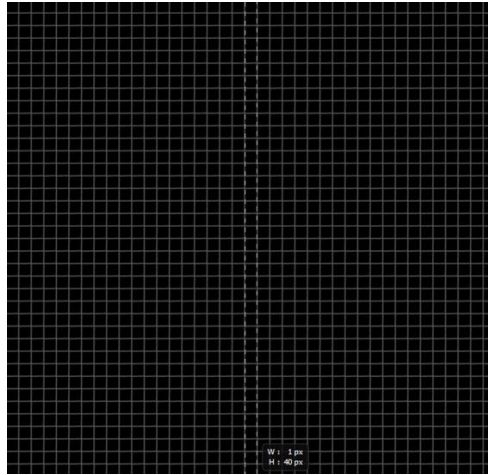
รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการลบแสงและเงาที่ไม่สม่ำเสมอออกบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45



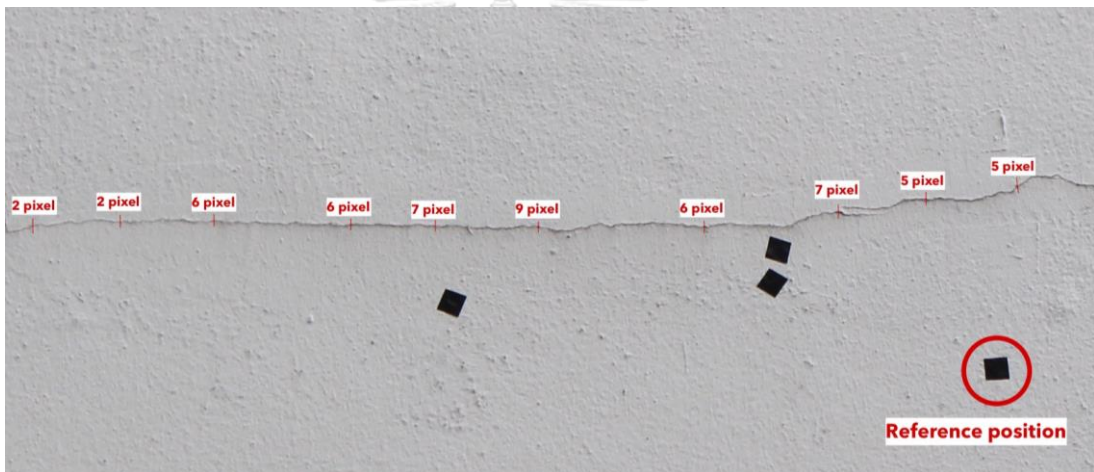
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างเทคนิคการทำขีดแบ่ง (Thresholding Techniques) บนผนังอาคารด้านที่ 4
ตำแหน่งที่ 45



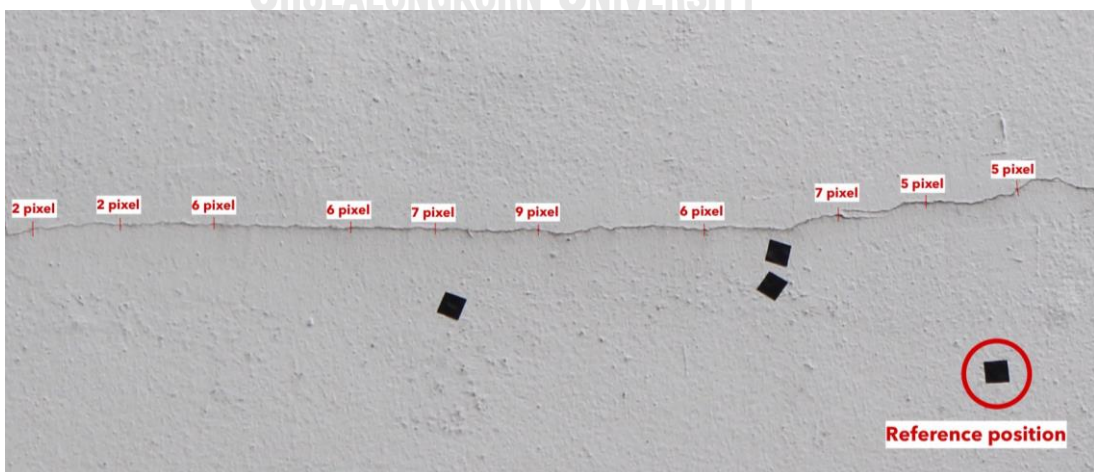
รูปที่ 4.24 ตัวอย่างการวัดพิกเซลรอยแตกกว้างทั้ง 10 จุด บนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45



รูปที่ 4.25 ตัวอย่างการวัดพิกเซลจุดอ้างอิงบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45



รูปที่ 4.26 ตัวอย่างขนาดพิกเซลรอยแตกร้าวและจุดอ้างอิงบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45



รูปที่ 4.27 ตัวอย่างขนาดพิกเซลรอยแตกร้าวและจุดอ้างอิงบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45

4.5 การตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยใช้ UAV (Unmanned Aerial Vehicles)

จากการตรวจสอบโดยทำการบันทึกภาพรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก รอยแตกร้าวด้วย UAV (Unmanned Aerial Vehicles) โดยใช้เลือกใช้ DJI Inspire 2 ตัวกล้อง Zenmuse X5S Inspire 2 และทำการบันทึกภาพให้ใกล้เคียงระยะที่เหมาะสม 5 เมตรให้มากที่สุด จากนั้นนำภาพที่ได้มาเข้ากระบวนการต่อภาพผนังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยบันทึกภาพในเวลา กลางวันที่แสงส่องสว่างมองเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจน นำภาพถ่ายรอยแตกร้าวที่ได้มาต่อภาพเป็น ภาพผนังอาคารที่มีความละเอียดสูง ตามขั้นตอนการต่อภาพที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 จากนั้นทำ การเลือกรอยแตกร้าวที่สังเกตเห็นว่ากว้างที่สุดในแต่ละช่วงการแตกร้าวและทำการวัดรอยแตกร้าว โดยวัดในทิศทางตั้งฉากกับปากรอยร้าว ตามขั้นตอนที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 ทั้งหมด 10 ตำแหน่ง และนำรอยแตกร้าวที่กว้างที่สุดมาประเมินความเสียหาย ดังตารางที่ 4.4



ตารางที่ 4.4 การตรวจสอบความกว้างของรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ UAV (Unmanned Aerial Vehicles)

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว										ประเภท	ระดับความ เสียหาย		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			AVG	MAX
1	1	0.42	0.62	0.29	0.41	0.47	0.41	0.42	0.46	0.43	0.67	0.460	0.668	Thin Crack	น้อยมาก
1	2	0.94	0.64	1.15	0.42	0.64	0.58	0.83	0.86	0.72	0.66	0.744	1.154	Medium Crack	เล็กน้อย
1	3	0.42	0.65	0.41	0.59	0.62	0.42	0.42	0.47	0.58	0.46	0.503	0.65	Thin Crack	น้อยมาก
1	4	0.48	0.47	0.41	0.41	0.46	0.42	0.47	0.30	0.41	0.41	0.424	0.476	Thin Crack	น้อยมาก
1	5	0.46	0.47	0.42	0.46	0.46	0.29	0.41	0.41	0.58	0.46	0.443	0.583	Thin Crack	น้อยมาก
1	6	0.30	0.44	0.29	0.41	0.29	0.47	0.30	0.41	0.58	0.29	0.379	0.583	Thin Crack	น้อยมาก
1	7	0.46	0.58	0.47	0.59	0.58	0.42	0.47	0.41	0.46	0.47	0.489	0.589	Thin Crack	น้อยมาก
1	8	0.30	0.46	0.47	0.46	0.42	0.46	0.46	0.42	0.22	0.28	0.395	0.469	Thin Crack	น้อยมาก
1	9	0.41	0.29	0.42	0.46	0.46	0.41	0.58	0.42	0.29	0.43	0.417	0.584	Thin Crack	น้อยมาก
1	10	0.42	0.59	0.42	0.47	0.44	0.42	0.43	0.63	0.63	0.42	0.485	0.629	Thin Crack	น้อยมาก
1	11	0.47	0.41	0.41	0.41	0.46	0.41	0.42	0.41	0.29	0.46	0.417	0.468	Thin Crack	น้อยมาก
1	12	0.42	0.42	0.40	0.41	0.40	0.41	0.46	0.42	0.43	0.59	0.436	0.589	Thin Crack	น้อยมาก
2	1	0.91	0.90	0.45	0.91	0.60	0.85	0.95	0.43	0.92	0.43	0.734	0.951	Thin Crack	น้อยมาก
2	2	0.91	0.90	0.89	0.90	0.93	0.95	0.80	0.60	0.59	0.95	0.843	0.948	Thin Crack	น้อยมาก
2	3	1.36	0.90	0.90	0.85	0.90	0.89	0.98	1.19	1.20	0.94	1.011	1.357	Medium Crack	เล็กน้อย
2	4	1.61	1.41	1.42	1.27	1.28	0.93	1.20	0.97	0.86	0.83	1.177	1.609	Medium Crack	เล็กน้อย
2	5	0.58	0.83	0.54	0.54	0.83	0.44	0.50	1.13	1.10	0.66	0.716	1.125	Medium Crack	เล็กน้อย

ตำแหน่ง ผิงอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว											ประเภท	ระดับความ เสียหาย	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVG			MAX
2	6	0.44	0.89	1.12	1.49	0.85	0.91	0.43	0.46	0.87	0.44	0.791	1.488	Medium Crack	เล็กน้อย
2	7	1.28	0.94	0.93	0.87	0.86	1.03	1.06	0.94	1.13	0.94	0.998	1.276	Medium Crack	เล็กน้อย
2	8	1.43	2.10	0.83	0.93	0.98	1.29	1.27	0.86	0.89	1.41	1.199	2.1	Wide Crack	เล็กน้อย
2	9	1.35	0.94	0.99	0.89	0.86	0.90	0.89	0.93	1.22	0.88	0.985	1.346	Medium Crack	เล็กน้อย
2	10	0.97	0.90	1.37	0.86	0.86	0.87	0.88	0.90	0.90	1.27	0.978	1.368	Medium Crack	เล็กน้อย
2	11	1.01	1.23	0.86	0.89	0.73	0.43	1.16	0.87	1.51	1.25	0.993	1.512	Medium Crack	เล็กน้อย
3	1	0.44	0.29	0.26	0.20	0.18	0.42	0.16	0.31	0.21	0.32	0.277	0.442	Thin Crack	น้อยมาก
3	2	0.34	0.41	0.36	0.41	0.38	0.35	0.33	0.44	0.35	0.40	0.377	0.443	Thin Crack	น้อยมาก
4	1	0.64	0.45	0.41	0.46	0.41	0.48	0.41	0.60	0.64	0.61	0.510	0.641	Thin Crack	น้อยมาก
4	2	0.40	0.74	0.93	0.41	0.53	0.40	0.71	0.57	0.61	0.68	0.597	0.932	Thin Crack	น้อยมาก
4	3	0.45	0.41	0.45	0.60	0.64	0.63	0.40	0.24	0.61	0.88	0.531	0.881	Thin Crack	น้อยมาก
4	4	0.50	0.41	0.41	1.21	0.67	0.41	0.60	0.81	0.60	1.58	0.718	1.577	Medium Crack	เล็กน้อย
4	5	0.21	0.38	0.40	0.44	0.41	0.41	0.45	0.60	0.41	0.41	0.412	0.6	Thin Crack	น้อยมาก
4	6	0.45	0.50	0.43	0.73	0.42	0.47	0.40	0.43	0.81	0.68	0.530	0.808	Thin Crack	น้อยมาก
4	7	0.41	0.60	0.50	0.62	0.46	0.42	0.51	0.45	0.42	0.42	0.480	0.618	Thin Crack	น้อยมาก
4	8	0.78	0.71	0.69	0.72	0.80	0.85	0.94	0.91	0.75	0.65	0.780	0.944	Thin Crack	น้อยมาก
4	9	0.41	0.41	0.43	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.61	0.430	0.61	Thin Crack	น้อยมาก
4	10	0.61	0.67	0.42	0.54	0.63	0.63	0.43	0.57	0.40	0.42	0.532	0.667	Thin Crack	น้อยมาก
4	11	0.47	0.46	0.60	0.72	0.69	0.40	0.43	0.62	0.46	0.41	0.526	0.721	Thin Crack	น้อยมาก

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว										ประเภท	ระดับความ เสียหาย		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			AVG	MAX
4	12	0.42	0.45	0.46	0.41	0.65	0.41	0.41	0.41	0.41	0.22	0.424	0.653	Thin Crack	น้อยมาก
4	13	0.42	0.41	0.51	0.41	0.72	0.41	0.45	0.43	0.49	0.41	0.466	0.723	Thin Crack	น้อยมาก
4	14	0.39	0.41	0.42	0.41	0.41	0.41	0.33	0.64	0.42	0.36	0.422	0.643	Thin Crack	น้อยมาก
4	15	0.20	0.56	0.81	0.41	0.50	0.41	0.40	0.42	0.68	0.61	0.502	0.813	Thin Crack	น้อยมาก
4	16	0.40	0.41	0.40	0.44	0.40	0.41	0.45	0.45	0.41	0.62	0.445	0.618	Thin Crack	น้อยมาก
4	17	0.41	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41	0.60	0.41	0.41	0.40	0.426	0.603	Thin Crack	น้อยมาก
4	18	0.60	0.45	0.44	0.61	0.64	0.76	0.48	0.68	0.41	0.64	0.570	0.761	Thin Crack	น้อยมาก
4	19	0.26	0.43	0.44	0.41	0.41	0.22	0.40	0.42	0.48	0.41	0.388	0.476	Thin Crack	น้อยมาก
4	20	0.20	0.41	0.41	0.21	0.44	0.43	0.44	0.22	0.20	0.40	0.335	0.444	Thin Crack	น้อยมาก
4	21	0.51	0.30	0.42	0.44	0.41	0.20	0.42	0.50	0.42	0.21	0.381	0.507	Thin Crack	น้อยมาก
4	22	0.40	0.40	0.59	0.66	0.61	0.65	0.60	0.82	0.61	0.61	0.594	0.818	Thin Crack	น้อยมาก
4	23	0.61	0.64	0.59	0.56	0.57	0.62	0.72	0.61	0.44	0.42	0.577	0.722	Thin Crack	น้อยมาก
4	24	0.71	0.62	0.62	0.63	0.59	0.64	0.40	0.66	0.41	0.44	0.571	0.707	Thin Crack	น้อยมาก
4	25	0.42	0.52	0.43	0.62	0.41	0.69	0.39	0.41	0.41	0.61	0.491	0.694	Thin Crack	น้อยมาก
4	26	0.44	0.53	0.85	0.68	0.67	0.47	0.50	0.42	0.61	0.42	0.558	0.853	Thin Crack	น้อยมาก
4	27	0.92	0.42	0.51	0.65	0.27	0.44	0.44	0.45	0.60	0.45	0.515	0.922	Thin Crack	น้อยมาก
4	28	0.60	0.65	0.77	0.70	0.66	0.63	0.67	0.42	1.14	0.84	0.707	1.139	Medium Crack	เล็กน้อย
4	29	1.03	0.61	0.38	0.41	0.57	0.40	0.42	0.80	0.62	0.60	0.584	1.031	Medium Crack	เล็กน้อย
4	30	0.41	0.51	0.61	0.82	0.49	0.41	0.41	0.44	0.57	1.02	0.566	1.015	Medium Crack	เล็กน้อย

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว										ประเภท	ระดับความ เสียหาย		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			AVG	MAX
4	31	0.60	0.47	0.64	0.79	0.61	1.20	1.20	0.62	0.99	0.48	0.760	1.198	Medium Crack	เล็กน้อย
4	32	0.41	0.42	0.41	0.60	0.40	0.41	0.42	0.42	0.55	0.24	0.427	0.602	Thin Crack	น้อยมาก
4	33	0.41	0.41	0.41	0.43	0.65	0.51	0.68	0.61	0.63	0.41	0.513	0.678	Thin Crack	น้อยมาก
4	34	0.40	0.53	0.44	0.48	0.41	0.40	0.44	0.61	0.40	0.40	0.452	0.614	Thin Crack	น้อยมาก
4	35	0.40	0.41	0.44	0.46	0.23	0.47	0.52	0.43	0.45	0.40	0.422	0.522	Thin Crack	น้อยมาก
4	36	0.41	0.57	0.41	0.65	0.61	0.40	0.56	0.40	0.22	0.57	0.479	0.645	Thin Crack	น้อยมาก
4	37	0.31	0.41	0.26	0.48	0.42	0.61	0.48	0.60	0.40	0.48	0.447	0.613	Thin Crack	น้อยมาก
4	38	0.42	0.40	0.42	0.41	0.62	0.62	0.44	0.61	0.54	0.40	0.488	0.62	Thin Crack	น้อยมาก
4	39	0.41	0.42	0.65	0.60	0.57	0.40	0.46	0.70	0.41	0.41	0.503	0.704	Thin Crack	น้อยมาก
4	40	0.81	0.28	0.68	0.67	0.72	0.61	0.67	0.47	0.44	0.47	0.581	0.814	Thin Crack	น้อยมาก
4	41	0.41	0.46	0.43	0.46	0.41	0.45	0.45	0.51	0.41	0.40	0.439	0.508	Thin Crack	น้อยมาก
4	42	0.40	0.40	0.35	0.45	0.48	0.40	0.49	0.50	0.43	0.43	0.433	0.501	Thin Crack	น้อยมาก
4	43	0.20	0.49	0.43	0.51	0.42	0.45	0.51	0.40	0.52	0.41	0.435	0.519	Thin Crack	น้อยมาก
4	44	0.48	0.40	0.41	0.41	0.70	0.55	0.42	0.49	0.44	0.43	0.474	0.703	Thin Crack	น้อยมาก
4	45	0.61	1.01	0.56	0.69	0.78	0.85	0.87	0.79	0.70	0.64	0.751	1.009	Medium Crack	เล็กน้อย
5	1	0.92	0.88	0.76	1.41	0.98	1.11	1.86	1.12	0.72	0.62	1.038	1.859	Medium Crack	เล็กน้อย
5	2	1.00	1.03	0.72	1.13	1.25	1.12	0.83	0.47	0.65	0.71	0.891	1.254	Medium Crack	เล็กน้อย
5	3	0.50	1.01	0.88	0.80	1.11	0.98	0.67	0.66	0.70	1.54	0.885	1.538	Medium Crack	เล็กน้อย
5	4	0.77	0.32	0.72	0.89	0.63	0.72	0.78	0.88	0.68	0.62	0.699	0.888	Thin Crack	น้อยมาก

ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว										ประเภท	ระดับความ เสียหาย		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			AVG	MAX
5	5	0.63	0.64	0.71	0.63	0.69	0.63	0.88	0.62	0.87	0.87	0.717	0.879	Thin Crack	น้อยมาก
5	6	0.50	0.73	0.73	0.70	0.77	0.88	0.87	0.88	0.75	0.74	0.755	0.881	Thin Crack	น้อยมาก
5	7	0.73	0.76	0.69	0.72	0.73	0.75	0.87	0.64	0.70	0.87	0.746	0.87	Thin Crack	น้อยมาก
5	8	1.30	1.27	0.60	0.91	0.93	0.61	0.62	0.86	0.79	0.65	0.851	1.295	Medium Crack	เล็กน้อย
5	9	0.70	0.88	0.69	0.69	0.88	0.89	1.13	0.73	0.64	0.58	0.781	1.128	Medium Crack	เล็กน้อย
5	10	1.08	0.72	0.69	0.87	1.11	0.96	1.15	0.85	1.14	1.07	0.963	1.154	Medium Crack	เล็กน้อย
5	11	0.88	0.53	0.72	1.10	0.63	0.63	0.67	0.52	0.53	0.53	0.674	1.095	Medium Crack	เล็กน้อย
5	12	0.93	0.70	0.72	0.62	0.74	0.84	0.87	0.82	1.25	0.69	0.818	1.248	Medium Crack	เล็กน้อย
5	13	0.74	0.63	0.38	0.61	0.55	0.72	0.65	0.80	0.35	0.63	0.605	0.803	Thin Crack	น้อยมาก
5	14	0.33	0.72	0.74	0.71	0.70	0.47	0.75	0.80	0.63	0.72	0.658	0.797	Thin Crack	น้อยมาก
5	15	0.64	0.67	0.78	0.45	0.44	0.36	0.30	0.59	0.31	0.36	0.490	0.783	Thin Crack	น้อยมาก
5	16	0.65	0.47	0.67	0.40	0.75	0.63	0.62	0.91	0.62	0.69	0.640	0.905	Thin Crack	น้อยมาก
5	17	0.38	0.69	0.81	0.62	0.67	0.34	0.77	0.38	0.72	0.38	0.576	0.806	Thin Crack	น้อยมาก
5	18	0.53	0.77	0.65	0.43	0.41	0.33	0.81	0.48	0.61	0.81	0.582	0.814	Thin Crack	น้อยมาก
5	19	0.87	0.37	0.41	0.64	0.71	0.91	0.78	1.38	0.89	0.70	0.764	1.376	Medium Crack	เล็กน้อย
5	20	0.89	0.70	0.82	0.88	0.71	0.80	0.75	0.73	0.73	1.07	0.808	1.068	Medium Crack	เล็กน้อย
5	21	0.76	0.80	0.89	0.89	0.71	0.89	0.78	0.86	0.76	0.63	0.798	0.894	Thin Crack	น้อยมาก
5	22	1.07	0.92	0.91	0.69	0.88	0.86	0.67	0.98	0.88	0.89	0.874	1.066	Medium Crack	เล็กน้อย
5	23	0.70	0.65	1.12	0.72	0.70	0.77	0.93	0.77	0.73	0.74	0.782	1.121	Medium Crack	เล็กน้อย

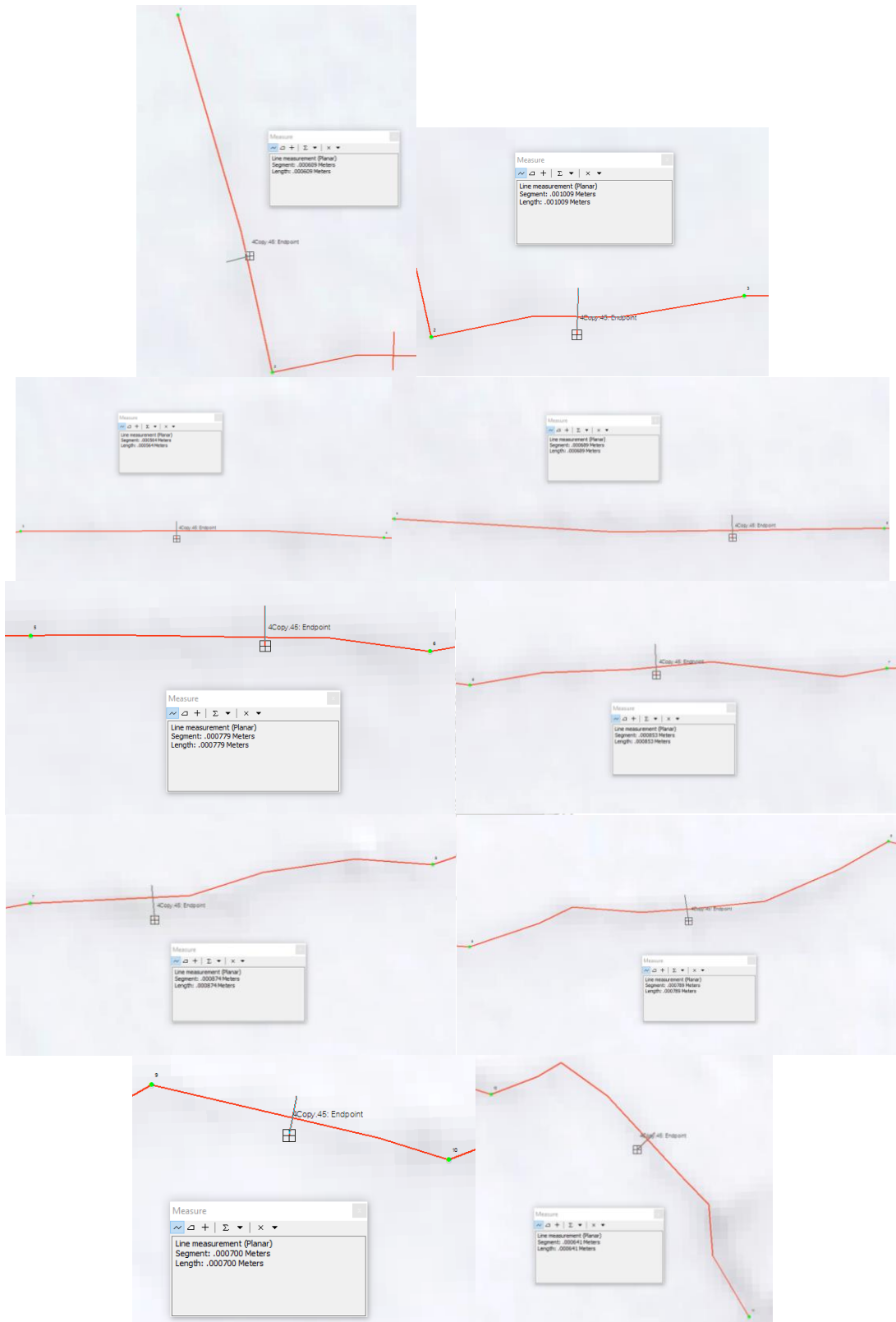
ด้านของ ผนังอาคาร	ตำแหน่งที่ เกิดรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว										ประเภท	ระดับความ เสียหาย		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			AVG	MAX
6	1	0.81	0.52	0.54	0.42	0.42	0.63	0.50	0.40	0.43	0.60	0.527	0.813	Thin Crack	น้อยมาก
6	2	0.39	0.53	0.38	0.43	0.42	0.41	0.44	0.43	0.52	0.53	0.448	0.533	Thin Crack	น้อยมาก
6	3	0.59	0.66	0.38	0.52	0.36	0.43	0.39	0.40	0.40	0.84	0.494	0.836	Thin Crack	น้อยมาก
6	4	0.42	0.57	0.53	0.43	0.40	0.43	0.54	0.42	0.38	0.68	0.480	0.684	Thin Crack	น้อยมาก
6	5	0.42	0.51	0.40	0.51	0.72	0.58	0.62	0.41	0.41	0.42	0.499	0.715	Thin Crack	น้อยมาก
6	6	0.52	0.52	0.39	0.40	0.39	0.40	0.45	0.47	0.42	0.60	0.457	0.6	Thin Crack	น้อยมาก
6	7	0.53	0.54	0.38	0.54	0.41	0.67	0.46	0.66	0.53	0.57	0.528	0.668	Thin Crack	น้อยมาก
6	8	0.45	0.41	0.43	0.39	0.53	0.38	0.45	0.39	0.54	0.43	0.440	0.539	Thin Crack	น้อยมาก
6	9	0.27	0.54	0.54	0.54	0.53	0.42	0.50	0.31	0.40	0.46	0.450	0.542	Thin Crack	น้อยมาก
6	10	0.45	0.44	0.42	0.41	0.55	0.43	0.44	0.65	0.50	0.55	0.483	0.645	Thin Crack	น้อยมาก
6	11	0.76	0.64	0.59	0.63	0.70	0.84	0.74	0.59	0.62	0.54	0.664	0.843	Thin Crack	น้อยมาก
6	12	0.66	0.42	0.68	0.67	0.55	0.53	0.58	0.45	0.79	0.68	0.599	0.785	Thin Crack	น้อยมาก
6	13	0.39	0.22	0.19	0.38	0.42	0.43	0.40	0.45	0.22	0.21	0.331	0.453	Thin Crack	น้อยมาก
6	14	0.44	0.40	0.38	0.45	0.55	0.38	0.36	0.37	0.39	0.35	0.408	0.553	Thin Crack	น้อยมาก
6	15	0.37	0.66	0.65	0.63	0.60	0.58	0.58	0.60	0.45	0.60	0.571	0.659	Thin Crack	น้อยมาก
6	16	0.46	0.46	0.43	0.52	0.56	0.42	0.58	0.54	0.58	0.58	0.513	0.58	Thin Crack	น้อยมาก
6	17	0.38	0.41	0.46	0.43	0.42	0.38	0.43	0.43	0.42	0.54	0.429	0.542	Thin Crack	น้อยมาก
6	18	0.42	0.59	0.45	0.36	0.49	0.42	0.42	0.46	0.43	0.42	0.448	0.59	Thin Crack	น้อยมาก

จากผลการตรวจสอบและวัดขนาดความกว้างของรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ UAV โดยวัดจากภาพผนังอาคารที่ได้จากการถ่ายภาพตัวอย่างดังรูปที่ 4.27 ทำการวัดโดยเทียบพิกัดภูมิศาสตร์ในภาพตัวอย่างดังรูปที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าความกว้างที่ได้จัดอยู่ในระดับความเสียหายที่น้อยมาก และเล็กน้อยต่อโครงสร้าง และในบางตำแหน่งของรอยแตกร้าวบนผนังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมเป็นต้นไม้สูงรอบอาคาร

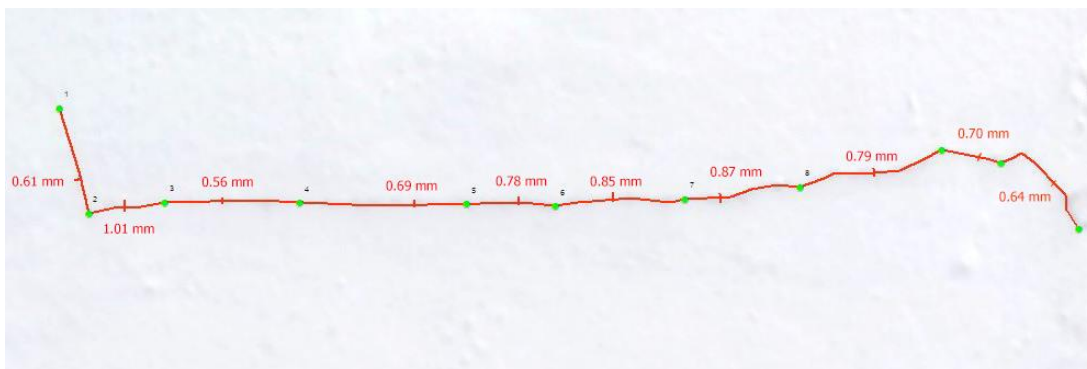


รูปที่ 4.28 ตัวอย่างผนังอาคารด้านที่ 4 ที่ได้จากการถ่ายภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.29 ตัวอย่างการวัดขนาดรอยแตกกว้างทั้ง 10 จุด บนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45



รูปที่ 4.30 ตัวอย่างขนาดรอยแตกกว้างหน่วยมิลลิเมตรบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45

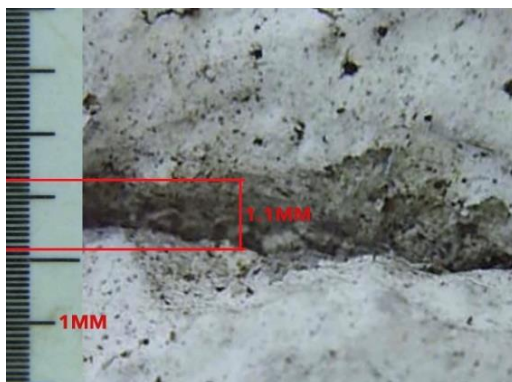
4.6 การวัดขนาดรอยแตกกว้างที่เกิดขึ้นจริง

จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล และเทียบกับสเกลไม้บรรทัดในหน่วยมิลลิเมตร โดยวัดในทิศทางตั้งฉากกับปากรอยร้าวได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การตรวจสอบความกว้างรอยแตกกว้างภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดขึ้นจริง

ด้านของผนังอาคาร	ตำแหน่งที่เกิดรอยร้าว	ความกว้างรอยร้าว	ประเภท	ระดับความเสียหาย
2	5	1.00	Medium Crack	เล็กน้อย
2	6	1.20	Medium Crack	เล็กน้อย
4	19	0.60	Thin Crack	น้อยมาก
4	20	0.50	Thin Crack	น้อยมาก
4	21	0.70	Thin Crack	น้อยมาก
4	22	0.90	Thin Crack	น้อยมาก
4	45	1.10	Medium Crack	เล็กน้อย
5	12	1.45	Medium Crack	เล็กน้อย
5	13	1.00	Thin Crack	น้อยมาก
5	14	0.90	Thin Crack	น้อยมาก
5	15	0.90	Thin Crack	น้อยมาก
5	16	1.20	Thin Crack	น้อยมาก
5	17	1.00	Thin Crack	น้อยมาก
5	18	1.00	Thin Crack	น้อยมาก
6	11	1.10	Thin Crack	น้อยมาก

จากผลการตรวจสอบและวัดขนาดความกว้างที่เกิดขึ้นจริงของรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ไม่สามารถประเมินความกว้างของรอยแตกร้าวได้ในหลายตำแหน่ง เนื่องจากไม่สามารถเข้าถึงรอยแตกร้าวได้ และเลือกรอยร้าวที่มีขนาดกว้างสูงสุดเป็นจุดอ้างอิง เนื่องจากในสถานการณ์ที่ใช้งานจริงจะวัดเฉพาะรอยร้าวที่มีขนาดกว้างสูงสุดเท่านั้น ตัวอย่างดังรูปที่ 4.30

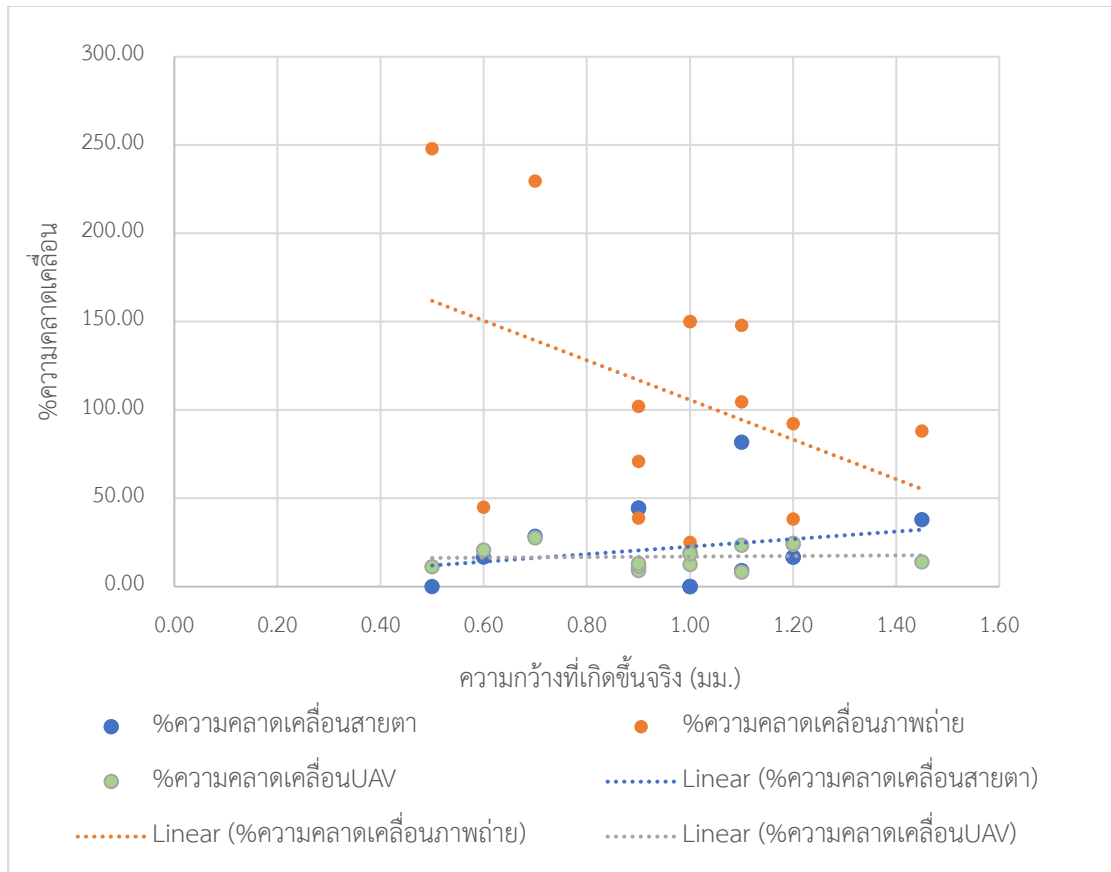


รูปที่ 4.31 ตัวอย่างขนาดรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริงบนผนังอาคารด้านที่ 4 ตำแหน่งที่ 45

4.7 การเปรียบเทียบความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการตรวจสอบด้วยวิธีการต่างๆ

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการตรวจสอบด้วยวิธีการต่างๆ

ด้านของผนังอาคาร	ตำแหน่งที่เกิดรอยร้าว	เปรียบเทียบความกว้างโดยการวัดด้วย							
		สายตา	ภาพถ่าย	UAV	จริง	%ความคลาดเคลื่อนสายตา	%ความคลาดเคลื่อนภาพถ่าย	%ความคลาดเคลื่อน UAV	
4	20	0.5	1.739	0.444	0.50	0.00	247.83	11.20	
4	19	0.5	0.870	0.476	0.60	16.67	44.93	20.67	
4	21	0.5	2.308	0.507	0.70	28.57	229.67	27.57	
4	22	1	1.250	0.818	0.90	11.11	38.89	9.11	
5	14	0.5	1.818	0.797	0.90	44.44	102.02	11.44	
5	15	0.5	1.538	0.783	0.90	44.44	70.94	13.00	
2	5	1	1.250	1.125	1.00	0.00	25.00	12.50	
5	17	1	2.500	0.806	1.00	0.00	150.00	19.40	
5	18	1	2.500	0.814	1.00	0.00	150.00	18.60	
4	45	2	2.25	1.01	1.10	81.82	104.55	8.27	
6	11	1	2.727	0.843	1.10	9.09	147.93	23.36	
2	6	1	0.741	1.488	1.20	16.67	38.27	24.00	
5	16	1	2.308	0.905	1.20	16.67	92.31	24.58	
5	12	2	2.727	1.248	1.45	37.93	88.09	13.93	
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น							21.96	109.32	16.97



รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการตรวจสอบด้วยวิธีการต่างๆ

จากผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความกว้างรอยแตกร้าวจากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่าวิธีการตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยการประเมินด้วยสายตา เมื่อความกว้างรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อความกว้างรอยแตกร้าวมากขึ้นทำให้เกณฑ์ที่แบ่งไม่ละเอียดพอและยากที่จะประเมินด้วยสายตา วิธีการตรวจสอบภาพถ่ายรอยแตกร้าวด้วยกล้องถ่ายภาพ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงมาก แต่เมื่อความกว้างรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก็จะน้อยลง เนื่องจากความกว้างรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น ทำให้บันทึกภาพรอยแตกร้าวได้ชัดเจนมากขึ้น และการวัดความกว้างรอยแตกร้าวในวิธีนี้มีการปรับแต่งภาพถ่ายก่อนวัดเช่นการลบแสงและเงาที่ไม่สม่ำเสมอ ออก อาจมีผลต่อรอยแตกร้าวที่เล็กมากๆ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายรอยแตกร้าวด้วยโดรน เป็นวิธีการที่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอยู่ที่ 16.97 และเป็นวิธีการที่มีความเสถียรมากที่สุด เพราะไม่ว่าความกว้างรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริงจะมากขึ้นก็ไม่ได้ส่งผลต่อวิธีนี้

4.8 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบรอยแตกร้าวและความกว้างรอยแตกร้าวภายนอกอาคาร
คอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้จากวิธีการต่างๆ

ข้อดี/ข้อเสีย	การตรวจสอบโดย		
	สายตา	ภาพถ่าย	UAV
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (%)	21.96	109.32	16.97
งบประมาณ (บาท)	0-50,000	30,000-70,000	30,000-100,000
กำลังคน (คน)	1-2	2-3	3-7
เวลา/พื้นที่ 1000 ตร.ม. (ชั่วโมง)	4-8	4-8	4-8
อุปสรรค	ไม่สามารถตรวจสอบ อาคารสูงกว่าระยะ สายตามองเห็น ซึ่ง หมายถึงอาคารที่สูง กว่า 10 เมตร	ไม่สามารถ ตรวจสอบอาคาร ในบริเวณที่เข้าถึง ไม่ได้ เนื่องจาก ต้องทำจุดอ้างอิง	ไม่สามารถ ตรวจสอบอาคาร บริเวณพื้นที่ที่ต้อง บินต่ำกว่า 2 เมตร

บทที่ 5

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการตรวจสอบด้วยวิธีการประเมินด้วยสายตาซึ่งเป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้ในการตรวจสอบปัจจุบัน วิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ซึ่งในการตรวจสอบภาพถ่ายนั้นได้ทำการหาระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสมที่สามารถวัดความกว้างรอยแตกร้าวได้ใกล้เคียงความกว้างรอยแตกที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด และระยะการถ่ายภาพที่เหมาะสมที่ได้คือ 5 เมตร เป็นระยะการถ่ายภาพที่มากที่สุดที่ยังวัดความกว้างรอยแตกร้าวได้ใกล้เคียงความกว้างรอยแตกที่เกิดขึ้นจริง จึงนำระยะการถ่ายภาพนี้มาใช้ในการตรวจรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งในวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจาก UAV

จากการตรวจสอบรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการตรวจสอบด้วยวิธีการประเมินด้วยสายตา วิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจาก UAV อาคารตัวอย่างจากการตรวจสอบนั้น มีรอยแตกร้าวภายนอกอาคารกระจายทั่วในแต่ละด้านของผนังอาคารทั้งหมด 111 ตำแหน่ง แต่จากการตรวจสอบทั้ง 3 วิธี พบว่ารอยแตกร้าวที่กระจายทั่วผนังอาคารนั้นเป็นรอยแตกร้าวที่มีความเสียหายอยู่ในระดับน้อยมากถึงปานกลาง และไม่ได้ส่งผลต่อตัวโครงสร้างอาคารตัวอย่าง และเมื่อทำการเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธีแล้ว พบว่าวิธีการประเมินด้วยสายตา เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 21.96 ซึ่งถือว่าค่าที่ได้ไม่มากนัก เนื่องจากรอยแตกร้าวของอาคารตัวอย่างเป็นเพียงรอยแตกร้าวขนาดเล็ก และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจะมากขึ้นตามความกว้างของรอยแตกร้าว เนื่องจากอาคารตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบเป็นอาคารที่มีรอยแตกร้าวขนาดเล็กและเมื่อความกว้างของรอยแตกร้าวมากขึ้นการแบ่งเกณฑ์ในการประเมินก็จะยากขึ้นตามไปด้วย และถ้าเป็นอาคารขนาดใหญ่จำเป็นที่จะต้องให้ผู้ตรวจสอบหรือผู้ที่มีความเชี่ยวชาญหลายคน ส่งผลทำให้ใช้เวลาในการทำงานนาน ยิ่งถ้าเป็นอาคารสูงการที่จะให้ผู้ตรวจสอบประเมินรอยแตกร้าวได้นั้นถือว่าเป็นเรื่องที่ยากลำบากมากและอาจเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นไปอีก วิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ ถือเป็นวิธีที่มีอุปสรรคในการ

ทำงานมาก ค่าใช้จ่ายสูง และเป็นวิธีที่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงถึง 109.32 เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถถ่ายภาพขนานระนาบกับตัวอาคารได้ ทำให้ต้องถ่ายในมุมต่ำ ตรวจสอบได้แค่บางตำแหน่งและต้องเป็นรอยแตกร้าวที่เข้าถึงได้ เพราะต้องทำจุดอ้างอิงเพื่อหาความกว้างรอยแตกร้าวได้ และบริเวณรอบอาคารตัวอย่างมีต้นไม้ปกคลุมทำให้เกิดอุปสรรคในการถ่ายภาพ และวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายจาก UAV พบว่าเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูงมากถ้าตรวจสอบอาคารขนาดเล็ก แต่ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอยู่ที่ 16.97 เนื่องจากสามารถถ่ายภาพขนานระนาบกับตัวอาคารได้ เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการตรวจสอบหน้างานไม่มากนัก สามารถทำตรวจสอบได้ทุกตำแหน่งรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น และถึงแม้จะมีหลายขั้นตอนในการตรวจสอบ แต่ผู้วิจัยเชื่อว่าถ้าเป็นการตรวจสอบรอยแตกร้าวภายนอกอาคารส่วนใหญ่จะเป็นอาคารขนาดใหญ่และอาคารสูงซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพราะไม่ใช่แค่สามารถตรวจสอบรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้ใกล้เคียงรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริงที่สุด แต่ยังสามารถลดเวลาในการทำงานได้มาก กำลังคนที่ใช้ก็น้อยกว่าวิธีอื่นๆ และถ้าเปรียบเทียบในการตรวจสอบอาคารขนาดใหญ่และอาคารสูงจริงๆ ค่าใช้จ่ายวิธีนี้ก็อาจไม่ได้สูงกว่าวิธีที่ใช้ในปัจจุบันหรือวิธีการประเมินด้วยสายตามากนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยในอนาคต การตรวจสอบภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ควรเพิ่มการถ่ายเข้าหาวัดดูอาจช่วยให้ได้ภาพผนังอาคารที่ละเอียดขึ้น สร้างแบบจำลองสามมิติ และนำการตรวจสอบนี้มาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence: AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวภายนอกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] Jahanshahi, M. and S. Masri, An innovative methodology for detection and quantification of cracks through incorporation of depth perception. *Machine Vision and Applications*, 2011. 24(2): p. 227-241.
- [2] Jahanshahi, M. and S. Masri, Adaptive vision-based crack detection using 3D scene reconstruction for condition assessment of structures. *Automation in Construction*, 2012. 22: p. 567-576.
- [3] Abdel-Qader, I., O. Abudayyeh, and M.E. Kelly, Analysis of Edge-Detection Techniques for Crack Identification in Bridges. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2003. 17(4): p. 255-263.
- [4] Li, G., et al., Long-distance precision inspection method for bridge cracks with image processing. *Automation in Construction*, 2014. 41: p. 83-95.
- [5] Michiol, M., et al., Detecting cracks on the tunnel wall using watershed and graph analysis. *ITE Technical* 2005. 29(59(ME2005 180-185)): p. 11-14.
- [6] Zhang, W., et al., Automatic Crack Detection and Classification Method for Subway Tunnel Safety Monitoring. *Sensors*, 2014. 14: p. 19307-19328.
- [7] Hatada, T. and F. Saitoh, Crack Detection Method for Drain by Using Directional Smoothing. *EEJ Transactions on Electronics Information and Systems*, 2007. 127(2): p. 241-246.
- [8] Sinha, S.K. and P.W. Fieguth, Automated detection of cracks in buried concrete pipe images. *Automation in Construction* 2006. 15(1): p. 58-72.
- [9] Iyer, S. and S.K. Sinha, Segmentation of Pipe Images for Crack Detection in Buried Sewers. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2006. 21(6): p. 395-410.
- [10] Mraz, A., M. Gunaratne, and A. Nazef, Guidelines for Performance Assessment of Digital Imaging Systems Used in Highway Applications. *Journal of Transportation Engineering*, 2005. 131(6): p. 429-443.
- [11] Zou, Q., et al., CrackTree: Automatic crack detection from pavement images.

- Pattern Recognition Letters, 2012. 33(3): p. 227-238.
- [12] Li, Q., et al., FoSA: F* Seed-growing Approach for crack-line detection from pavement images. *Image and Vision Computing*, 2011. 29(12): p. 861-872.
- [13] Wu, L., et al., Improvement of Crack Detection Accuracy Using a Novel Crack Defragmentation Technique in Image-Based Road Assessment. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2014.
- [14] Roli, F., Measure of texture anisotropy for crack detection on textured surfaces. *Electronics Letters*, 1996. 32(14): p. 1274.
- [15] Yamaguchi, T., et al., Percolation approach to image based crack detection, in *The 7th International conference on Quality Control by Artificial Vision*. 2005.
- [16] Yamaguchi, T., S. Nakamura, and S. Hashimoto, An efficient crack detection method using percolation-based image processing, in *Industrial Electronics and Applications*. 2008.
- [17] Ito, A., O. Aoki, and S. Hashimoto, Accurate extraction and measurement of fine cracks from concrete block surface image, in *Industrial Electronics Society*. 2002.
- [18] Dare, P.M., et al., An Operational Application of Automatic Feature Extraction: The Measurement of Cracks in Concrete Structures. *The Photogrammetric Record*, 2002. 17(99): p. 453-464.
- [19] Fujita, Y., Y. Mitani, and Y. Hamamoto, A Method for Crack Detection on a Concrete Structure, in *Pattern Recognition*. 2006.
- [20] Yamaguchi, T. and S. Hashimoto, Fast crack detection method for large-size concrete surface images using percolation-based image processing. *Machine Vision and Applications*, 2010. 21(5): p. 797-809.
- [21] Hutchinson, T.C. and Z.Q. Chen, Improved Image Analysis for Evaluating Concrete Damage. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2006. 20(3): p. 210-216.
- [22] Mohan, A. and S. Poobal, Crack detection using image processing: A critical review and analysis. *Alexandria Engineering Journal*, 2017.
- [23] Remondino, F., et al., UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling- Current status and future perspectives, in *International Archives of the*

Photogrammetry. 2011.

- [24] Everaerts, J., The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. Flemish Institute for Technological 2008. 37(B1): p. 1187-1192.
- [25] Eugster, H. and S. Nebiker, UAV-BASED AUGMENTED MONITORING – REAL-TIME GEOREFERENCING AND INTEGRATION OF VIDEO IMAGERY WITH VIRTUAL GLOBES. The International Archives of the Photogrammetry, 2008: p. 1229-1235.
- [26] Püschel, H., M. Sauerbier, and H. Eisenbeiss, A 3D Model of Castle Landenberg (CH) from Combined Photogrammetric Processing of Terrestrial and UAV-based Images. Institute of Geodesy and Photogrammetry, 2008.
- [27] Wang, J. and C. Li, Acquisition of UAV images and the application in 3D city modeling. International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2008.
- [28] Grenzdörffer, G.J. and B. Teichert, The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture, 2008. 37(B1): p. 1207-1213.
- [29] Eschmann, C., et al., Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring. Structural Health Monitoring 2012.
- [30] Ventura, D., et al., A low-cost drone based application for identifying and mapping of coastal fish nursery grounds. Estuarine Coastal and Shelf Science 2016.
- [31] CPAC, Concrete Technology. 2000.
- [32] G, M., Handbook On Causes And Prevention Of Cracks In Buildings. 2004.
- [33] กรมโยธาธิการและผังเมืองสำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ, มาตรฐานการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร, ed. พ. 1. 2551, ถนนพระรามที่ 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400.
- [34] 224R-01, A., Control of Cracking of Concrete Structure. 2001, American Concrete Institute.
- [35] Burland, et al., Behaviour of foundations and structures. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Tokyo. 1997.
- [36] Granleese, N. Depth of Field in Architectural Photography. 2013; Available from: <http://blog.nicgranleese.com/2012/07/10/depth-of-field-in-architectural->

[photography/](#).

- [37] Cho, H.-W., H.-J. Yoon, and J.-C. Yoon, Analysis of Crack Image Recognition Characteristics in Concrete Structures Depending on the Illumination and Image Acquisition Distance through Outdoor Experiments. *Sensors*, 2016: p. 21.
- [38] Suzuki, K., พื้นฐานเกี่ยวกับกล้อง ตำแหน่งและมุมกล้อง. 2014.
- [39] ไชยสาร, ก., การสร้างแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายด้วยโดรนและการประยุกต์ใช้ในการวิศวกรรมโยธา. 2562.
- [40] Owens, R., Epipolar geometry. 2007.
- [41] Bappy, D.M. and H. Rahman, A Study in 3D Structure Detection Implementing Forward Camera Motion, in *Electrical engineering*. 2011, Technology-Sweden.
- [42] Shervais, K., Structure from Motion (SfM) Photogrammetry Field Methods Manual. UNAVCO, 2016. 10.
- [43] Community, T.C. EOS Rebel SL1 EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS STM Lens Kit. 2015; Available from: <https://shop.usa.canon.com/shop/en/catalog/eos-rebel-sl1-ef-s-18-55mm-is-stm-kit>.
- [44] DJI Technology Co., L. DJI Inspire 2. 2019; Available from: <https://www.dji.com/inspire-2>.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนมน จารุญนาม
วัน เดือน ปี เกิด	16 มกราคม 2538
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	21/1 ถ.กรุงธนบุรี แขวงคลองตันใต้ เขตคลองสาน กรุงเทพฯ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY