



รายงานฉบับสมบูรณ์ของการวิจัยสำหรับบุคลากรภายใน

ชื่อโครงการ

การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์รอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตจากรูปถ่าย
(Development of image processing software to detect crack on concrete surface)

คณะผู้วิจัย

ดร. จูติพร เลิศรัตน์เดชากุล (หัวหน้าโครงการวิจัย)

ดร. ภัควัฒน์ แสนเจริญ (นักวิจัยร่วม)

TNI

สนับสนุนทุนวิจัยโดย

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มกราคม 2555

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	1
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย	3
2.2 แนวคิดในการวิจัย และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	6
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	6
3.2 เครื่องมือการวิจัย	6
3.3 การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	6
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	8
4.1 ผลการรวบรวม และจำแนกภาพถ่ายรอยร้าว	8
4.2 ผลการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายที่มีในปัจจุบัน	11
4.3 ผลการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายที่พัฒนาขึ้นใหม่	12
บทที่ 5 สรุปผล	18
บรรณานุกรม	19
เอกสารแนบการใช้จ่ายงบประมาณของงานวิจัย	20

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การก่อสร้างสิ่งก่อสร้างโดยส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะนิยมใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีข้อได้เปรียบโครงสร้างเหล็ก เช่น ในด้านของราคา คุณสมบัติในการทนไฟ เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัญหาหนึ่งที่มักพบในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่ รอยร้าว ซึ่งสาเหตุของรอยร้าวหลักๆ ได้แก่ การหดตัวของคอนกรีตทำให้เกิดหน่วยแรงดึง และเกิดรอยร้าวขึ้น การเสื่อมสภาพของโครงสร้าง เช่น ปฏิกิริยาระหว่างความเป็นด่างกับมวลรวมในคอนกรีต หรือการเกิดสนิมของเหล็กเสริม หรือการบรรทุกน้ำหนักเกินกำลังการรับน้ำหนักที่ได้มีการออกแบบไว้ของโครงสร้าง เป็นต้น โดยรอยร้าวสามารถตรวจพบได้ตั้งแต่ช่วงแรกของอายุโครงสร้าง หรือหลายสิบปีหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ รอยร้าวที่เกิดขึ้นส่งผลเสียต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งในเรื่องของความสวยงาม กำลังการรับน้ำหนัก และอายุการใช้งานของโครงสร้าง ก่อให้เกิดความกังวลต่อเจ้าของอาคาร และผู้ใช้งาน ถึงความปลอดภัยในการใช้งาน จึงมีความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการเกิดขึ้นของรอยร้าวเป็นระยะๆ

โดยทั่วไปการตรวจสอบรอยร้าวของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กกระทำโดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า และอุปกรณ์การวัดอย่างง่าย ซึ่งใช้เวลาในการตรวจสอบเป็นอย่างมาก ในการเก็บรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของรอยร้าว เช่น ตำแหน่ง ความกว้าง และความยาว ของรอยร้าว ประกอบกับการใช้เครื่องมือวัดอย่างง่ายในการสำรวจรายละเอียดของรอยร้าว ทำให้ข้อมูลที่ตรวจสอบได้ มีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย เมื่อรอยร้าวมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ความคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะที่เกิดจากมนุษย์ ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ความปลอดภัยของโครงสร้างและการวางแผนบำรุงรักษาโครงสร้างที่ถูกต้อง จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการตรวจสอบรอยร้าวขึ้นใหม่ซึ่งมีความสะดวก ถูกต้องแม่นยำกว่าวิธีตรวจสอบด้วยตาเปล่า

โดยปัจจุบันกล้องถ่ายภาพระบบดิจิทัลมีความแพร่หลาย และได้รับการพัฒนาเทคโนโลยีให้มีความละเอียดสูง ซึ่งหากนำมาใช้ควบคุมการใช้เทคโนโลยีด้านการประมวลผลภาพถ่าย ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งรอยร้าว ความกว้าง และความยาว ของรอยร้าวจากภาพถ่าย จึงเป็นการง่ายในการเก็บข้อมูลรายละเอียดรอยร้าวที่ตรวจพบในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบหาการเกิดขึ้นใหม่ของรอยร้าว การขยายตัวของรอยร้าว ได้ถูกต้องแม่นยำกว่าการตรวจสอบด้วยตาเปล่า ทำให้เจ้าของอาคารสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ถึงความปลอดภัย และวิธีการบำรุงรักษาโครงสร้างได้ต่อไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- พัฒนาโปรแกรมการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อค้นหาและวิเคราะห์รอยร้าวในพื้นที่ผิวคอนกรีต เพื่อระบุตำแหน่ง และรายละเอียดของรอยร้าว เช่น ความกว้าง และความยาว ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ
- สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบรอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้
- สามารถพัฒนาเพื่อใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับรอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

- การประมวลผลภาพถ่ายสามารถวิเคราะห์ภาพถ่ายรอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตเพื่อระบุตำแหน่ง และรายละเอียดของรอยร้าว เช่น ความกว้าง และความยาว ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ
- ปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น สภาพพื้นผิวคอนกรีต รอยเปื้อนบนพื้นผิวคอนกรีต มีผลกระทบต่อความถูกต้องของการประมวลผลภาพถ่าย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพถ่าย เพื่อตรวจสอบรายละเอียดของรอยร้าวให้มีความถูกต้อง แม่นยำ และลดผลกระทบของปัจจัยภายนอกต่างๆ
- การจำลองรอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีต โดยปรับเปลี่ยนรายละเอียดของรอยร้าว เช่น รูปแบบของรอยร้าว ความกว้าง ความยาว สีของพื้นผิวคอนกรีต สีของรอยร้าว เป็นต้น



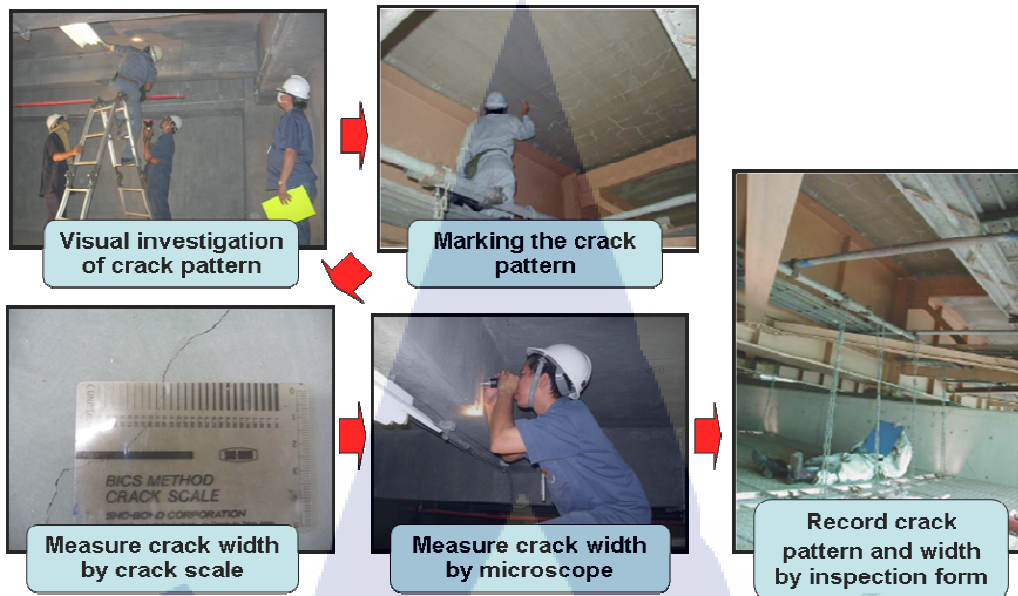
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย

การก่อสร้างสิ่งก่อสร้างโดยส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะนิยมใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าโครงสร้างเหล็ก เช่นในด้านของราคา คุณสมบัติในการทนไฟ เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัญหาหนึ่งที่มักพบในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่ รอยร้าว ซึ่งสาเหตุหลักของรอยร้าวที่มักพบในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่ การหดตัวของคอนกรีต การเสื่อมสภาพของโครงสร้างตามอายุการใช้งาน เช่น ปฏิกิริยาระหว่างความเป็นด่างกับมวลรวมในคอนกรีต หรือการเกิดสนิมของเหล็กเสริม หรือการบรรทุกน้ำหนักเกินกำลังการรับน้ำหนักของโครงสร้าง เป็นต้น โดยรอยร้าวสามารถตรวจพบได้ตั้งแต่ช่วงแรกของอายุโครงสร้าง หรือหลายสิบปีหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ รอยร้าวที่เกิดขึ้นส่งผลเสียต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งในเรื่องของกำลังการรับน้ำหนัก และอายุการใช้งานของโครงสร้าง ก่อให้เกิดความกังวลต่อเจ้าของอาคาร และผู้ใช้งาน ถึงความปลอดภัยในการใช้งาน จึงมีความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการเกิดขึ้นของรอยร้าวเป็นระยะๆ

โดยทั่วไปการตรวจสอบรอยร้าวกระทำโดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า และอุปกรณ์การวัดอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ในการเก็บรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของรอยร้าว เช่น ตำแหน่ง ความกว้าง และความยาว ของรอยร้าว ซึ่งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ และมีค่าใช้จ่ายสูงในการตรวจสอบ ทำให้เกิดความยุ่งยากในการตรวจสอบโครงสร้าง ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ความปลอดภัยของโครงสร้างและการวางแผนการบำรุงรักษาโครงสร้าง จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการตรวจสอบรอยร้าวขึ้นใหม่ซึ่งมีความสะดวก ถูกต้องแม่นยำ และประหยัดกว่าวิธีตรวจสอบด้วยตาเปล่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

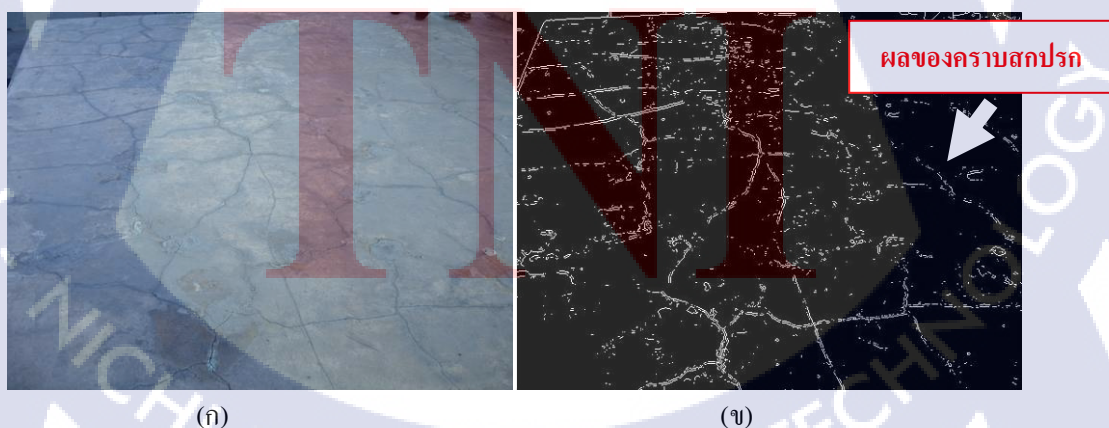
ปัจจุบันการถ่ายภาพด้วยระบบดิจิทัลมีความนิยมสูง ราคาถูกและได้รับการพัฒนาให้มีความละเอียดสูง ประกอบกับการพัฒนาการใช้เทคโนโลยีด้านการประมวลผลภาพถ่าย ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งรอยร้าว ความกว้าง และความยาวของรอยร้าวจากภาพถ่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จึงเป็นการง่ายในการเก็บข้อมูลรายละเอียดรอยร้าวที่ตรวจพบในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบหาการเกิดขึ้นใหม่ของรอยร้าว การขยายตัวของรอยร้าว ได้ถูกต้องแม่นยำกว่าการตรวจสอบด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตามสภาพพื้นผิวคอนกรีตในโครงสร้างจริงมีความแตกต่างกันทั้งสภาพแวดล้อม และสภาพพื้นผิว เช่นมีคราบสิ่งสกปรก ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการประมวลผลภาพถ่ายในการระบุตำแหน่งรอยร้าวได้ ดังตัวอย่างการประมวลผลภาพถ่ายแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรอยร้าวได้อย่างถูกต้องแม่นยำ จึงจำเป็นต้องพัฒนาการประมวลผลภาพถ่าย เพื่อช่วยในการลดผลกระทบของคราบรอยเปื้อนต่างๆ และวิเคราะห์หาตำแหน่งรอยร้าวให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากผลการศึกษาจะทำให้เจ้าของโครงสร้างสามารถตรวจสอบโครงสร้างได้สะดวก มีค่าใช้จ่ายต่ำลง และนำข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ถึงความปลอดภัย และวางแผนวิธีการบำรุงรักษาอาคารได้ต่อไปอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการตรวจสอบรอยร้าวด้วยตาเปล่าที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการตรวจสอบรอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตที่สะอาดโดยวิธีการประมวลผลภาพถ่าย
(ก) ภาพถ่ายดิจิทัล (ข) ผลการตรวจสอบรอยร้าว



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการตรวจสอบรอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตที่สกปรกโดยวิธีการประมวลผลภาพถ่าย
(ก) ภาพถ่ายดิจิทัล (ข) ผลการตรวจสอบรอยร้าว

2.2 แนวคิดในการวิจัย และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากเทคโนโลยีการตรวจสอบรอยร้าวโดยการประมวลผลภาพถ่าย ณ ปัจจุบันที่ได้รับการพัฒนาขึ้น นอกจากราคาที่สูงมากแล้ว (1-2) ยังประสบกับปัญหาในการตรวจสอบรอยร้าวบนพื้นผิวที่อยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อมจริง ซึ่งมีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น พื้นผิวที่มีรอยเปื้อน หรือ แสงเงาตกกระทบ เป็นต้น เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายเพียงอย่างเดียว(3-4) ซึ่งอาจไม่สามารถลดผลกระทบของสภาพแวดล้อมอื่นๆ ได้อย่างสมบูรณ์ ได้มีการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพถ่าย(5-8) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบรอยร้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยร้าวบนพื้นผิวที่มีสภาพหลากหลาย และมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำลง อย่างไรก็ตามยังไม่มีการนำมาใช้งานจริงกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากยังมีความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบรอยร้าวอยู่

ดังนั้นแนวคิดในการวิจัยในโครงการนี้ จะลดผลกระทบของสภาพพื้นผิวของคอนกรีตต่อการวิเคราะห์ภาพถ่าย เพื่อใช้ในการตรวจสอบรอยร้าว โดยการเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์รอยร้าวที่มีสภาพพื้นผิวต่างๆ กันด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายโดยใช้อัลกอริทึมต่างๆ และหาแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในขั้นแรก จะเริ่มจากการรวบรวม และจำแนกภาพถ่ายรอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตที่ตรวจพบในโครงสร้างจริงตามรูปแบบ และลักษณะของรอยร้าว เช่น ลวดลาย ขนาดรอยร้าว ลักษณะพื้นผิว และทราบรอยเบี่ยงเบนต่างๆ

ขั้นตอนถัดไป จะดำเนินการรวบรวมเทคนิคประมวลผลภาพถ่ายต่างๆ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์หาตำแหน่งรอยร้าวในภาพถ่าย โดยเปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ โดยเทียบกับผลการตรวจสอบรอยร้าวด้วยตาเปล่าตามวิธีธรรมดา โดยในการประมวลผลรอยร้าวในภาพถ่ายจะอาศัยเทคนิค Edge detection เป็นหลัก ซึ่งมีอยู่หลายวิธี เช่น

1. Sobel method
2. Prewitt method
3. Roberts method
4. Laplacian of Gaussian method (LoG)
5. Zero-cross method
6. Canny method

โดยวิธี Sobel, Prewitt, Roberts และ Canny เป็นวิธีการหาขอบโดยใช้หลักการเปรียบเทียบค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพกับค่า threshold ซึ่งวิธี Canny เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ใช้หลักการ Nonmaxima suppression กับขนาดของ Gradient และ Double thresholding algorithm ในการหาตำแหน่งพิกเซลที่เป็นขอบและทำการเชื่อมต่อขอบ ในขณะที่วิธี Laplacian of Gaussian (LoG) และ Zero-cross เป็นวิธีการหาขอบจากตำแหน่งที่มีค่าอนุพันธ์อันดับ 2 เป็น 0 รายละเอียดหลักการทำงานในแต่ละวิธีสามารถอ้างอิงได้จาก 9-10 โดยในการวิจัยจะเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายวิธีต่างๆของภาพรอยร้าวแต่ละชนิด

เมื่อทราบถึงปัญหา ข้อจำกัดต่างๆ ของเทคนิคประมวลผลภาพถ่ายที่มีในปัจจุบัน ในการวิเคราะห์รอยร้าว ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจสอบรอยร้าวโดยอาศัยเทคนิคการระบุตำแหน่งรอยร้าวด้วยวิธีการเน้นส่วนของรอยร้าวและเงาจากส่วนของคราบสกปรกอื่นๆที่ไม่ต้องการ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. Crack Segmentation
2. Crack Orientation Detection
3. Crack Frequency Detection
4. Crack Enhancement

3.2 เครื่องมือการวิจัย

- กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
- โปรแกรม MATLAB

3.3 การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์รอยร้าวโดยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายด้วยวิธีต่างๆ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์รอยร้าวโดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของรูปแบบ และลักษณะของรอยร้าวต่อประสิทธิภาพของเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายแต่ละวิธี

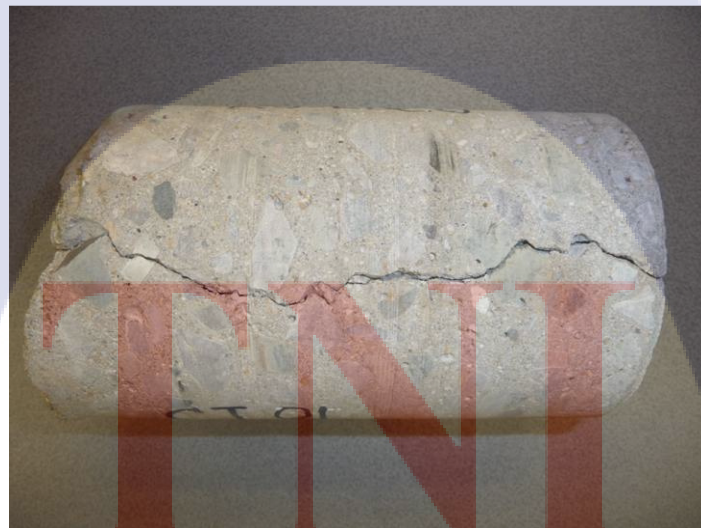
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการรวบรวม และจำแนกภาพถ่ายรอยร้าว

ขั้นตอนแรกของการดำเนินโครงการ คณะผู้วิจัยได้รวบรวม และจำแนกรอยร้าวที่ตรวจพบบนพื้นผิวของโครงสร้างจริง ตามลักษณะ และรูปแบบของรอยร้าว เช่น ลวดลาย ขนาด ลักษณะพื้นผิว และคราบรอยเปื้อนต่างๆ ซึ่งรูปแบบ และลักษณะดังกล่าวมักเป็นสภาพที่พบจริงบนพื้นผิวของโครงสร้างจริง ซึ่งทำให้สามารถตรวจพบรอยร้าวด้วยตาเปล่าได้ยากขึ้น และอาจเป็นข้อจำกัดในการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยเทคนิคประมวลผลภาพถ่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.7



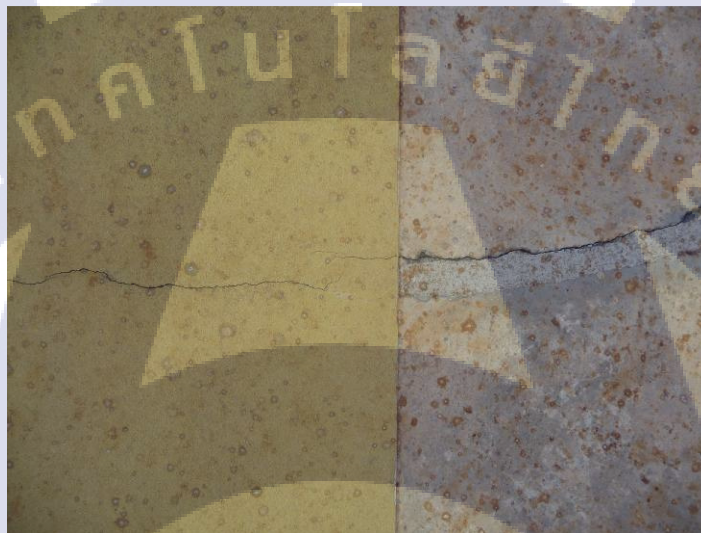
รูปที่ 4.1 ลักษณะรอยร้าวตรง และชัดเจนบนพื้นผิว



รูปที่ 4.2 ลักษณะรอยร้าวตรง มีผลกระทบของมวลรวมบนพื้นผิว



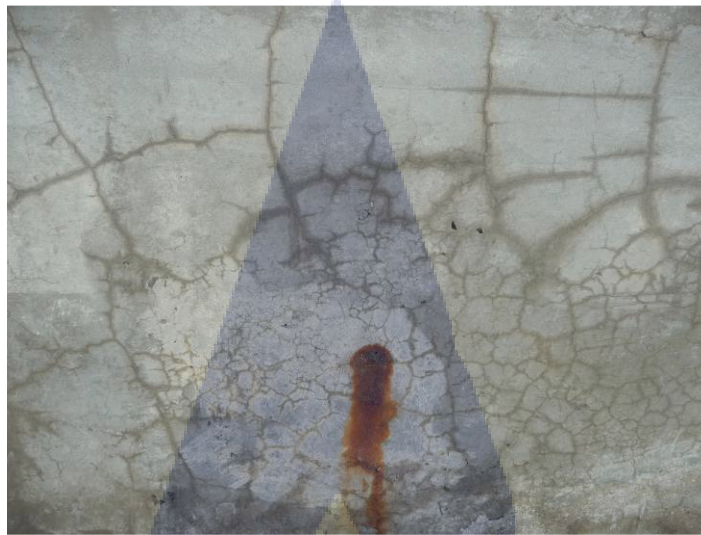
รูปที่ 4.3 ลักษณะรอยร้าวตรง มีผลกระทบของสีของพื้นผิว



รูปที่ 4.4 ลักษณะรอยร้าวตรง มีผลกระทบของสีของพื้นผิว และรอยเปื้อนบนพื้นผิว



รูปที่ 4.5 ลักษณะรอยร้าวกระจายโดยทั่ว และมีขนาดเล็ก



รูปที่ 4.6 ลักษณะรอยร้าวกระจายโดยทั่ว และมีผลกระทบของรอยเปื้อนเล็กน้อย

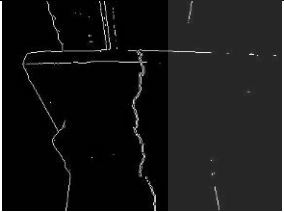
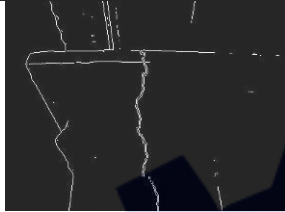
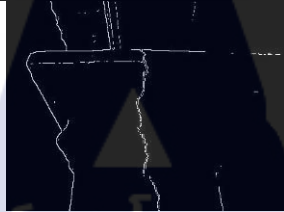
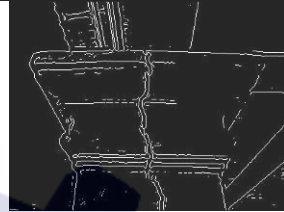
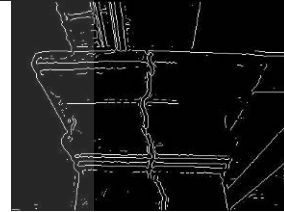
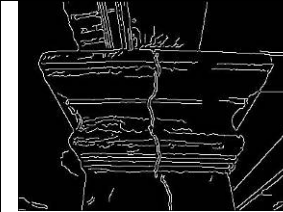
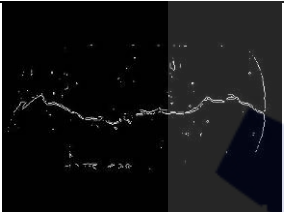
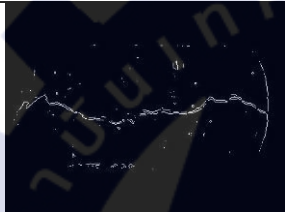
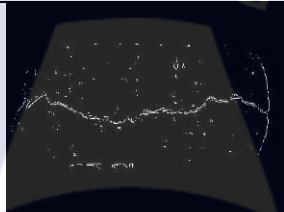
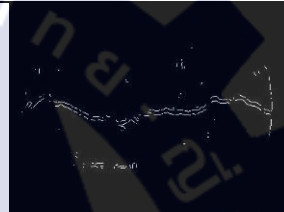
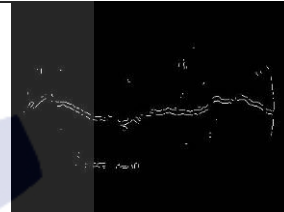
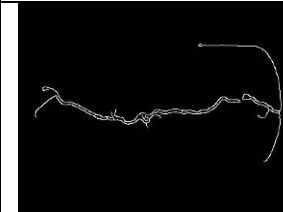
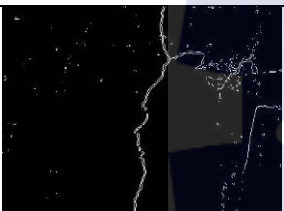
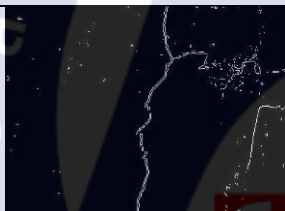
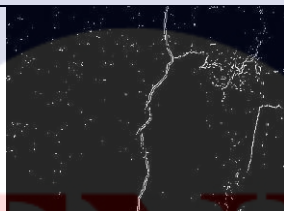
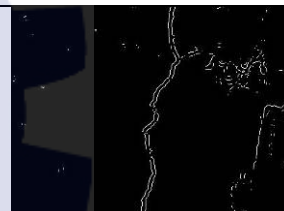
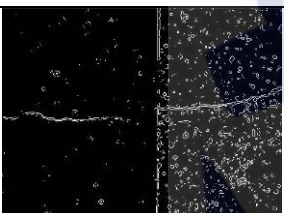
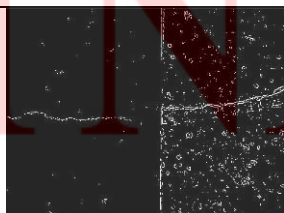
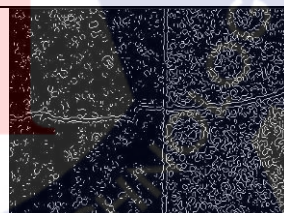
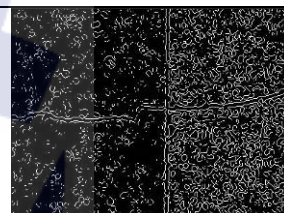
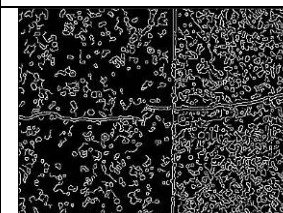


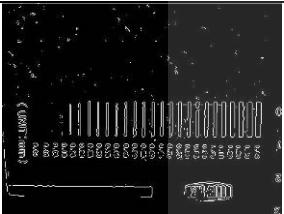
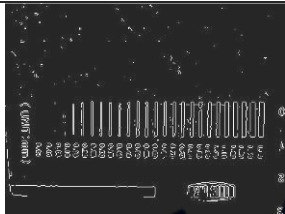
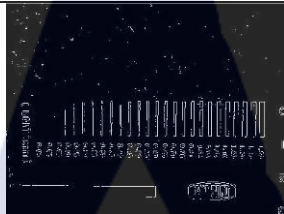
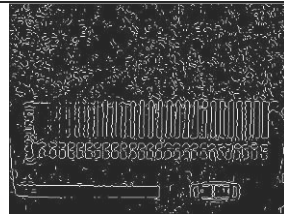
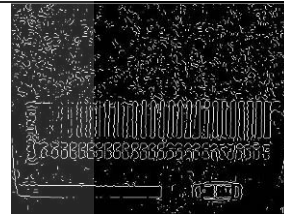
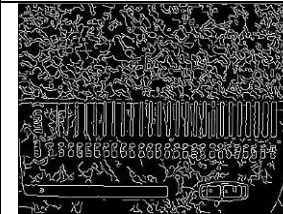
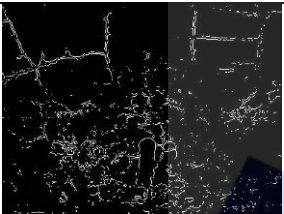
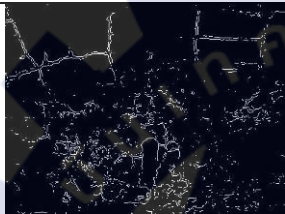
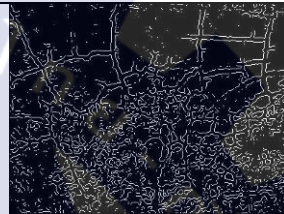
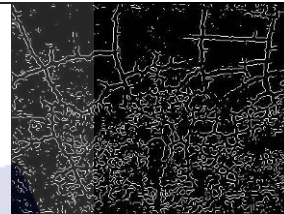
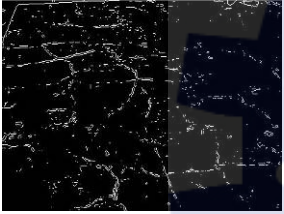
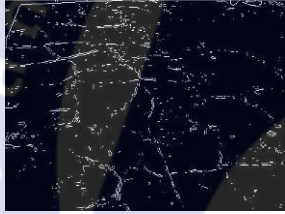
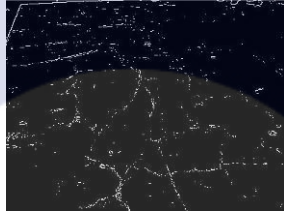
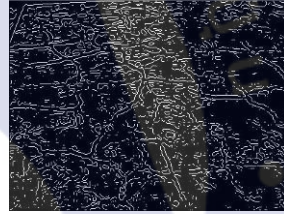
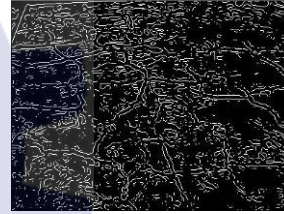
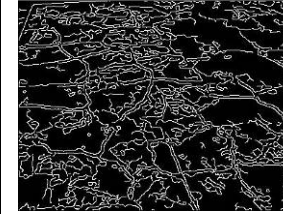
รูปที่ 4.7 ลักษณะรอยร้าวกระจายโดยทั่ว และมีผลกระทบของรอยเปื้อนมาก

4.2 ผลการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายที่มีในปัจจุบัน

ผลการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายวิธีต่างๆ ที่นิยมใช้ในปัจจุบันดังอธิบายในหัวข้อ 3.1 ของประเภทรอยร้าวที่มักพบในโครงสร้างจริงลักษณะต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.7 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายวิธีต่างๆ

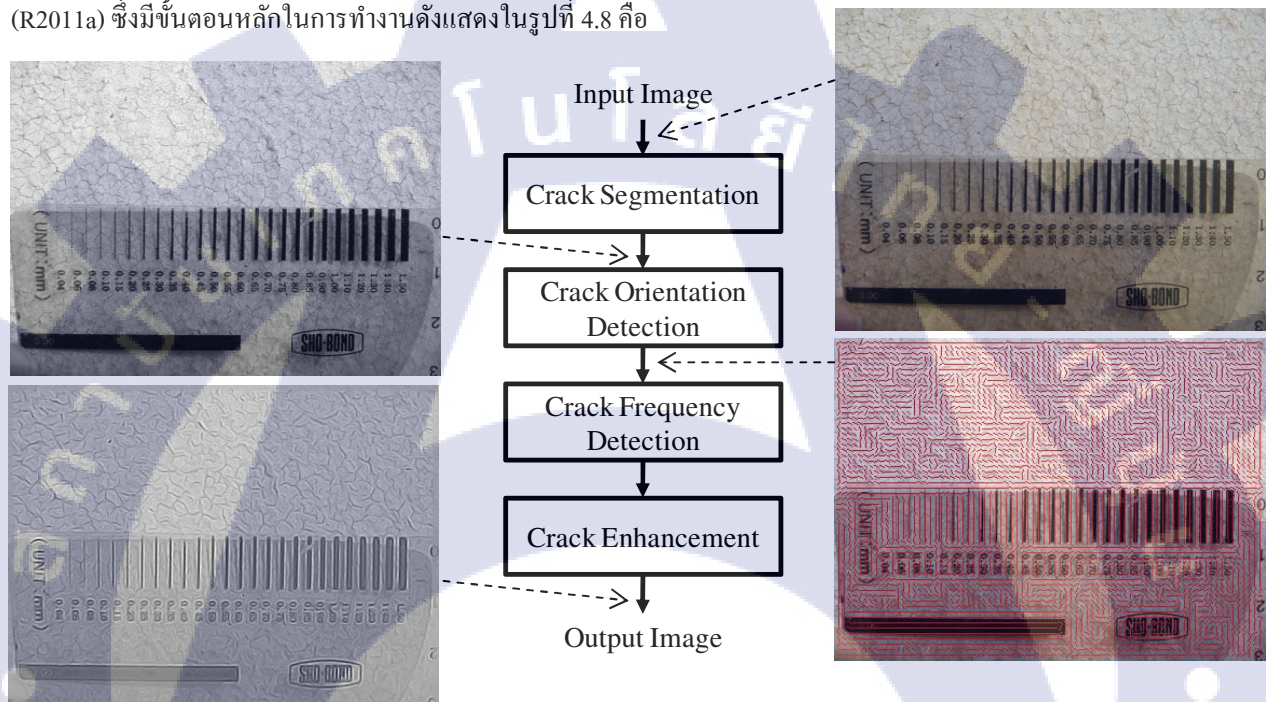
Input image	Sobel	Prewitt	Roberts	LoG	Zero-cross	Canny
 พื้นผิวเสาอด						
 พื้นผิวมีมวลรวม						
 พื้นผิวมีสีแตกต่าง						
 พื้นผิวมีรอยเปื้อน						

Input image	Sobel	Prewitt	Roberts	LoG	Zero-cross	Canny
 รอยร้าวขนาดเล็กกระจาย						
 รอยร้าวกระจายมีรอยเปื้อน						
 รอยร้าวกระจายมีรอยเปื้อน มาก						

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.1 พบว่า การระบุตำแหน่งรอยร้าวด้วยวิธีการค้นหาขอบโดยตรงของภาพ ทั้ง 6 วิธีนี้ สามารถระบุตำแหน่งรอยร้าวแนวตรงได้ประสิทธิภาพดี แม้จะมีผลกระทบของมวลรวม และสีที่แตกต่างบนพื้นผิวคอนกรีต อย่างไรก็ตามเมื่อมีคราบรอยเปื้อนขนาดเล็กกระจายอยู่โดยทั่วบนพื้นผิวคอนกรีต วิธี LoG, Zero-cross และ Canny ไม่สามารถระบุตำแหน่งรอยร้าวได้ชัดเจน นอกจากนี้รอยร้าวที่มีขนาดเล็ก และกระจายโดยทั่ว รวมทั้งผลของรอยเปื้อนบนพื้นผิวคอนกรีต ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายที่มีในปัจจุบัน เนื่องจากเกิด Noise ในบริเวณพื้นผิวที่มีคราบสกปรก และไม่สามารถระบุรอยร้าวที่กระจายโดยทั่วและมีขนาดเล็กได้อย่างถูกต้อง

4.3 ผลการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายที่พัฒนาขึ้นใหม่

จากข้อจำกัดของเทคนิควิเคราะห์ภาพถ่ายในปัจจุบัน โดยเฉพาะผลกระทบของรอยเปื้อนบนพื้นผิว และขนาดของรอยร้าว ต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์รอยร้าว ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยวิธีการเน้นส่วนของรอยร้าวและเจือจางส่วนของคราบสกปรก โดยโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์รอยร้าวถูกพัฒนาและทดสอบภายใต้ MATLAB 7.12 (R2011a) ซึ่งมีขั้นตอนหลักในการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.8 คือ



รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์รอยร้าวจากการประมวลผลภาพถ่าย

1. Crack Segmentation

เพื่อแบ่งแยกพื้นที่บริเวณรอยร้าวของภาพถ่าย โดยมีวิธีการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งภาพถ่ายรอยร้าวจะถูกปรับระดับความเข้มแสงให้อยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน(normalization) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(standard deviation) เท่ากับ 1 ตามการคำนวณในสมการที่ 1 ก่อนจะถูกใช้ในการเปรียบเทียบกับค่า threshold เพื่อแยกพื้นที่รอยร้าวของภาพถ่าย โดยจะทำการแบ่งย่อยภาพออกเป็นกลุ่มพิกเซลขนาด 16×16 พิกเซล และหาค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่มพิกเซลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่า threshold ที่กำหนด (default = 0.1) และทำการปรับระดับความเข้มแสงให้อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานอีกครั้งก่อนเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป เพื่อให้การวิเคราะห์รอยร้าวเกิดขึ้นเฉพาะส่วนของข้อมูลที่คาดว่าจะเป็นรอยร้าวและมีการประมวลผลหลักจากข้อมูลดังกล่าวเท่านั้น ภาพด้านบนซ้ายของรูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างผลจากขั้นตอน Crack Segmentation ของภาพถ่ายรอยร้าวตัวอย่างด้านบนขวาของรูปที่ 4.8 ซึ่งจะปรับลดรอยเปื้อนต่างๆ ให้เหลือไว้เฉพาะส่วนที่น่าจะเป็นรอยร้าวกับบริเวณพื้นผิวทั่วไป

$$f_{norm}(x, y) = \frac{f(x, y) - \overline{f(x, y)}}{std(f(x, y) - \overline{f(x, y)})}$$

สมการที่ 1

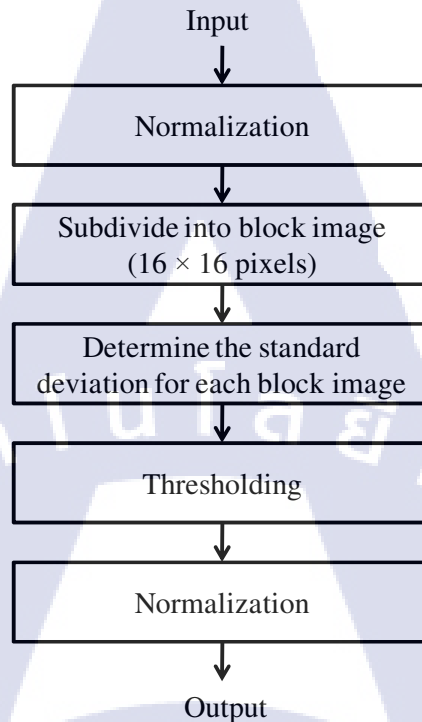
กำหนดให้

$f(x, y)$ คือ ค่าระดับความเข้มแสง(intensity)ของพิกเซลตำแหน่งที่ (x, y)

$\overline{f(x, y)}$ คือ ค่าเฉลี่ยของ $f(x, y)$

std คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i(x, y) - \overline{f(x, y)})^2}$

N คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมด



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการทำงานของ Crack Segmentation

2. Crack Orientation Detection

เป็นการหาค่าทิศทางตามแนวของรอยร้าว แสดงในหน่วยของ radian โดยจะทำการกรองภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ด้วย gradient of Gaussian (สมการที่ 2) ตามทิศทางในแนวแกน x และ y มี output เป็น G_x และ G_y ตามลำดับ ซึ่งจะถูกล smooth โดยการกรองค่าความแปรปรวนร่วมเกี่ยว(covariance) ของ image gradient ที่ได้จากสมการที่ 3 ด้วย Gaussian lowpass filter

$$\text{gradient of Gaussian} = \nabla G(x, y) \equiv \text{grad}(G(x, y)) \equiv \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial G(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} \quad \text{สมการที่ 2}$$

กำหนดให้ $G(x, y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$

$$G_{xx} = G_x^2$$

$$G_{xy} = G_x G_y$$

$$G_{yy} = G_y^2$$

สมการที่ 3

รูปที่ 4.10 แสดงขั้นตอนการทำงานของ Crack Orientation Detection โดยทิศทางของรอยร้าวสามารถคำนวณได้จากสูตรในสมการที่ 4 ภาพด้านล่างขวาของรูปที่ 4.8 แสดงทิศทางของแนวรอยร้าวที่ได้จากการคำนวณภาพตัวอย่างรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการทำงานของ Crack Orientation Detection

$$orientation = \tan^{-1} \frac{a}{b}$$

สมการที่ 4

กำหนดให้

$$a = \frac{G_{xy}}{\sqrt{G_{xy}^2 + (G_{xx} - G_{yy})^2}}$$

$$b = \frac{G_{xx} - G_{yy}}{\sqrt{G_{xy}^2 + (G_{xx} - G_{yy})^2}}$$

3. Crack Frequency Detection

เป็นการประมาณค่าจำนวนแนวรอยร้าว โดยการหาค่าเฉลี่ยของทิศทางตามแนวรอยร้าวในแต่ละกลุ่มพิกเซลย่อยและคำนวณค่าระดับความเข้มแสงรวมของแนวรอยร้าวเฉลี่ยดังกล่าว ซึ่งจำนวนรอยร้าวสามารถประมาณได้จากตำแหน่งและจำนวนค่าสูงสุด(peak)ของค่าระดับความเข้มแสงรวมตามแนวรอยร้าว ดังแสดงในสมการที่ 5

$$crack\ frequency = \frac{Number\ of\ peaks - 1}{Distance\ between\ the\ 1^{st}\ and\ the\ last\ peaks}$$

สมการที่ 5

รูปที่ 4.11 แสดงผลการประมาณค่าจำนวนแนวรอยร้าว ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ของตัวอย่างกลุ่มพิกเซลย่อยขนาด 16×16 พิกเซล จำนวน 4 กลุ่มสำหรับภาพตัวอย่างรอยร้าวในรูปที่ 4.5 ค่าศูนย์หมายถึงไม่พบรอยร้าวในกลุ่มพิกเซลย่อย



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างผลการประมาณค่าจำนวนแนวรอยร้าวของภาพตัวอย่างรอยร้าวรูปที่ 4.5

4. Crack Enhancement

เป็นการปรับปรุงภาพเพื่อเน้นความชัดเจนเฉพาะส่วนของรอยร้าว โดยการกรองภาพด้วยตัวกรองที่เป็นฟังก์ชันของปริมาณแนวรอยร้าวในแต่ละแนว $F(e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \cos(2\pi x \times \text{unique frequency}))$ รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างตัวกรองที่ได้จากการคำนวณเพื่อใช้ในการปรับปรุงภาพตัวอย่างรอยร้าวของรูปที่ 4.5

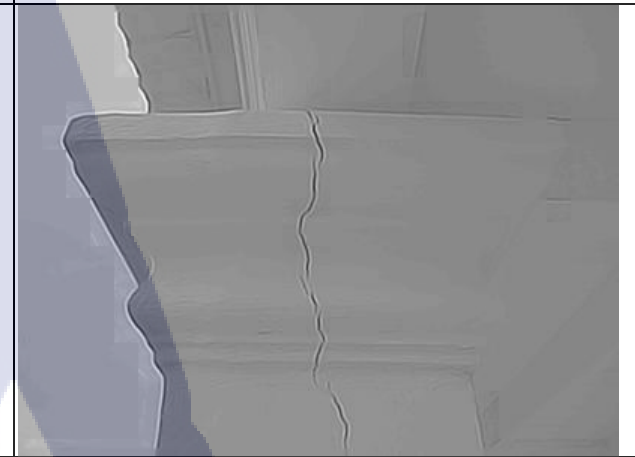
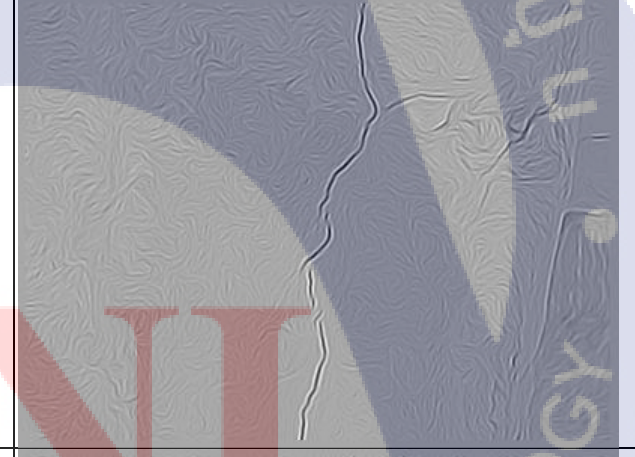


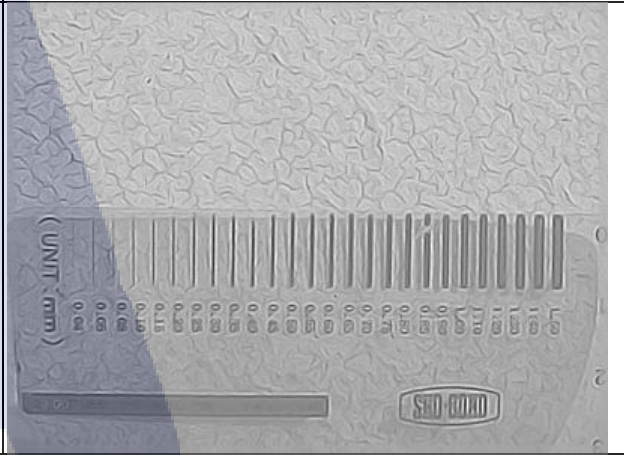
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างตัวกรองสำหรับการปรับปรุงภาพรอยร้าวรูปที่ 4.5

Algorithm ดังกล่าวข้างต้นมีหลักการร่วมกับวิธีการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์รอยร้าวทั่วไปคือ การประมวลผลค่า gradient และการกรองภาพด้วย Gaussian filter (ในขั้นตอน Crack Orientation Detection) โดยวิธีที่นำเสนอจะเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยการหาพื้นที่ที่คาดว่าจะมีรอยร้าวเกิดขึ้นก่อน โดยการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มพิกเซลย่อยกับค่า threshold ที่กำหนด และเน้นเฉพาะส่วนรอยร้าวด้วยการปรับปรุงภาพตามปริมาณรอยร้าวและแนวทิศทางของรอยร้าวในแต่ละกลุ่มพิกเซลย่อย ซึ่งจะเป็นการลดค่าระดับความเข้มแสงของส่วนที่ไม่ใช่รอยร้าวควบคู่ไปด้วย

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายที่พัฒนาขึ้น จากผลการทดสอบพบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์ตำแหน่งรอยร้าวได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีในปัจจุบัน โดยเฉพาะรอยร้าวที่มีขนาดเล็กหรือรอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตที่มีรอยเปื้อนต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงภาพรอยร้าว โดยเน้นตำแหน่งรอยร้าวให้มีความคมชัดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยร้าวที่กระจายโดยทั่วและมีขนาดเล็ก และช่วยเจือจางคราบสกปรกให้เป็นส่วนของพื้นผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกรอยร้าวของโครงสร้าง

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายที่พัฒนาขึ้นใหม่

Input image	Output image
	
	
	
	

Input image	Output image
	
	
	

บทที่ 5 สรุปผล

จากผลการทดลองการวิเคราะห์รอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตโดยเทคนิคประมวลผลภาพถ่ายพบว่า เทคนิคประมวลภาพถ่ายที่นิยมใช้ในปัจจุบันสามารถใช้วิเคราะห์รอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตบนพื้นผิวเรียบ สะอาด ไม่มีรอยเปื้อนได้มีประสิทธิภาพดี อย่างไรก็ตามในสภาพโครงสร้างจริง พื้นผิวคอนกรีตมักมีรอยเปื้อน หรือรอยร้าวมีขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเทคนิคประมวลผลภาพถ่ายในปัจจุบัน ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์รอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตได้ จึงเป็นข้อจำกัดสำหรับการใช้งานกับโครงสร้างจริง ณ ปัจจุบัน

อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์รอยร้าวด้วยวิธีการเน้นส่วนของรอยร้าวและเงาของส่วนที่ทรานสปาร์ก ซึ่งสามารถลดผลกระทบของรอยเปื้อนบนพื้นผิวคอนกรีตได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถวิเคราะห์ตำแหน่งรอยร้าวบนพื้นผิวคอนกรีตที่มีความหลากหลาย เช่น ขนาดรอยร้าว และรอยเปื้อนต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

โดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น สามารถนำไปพัฒนาต่อเนื่องในอนาคตเพื่อวิเคราะห์หาความยาว และตำแหน่งรอยร้าว เพื่อใช้ในการตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้างจริง ได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

1. 画像診断支援ソフト GS-1 เป็นซอฟต์แวร์ที่ Nikon พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบและวัดความยาวของรอยร้าว (http://www.nikon.co.jp/news/2003/gs1v60_03.htm)
2. デジタル画像による、構造物の点検・分析支援システム พัฒนาโดย アイเอ็มソフト有限公司 ประกอบด้วยซอฟต์แวร์ที่ช่วยในงาน renewal โครงสร้างต่างๆ โดยมีความสามารถในการ trace และวัดความกว้างของรอยร้าวได้ (<http://www.imsoft.co.jp/>)
3. Z. Zhu, et al., Visual retrieval of concrete crack properties for automated post-earthquake structural safety evaluation, Automation in construction, 2011.
4. T. Yamaguchi, A study on image processing method for crack inspection of real concrete surfaces, Waseda University, Japan, 2008.
5. J. Han, Data mining for image/video processing: a promising research frontier, In proceedings of the 2008 international conference on content-based image and video retrieval(CIVR'08), 2008.
6. J. Zhang, W. Hsu, and M. Lee, Image mining: issues, frameworks and techniques, In proceedings of MDM/KDD, 2001.
7. K. Lu, D. Yang, Image processing and image mining using decision trees, Journal of information science engineering, 2009.
8. H. Peng and F. Long, "A bayesian learning algorithm of discrete variables for automatically mining irregular features of pattern images", In proceedings of MDM/KDD, 2001.
9. R. C. Gonzalez, and R. E. Woods, Digital Image Processing (3rd Edition), Prentice Hall, 2008 (section 10.2.5-10.2.6).
10. MATLAB Documentation: function edge (<http://www.mathworks.com/help/toolbox/images/ref/edge.html>)

TNI

เอกสารแนบการใช้จ่ายงบประมาณของงานวิจัย

รายการ	งบประมาณที่อนุมัติ	งบประมาณที่ได้รับโอนแล้ว	งบประมาณที่ใช้ไป	งบประมาณคงเหลือ
หมวดค่าจ้าง	9,000 บาท	0 บาท	0 บาท	9,000 บาท
หมวดค่าใช้สอย	35,400 บาท	24,700 บาท	0 บาท	35,400 บาท
หมวดค่าครุภัณฑ์	5,000 บาท	0 บาท	0 บาท	5,000 บาท
รวม	49,400 บาท	24,700 บาท	0 บาท	49,400 บาท

หมายเหตุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด