



## บทที่ 2

### งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอความรู้เบื้องต้น ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่นำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจหารอยปะซ่อมบนภาพพื้นผิวถนน เริ่มต้นจากการอธิบายความหมายของการปะซ่อม ขั้นตอนการปะซ่อมแบบต่าง ๆ จากนั้นจึงนำเสนอทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัลที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยสามารถแบ่งเป็นส่วนของทฤษฎีการเตรียมภาพ ได้แก่ ทฤษฎีสี รูปแบบต่าง ๆ กระบวนการทางตรรกะ การลบสัญญาณรบกวน และทฤษฎีการแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิวและเงื่อนไขขนาดของรอยปะซ่อม ทฤษฎีเหล่านี้จะถูกนำไปประยุกต์และรวบรวมขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจหารอยปะซ่อมบนภาพพื้นผิวถนนซึ่งจะได้นำเสนอในบทถัดไป และสุดท้ายกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาความเสียหายบนพื้นผิวทางแอสฟัลต์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกส่วนภาพแบบต่าง ๆ

#### 2.1 ความหมายของการปะซ่อมผิวทางและการซ่อมผิวทาง [3,4]

งานปะซ่อมผิวทาง (Skin Patching) หมายถึงงานซ่อมแซมผิวทางแอสฟัลต์ที่มีความเสียหายอยู่ในชั้นผิวทางเท่านั้น ส่วนโครงสร้างที่ลึกลงไปกว่าชั้นผิวทางของถนนยังคงสภาพความแข็งแรงไม่เกิดความเสียหาย ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นเช่น รอยแตก (Crack) ผิวหลุดร่อน (Disintegration) ผิวทางชำรุดเป็นหลุมบ่อ (Pot Hole) ผิวทางเกิดการเคลื่อนตัว (Slippage Cracks)

งานซ่อมผิวทางแอสฟัลต์ (Deep Patching) หมายถึงงานซ่อมแซมผิวทางแอสฟัลต์ที่ต้องซ่อมแซมโครงสร้างชั้นทางที่เกิดความเสียหายก่อน จึงจะสามารถซ่อมแซมชั้นผิวทางได้ ลักษณะความเสียหายที่ต้องซ่อมผิวทางแอสฟัลต์ เช่น รอยแตกแบบหนังจระเข้ (Alligator Cracks) การบวมแตก (Upheaval) ผิวหลุดร่อนที่ลึกกว่าชั้นผิวทาง (Disintegration) เป็นต้น

## 2.2 ขั้นตอนการปะซ่อมแบบต่าง ๆ

กระบวนการซ่อมผิวทางตามคู่มือปฏิบัติงานบำรุงรักษาผิวแอสฟัลต์ [5] มี 3 ระดับคือ ซ่อมตลอดเวลา (Heavy Patching) ซ่อมสอดแทรก (Intervention Maintenance) และซ่อมโครงสร้าง (Structural Maintenance) โดยจะมีวิธีการซ่อมที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการปะซ่อมผิวทางแอสฟัลต์และการขุดซ่อมผิวทางแอสฟัลต์เป็นลักษณะการซ่อมแบบซ่อมตลอดเวลา โดยมีขั้นตอนคร่าว ๆ ดังนี้

### 1. การปะซ่อมผิวทาง (Skin Patching) [3]

การปะซ่อมผิวทางแอสฟัลต์เป็นงานซ่อมแซมที่เหมาะสมกับความเสียหายที่อยู่ในชั้นผิวทางเท่านั้น ส่วนโครงสร้างยังคงสภาพแข็งแรงไม่เกิดความเสียหาย โดยเริ่มจากตีเส้นกรอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากโดยเผื่อระยะขอบพื้นที่เสียหายออกไปข้างละ 30 เซนติเมตรจากนั้นจึงเลื่อยผิวทางตามเส้นกรอบให้ลึกประมาณ 1.5 เซนติเมตรแล้วขุดผิวเดิมออก ทำความสะอาดด้วยไม้กวาดและเครื่องเป่าลม ทายางแอสฟัลต์ให้ทั่วแล้วจึงใส่วัสดุผสมแอสฟัลต์

ตรวจสอบความเรียบด้วยการซึ่งเชือกแล้ววัดทับด้วยรถบดแล้วตรวจสอบระดับผิวด้วยไม้บรรทัดยาว 3 เมตร ถ้ายังไม่เรียบทำการแก้ไขจนกระทั่งเรียบสนิทโดยต้องสูงต่ำกว่าพื้นผิวถนนเดิมไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

### 2. การขุดซ่อมผิวทาง (Deep Patching) [4]

งานขุดซ่อมผิวทางแอสฟัลต์เป็นงานซ่อมแซมที่ต้องทำการซ่อมแซมโครงสร้างชั้นทางที่เกิดความเสียหายก่อนจึงทำการซ่อมแซมชั้นผิวทางได้ โดยมีขั้นตอนการซ่อมแซมคล้ายการปะซ่อมผิวทางแต่จะต่างกันตรงที่จะต้องขุดให้ถึงชั้นโครงสร้างที่เสียหายแล้วใส่วัสดุใหม่เข้าไปก่อนจึงจะทำการเทผิวทางใหม่และตรวจสอบความเรียบต่อไป

จากวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น 2 แบบสามารถอธิบายคร่าว ๆ ได้ดังรูปที่ 2.1

## 2.3 ทฤษฎีการประมวลผลภาพทางดิจิทัลที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้นำหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพทางดิจิทัลมาประยุกต์ใช้หลายทฤษฎี เช่น ทฤษฎีรูปแบบสี การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา การแปลงรูปแบบสีแบบ RGB เป็นรูปแบบสีแบบ HSI การปรับปรุงภาพในขอบเขตเชิงพื้นที่ การแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว เป็นต้น



(ก) ชูควัสดุที่ชูดออก



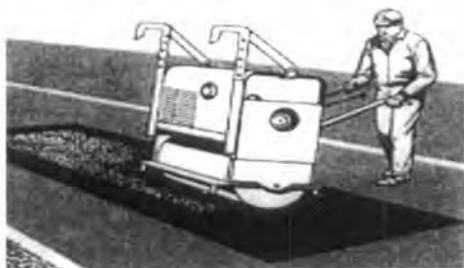
(ข) ทายางแอสฟัลต์ให้ทั่ว



(ค) ใส่วัสดุผสมแอสฟัลต์ให้ทั่ว



(ง) เกลี่ยให้มีระดับเรียบ



(จ) บดทับด้วยรถบดล้อเหล็ก



(ฉ) ตรวจสอบระดับผิวด้วยไม้บรรทัด

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการทำรอยปะซ่อมบนพื้นผิวทางแอสฟัลต์ [6]

### 2.3.1 ทฤษฎีรูปแบบสี (Color Model) [7]

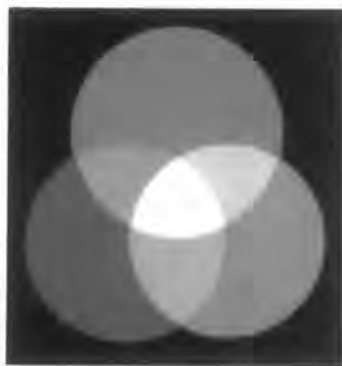
สิ่งต่าง ๆ ที่มนุษย์มองเห็นได้เป็นสีต่าง ๆ เกิดจากการที่แสงจากแหล่งกำเนิดแสงวิ่งไปตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาเข้าตาผู้สังเกต ดังนั้นผู้สังเกตจึงสามารถมองเห็นวัตถุต่าง ๆ มีสีได้ ดังนั้นเพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับสีที่มองเห็นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดระบบสีและรูปแบบไปใน

ทิศทางเดียวกัน เพื่อการสื่อสารระหว่างกันได้อย่างถูกต้อง ซึ่งรูปแบบที่กำหนดขึ้น เรียกว่า รูปแบบสี (Color Model) ซึ่งมีการใช้และยอมรับกันแพร่หลายอยู่ 4 รูปแบบ ได้แก่

- รูปแบบสี HSI ( HSI Color Model)
- รูปแบบสี RGB (RGB Color Model)
- รูปแบบสี CMYK (CMYK Color Model)
- รูปแบบสี LAB (LAB Color Model)

แต่รูปแบบสีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มีเพียง 2 รูปแบบคือ รูปแบบสีแบบ RGB และรูปแบบสีแบบ HSI ซึ่งมีโครงสร้างและรายละเอียดดังนี้

1) รูปแบบสี RGB (RGB Color Model) เป็นรูปแบบสีที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน คือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นระบบสีที่ยึดตามหลักการที่แสงอาทิตย์ประกอบด้วยสีรุ้ง 7 สี แต่เมื่อศึกษาลึกลงไปพบว่าทั้ง 7 สีนั้นเกิดจากการผสมของสี 3 สีคือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จึงถือได้ว่าทั้งสามสีนี้เป็นแม่สีของแสง ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั่วไป เช่น ในภาพวิดีโอ ภาพหน้าจอกอมพิวเตอร์ เป็นต้น

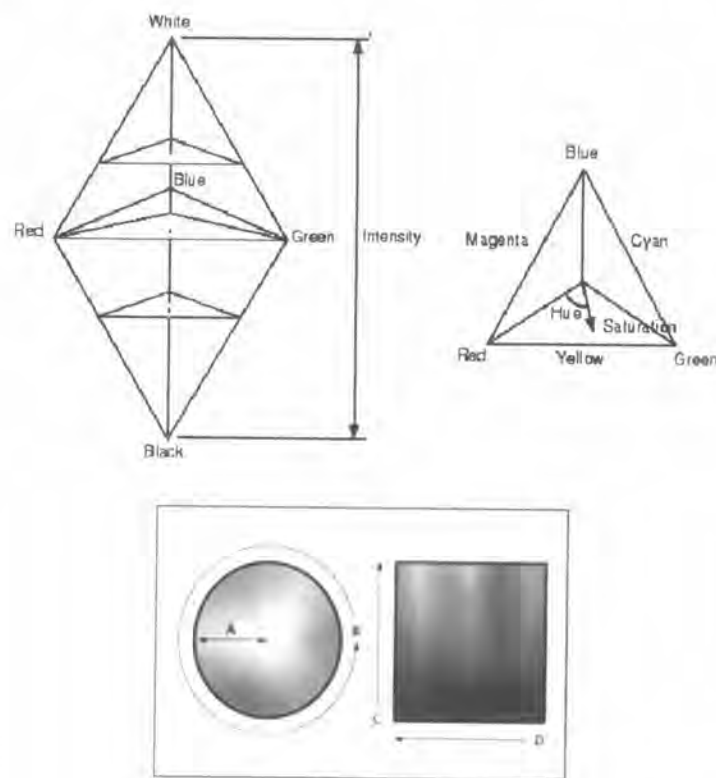


รูปที่ 2.2 แม่สีในรูปแบบสีแบบ RGB และการนำไปประยุกต์ใช้ [7]

2) รูปแบบสี HSI (HSI Color Model) เป็นรูปแบบสีที่เกิดจากการจำลองการมองเห็นของมนุษย์โดยประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ Hue Saturation และ Intensity ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียดดังนี้

- Hue เป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าสีต่าง ๆ ของวัตถุโดยอาศัยคุณสมบัติ 2 ข้อ คือการสะท้อนแสงและการดูดกลืนแสงของวัตถุ โดย Hue จะแสดงตำแหน่งเฉดสีด้วยวงล้อสีมาตรฐาน (Standard Color Wheel) โดยแสดงเป็นองศา 0 - 360 องศา
- Saturation เป็นค่าความอิ่มตัวของสีหรือความเข้มข้นของสี ซึ่งหมายถึงการเจือปนของสีกับสีขาว โดยมีค่าตั้งแต่ 0 - 1 โดยค่า 0 หมายถึงสีนั้นมีการเจือปนของสีขาวมากที่สุด ส่วนค่า 1 หมายถึงสีนั้นไม่มีการเจือปนของสีขาวเลย โดยตำแหน่งบนวงล้อสีมาตรฐาน ค่า Saturation คือค่าที่จากจุดศูนย์กลางถึงขอบ
- Intensity คือความเข้มของแสงของภาพในภาพระดับเทา มีค่า 0 - 1

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า รูปแบบสี HSI มีการแยกองค์ประกอบของสีและแสงออกจากกันโดยสิ้นเชิงคือ ค่า Hue และ Saturation เป็นส่วนขององค์ประกอบสี ส่วนค่า Intensity เป็นค่าองค์ประกอบของแสง ด้วยเหตุนี้ทำให้การวิเคราะห์สีของภาพทำได้โดยง่าย และมีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบสี RGB



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบในรูปแบบสีแบบ HSI [7]

### 2.3.2 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา [7]

กระบวนการนี้เป็นขั้นตอนที่ต้องทำการแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิวเพราะลักษณะพื้นผิวจะคำนวณจากค่าระดับเทาของแต่ละส่วนของภาพ ภาพระดับเทา (Gray-scale image) ประกอบด้วยข้อมูลที่แสดงถึงความสว่าง (Brightness) หรือความเข้มแสง (Intensity) เพียงอย่างเดียวโดยปราศจากข้อมูลสี ค่าของข้อมูลทั่วไปมักประกอบด้วยค่าความสว่างที่แตกต่างกัน 256 ระดับ คือมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255

การเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพระดับเทาในงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้สมการที่ 2.1

$$Gray = 0.299R + 0.587G + 0.114B \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ *Gray* คือ ค่าระดับเทาที่ได้จากการคำนวณในแต่ละจุดภาพ

*R* คือ ค่าสีแดง (Red) ในรูปแบบสี RGB ของจุดภาพนั้น ๆ

*G* คือ ค่าสีเขียว (Green) ในรูปแบบสี RGB ของจุดภาพนั้น ๆ

*B* คือ ค่าน้ำเงิน (Blue) ในรูปแบบสี RGB ของจุดภาพนั้น ๆ

จากสมการที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าภาพระดับเทาเป็นการดึงค่าสีตามความสว่างของแม่สี โดยจะดึงค่าของสีแดง 29.9 % สีเขียว 58.7 % และสีน้ำเงิน 11.4 % รวมเป็น 100 % ตัวอย่างการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการแปลงภาพจากรูปแบบสีเป็นภาพระดับเทา

### 2.3.3 การแปลงรูปแบบสีจากรูปแบบสี RGB เป็นรูปแบบสี HSI [7]

เนื่องจากองค์ประกอบทั้งสามส่วนของรูปแบบสี RGB นั้นไม่สามารถอธิบายการรับรู้ของตามนุษย์ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โมเดลสี HSI แทนโมเดลสี RGB เพราะองค์ประกอบทั้งสามส่วนของรูปแบบสี HSI นั้นสามารถแยกการประมวลผลได้อย่างอิสระ ซึ่งสมการที่ใช้แปลงรูปแบบสีจากรูปแบบสี RGB เป็นรูปแบบสี HSI ดังสมการที่ 2.2 ถึงสมการที่ 2.5 ดังต่อไปนี้

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2} [(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} \min (R, G, B) \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

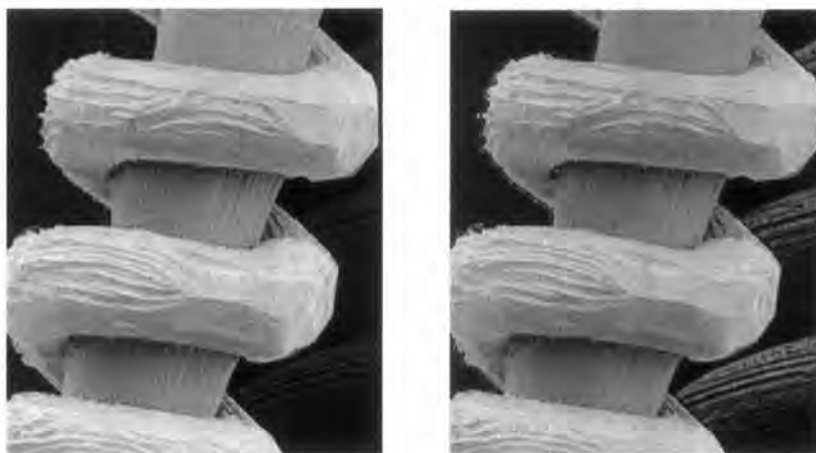
$$I = \frac{1}{3} (R + G + B) \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของความเข้มแสง (Intensity) ตามสมการที่ 2.5 กับสมการการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาตามสมการที่ 2.1 มีความใกล้เคียงกันและในบางครั้งการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา也可以使用สมการของความเข้มแสงตามสมการที่ 2.1 ได้เช่นกันซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้สมการที่ 2.1 ในการหาค่าความเข้มแสงของแต่ละจุดภาพ

### 2.3.4 การปรับปรุงภาพในขอบเขตเชิงพื้นที่ [7]

การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) คือกระบวนการที่ทำให้ภาพมีความเหมาะสมขึ้นในสายตาของมนุษย์สำหรับงานต่างๆ วิธีการปรับปรุงภาพที่เหมาะสมกับงานอย่างหนึ่งไม่จำเป็นต้องเหมาะสมกับงานอีกอย่างหนึ่งเสมอไป จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญมากกระบวนการหนึ่งในการประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล ตัวอย่างการปรับปรุงภาพในขอบเขตเชิงพื้นที่ดังรูปที่ 2.5

ขอบเขตเชิงพื้นที่ (Spatial Domain) หมายถึงระนาบของจุดภาพที่ประกอบขึ้นเป็นรูปภาพ ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งของจุดภาพได้ในความหมายเชิงระยะทาง จึงทำให้สามารถแทนภาพหนึ่งๆด้วยฟังก์ชันของพิกัด  $x$  และ  $y$  ได้เมื่อ  $x$  และ  $y$  คือระยะทางในแนวแกนตั้งและแนวนอนที่วัดจากจุดเริ่มต้น (origin)



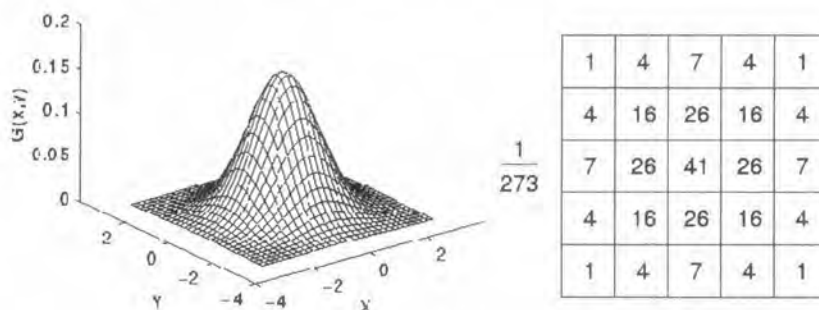
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการปรับปรุงภาพในขอบเขตเชิงพื้นที่ [7]

ดังนั้นการปรับปรุงภาพในขอบเขตเชิงพื้นที่ หมายถึงการปรับปรุงภาพโดยใช้กระบวนการที่กระทำในขอบเขตเชิงพื้นที่และให้ผลลัพธ์ออกมาในขอบเขตเชิงพื้นที่เช่นกัน กล่าวคือเราสามารถเขียนดังสมการที่ 2.6

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \dots\dots\dots(2.6)$$

เมื่อ  $f(x, y)$  คือภาพดั้งต้น,  $g(x, y)$  คือภาพผลลัพธ์ และ  $T[ ]$  คือฟังก์ชันที่ถูกกำหนดในพื้นที่รอบๆจุด  $(x, y)$  ตัวอย่างการปรับปรุงภาพเชิงพื้นที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้เนื่องจากภาพพื้นผิวถนนมีสัญญาณรบกวนจึงต้องมีการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter)

ตัวกรองเกาส์เซียนคือตัวกรองที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำดังรูปที่ 2.6 ใช้สำหรับลดสัญญาณรบกวนและเบลอ (Blur) ภาพโดยการนำตัวกรองเกาส์เซียนไปทำคอนโวลูชัน (convolution) กับภาพที่นำมาประมวลผล



รูปที่ 2.6 ตัวกรองเกาส์เซียนแบบระฆังคว่ำ[8]



ตัวกรองเกาส์เซียนสามารถสร้างได้จากสมการที่ (2.7)

$$G(x, y) = \frac{1}{k} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{\sigma^2}} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

เมื่อ  $\sigma$  คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$k = 2\pi\sigma^2$  หรือ ผลรวมของ ตัวกรองเกาส์เซียน

ตัวอย่างภาพที่ใช้ตัวกรองเกาส์เซียน ขนาด  $5 \times 5$  และมี  $\sigma = 1.0$  ดูได้ดังรูปที่ 2.7



(ก) รูปภาพก่อนผ่านตัวกรองเกาส์เซียน

(ข) รูปภาพตัวอย่างหลังผ่านตัวกรองเกาส์เซียน

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการใช้ตัวกรองเกาส์เซียนในการปรับปรุงภาพ [8]

### 2.3.5 การแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว (Texture Segmentation) [9]

การแยกส่วนภาพมีบทบาทสำคัญมากในงานประมวลผลภาพดิจิทัล ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ของรูปภาพออกจากกันตามลักษณะที่ใช้ในการพิจารณา มีการประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย โดยมีหลักการใหญ่ ๆ อยู่ 2 หลักการในการแยกองค์ประกอบของภาพคือ

- การแยกองค์ประกอบตามความเหมือนกัน (Similarity) ของคุณสมบัติของจุดภาพหรือบริเวณนั้น ๆ
- การแยกองค์ประกอบโดยดูจากความไม่ต่อเนื่องกัน (Discontinuity) ของคุณสมบัติของจุดภาพหรือบริเวณนั้น ๆ

นอกจากนี้การแยกส่วนภาพยังสามารถทำได้ในระดับจุดภาพ (Pixel Oriented Image Segmentation) หรือพิจารณาเป็นบริเวณ (Region Oriented Image Segmentation) โดยตัวอย่างของการแยกส่วนภาพในระดับจุดภาพคือ การแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะฮิสโตแกรม ซึ่งมีข้อดีข้อเสียดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของการแยกส่วนภาพในระดับจุดภาพ

	ข้อดี	ข้อเสีย
ระดับจุดภาพ (Pixel Oriented Image Segmentation)	เนื่องจากเป็นการใช้คุณสมบัติของจุดภาพเพียงอย่างเดียวทำให้ไม่เสียเวลาในการคำนวณมาก ทำให้ใช้เวลาในการแยกส่วนน้อย	ไม่สามารถใช้กับภาพที่มีสัญญาณรบกวนและภาพที่มีความสว่างไม่คงที่และผลลัพธ์ที่ได้มักได้ภาพที่ไม่ต่อเนื่อง

ส่วนการแยกส่วนภาพโดยการพิจารณาเป็นบริเวณคือวิธีการที่แยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากตำแหน่งของจุดภาพและคุณสมบัติของจุดภาพภายในพื้นที่ใกล้เคียง โดยจุดภาพที่มีคุณสมบัติเหมือนกันและอยู่ติดกันจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือทำให้ได้บริเวณที่ต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น การขยายพื้นที่ (Region Growing) และการแบ่งส่วนภาพเป็นส่วนย่อย ๆ ที่มีขนาดเท่ากันและนำภาพส่วนย่อยที่มีลักษณะเหมือนกันมารวมกัน (Region Splitting and Merging) โดยทั้งสองแบบมีอุปสรรคที่สำคัญคือการกำหนดกฎเกณฑ์ที่เหมาะสมในการตรวจสอบความเหมือนกันเพื่อใช้ในการรวมกลุ่ม

ในงานวิจัยนี้สนใจการแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว (Texture Segmentation) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการแยกส่วนภาพและการรวมกลุ่มภาพ (Region Splitting and Merging) ซึ่งสิ่งที่แตกต่างคือแทนที่จะพิจารณาว่าจุดภาพใดมีคุณสมบัติอย่างไรก็จะพิจารณาเป็นบริเวณใด บริเวณหนึ่งแทน ซึ่งบริเวณที่พิจารณาจะหมายถึงลักษณะพื้นผิว (Texture) โดยลักษณะพื้นผิวจะถูกอธิบายด้วยการกระจายตัวของค่าระดับเทา นั่นคือการใช้ความสัมพันธ์ของจุดภาพระดับเทา (Gray-Level Co-occurrence) ในพื้นผิวนั้น ๆ ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถหาสมบัติต่าง ๆ ของลักษณะพื้นผิวนั้นได้หลายแบบเช่น ค่าความเปรียบต่าง (Contrast) ค่าพลังงาน (Energy) ค่าความไม่เป็นระเบียบ (Entropy) และค่าความเหมือนกัน (Homogeneity)

ความสัมพันธ์ของจุดภาพระดับเทา (Gray-Level Co-occurrence) คือการพิจารณาความสัมพันธ์ของจุดภาพในบริเวณหนึ่งแล้วแสดงด้วยเมตริกซ์หนึ่งเรียกว่าเมตริกซ์ความสัมพันธ์ของจุดภาพระดับเทา Gray-Level Co-occurrence Matrix ซึ่งคือการพิจารณาว่าในบริเวณที่สนใจมีรูปแบบความสัมพันธ์แบบใดและมีจำนวนเท่าใด

2	1	2	0	1
0	2	1	1	2
0	1	2	2	0
1	2	2	0	1
2	0	1	0	1

(ก) ภาพตัวอย่าง



(ข) เวกเตอร์ระยะทาง

0	2	2	0
2	1	2	1
2	3	2	2
0	1	2	

(ค) เมตริกซ์  $P[i,j]$ 

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการหาเมตริกซ์ P

ตัวอย่างเมื่อกำหนดให้เมตริกซ์  $P[i,j]$  ที่ถูกกำหนดด้วยเวกเตอร์ระยะทาง  $d = (dx,dy)$  เมื่อ  $i$  และ  $j$  คือตำแหน่งของแถวและหลักในเมตริกซ์ Gray-Level Co-occurrence ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมีได้หลายรูปแบบแล้วแต่กำหนด

ขนาดของเมตริกซ์ P นี้จะขึ้นกับระดับของค่าระดับเทาในภาพว่ามีกี่ระดับ เช่นถ้ามี ค่าระดับเทาตั้งแต่ 0 ถึง 2 นั่นคือมี 3 ระดับ ขนาดของเมตริกซ์  $P[i,j]$  คือ  $3 \times 3$  จากนั้นจึงนับคู่ของ

จุดภาพที่กระจายอยู่ตามเวกเตอร์  $d$  มาใส่ในเมตริกซ์  $P$  ตัวอย่างให้  $d = (1,1)$  และ ให้ภาพย่อยๆ ขนาด  $5 \times 5$  ดังรูปที่ 2.8(ก) เป็นส่วนที่ต้องการหาเมตริกซ์  $P$  จะได้เมตริกซ์  $P$  ดังรูปที่ 2.8(ค)

เมื่อได้เมตริกซ์  $P$  ควรมีการทำให้เป็นมาตรฐานเดียวกันโดยการหารด้วยจำนวนคู่ของจุดภาพ ส่งผลให้แต่ละสมาชิกของเมตริกซ์  $P$  มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง เปรียบเสมือนค่าความน่าจะเป็นของการพบคู่ความสัมพันธ์ของจุดภาพ จากนั้นเมื่อได้เมตริกซ์  $P$  ก็จะนำไปหาค่าสมบัติที่ใช้แทนพื้นผิวบริเวณนั้น ๆ โดยอาศัยสมการที่ 2.8 ถึงสมการที่ 2.11

$$\bullet \text{ Entropy} = - \sum_i \sum_j P [i,j] \log P [i,j] \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\bullet \text{ Energy} = \sum_i \sum_j P^2 [i,j] \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\bullet \text{ Contrast} = \sum_i \sum_j (i-j)^2 P [i,j] \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\bullet \text{ Homogeneity} = \sum_i \sum_j \frac{P[i,j]}{1+|i-j|} \dots\dots\dots (2.11)$$

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

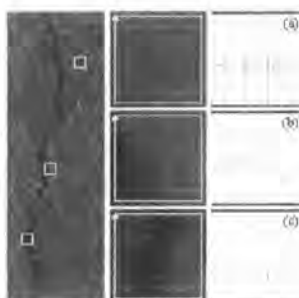
ในบทนี้แบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 2 ส่วน คือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาความเสียหายบนพื้นผิวทางแอสฟัลต์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้การแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิว

### 2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาความเสียหายบนพื้นผิวทางแอสฟัลต์

1) Automatic Road Distress Classification and Identification using a Combination of Hierarchical Classifier and Expert System – Subimage & Object Processing ปี 1997 โดย David H.Kil and Frances B. Shin [10] เสนอการจัดประเภทและระบุความเสียหายแบบต่าง ๆ เช่น รอยแตก รอยปะซ่อม หลุม เป็นต้น ของพื้นผิวถนนแบบอัตโนมัติ โดยใช้วิธีการประมวลผลแบบภาพย่อยและการประมวลผลวัตถุ ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอเริ่มจากการประมวลผลภาพเป็นส่วนย่อย ๆ โดยทำการแบ่งภาพเป็นส่วนเล็ก ๆ แล้วประมวลผลว่าส่วนเล็ก ๆ เหล่านั้นเป็นความเสียหายแบบใดแล้วจึงนำส่วนที่มีลักษณะคล้ายกันที่อยู่ใกล้เคียงกันมารวมกัน ซึ่งส่งผลให้สามารถทำงานได้เร็วกว่าการพิจารณาทั้งรูป และมีประสิทธิภาพมากกว่า นอกจากนั้นยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ด้วย เมื่อสามารถระบุความเสียหายได้แล้วหลังจากนั้นจึงประมวลผลวัตถุที่สามารถจัดการระบุความเสียหายที่ผิดพลาดได้ ผลที่ได้คือ สามารถระบุความเสียหายบนพื้นผิวแอสฟัลต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการประมวลผลลดลง

2) One Application of Neural Networks for Detection of Defects Using Video Data Bases: Identification of Road Distress ปี 1997 โดย D. Meignen, M. Bernadet and H. Briand [11] เสนอวิธีการตรวจหาความเสียหายของพื้นผิวถนนโดยใช้ข้อมูลขาเข้าเป็นภาพวิดีโอ โดยประยุกต์ใช้การจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ในงานวิจัยนี้มีวิธีการ 3 แบบในการแยกความเสียหายออกจากถนนปกติ กล่าวคือแบบที่หนึ่งใช้การจำลองเครือข่ายประสาทเทียมอย่างเดียวก กล่าวคือใช้จุดภาพ (pixel) ของภาพทุกจุดภาพเป็นข้อมูลเข้า ซึ่งใช้เวลานานมากในการประมวลผลเนื่องจากต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพทุกจุดภาพ แบบที่สองคือมีการพิจารณาเป็นหน้าต่าง นั่นคือดูทีละกลุ่มจุดภาพ เข้ามาเป็นข้อมูลอินพุตทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลลดลง แต่ความละเอียดจะลดลง และสุดท้ายแบบที่สามแทนที่จะใช้การจำลองเครือข่ายประสาทเทียมในการหาความเสียหายอย่างเดียวจะมีการใช้กระบวนการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองค่ากลาง (Mean Filter) มาช่วยซึ่งจะช่วยให้เวลาในการประมวลผลเร็วยิ่งขึ้น เมื่อแยกความเสียหายออกมาได้แล้วจึงระบุความเสียหายว่าเป็นแบบใดโดยใช้สมบัติต่าง ๆ เช่น จำนวนจุดภาพ ตำแหน่งจุดกลาง ค่าความชัน ค่าความเฉื่อย เป็นต้น ในการประมวลผล

3) Crack Detection on Asphalt Surface Image Using Enhanced Grid Cell Analysis ปี 2008 โดย Siwaporn Sorncharean และ Suebskul Phiphobmongkol [12] เสนอการหารอยแตกบนภาพผิวทางแอสฟัลต์โดยใช้การวิเคราะห์กริดเซลล์แบบดัดแปร โดยมุ่งเน้นไปที่สภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอ โดยการวิเคราะห์กริดเซลล์คือพิจารณาภาพเป็นส่วนย่อย ๆ ซึ่งรอยแตกจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากพื้นผิวทางแอสฟัลต์ปกติ โดยเมื่อพิจารณาจุดภาพขอบของกริดเซลล์ จะเกิดหุบเขา (Valley) 2 หุบ ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าวิธีการนี้เหมาะสมกับรอยแตกที่เป็นรอยแตกสีดำ ไม่เหมาะกับรอยแตกที่มีความเปรียบต่างกับภาพพื้นหลังต่ำ ภาพผิวทางที่เปียก



รูปที่ 2.9 การวิเคราะห์กริดเซลล์ในลักษณะพื้นผิวทางแอสฟัลต์แบบต่าง ๆ

## 2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้การแยกส่วนภาพแบบต่าง ๆ

1) Texture Segmentation by Multiscale Aggregation of Filter Responses and Shape ปี 2003 โดย Meirav Galum, Eitan Sharon, Ronen Basri และ Achi Brandt [13] เสนอการแบ่งส่วนภาพที่มีการอำพราง เช่น ภาพสัตว์ที่มีขน หรือ ภาพสัตว์ที่มีการอำพรางตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมซึ่งยากมากในการแบ่งส่วนภาพ เช่นการแบ่งส่วนภาพโดยใช้การหาขอบ หรือ การแบ่งส่วนภาพโดยใช้สี เป็นต้น ซึ่งการแบ่งส่วนภาพโดยใช้การรวมค่าคุณสมบัติหลายค่าของกลุ่มจุดภาพที่พิจารณาต่าง ๆ กันไป โดยสมบัติที่ใช้ เช่น ขนาด อัตราส่วนของสัดส่วน ความสว่าง ลักษณะพื้นผิว นอกจากนี้ยังใช้ค่าทางสถิติ ซึ่งค่าความถูกต้องค่อนข้างแปรผันตามขนาดของกลุ่มจุดภาพที่พิจารณา ขั้นตอนของงานวิจัยนี้คือ เริ่มจากการแบ่งส่วนภาพเป็นส่วนย่อย ๆ ตามที่เรากำหนดเพื่อหาคุณสมบัติในแต่ละส่วนนั้น จากนั้นก็ทำการรวมส่วนที่ใกล้เคียงและมีสมบัติใกล้เคียงกันเข้าไว้ด้วยกัน โดยใช้การรวมคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นคุณสมบัติที่ใช้พิจารณา ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้เมื่อนำไปทดลองกับภาพทิวทัศน์ หรือภาพสัตว์ต่าง ๆ ที่มีการพรางตัว ได้ผลดีกว่าการใช้การแยกส่วนภาพโดยใช้เพียงคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง

2 ) A Neural Network Texture Segmentation System for Open Road Vehicle Guidance ปี 1992 โดย Andreu Catala [14] และคณะ เสนอการแยกส่วนภาพโดยใช้ลักษณะพื้นผิวร่วมกับระบบเครือข่ายประสาทเทียมในระบูการบริเวณที่เป็นถนนเพื่อใช้ในการระบบการขับรถอัตโนมัติ ซึ่งสามารถหาบริเวณที่เป็นถนนได้แต่ต้องใช้เวลาในการประมวลผลและปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการสอนของระบบเครือข่ายประสาทเทียม

3 ) Morphological segmentation of histology cell image ปี 2000 โดย A.Nedzved และคณะ [15] เสนอการแยกส่วนภาพเซลล์โดยใช้การประมวลผลภาพเชิงสัญญาณ (Morphological processing) และการแยกส่วนภาพโดยแบ่งภาพเป็นส่วนย่อย ๆ ซึ่งในการหาขอบของเซลล์ใช้วิธีการหาขอบแบบเกรเดียนต์และทำให้ขอบขั้ดขึ้น (Thinning) โดยใช้การวิเคราะห์ภาพในระดับภาพขาวดำ(Binary Image) เมื่อได้ขอบของสิ่งต่าง ๆ ในภาพเรียบร้อยแล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอน การแยกส่วนภาพโดยการแบ่งภาพเป็นส่วนย่อยและรวมภาพส่วนย่อย ๆ เข้าด้วยกัน (Split and Merge Segmentation) เนื่องจากเนื้อเยื่อต่าง ๆ จะประกอบด้วยสิ่งที่เล็กที่สุดคืออะตอม ดังนั้นเซลล์เดียวกันก็ควรจะต้องประกอบด้วยอะตอมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

4 ) Text Extraction from Web Image Based on A Split-and-Merge Segmentation Method Using Colour Perception ปี 2009 โดย D.Karatzas และ A. Antonacopoulos [16]

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการสกัดเอาข้อความซึ่งมีรูปแบบและขนาดที่หลากหลายออกจากภาพ  
เวปไซด์ โดยใช้หลักการแยกส่วนโดยแบ่งเป็นภาพส่วนย่อย ๆ และรวมภาพส่วนย่อย ๆ ที่มีลักษณะ  
เหมือนกันเข้าด้วยกัน (Split-and-Merge Segmentation) และการสกัดตัวอักษรจากการดู  
ลักษณะของลายเส้นของตัวอักษรเหล่านั้น