

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านมิติของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF DIMENSIONAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE USING
IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

Mr. Kritsada Sansomboon



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

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านมิติของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วย

เทคนิคการประมวลผลภาพ

โดย

นายกฤษฎา แสนสมบูรณ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย แสงเพชรงาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์สิทธิ์ เฉลิมวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย แสงเพชรงาม)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.กิตติ มโนคูน)

กฤษฎา แสสนสมบุญ : การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านมิติของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ (ANALYSIS OF DIMENSIONAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. บุญชัย แสงเพชรงาม, 141 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การค้ำบตะแกรงของมวลรวม ความเร็ว และความแบนของมวลรวมแต่ละขนาด โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่คำนวณจากห้องปฏิบัติการและค่าที่คำนวณได้จากเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคใหม่ขึ้นมาสองเทคนิคคือเทคนิคการซ้อนภาพ 7 ชั้น และเทคนิคการกัดกร่อนภาพแล้วทำการปรับแก้ ซึ่งการปรับแก้มีสองวิธีคือการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบใน 7 ด้าน คือ ความแม่นยำในแต่ละเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นมา จำนวนก้อนที่นับได้ในแต่ละหน้าตัด เปอร์เซ็นต์การค้ำบตะแกรงในแต่ละหน้าตัด ความถี่ของช่วงเปอร์เซ็นต์การค้ำบตะแกรงในแต่ละขนาด สัดส่วนความเร็วและความแบน พื้นที่ในการวิเคราะห์

ผลการวิจัยพบว่าเทคนิคการกัดกร่อนภาพให้ผลลัพธ์ของเปอร์เซ็นต์การค้ำบตะแกรงดีกว่าการซ้อนภาพ 7 ชั้น การปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปให้ผลดีกว่าการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน จำนวนหินที่นับได้ในแต่ละหน้าตัดมีแนวโน้มของจำนวนก้อนใกล้เคียงกัน เปอร์เซ็นต์การค้ำบตะแกรงของมวลรวมเบอร์ #4(4.75 มม.) และเบอร์ #8(2.38 มม.) มีความใกล้เคียงกับค่าทดสอบในห้องปฏิบัติการมากที่สุด ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าความถี่ของช่วงเปอร์เซ็นต์การค้ำบตะแกรง โดยความถี่ของเปอร์เซ็นต์การค้ำบตะแกรงของมวลรวมเบอร์ #4 และเบอร์ #8 ให้ค่าตรงกับค่าทดสอบในห้องปฏิบัติการมากที่สุด สำหรับสัดส่วนความเร็ว(สัดส่วนยาวต่อกว้าง)ที่ได้จากการประมวลผลภาพ เมื่อเทียบกับการวัดด้วยเวอร์เนียให้ผลออกมาใกล้เคียงกัน มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย สำหรับสัดส่วนความแบน(สัดส่วนสูงต่อกว้าง)ที่ได้จากการประมวลผลภาพ เมื่อเทียบกับการวัดด้วยเวอร์เนีย ให้ผลออกมาใกล้เคียงกันมาก ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ใช้ประมวลผลส่งผลต่อความถูกต้องของการคำนวณ โดยพื้นที่หน้าตัดที่ใหญ่กว่าจะให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากกว่าพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กกว่า จากผลการวิจัยในอนาคตอาจมีการพัฒนานำเทคนิคนี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถใช้แทนวิธีปัจจุบันได้ เพราะใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า เครื่องมือน้อยกว่าและต้นทุนด้านอุปกรณ์ต่ำกว่าวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5670115021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: AGGREGATE / FLAKINESS / ELONGATE / DIGITAL IMAGE PROCESSING

KRITSADA SANSOMBOON: ANALYSIS OF DIMENSIONAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE. ADVISOR: ASST. PROF. DR. BOONCHAI SANGPETNGAM, Ph.D., 141 pp.

This thesis use image processing techniques to calculate retained percent, elongation and flakiness of aggregates in each size. To compare between results from laboratory and results from image processing, researcher develops two techniques, seven layers overlaid method and erosion adjusted method. Results from erosion adjusted method are adjusted in two ways include adjustment by perimeter and adjustment by rind area. For comparison in seven main issues which include Accuracy of each developed technique, Amount of aggregates from counting in each sample profile, retained percent in each sample profile, frequency of percent interval of each sieve size, elongation and flakiness proportion, area in analysis

Results of research found, erosion method yields the better results than overlaid 7 layer method, perimeter adjusted method yields the better results than ring method , amount of aggregates have similar results in each profile section, retained percent of #4 size and #8 size aggregate tended to be the same results with laboratory which correspond results with frequency of percent interval of each sieve size. From frequency of percent interval results, results from #4 and #8 sieve size yield the best results when compare with laboratory. For elongation proportion(length to width proportion) from image processing when compare with vernier caliper measurement yield the similar results. For flakiness proportion(height to width proportion) from image processing when compare with vernier caliper measurement yield the same results. Size of area effect on accuracy in calculation. By larger area yield better results than smaller area. From results of this study, in the future, civil engineer maybe improve efficiency of technique and can use this technique to replace traditional method because use smaller time than traditional method in calculation and save instrument costs than traditional method.

Department: Civil Engineering Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณา และการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม อาจารย์ที่ปรึกษาของผู้เขียนที่คอยให้คำปรึกษา แก้ไขข้อบกพร่อง และชี้แนะแนวทางการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้มาโดยตลอด รศ. ดร.ศักดิ์สิทธิ์ เถลิงพงศ์ ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาในเรื่องของสถิติในการวิจัย รศ. ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์ กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยแนะนำโปรแกรมและเทคนิคในการประมวลผลภาพ และ ดร.กิตติ มโนคูน ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ภายนอก นอกจากคณาจารย์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์แล้ว ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณรุ่นพี่ศิษย์เก่า ได้แก่คุณศิวารักษ์ อุ่นศิริ วิไลย์ และคุณวรุฒ เลิศไพชยนต์ ที่คอยเป็นที่เลี้ยงให้คำปรึกษา ตอบข้อซักถามของข้าพเจ้าในเวลาที่ผู้เขียนมีปัญหา อีกทั้งยังคอยบอกเล่าประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์สำหรับการเรียนปริญญาโท และสองท่านนี้ได้เป็นผู้ร่วมเดินทางกับข้าพเจ้าเพื่อเข้าร่วมการประชุมวิชาการและแสดงนิทรรศการอุตสาหกรรมระบบขนส่งทางรางไทย ครั้งที่ 2 ที่จังหวัดพิษณุโลก นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คือ คุณสมพงษ์ ขำแจ้ง ที่คอยทำงานด้านเทคนิคให้กับข้าพเจ้า โดยเฉพาะการตัดก้อนตัวอย่างที่ต้องใช้ความชำนาญมาก

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (The Thailand Research Fund) ที่ได้มอบทุนพัฒนางานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ) ระดับปริญญาโท ประจำปี พ.ศ.2558 และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้มอบทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ประจำปีการศึกษา พ.ศ.2558 เพื่อสนับสนุนด้านค่าใช้จ่ายให้แก่ผู้เขียน ผู้เขียนรู้สึกขอบพระคุณทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือผู้เขียนในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ในอนาคตถ้าหากมีโอกาสได้ทำงานร่วมกันอีก ผู้เขียนยินดีให้ความช่วยเหลือท่านเหล่านั้นอย่างเต็มที่

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุง แก้ไขในการศึกษาครั้งต่อไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 สิ่งที่คาดหวังจากงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 วัสดุผสมรวมในงานวิศวกรรมโยธา.....	4
2.2 คุณสมบัติด้านมิติกายภาพของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีต.....	5
2.3 การประมวลผลภาพ (digital image processing).....	15
2.4 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
2.5 สรุป	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	39
3.1 ภาพรวมของงานวิจัย	40
3.2 กำหนดปัญหาและออกแบบการทดลอง	47
3.3 ดำเนินการทดสอบ	51

3.4 เทคนิคการประมวลผลภาพ.....	54
3.5 การเตรียมก้อนตัวอย่าง (Sample Preparation)	70
3.6 ขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบค่าจากการประมวลผลภาพและค่าจากห้องปฏิบัติการ .74	
3.7 เครื่องมือที่ใช้วิจัย.....	76
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล	77
3.9 การเปรียบเทียบผล	87
3.10 สรุปการดำเนินงานวิจัย.....	88
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	89
4.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีประมวลผลภาพ.....	89
4.2 เทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของวิธีประมวลผลภาพและการร่อนตะแกรงใน ห้องปฏิบัติการ.....	96
4.3 วิเคราะห์ความแตกต่างในการประมวลผลภาพระหว่างก้อนตัวอย่างสามก้อน	100
4.4 วิเคราะห์อิทธิพลของขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณ	102
4.5 วิเคราะห์อิทธิพลของจำนวนหน้าตัดที่ใช้ในการประมวลผลภาพ.....	106
4.6 วิเคราะห์ดัชนีความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง และสัดส่วนความกว้างต่อความ ยาว.....	113
4.7 วิเคราะห์จำนวนก้อน การกระจายตัวและความถี่ของเปอร์เซ็นต์การค้ำ.....	118
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	126
5.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพคำนวณหาคุณสมบัติด้านมิติของมวลรวม..	126
5.2 เปรียบเทียบขนาดคละและดัชนีความยาวที่ได้จากการประมวลผลภาพและจากวิธีร่อน ตะแกรงในห้องปฏิบัติการ.....	127
5.3 พื้นที่หน้าตัดและจำนวนหน้าตัด.....	128
รายการอ้างอิง	130
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	141

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการบันทึกผลในการคำนวณหาขนาดคละ.....	7
ตารางที่ 2 ลักษณะรูปร่างของมวลรวม.....	10
ตารางที่ 3 นิยามรูปร่างของมวลรวม (ที่มา: มาตรฐาน มอก. 566).....	11
ตารางที่ 4 นิยามลักษณะผิวของมวลรวม (ที่มา: มาตรฐาน มอก. 566).....	12
ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างถาดสี (Color Palette).....	17
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงด้วยวิธีปกติ(สีชมพู) กับ วิธีประมวลผล ภาพถ่าย(สีเหลือง) (Bruno et al, 2011).....	26
ตารางที่ 7 ผลแสดงผลการวิเคราะห์การผ่านตะแกรงสะสมของแต่ละตัวอย่าง ตัวอย่างละห้า ภาพ.....	29
ตารางที่ 8 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง(สีเหลือง) และค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพ(สี ชมพู)	29
ตารางที่ 9 เปอร์เซนต์การผ่านตะแกรงของกลุ่มที่ 1 (Barbosa et al., 2011).....	32
ตารางที่ 10 เปอร์เซนต์การผ่านตะแกรงของกลุ่มที่ 2 (Barbosa et al., 2011)	32
ตารางที่ 11 ขนาดคละแบบ Dense Graded ที่ใช้ในงานศึกษา	50
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์หาค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Binder Content) สำหรับส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตขนาดคละ Dense Graded (ศิวารักษ์ , 2556).....	51
ตารางที่ 13 น้ำหนัก เปอร์เซนต์การค้ำบนตะแกรง และเปอร์เซนต์การลอดผ่านตะแกรงของมวล รวมในตะแกรงแต่ละขนาด	71
ตารางที่ 14 แบบบันทึก พื้นที่ของหิน เส้นรอบวงของหิน ความยาวแกนเอก ความยาวแกนโท มุม.....	76
ตารางที่ 15 แบบบันทึกเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆของวัสดุมวลรวมด้วยวิธีประมวลผล ภาพถ่าย	76
ตารางที่ 16 แบบบันทึกดัชนีความยาวระหว่างวิธีปกติกับวิธีประมวลผลภาพถ่าย.....	76

ตารางที่ 17 สถิติที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตามจำนวนกลุ่มและระดับการวัด มาตราส่วน(ค่าเฉลี่ย, S^2)	81
ตารางที่ 18 ตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบของตาราง	86
ตารางที่ 19 เปรียบเทียบผลเปอร์เซ็นต์การค้ำของการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและเปอร์เซ็นต์ การค้ำของการปรับแก้ด้วยรัศมี.....	91
ตารางที่ 20 ตารางแสดงการคำนวณหาค่า F_0 เพื่อทดสอบว่ามีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่ ..	92
ตารางที่ 21 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของภาพที่ได้จากการทำ Photoshop การ ซ้อนภาพเจ็ดชั้น การกัดกร่อนและปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป การกัดกร่อนและปรับแก้ ด้วยวงแหวน.....	93
ตารางที่ 22 ผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อนการคำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและการคำนวณ ปรับแก้ด้วยวงแหวนของก้อนตัวอย่าง 1	94
ตารางที่ 23 ผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อนการคำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและการคำนวณ ปรับแก้ด้วยวงแหวนของก้อนตัวอย่าง 2	95
ตารางที่ 24 ผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อนการคำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและการคำนวณ ปรับแก้ด้วยวงแหวนของก้อนตัวอย่าง 3	95
ตารางที่ 25 ตัวอย่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ใช้วิเคราะห์สำหรับวิธีการปรับแก้ด้วยเส้นรอบ รูป	95
ตารางที่ 26 ตัวอย่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ใช้วิเคราะห์สำหรับวิธีการปรับแก้ด้วยวง แหวน	96
ตารางที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการ ทดสอบในห้องปฏิบัติการและการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยใช้ ก้อนตัวอย่างสามก้อน	98
ตารางที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการ ทดสอบร่อนตะแกรงแก้ตัวอย่างกับการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ จาก ก้อนตัวอย่างสามก้อน	98
ตารางที่ 29 ผลการทดสอบสมมติฐานว่าง ผลต่างของผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่าง การปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ0.....	99

ตารางที่ 30 ผลต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงเฉลี่ยของการประมวลผลภาพ 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากห้องปฏิบัติการ	100
ตารางที่ 31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การค้ำในตะแกรงแต่ละขนาด ระหว่างก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3.....	102
ตารางที่ 32 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ค้ำโดยใช้พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm...	103
ตารางที่ 33 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ค้ำโดยใช้พื้นที่หน้าตัดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm.....	103
ตารางที่ 34 ผลการทดสอบสมมติฐานเฉลี่ยว่าเปอร์เซ็นต์ค้ำจากพื้นที่หน้าตัดวงกลมขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 100 mm และพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm มีค่าเท่ากับ เปอร์เซ็นต์การค้ำที่ได้จากการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการหรือไม่	105
ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ว่าหน้าตัดขนาดเล็กหรือหน้าตัดขนาดใหญ่ให้ผลการทดสอบใกล้กับ ห้องปฏิบัติการมากกว่า.....	106
ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำแต่ละขนาดโดยใช้สองหน้าตัดเฉลี่ยในการคำนวณ ด้วยการปรับแก้แบบใช้เส้นรอบรูปของก้อนตัวอย่าง	107
ตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ค้ำแต่ละขนาดโดยใช้สองหน้าตัดเฉลี่ยในการคำนวณด้วยการ ปรับแก้แบบใช้เส้นรอบรูปของก้อนตัวอย่าง 2	107
ตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ค้ำแต่ละขนาดโดยใช้สองหน้าตัดเฉลี่ยในการคำนวณ ด้วยการปรับแก้แบบใช้เส้นรอบรูปของก้อนตัวอย่าง3.....	108
ตารางที่ 39 ผลการทดสอบสมมติฐานว่างว่าการใช้หน้าตัดสองหน้าตัดมีค่าเปอร์เซ็นต์ค้ำ ตะแกรงเท่ากับการร่อนตะแกรงในห้องแลป โดยใช้ก้อนตัวอย่างหนึ่งในการ ทดสอบ.....	109
ตารางที่ 40 ผลการทดสอบสมมติฐานว่างว่าการใช้หน้าตัดสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับการร่อนตะแกรง ในห้องแลป โดยใช้ก้อนตัวอย่าง2 ในการทดสอบ.....	110
ตารางที่ 41 ผลการทดสอบสมมติฐานว่างว่าการใช้หน้าตัดสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับการร่อนตะแกรง ในห้องแลป โดยใช้ก้อนตัวอย่าง 3 ในการทดสอบ.....	111
ตารางที่ 42 ผลการทดสอบสมมติฐานว่างว่าค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงใน การวิเคราะห์โดยใช้หนึ่งหน้าตัดกับการวิเคราะห์ในสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับ 0	112

ตารางที่ 43 ผลการเปรียบเทียบค่าผลต่างกำลังสองของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงแบบสองหน้าตัดสี่หน้าตัดและหกหน้าตัด	113
ตารางที่ 44 แสดงค่าดัชนีความยาวที่คำนวณได้ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 ตามลำดับ โดย 1 ก้อนตัวอย่างมีทั้งหมด 8 หน้าตัด โดยมีการเปรียบเทียบค่าดัชนีความยาวที่คำนวณได้จากกล้องถ่ายภาพ	114
ตารางที่ 45 ผลการทดสอบสมมติฐานว่างว่าดัชนีความยาวที่คำนวณได้จากหน้าตัดมีค่าเท่ากับดัชนีความยาวที่ได้จากกล้องถ่ายรูป.....	115
ตารางที่ 46 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง(L/W) และความกว้างต่อความยาว (W/L) ใน 8 หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3	116
ตารางที่ 47 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความยาวต่อความกว้าง และความกว้างต่อความยาวจากภาพถ่ายมวลรวมก่อนผสม ของก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3.....	116
ตารางที่ 48 ผลการวิเคราะห์ค่าความเร็ว(L/W)และค่าความแบน(H/W) ที่ได้จากการวัดด้วยเวอร์เนียเปรียบเทียบกับค่าคำนวณผ่านการประมวลผลภาพถ่าย โดยใช้รูปภาพจากกล้องถ่ายภาพ	117
ตารางที่ 49 ผลการวิเคราะห์จำนวนก้อนของมวลรวมที่นับได้ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 1.....	118
ตารางที่ 50 ผลการวิเคราะห์จำนวนก้อนของมวลรวมที่นับได้ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 2.....	119
ตารางที่ 51 ผลการวิเคราะห์จำนวนก้อนของมวลรวมที่นับได้ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 3.....	119

สารบัญภาพ

รูปที่ 1 วัสดุมวลรวม.....	4
รูปที่ 2 คอนกรีต.....	5
รูปที่ 3 แอสฟัลต์คอนกรีต	5
รูปที่ 4 ตะแกรง.....	6
รูปที่ 5 เครื่องเขย่า	6
รูปที่ 6 กราฟแสดงส่วนคละหายาบ โดยแกนนอน คือ ขนาดของเม็ดหิน แกนตั้งคือเปอร์เซ็นต์ที่ผ่าน ตะแกรง	8
รูปที่ 7 แสดงมิติต่างๆของมวลรวม โดย X คือ ความกว้าง Y คือ ความยาว และ Z คือ ความ หนา.....	9
รูปที่ 8 แผ่นวัดทดสอบความแบน.....	12
รูปที่ 9 อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการสำหรับดัชนีความแบน	13
รูปที่ 10 เครื่องทดสอบความยาว.....	14
รูปที่ 11 ตัวอย่างของมวลรวมที่เป็นเหลี่ยมมุมและไม่เป็นเหลี่ยมมุม	15
รูปที่ 12 การแบ่งรูปภาพเป็นขาวกับดำ(Black and white).....	18
รูปที่ 13 ตัวอย่างการหาขอบเขตของภาพ	18
รูปที่ 14 ตัวอย่างการแยกภาพด้วย watershed.....	19
รูปที่ 15 ตัวอย่างการปรับปรุงภาพ.....	19
รูปที่ 16 ตัวอย่างการทำภาพให้กลับสู่สภาพเดิม.....	20
รูปที่ 17 ตัวอย่างการแบ่งส่วนของภาพ.....	20
รูปที่ 18 เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์กับราสเตอร์	21
รูปที่ 19 เปรียบเทียบการเก็บข้อมูลแบบจุด แบบเส้น และแบบพื้นที่ ของเวกเตอร์และ ราสเตอร์.....	21

รูปที่ 20 ตัวอย่างการหาวงรีที่เหมาะสมกับรูปภาพ.....	22
รูปที่ 21 ตัวอย่างการหาแกนสั้น แกนยาว ของวงรี.....	22
รูปที่ 22 ตัวอย่างการคำนวณหามุมที่แกนยาวของวงรีทำกับแกนนอน.....	23
รูปที่ 23 กราฟแสดงความถี่ของความเข้มแสงในแต่ละค่า.....	24
รูปที่ 24 ตัวอย่างหินที่ใช้ทดสอบ.....	25
รูปที่ 25 ภาพหลังจากการแบ่งภาพเป็นสองสี.....	25
รูปที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง และเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรง เปรียบเทียบระหว่างวิธีปกติกับวิธีประมวลผลภาพถ่าย (Bruno et al, 2011).....	26
รูปที่ 27 ส่วนตัดทําส่วนของตัวอย่างทรงกระบอก(Vadood et al., 2012).....	27
รูปที่ 28 ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี Shape method (Vadood et al., 2012).....	27
รูปที่ 29 ภาพที่ได้จากวิธี Color space method (Vadood et al, 2012).....	28
รูปที่ 30 การหาขอบขอบโดยใช้วิธี distance and watershed transform.....	28
รูปที่ 31 ตัวอย่างหินที่ใช้ทดสอบ.....	30
รูปที่ 32 ภาพที่ได้จากการประมวลผลในการทดลองแบบที่หนึ่ง.....	31
รูปที่ 33 Boxplot of d distribution จะเห็นได้ว่ายิ่งใช้ตัวอย่างหินมากขึ้นค่าสูงสุดและต่ำสุด ของ Boxplot จะแคบลง ทำให้ค่า passing% กระจายตัวน้อยลง.....	31
รูปที่ 34 ตัวอย่างคอนกรีตกลุ่มที่หนึ่งและกลุ่มที่สอง (Barbosa et al., 2011).....	32
รูปที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ในการผ่านตะแกรง ของ การทดลองแบบที่สอง โดยเส้นสีน้ำเงินคือขนาดคละของจริง สีแดงคือขนาดคละของ กลุ่มที่สอง สีเขียวคือขนาดคละของกลุ่มที่หนึ่ง (Barbosa et al., 2011).....	33
รูปที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแบนที่หาด้วยวิธีปกติกับค่าแลมบ์ดา(ค่า ความแบนที่กำหนดขึ้นจากการประมวลผลภาพถ่าย (Kwan et al., 1998).....	34
รูปที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความเร็วที่หาด้วยวิธีปกติกับดัชนีความเร็วที่ได้ จากการประมวลผลภาพถ่าย (Kwan et al., 1998).....	34
รูปที่ 38 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า Dynamic Modulus ของการวิเคราะห์แบบสองมิติ สามมิติ และในห้องแลป (You et al., 2008).....	36

รูปที่ 39 แบบจำลองสามมิติรูปทรงต่างๆ (Chawla et al., 2006).....	37
รูปที่ 40 เปรียบเทียบขนาดคละจากวิธีทั้งสาม (สองมิติ ทรงกลม ทรงรี) กับการทดสอบในแลบ	37
รูปที่ 41 ก้อนตัวอย่างและการตัดก้อนตัวอย่าง.....	39
รูปที่ 42 แสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพ.....	40
รูปที่ 43 แสดงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ.....	41
รูปที่ 44 ประเด็นที่วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	42
รูปที่ 45 เปรียบเทียบระหว่างวิธีการซ้อนภาพ 7 ชั้น กับวิธีการกัดกร่อนภาพตามขนาดของ วัตถุ.....	42
รูปที่ 46 การเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและพื้นที่วงแหวน....	43
รูปที่ 47 เปรียบเทียบดัชนีความยาวที่คำนวณจากภาพถ่ายมวบรวมทุกก้อนกับภาพถ่ายหน้า ตัด.....	43
รูปที่ 48 การเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างการวัดด้วยเวอร์เนียและการประมวลผลภาพ.....	44
รูปที่ 49 กระบวนการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาพหน้าตัดก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อน.....	44
รูปที่ 50 กระบวนการวิเคราะห์จำนวนหน้าตัด.....	45
รูปที่ 51 กระบวนการวิเคราะห์พื้นที่หน้าตัด.....	46
รูปที่ 52 การวิเคราะห์จำนวนก้อน การกระจายตัวและความถี่ของเปอร์เซ็นต์การค้ำ.....	46
รูปที่ 53 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของวิธีประมวลผลภาพและการร้อนตะแกรงใน ห้องปฏิบัติการ.....	47
รูปที่ 54 แสดงขนาดพื้นที่ที่จะนำมาวิเคราะห์.....	49
รูปที่ 55 เส้นขนาดคละแบบ Dense Graded ที่ใช้ในงานศึกษา (ศิวารักษ์ , 2556).....	50
รูปที่ 56 ตัวอย่างการดูความกว้างและความยาวหิน.....	53
รูปที่ 57 กระบวนการหาเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัดแอสฟัลต์คอนกรีต.....	55
รูปที่ 58 ตัวอย่างกระบวนการ watershed.....	55
รูปที่ 59 ตัวอย่าง code ของโปรแกรม matlab สำหรับ watershed.....	56
รูปที่ 60 ปัญหามวลรวมติดกันหลังประมวลผลภาพ.....	57

รูปที่ 61 ปัญหาการแยกส่วนจำนวนน้อยเกินไป.....	57
รูปที่ 62 ปัญหาการแยกส่วนจำนวนมากเกินไป	58
รูปที่ 63 ปัญหาภาพไม่คมชัด.....	58
รูปที่ 64 เปรียบเทียบรูปที่มี noise และรูปที่ผ่านการ Watershed.....	59
รูปที่ 65 ผลจากการหาขอบเขตของรูปภาพ(Edge detection) การแยกภาพออกเป็นขาวกับดำ (Ridge line) การแยกภาพโดยการกักร้อน(Marker)	59
รูปที่ 66 การเลือกรูปทรงของพื้นที่ด้วยคำสั่ง Strel	60
รูปที่ 67 อธิบายการ Erosion Dialation Opening และ Closing.....	60
รูปที่ 68 การทำภาพเป็น Binary	61
รูปที่ 69 การหาขอบเขตและเส้นแบ่ง	61
รูปที่ 70 อธิบายกระบวนการซ้อนภาพระหว่างภาพ Diamond strel 9 pixel และ 24 pixel ..	63
รูปที่ 71 ภาพก่อน Hole และหลัง Hole.....	64
รูปที่ 72 ภาพเริ่มต้น(input) ภาพตัวอย่างการซ้อนภาพเจ็ดชั้น (ภาพที่ 1-7) และภาพผลลัพธ์ (Overlay).....	64
รูปที่ 73 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม Matlab เพื่อสร้างพื้นที่สีดำและเงา.....	65
รูปที่ 74 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมการกักร้อนรูปภาพโดยใช้โปรแกรม Matlab.....	66
รูปที่ 75 การแยกภาพออกเป็นสี่ส่วนตามขนาดของ pixel	67
รูปที่ 76 อธิบายการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป	68
รูปที่ 77 อธิบายการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน.....	68
รูปที่ 78 ขนาดคละของก้อนตัวอย่าง	71
รูปที่ 79 เครื่องบดอัดแบบหมุน(Gyratory Compactor) ในห้องปฏิบัติการผิวทาง	72
รูปที่ 80 การตัดก้อนตัวอย่างออกเป็นห้าส่วน ส่วนละ 2 ซม.....	72
รูปที่ 81 การนำมวลรวมอบแห้งก่อนทำการบดอัด	75
รูปที่ 82 ก้อนตัวอย่างหลังการบดอัด	75

รูปที่ 83 ตัวอย่างการวิเคราะห์ภาพหน้าตัด	75
รูปที่ 84 สถิติอิงพารามิเตอร์เพื่อศึกษาความแตกต่าง	80
รูปที่ 85 Histogram plot ของข้อมูลที่ 1	82
รูปที่ 86 Histogram plot ของข้อมูลที่ 2	83
รูปที่ 87 เปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลสองกลุ่ม ที่ค่ากลางเท่ากัน.....	83
รูปที่ 88 F-Distribution	84
รูปที่ 89 ตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง	86
รูปที่ 90 ภาพที่ทำการสังเคราะห์ขึ้น.....	89
รูปที่ 91 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพที่ได้จากการทำ Photoshop การซ้อนภาพเจ็ด ชั้น การก๊อกร่อนและปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป การก๊อกร่อนและปรับแก้ด้วยวง แหวน	90
รูปที่ 92 การเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละหน้าตัด เปอร์เซ็นต์การค้ำ ตะแกรงแบบวิเคราะห์รวม 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากการ ร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ ของก้อนตัวอย่าง 1 ซึ่งผ่านการปรับแก้พื้นที่ด้วยการใช้ เส้นรอบรูป	121
รูปที่ 93 การเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละหน้าตัด เปอร์เซ็นต์การค้ำ ตะแกรงแบบวิเคราะห์รวม 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากการ ร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ ของก้อนตัวอย่าง 2 ซึ่งผ่านการปรับแก้พื้นที่ด้วยการใช้ เส้นรอบรูป	122
รูปที่ 94 การเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละหน้าตัด เปอร์เซ็นต์การค้ำ ตะแกรงแบบวิเคราะห์รวม 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากการ ร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ ของก้อนตัวอย่าง 3 ซึ่งผ่านการปรับแก้พื้นที่ด้วยการใช้ เส้นรอบรูป	123
รูปที่ 95 ความถี่ของช่วงเปอร์เซ็นต์ค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่าง 1	124
รูปที่ 96 ความถี่ของช่วงเปอร์เซ็นต์ค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่าง 2	125
รูปที่ 97 ความถี่ของช่วงเปอร์เซ็นต์ค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่าง 3	125

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การกระจายตัวของหินขนาดต่างๆ หรือที่เรียกว่าขนาดคละนั้นเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในงานวิศวกรรมโยธาโดยเฉพาะงานถนน เพราะขนาดคละแต่ละแบบสามารถรับน้ำหนักได้แตกต่างกัน ขนาดคละที่ดีจะสามารถรับแรงได้ดีกว่าซึ่งจะช่วยให้ถนนทนทานมากขึ้น และถ้าหากถนนมีความทนทานมากขึ้นก็จะเป็นผลดีอย่างยิ่งต่อการขนส่งทางบก และงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง การคำนวณหาขนาดคละด้วยวิธีปกตินั้น มีอยู่สองวิธี คือ การคัดแยกด้วยสายตาและการคัดแยกด้วยตะแกรง

การคัดแยกด้วยสายตานั้นเป็นวิธีการที่พื้นฐานที่สุด โดยวิธีการคัดแยกนั้นก็คือการใช้ตามองแล้วแยกหินขนาดต่างๆออกจากกัน แต่วิธีการนี้อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้มาก เพราะสายตาของมนุษย์มีขีดจำกัดในการมองเห็น และถ้าหากหินมีขนาดเล็ก ก็จะทำให้การจำแนกมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้นไปอีก และการคัดแยกด้วยสายตาก็ค่อนข้างใช้เวลานาน ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าในการคำนวณหาขนาดคละ

การคัดแยกด้วยตะแกรง เป็นวิธีการที่มีการใช้เครื่องมือเข้ามาช่วย ซึ่งก็คือตะแกรงที่มีขนาดต่างๆกัน เพื่อคัดแยกมวลรวมแต่ละขนาดออกจากกัน โดยการนำมวลรวมมาร่อนผ่านตะแกรงเป็นชั้นๆ ซึ่งก็จะทำให้มวลรวมแต่ละขนาดตกไปอยู่บนตะแกรงขนาดต่างๆกัน ทำให้เราสามารถแยกมวลรวมขนาดต่างๆออกจากกันได้ แต่วิธีการนี้ต้องใช้อุปกรณ์มากมาย ไม่ว่าจะเป็นตะแกรงขนาดต่างๆ เครื่องชั่ง เตอบ และเครื่องเขย่า เป็นต้น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการคัดแยกด้วยสายตา และการใช้อุปกรณ์เหล่านั้นถ้าไม่มีความระมัดระวังก็อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้

ตามถนนทางหลวงโดยทั่วไปนั้นจะมีส่วนผสมของยางมะตอยอยู่ ถ้าหากจะก้อนตัวอย่างมาจากถนนจะมีส่วนผสมหลักสองส่วน คือ หินและยางมะตอย การหาขนาดคละของหินที่ติดอยู่กับยางมะตอยนั้น ค่อนข้างทำได้ยากและใช้เวลานานดังนั้นจึงมีนักวิจัยบางคนเริ่มใช้ใช้เทคโนโลยีทางด้านภาพประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการหาขนาดคละของหิน เพื่อให้เกิดความรวดเร็ว และลดอันตรายของผู้ปฏิบัติงาน คือ การประมวลผลภาพถ่ายสองมิติ และสามมิติ

การประมวลผลภาพถ่ายสองมิตินั้น ทำได้โดยการนำภาพของหินตัวอย่างมาแยกภาพสองเป็นสองส่วน โดยกำหนดให้ส่วนหนึ่งเป็นสีขาว และอีกส่วนหนึ่งเป็นสีดำ ซึ่งจะสามารถแยกภาพหินออกจากส่วนอื่นๆได้ และนำภาพหินที่ได้ไปคำนวณหาความกว้าง ความยาว และพื้นที่ของหิน ซึ่งทำให้สามารถแยกหินขนาดต่างๆออกจากกันได้ง่ายและรวดเร็ว

การประมวลผลภาพแบบสามมิตินั้นทำได้โดยการสร้างแบบจำลองสามมิติของก้อนตัวอย่าง โดยมีการฉายรังสีเอกซ์เข้าไปในตัวอย่งหินรูปทรงกระบอก และทำการถ่ายภาพด้วย CT SCAN(Computed tomography) ซึ่งทำให้ได้ภาพสองมิติเป็นชั้นๆและนำภาพของแต่ละชั้นมาต่อกัน ซึ่งสามารถนำไปจำลองเป็นโมเดลสามมิติได้ แต่วิธีการนี้ต้องใช้เวลามากในการปฏิบัติ และเครื่องมือที่ใช้ทำนั้นก็มีความแพง ทำให้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมนัก

จากตัวอย่างบทความในต่างประเทศมีการนำขนาดคละที่คำนวณได้จากภาพถ่ายสองมิติ มาเปรียบเทียบกับขนาดคละของจริง ปรากฏว่าผลที่ได้ออกมาค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน ซึ่งถือว่าประสบความสำเร็จในการใช้ภาพถ่ายสองมิติมาช่วยในการหาขนาดคละของหิน

ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงมีความคิดที่จะนำวิธีการหาเปอร์เซ็นต์การค้ำของก้อนตัวอย่าง แอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ภาพถ่ายสองมิติ และใช้ค่าที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพถ่าย มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การค้ำของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งผลิตในห้องแล็บ ซึ่งถ้าหากสามารถทำได้ก็จะทำให้เกิดประโยชน์อย่างมากในงานวิศวกรรมโยธา เพราะวิธีการนี้สามารถทำได้ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย และหากในอนาคตมีการนำเทคโนโลยีเหล่านี้ไปสร้างเป็นเครื่องมือในการคำนวณหาขนาดคละ ดัชนีความยาว หรือค่าอื่นๆที่ใช้ในงานวิศวกรรมโยธา ก็จะเกิดประโยชน์เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีการคำนวณที่รวดเร็ว และถ้าหากสามารถทำให้ผลการคำนวณออกมาแม่นยำได้ วิธีการนี้ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ และถ้าหากมีการนำมาใช้มากขึ้น ก็จะทำให้เกิดความง่ายต่อการปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธาเป็นอย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลภาพถ่ายมาวิเคราะห์ภาพถ่ายหน้าตัดแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อคำนวณหาคุณสมบัติด้านมิติของมวลรวมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต อันได้แก่ ขนาดคละ, ดัชนีความยาว

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบขนาดคละและดัชนีความยาวที่ได้จากการประมวลผลภาพ และขนาดคละที่ได้จากวิธีปกติ

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปร พื้นที่หน้าตัด สัดส่วนความกว้างต่อความยาวของเม็ดหิน และจำนวนหน้าตัด ที่มีต่อความถูกต้องของผลการวัดด้วยเทคนิคประมวลผลด้วยภาพถ่าย

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

ขนาดคละและดัชนีความแบนที่คำนวณได้จากวิธีประมวลผลภาพถ่าย กับขนาดคละและดัชนีความแบนที่คำนวณได้ ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ประชากร คือ วัสดุมวลรวมแอสฟัลต์คอนกรีต ชนิด dense grade ขนาดเม็ดหินใหญ่สุด 3/4 นิ้ว

1.4.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ ตัวอย่างวัสดุมวลรวมแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด dense grade ขนาดเม็ดหินใหญ่สุด $\frac{3}{4}$ รูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 10 ซม.

1.4.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรต้น มี 3 ตัวแปร ได้แก่

1) เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ ประกอบด้วย การซ้อนภาพเป็นชั้นๆ (Overlaid Method) และการแยกภาพออกเป็นสี่ส่วน (Four section eroded method)

2)พื้นที่หน้าตัดที่นำมาวิเคราะห์พื้นที่

3)จำนวนหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวแปรตาม มี 3 ตัวแปร ได้แก่

1)เปอร์เซ็นต์การค้ำ

2)ดัชนีความยาว

3)สัดส่วนด้านมิติ (ความยาวต่อความกว้างและความสูงต่อความกว้าง)

1.4.4 สถานที่ปฏิบัติงาน ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4.5 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผลแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่ใช้ในการประมวลผลภาพ และส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

1) ImageJ เพื่อใช้ประมวลผลภาพ

2) Matlab ใช้ในการประมวลผลภาพ

3) SPSS เพื่อใช้วิเคราะห์ผลทางสถิติ

1.5 สิ่งที่คาดหวังจากงานวิจัย

1.5.1 ค่าเฉลี่ยของขนาดคละที่คำนวณได้จากวิธีประมวลผลภาพถ่าย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของขนาดคละที่คำนวณด้วยวิธีปกติแล้ว ถือว่าไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

1.5.2 ค่าเฉลี่ยของดัชนีความยาวที่คำนวณได้จากวิธีประมวลผลภาพถ่าย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของดัชนีความยาวที่คำนวณด้วยวิธีปกติแล้ว ถือว่าไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 2

ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยเรื่อง การใช้เทคนิคประมวลผลภาพถ่ายเพื่อวิเคราะห์ขนาดคละและคุณสมบัติด้านมิติของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกภาพหินของจากภาพยางมะตอย ซึ่งภาพหินและภาพยางมะตอยปกติแล้วจะอยู่รวมกัน ดังนั้นเราจึงต้องใช้วิธีการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อแยกออกจากกัน และผลที่ได้จะสามารถนำภาพนั้นคำนวณค่าต่างๆอย่างมีประสิทธิภาพ อาทิเช่น พื้นที่เส้นรอบวงของหิน และทิศทางของการวางตัวของหิน การคำนวณค่าจะเป็นประโยชน์ต่องานด้านการขนส่งทางบกโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับถนน วัตถุประสงค์ประการต่อมาคือเพื่อหาขนาดคละและมิติ ซึ่งสิ่งที่นำมาหาขนาดคละนั้นก็คือผลจากวัตถุประสงค์ประการแรกและนำมาพัฒนาต่อ ด้วยวิธีหาแกนสั้น แกนยาวของหินและนำไปเปรียบเทียบกับตะแกรงหาขนาดคละและมิติของหิน วัตถุประสงค์ประการสุดท้ายเพื่อนำผลที่ได้จากคอมพิวเตอร์ไปเปรียบเทียบกับการวัดด้วยวิธีการปกติ จากวัตถุประสงค์ข้างต้นนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการวิจัยให้เกิดความเข้าใจและประสิทธิภาพสูงสุด การทบทวนวรรณกรรมมีทั้งข้อมูลระดับเบื้องต้นที่ควรทราบของวัสดุในงานวิจัยไปจนถึงขั้นตอนวิธีการเชิงลึกของการทำงาน โดยข้อมูลเนื้อหาสำคัญที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีดังนี้

2.1 วัสดุมวลรวมในงานวิศวกรรมโยธา

วัสดุมวลรวมหมายถึงวัสดุที่ใช้ผสมกับสิ่งที่ใช้ประสาน เช่น ซีเมนต์เพสต์ แอสฟัลต์ซีเมนต์ เมื่อผสมเสร็จแล้วก็จะได้ผลผลิตออกมาเป็นคอนกรีต การเรียกชื่อผลผลิตนั้นขึ้นอยู่กับสิ่งที่ใช้ประสาน เช่น ถ้าหากนำวัสดุมวลรวมผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์จะเรียกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต



รูปที่ 1 วัสดุมวลรวม

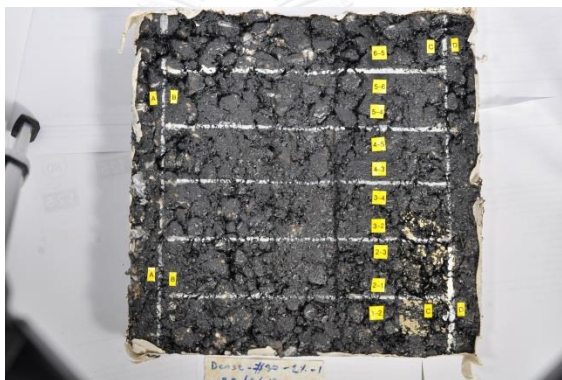
(ที่มา: <http://www.builderclick.com/masterformat/images/proimage/d52fa76d.jpg>)



รูปที่ 2 คอนกรีต

(ที่มา:

http://www.bhumisiamsupply.com/images/column_1326255714/vconcrete_.JPG)



รูปที่ 3 แอสฟัลต์คอนกรีต

2.2 คุณสมบัติด้านมิติกายภาพของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีต

สำหรับคุณสมบัติด้านมิติกายภาพของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตนั้น จะพิจารณาจาก 6 ปัจจัย คือ ขนาดคละ รูปร่าง ความแบน ความยาว ความเป็นเหลี่ยมมุม ลักษณะผิว

2.2.1 ขนาดคละ(gradation)

หมายถึง การกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ ที่อยู่ในวัสดุมวลรวม โดยมีตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็ก ซึ่งขนาดคละนี้จะส่งผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยถ้าหากมีขนาดคละที่ดีจะส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้(WORKABILITY)ดี การรับกำลัง (STRENGTH)ดี และประหยัดค่าใช้จ่าย ที่ประหยัดค่าใช้จ่ายเพราะมวลรวมที่มีขนาดคละดีจะทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุดทำให้ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยที่สุดซึ่งช่วยให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีราคาต่ำลงได้

2.2.1.1 วิธีการหาขนาดคละ

ทำได้โดยการนำวัสดุรวมไปร่อนผ่านตะแกรงเป็นชั้นๆ ซึ่งช่องบนตะแกรงแต่ละชั้นมีขนาดแตกต่างกัน แล้วนำไปเขย่า ส่งผลให้หินแต่ละก้อนตกลงบนตะแกรงขนาดต่างๆ แล้วนำหินบนตะแกรงแต่ละชั้นมาชั่งน้ำหนักแล้วนำมาเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับน้ำหนักทั้งหมด แล้วนำไปพล็อตกราฟ



รูปที่ 4 ตะแกรง

(ที่มา: <http://mixdesign.cmtc.ac.th/project5/index.html>)



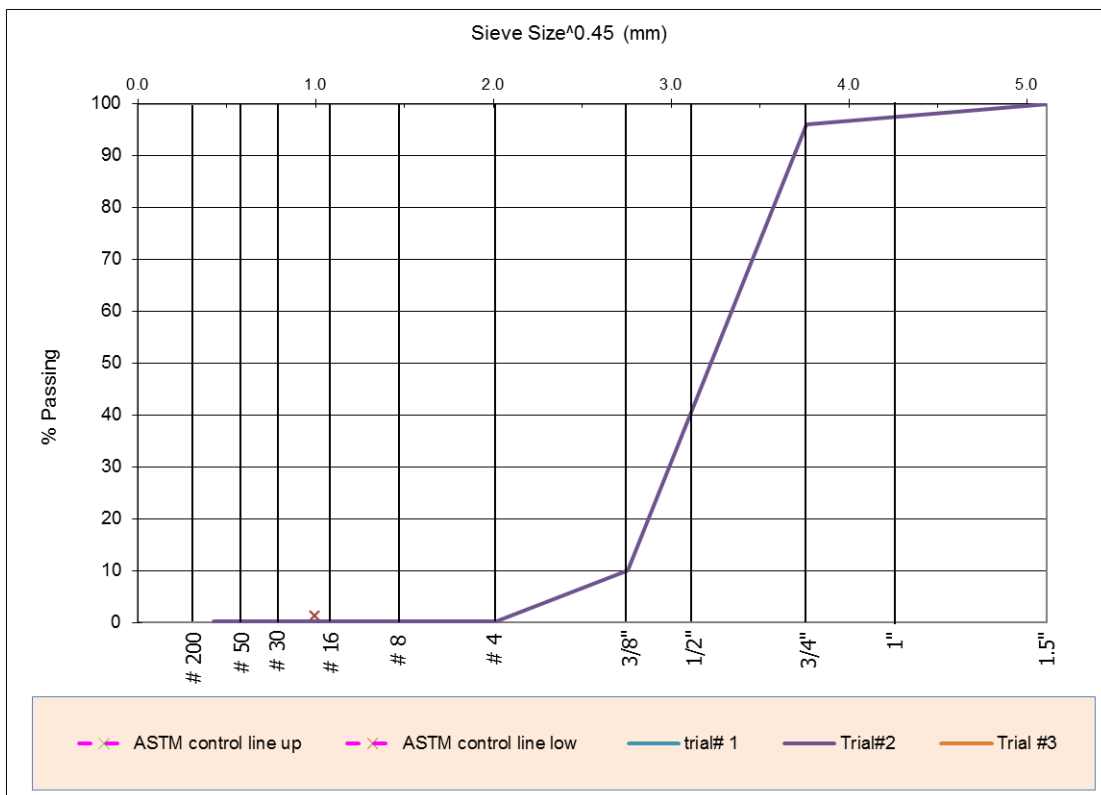
รูปที่ 5 เครื่องเขย่า

(ที่มา: <http://mixdesign.cmtc.ac.th/project5/index.html>)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการบันทึกผลในการคำนวณหาขนาดคละ

(ดัดแปลงจาก: <http://mixdesign.cmtc.ac.th/project5/index.html>)

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างบน ตะแกรง (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง บนตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ สะสมที่ค้าง บนตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่าน
3"	0	0	0	100
1 1/2 "	0	0	0	100
3/4 "	200.3	4.006	4.006	95.994
3/8 "	4298.2	85.964	89.97	10.03
No. 4	488.4	9.768	99.738	0.262
No.8	0	0	99.738	0.262
No. 16	0	0	99.738	0.262
No. 30	0	0	99.738	0.262
No. 50	0	0	99.738	0.262
No. 100	0	0	99.738	0.262
Pan	13.1	0.262	-	-
รวม	5000	100	692.4	

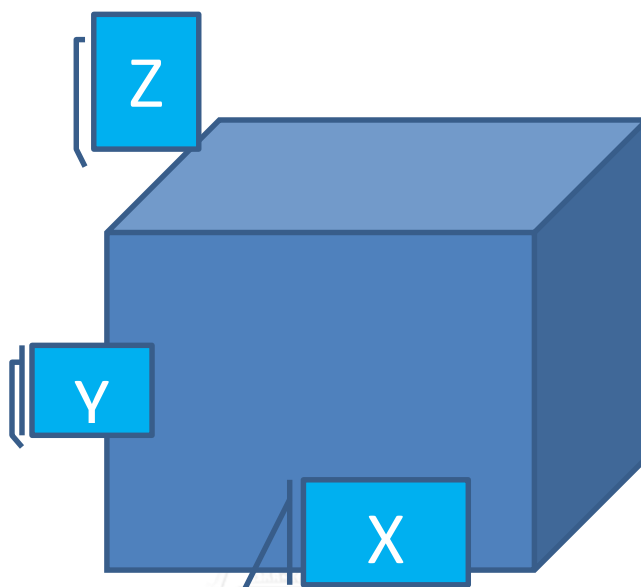


รูปที่ 6 กราฟแสดงส่วนละเอียด โดยแกนนอน คือ ขนาดของเม็ดหิน แกนตั้งคือเปอร์เซ็นต์ที่ผ่าน
ตะแกรง

(ที่มา: <http://mixdesign.cmtc.ac.th/project5/index.html>)

2.2.2 รูปร่าง(shape)

รูปร่างของอนุภาคส่งผลต่อความสามารถในการเทได้(Workability)ของวัสดุมวลรวม และส่งผลต่อความหนาแน่นของวัสดุมวลรวม วัสดุที่มีรูปร่างเหลี่ยมจะมีการประสานกันและมีแรงเสียดทานภายในมากกว่าวัสดุที่มีรูปร่างกลม ส่วนวัสดุมวลรวมที่ประกอบด้วยอนุภาครูปร่างกลมจะมีความสามารถในการบดอัดและความหนาแน่นดีกว่าวัสดุที่มีรูปร่างเหลี่ยม



รูปที่ 7 แสดงมิติต่างๆของมวลรวม โดย X คือ ความกว้าง Y คือ ความยาว และ Z คือ ความหนา

(ดัดแปลงจาก: <http://mixdesign.cmtc.ac.th/project5/index.html>)

รูปร่างของมวลรวมแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

2.2.2.1 เป็นก้อน (Chunky) คือ มวลรวมที่มีอัตราส่วน X:Y:Z ประมาณ 1:1:1









2.2.2.2 เป็นแผ่นแบน (Flaky, Plate-like) คือ มวลรวมที่มีอัตราส่วน X:Y ประมาณ 3 : 1

2.2.2.3 เป็นแท่งยาว (Elongated, Needle-like)

คือ มวลรวมที่มีอัตราส่วน X:Y:Z ประมาณ 3 : 1 : 1

ตารางที่ 2 ลักษณะรูปร่างของมวลรวม

(ดัดแปลงจาก: <http://mixdesign.cmtc.ac.th/project5/index.html>)

Shape รูปร่าง	Chunky เป็นก้อน		Platelike Flaky รูปร่างแบน	Needlelike Elongated รูปร่างเรียวยาว
	Irregular ไม่สม่ำเสมอ	Highly Irregular ไม่สม่ำเสมอ มาก		
Round รูปร่างกลม				
Cubical เป็นเหลี่ยม				



ตารางที่ 3 นิยามรูปร่างของมวลรวม (ที่มา: มาตรฐาน มอก. 566)

ประเภท	ลักษณะ	ตัวอย่าง
กลม (Round)	เกลี้ยง ไม่มีเหลี่ยม เนื่องจากถูกน้ำกัดเซาะหรือการเสียดสีกันเอง	กรวด ทราย จากแม่น้ำ หรือ ชายทะเล
ไม่สม่ำเสมอ หรือมีส่วนกลมอยู่บ้าง (Irregular)	ไม่สม่ำเสมอโดยธรรมชาติ หรือถูกเสียดสีบ้าง และมีเหลี่ยมมน	กรวดหรือทรายบดที่ได้จากบ่อหิน เหล็กไฟที่ได้จากพื้นดินหรือขุดขึ้นมา หินทรงลูกบาศก์
เหลี่ยม (Angular)	มีเหลี่ยมเกิดจากด้านที่เรียบมาบรรจบกันและเห็นเหลี่ยมได้ชัด	หินย่อยจากเครื่องโม่ทุกแบบ หินที่ตกตามไหล่เขา
แบน (Flaky)	วัสดุที่มีความหนาไม่มาก เมื่อเทียบกับความกว้างหรือยาว	หินที่มีลักษณะเป็นชั้น

ตารางที่ 4 นิยามลักษณะผิวของมวลรวม (ที่มา: มาตรฐาน มอก. 566)

เนื้อผิว	ลักษณะ	ตัวอย่าง
ใสคล้ายแก้ว	แวววาวคล้ายเปลือกหอย	หินเหล็กไฟดำ
เรียบ	กััดเซาะด้วยน้ำ หรือผิวเรียบ หรือหินเนื้อละเอียด	กรวด หินอ่อน เซิร์ท หินชนวน หินโรโอไรท์
เป็นเม็ด	ผิวหน้าเป็นเม็ดทราย	หินทราย หินอุไรท์
หยาบ	หินเนื้อหยาบ-หยาบปานกลาง	หินบาสอลท์ หินเฟลไซท์ หินปูน
เป็นผลึก	เห็นผลึกแร่ชัดเจน	หินแกรนิต หินแกบโบไนส์
เป็นโพรง รวงผึ้ง หรือเป็นรูพรุน	มีโพรงหรือรูพรุนชัดเจน	หินพิวมิช กากแร่เตาถลุง อีฐดินเผา

2.2.3 การทดสอบความแบน (ดัชนีความแบน)

นำตัวอย่างหินมาแยกขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน นำแต่ละขนาดมาลอดผ่านช่องของความหนา (Thickness gauge) ช่องของแผ่นวัดความหนาแต่ละช่องจะกว้าง 0.6 เท่าของค่าเฉลี่ยของตะแกรงสองขนาดที่หินสามารถลอดผ่านตะแกรงหนึ่ง แต่ไปค้างบนอีกตะแกรงหนึ่งถัดลงไป เช่น หินที่ลอดผ่านตะแกรง 1½ นิ้ว ค้างบนตะแกรง 1 นิ้ว จะมีความกว้างของช่องวัดความหนา = $0.6(1.5 + 1)/2 = 0.75$ นิ้ว

ดัชนีความแบน (Flakiness Index) = $(Y/X) 100 \%$

Y = น้ำหนักหินที่ลอดผ่านแผ่นวัดความหนา

X = น้ำหนักหินทั้งหมดที่นำมาทดสอบ



รูปที่ 8 แผ่นวัดทดสอบความแบน

(ที่มา: [http://www.geneq.com/catalog/images/h/H-1684\[1\].jpg](http://www.geneq.com/catalog/images/h/H-1684[1].jpg))

ดัชนีความแบนของหินตามมาตรฐาน BS 882

2.2.3.1 คอนกรีตกำลังอัด 20-35 MPa (200-350 ksc)

- ไม่เกิน 40% สำหรับหินโม้ (Crushed Rock)
- ไม่เกิน 50% สำหรับหินไม่ได้อัด (Uncrushed Gravel)

2.2.3.2 คอนกรีตกำลังอัดมากกว่า 35 MPa (>350 ksc)

- ไม่เกิน 35% สำหรับมวลรวมทุกประเภท



รูปที่ 9 อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการสำหรับดัชนีความแบน

(ที่มา: <http://www.foodlve.com/pictures/mechanical-and-civil-engineering-laboratory-equipments-17201720.jpg>)

2.2.4 การทดสอบความยาว (ดัชนีความยาว)

- นำตัวอย่างหินมาแยกขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน
 - นำแต่ละขนาดมาลอดผ่านช่องของเครื่องวัดความยาว (Length gauge)
- ความกว้างของช่องแต่ละช่องจะมีค่า 1.8 เท่าของค่าเฉลี่ยของตะแกรงสองขนาด

ดัชนีความยาว (Elongation Index) = $(B/A) 100 \%$

A = น้ำหนักหินทั้งหมดที่นำมาทดสอบ

B = น้ำหนักหินไม่สามารถลอดผ่านช่องเครื่องวัดความยาวยาว



รูปที่ 10 เครื่องทดสอบความยาว

(ที่มา: <http://civilblog.org/wp-content/uploads/2013/05/Length-Gauge.jpg>)

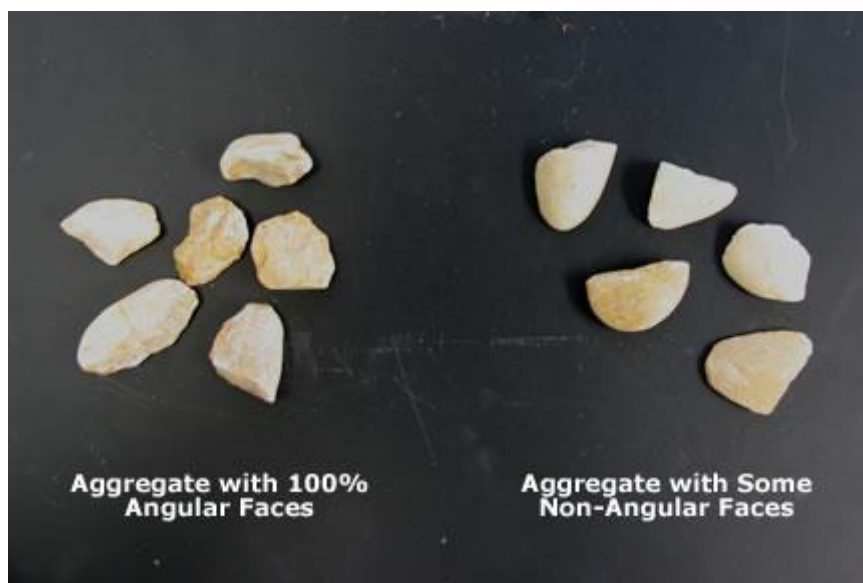
2.2.5 ความเป็นเหลี่ยมมุม(angularity)

อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมจะมีแรงภายใน(Interlock) และมุมเสียดทานภายใน(Angle of internal friction)มากกว่าแบบกลม ส่งผลให้มีเสถียรภาพ(Stability)มากกว่าอนุภาคแบบกลม สำหรับวิธีการทดสอบความเป็นเหลี่ยมเป็นมุมนั้น ปกติจะใช้วิธี CAA TEST ประมาณความเป็นเหลี่ยมมุมของมวลรวมหยาบโดยการตรวจสอบ ด้วยการมองตัวอย่างขนาดเล็กของมวลรวมหยาบและแยกตัวอย่างออกเป็นสองส่วนคือหน้าที่มีการแตกร้าวและหน้าที่ไม่มีการแตกร้าว ถ้ามีมวลรวมหยาบมากกว่าหนึ่งหน้าที่มีการแตกร้าว ก็จะมีการทดสอบทดสอบทั้งสองหน้าภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดได้ การทดสอบนี้ถูกใช้เพื่อช่วยทำให้มั่นใจซึ่งผลลัพธ์ของส่วนผสมจะต้านทานการเสีรูปภายใต้น้ำหนักที่กดซ้ำ การกำหนดเปอร์เซ็นต์ต่ำสุดของความเป็นเหลี่ยมมุมของมวลรวมหยาบสามารถใช้เพิ่มความทนทานสำหรับการใช้มวลรวมในการรักษาผิวหน้าและเพิ่มแรงเสียดทานสำหรับมวลรวมที่ใช้ในแนวพื้นผิวทาง

สำหรับมาตรฐานที่ใช้ คือ

AASHTO TP 61: การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของการแตกร้าวในมวลรวมหยาบ

ASTM D 5821: การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่แตกในมวลรวมหยาบ



รูปที่ 11 ตัวอย่างของมวลรวมที่เป็นเหลี่ยมมุมและไม่เป็นเหลี่ยมมุม
(ที่มา : <http://www.pavementinteractive.org/article/coarse-aggregate-angularity/>)

2.2.6 ลักษณะผิว(Texture)

ลักษณะผิวของอนุภาคส่งผลกระทบต่อความสามารถบดอัดได้(workability) และกำลัง(strength)ของแอสฟัลต์คอนกรีต ผิวหน้าหยาบจะทำให้เกิดช่องว่างมากขึ้น ส่งผลให้มีความสามารถในการเทได้มากขึ้น ผิวหน้าที่หยาบจะสามารถเพิ่มกำลังให้กับแอสฟัลต์คอนกรีตได้ เพราะสามารถยึดเกาะกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้ดีกว่าผิวเรียบ แต่ผิวเรียบก็มีข้อดีคือง่ายต่อการเคลื่อน

การคำนวณผลกระทบของรูปร่างอนุภาคและลักษณะผิว ทำได้โดยใช้วิธี Particle index test ตามวิธีทดสอบASTM D3398 โดยนำตัวอย่างหินแบ่งออกเป็นหลายๆ ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน แล้วนำแต่ละส่วนไปบรรจุไว้ในภาชนะโดยแบ่งออกเป็น 3 ชั้น แล้วนำแต่ละชั้นไปอัดครั้งที่หนึ่ง 10 ครั้ง และครั้งที่สอง 50 ครั้ง และ Particle Index สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$I_a = 1.25V_{10} - 0.25V_{50} - 32.0$$

เมื่อ I_a คือ ค่าของ particle index
 V_{10} คือ เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างในมวลรวมหลังจากอัดไป 10 ครั้ง ต่อ 1 ชั้น
 V_{50} คือ เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างในมวลรวมหลังจากอัดไป 50 ครั้ง ต่อ 1 ชั้น

2.3 การประมวลผลภาพ (digital image processing)

การประมวลผลภาพ (digital image processing) คือ การเปลี่ยนแปลงนำภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยอาศัยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ การนำผลจากการประมวลผลภาพดิจิทัลสามารถนำไปใช้ได้สองแนวทาง คือ แนวทางที่หนึ่งเพื่อปรับปรุงข้อมูลภาพสำหรับให้มนุษย์แปลความหมายที่ดีขึ้น หรืออีกแนวทางหนึ่งก็เพื่อทำให้การรับรู้มองเห็นของสมองที่เรียกว่า machine perception หรือ computer vision ดีขึ้นและเป็นอัตโนมัติมากขึ้น กระบวนการประมวลผลภาพถ่าย

2.3.1 ประเภทของภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัลแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 4 ประเภท คือ

2.3.1.1 ภาพของระดับสี(Bi-Level Image)

ภาพสองระดับสี คือ ภาพที่แต่ละจุดภาพมีค่าระดับการควันทึกลับสัญญาณเพียงสองระดับ ซึ่งโดยทั่วไปค่าระดับสัญญาณสองระดับจะแทนด้วยค่า “0” หรือ “1” ที่สามารถจัดเก็บได้อย่างประหยัดในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ด้วยข้อมูลชนิด “บิต” ดังนั้น เมื่อจัดเก็บแบบอัดแน่น หน่วยความจำหนึ่งไบต์จะใช้บันทึกรหัสของจุดภาพได้ 8 จุดภาพ

2.3.1.2 ภาพระดับสีเทา (Grey-Level image)

ภาพระดับสีเทา คือ ภาพที่แต่ละจุดภาพมีค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการควันทึกลับตามระดับความแรงของสัญญาณ ในการแสดงผลมักจะให้ค่าระดับสัญญาณแทนด้วยระดับของสีเทา โดยมักจะยึดหลักการว่า ในการแสดงผลมักจะให้ค่าระดับสัญญาณแทนด้วยระดับของสีเทา โดยมักจะยึดหลักการที่ว่า เมื่อระดับความแรงสัญญาณอ่อนก็จะแสดงด้วยสีเทาอ่อน เมื่อสัญญาณแรงขึ้นก็จะแสดงด้วยสีเทาที่สว่างขึ้น โดยที่สัญญาณที่เบาที่สุดจะให้เป็น 0 และสัญญาณที่แรงที่สุดจะให้รหัสเป็น 255 ซึ่งระดับของสัญญาณจะมีทั้งสิ้น 256 ระดับ

2.3.1.3 ภาพสีจริง (True-Color Image)

ภาพสีจริง คือ ภาพที่มีจุดภาพแต่ละจุดภาพแสดงด้วยรหัสที่สามารถแทนสีที่ใกล้เคียงกับสีที่ควันทึกลับได้ใกล้เคียงที่สุด ในแต่ละจุดภาพจากภาพสีจริงจะแทนด้วยรหัสที่เป็นองค์ประกอบสีพื้นฐานทั้งสาม คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ที่เรียกให้สั้นและย่อๆว่า RGB โดยที่แต่ละองค์ประกอบสีจะทำการควันทึกลับ 256 ระดับ ที่มีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 255 จากการผนวกระดับ 256 ระดับสีของสีองค์ประกอบพื้นฐานทั้งสามทำให้ได้สีต่างๆ 16,777,216 ระดับ เมื่อนับจำนวนบิตของแต่ละจุดภาพจะได้เป็น 24 บิต ดังนั้น จึงเรียกภาพสีชนิดนี้อีกชื่อหนึ่งว่า ภาพสี 24 บิต จำนวนสี 16,777,216 ระดับ ที่สามารถเข้ารหัสได้ด้วย 24 บิตหรือ 3 ไบต์ ถือได้ว่าสามารถแทนสีต่างๆ ในธรรมชาติเท่าที่ตามนุษย์จะสามารถแยกแยะได้ทั้งหมด

2.3.1.4 ภาพสีดัชนี(Index-Color Image)

ภาพสีดัชนี คือ ภาพสีที่แต่ละสีในแต่ละจุดภาพจะแทนด้วยดัชนีสี ดัชนีสีสามารถค้นคืนรหัสสีจาก “ถาดสี (color palette)” color paletteคือตารางแสดงความสัมพันธ์ที่บอกถึงดัชนีสีและรหัสของสีที่เป็นสีองค์ประกอบทั้งสาม

ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างพaletteสี (Color Palette)

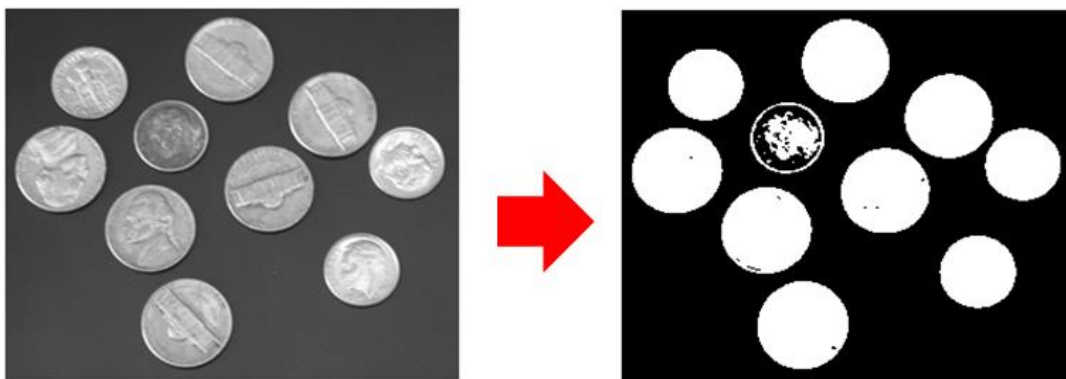
ดัชนี	สีแดง	สีเขียว	สีน้ำเงิน
0	255	0	0
1	0	255	0
2	0	0	255
3	255	128	128
...

2.3.2 กระบวนการทางด้าน image processing

กระบวนการทางด้าน image processing ที่จะนำมาใช้ในที่นี้ มี 3 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการแยกภาพออกเป็นสองส่วน(Binary) กระบวนการหาขอบเขตของแต่ละวัตถุที่อยู่ในรูปภาพ(Edge Detection) และกระบวนการแยกวัตถุในรูปภาพให้แยกออกจากกัน(Morphological) นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอื่นๆ ด้านการประมวลผลภาพที่นิยมใช้ ได้แก่ การปรับปรุงภาพ การทำภาพให้กลับคืนสู่ภาพเดิม และการแบ่งส่วนของภาพ

2.3.2.1 กระบวนการแยกภาพออกเป็นสองส่วน(Binary)

กระบวนการแยกภาพออกเป็นสองส่วน คือ การกำหนดค่าความเข้มแสงขึ้นมาค่าหนึ่งเรียกว่าThreshold เพื่อใช้เป็นตัวแบ่งรูปภาพออกเป็นสองส่วน โดยความเข้มแสงที่มากกว่าให้เป็นสีดำ ความเข้มของแสงที่น้อยกว่าให้เป็นสีขาว หรืออาจจะกำหนดในทางตรงกันข้ามก็ได้ ภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผลนี้ต้องเป็นภาพระดับสีเทา(Gray scale) ข้อดีของกระบวนการนี้คือ สามารถแยกวัตถุที่ต้องการออกมาจากภาพได้ แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ถ้าหากความเข้มแสงของวัตถุที่สนใจใกล้เคียงกับวัตถุอื่นๆ บางครั้งจะไม่สามารถแยกภาพออกจากกันได้ชัดเจน เนื่องจากไม่สามารถหาค่าThresholdที่เหมาะสมได้



รูปที่ 12 การแบ่งรูปภาพเป็นขาวกับดำ(Black and white)

(ที่มา : <http://www.mathworks.com/help/images/ref/multithresh.html>)

2.3.2.2 กระบวนการหาขอบเขตของแต่ละวัตถุที่อยู่ในรูปภาพ(Edge Detection)

กระบวนการหาขอบเขตของแต่ละวัตถุที่อยู่ในรูปภาพ คือ การใช้ความระดับความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นตัวแบ่งขอบเขตของวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในรูปภาพ หรืออาจเรียกวินี้ว่าการหาเส้นรอบรูปของวัตถุนั้นเอง โดยในกระบวนการนี้จะพิจารณาเฉพาะส่วนที่เป็นขอบเท่านั้น ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถหาเห็นขอบเขตของแต่ละวัตถุในรูปได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ข้อเสียของวิธีการนี้คือถ้าภาพพื้นหลังมีระดับความเข้มแสงใกล้เคียงกับวัตถุจะทำให้การหาขอบเขตยากขึ้น และมีความถูกต้องน้อยลง

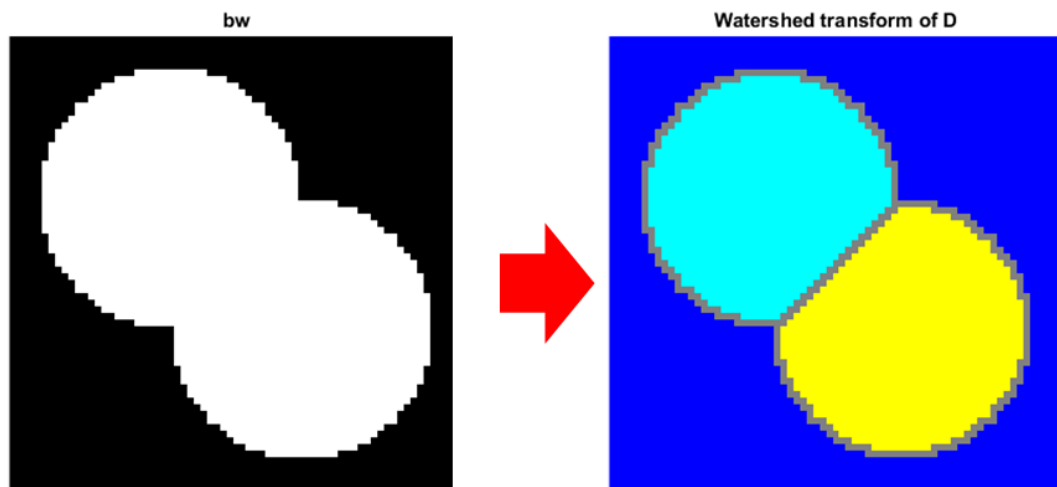


รูปที่ 13 ตัวอย่างการหาขอบเขตของภาพ

(ที่มา : http://www.mathworks.com/cmsimages/97697_wm_image-segmentation-canny-method.jpg)

2.3.2.3 กระบวนการแยกวัตถุในรูปภาพให้แยกออกจากกัน (Morphological)

ปัญหาหนึ่งที่พบในการแยกภาพออกเป็นสองส่วน คือ บางครั้งวัตถุที่สนใจควรจะแยกกันเป็นหลายชิ้น แต่พอผ่านกระบวนการ Binary วัตถุเหล่านั้นกลับรวมกันเป็นก้อนเดียว ซึ่งทำให้การคำนวณหาพื้นที่และเส้นรอบรูปคลาดเคลื่อนไป กระบวนการแยกวัตถุในรูปภาพให้แยกออกจากกัน(Morphological) ซึ่งแก้ปัญหานี้ได้ด้วยวิธี (Morphological) โดยวิธีการนี้จะมีแบ่งขอบเขตของวัตถุโดยใช้ความเข้มแสง ซึ่งจะทำให้วัตถุที่อยู่ติดกันแยกออกจากกันได้

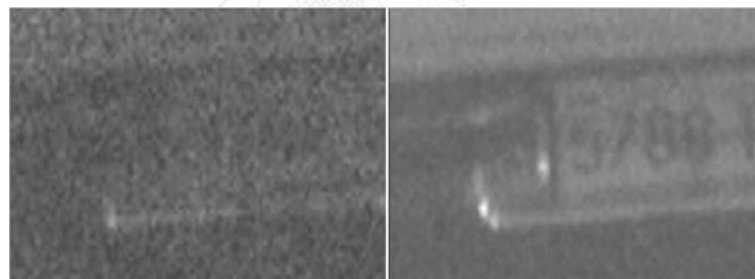


รูปที่ 14 ตัวอย่างการแยกภาพด้วย watershed

(ที่มา : <http://www.mathworks.com/help/images/ref/watershed.html>)

2.3.2.4 การปรับปรุงภาพ(Image enhancement)

คือการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้นโดยทำให้รายละเอียดที่ไม่ชัดเจนให้มีความชัดเจนขึ้นหรือทำให้คุณลักษณะที่สำคัญเด่นขึ้น



รูปที่ 15 ตัวอย่างการปรับปรุงภาพ

(ที่มา : <http://www.ivimg.com/products/vcnvr.htm>)

2.3.2.5 การทำภาพให้กลับคืนสู่สภาพเดิม(Image restoration)

การทำให้ภาพคืนสู่สภาพเดิมหรือการปรับปรุงภาพให้เหมาะสมกับการมองเห็นซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความเสี่ยง (degradation)

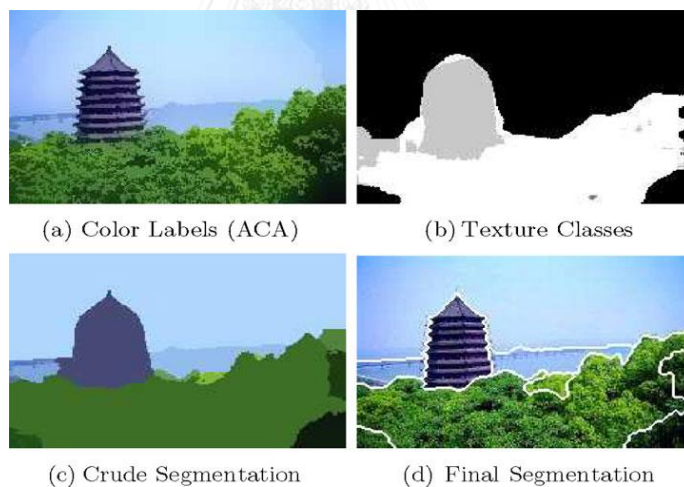


รูปที่ 16 ตัวอย่างการทำภาพให้กลับสู่สภาพเดิม

(ที่มา : http://www.yuvsoft.com/technologies/color_enhancement)

2.3.2.6 การแบ่งส่วนของภาพ(Segmentation)

ในบางครั้งเราจำเป็นต้องมีการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ เพื่อหาสิ่งที่เราสนใจ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการนำไปประมวลผล

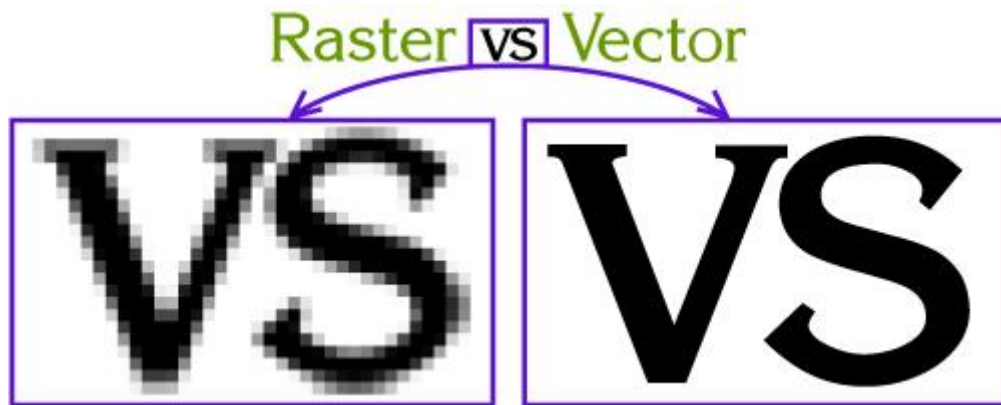


รูปที่ 17 ตัวอย่างการแบ่งส่วนของภาพ

(ที่มา : <http://spie.org/x8899.xml?ArticleID=x8899>)

2.3.3 การหาพื้นที่ เส้นรอบวง แกนสั้น แกนยาว มุม จากวิธีประมวลผลภาพถ่าย

ในโลกของดิจิทัลการบันทึกข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของราสเตอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับเวกเตอร์ โดยเวกเตอร์จะเก็บข้อมูลอยู่ในระบบพิกัด X,Y แต่ราสเตอร์จะแบ่งรูปออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ เรียกว่าพิกเซล โดยการเก็บข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ แบบจุด แบบเส้น แบบพื้นที่



รูปที่ 18 เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์กับราสเตอร์

(ที่มา: http://vector-conversions.com/images/raster_vs_vector.jpg)

2.3.3.1 การวัดพื้นที่

วัดจากจำนวนรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ ภายในบริเวณนั้นโดยสี่เหลี่ยม 1 รูป มีพื้นที่ 1 พิกเซล

2.3.3.2 การวัดความยาว

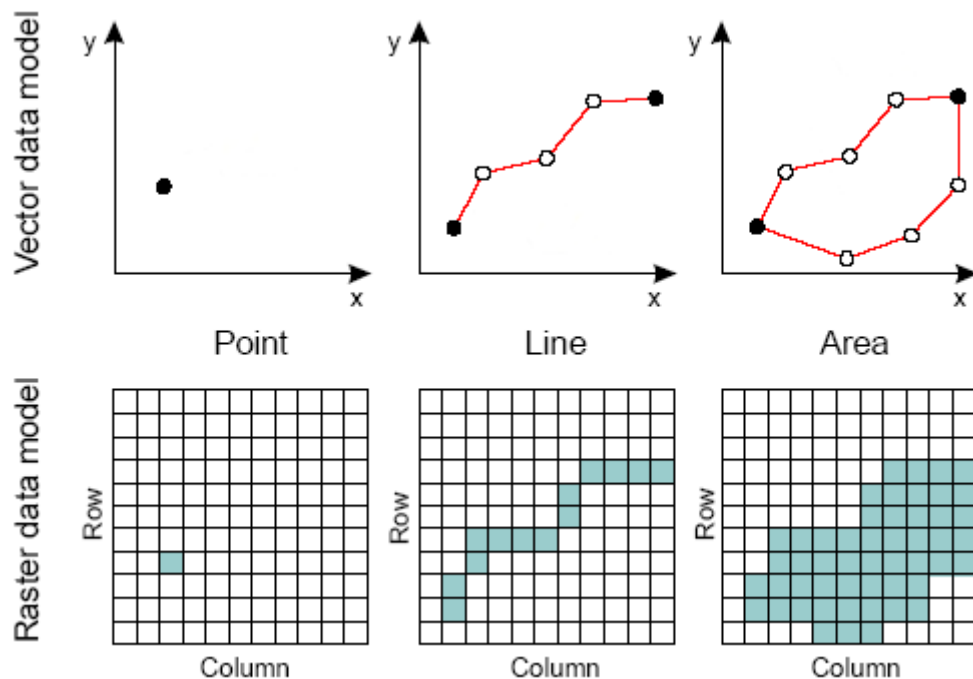
วัดจากรูปสี่เหลี่ยมที่ทับเส้นอยู่โดยรูปสี่เหลี่ยม 1 รูป ให้มีความยาว 1 พิกเซล

2.3.3.3 การวัด แกนสั้น แกนนอน

หาได้จากการนำวงรี ที่มีขนาดเหมาะสมกับรูปภาพมาหาแกนสั้น และแกนยาว

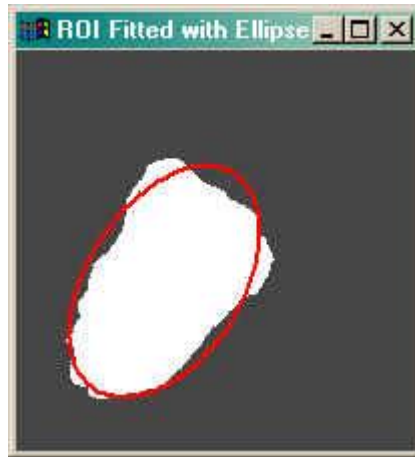
2.3.3.4 การหามุมที่แกนยาวทำกับแกนราบ

ทำได้โดยนำแกนยาวของวงรีมาวัดมุมที่ทำกับแกนราบ



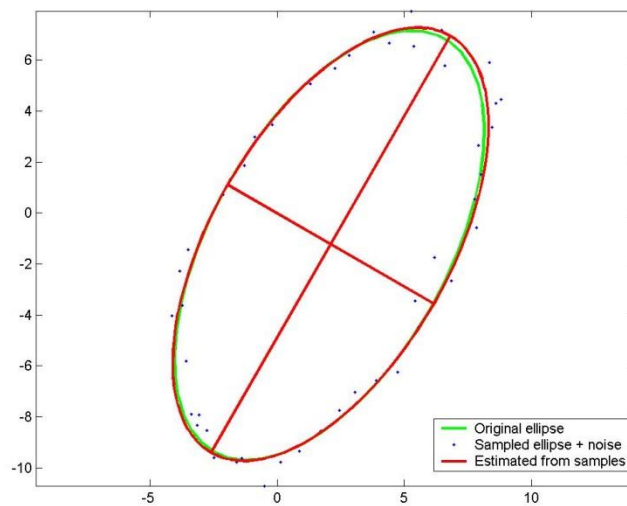
รูปที่ 19 เปรียบเทียบการเก็บข้อมูลแบบจุด แบบเส้น และแบบพื้นที่ ของเวกเตอร์และราสเตอร์

(ที่มา: http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_03/raster-vector.png)



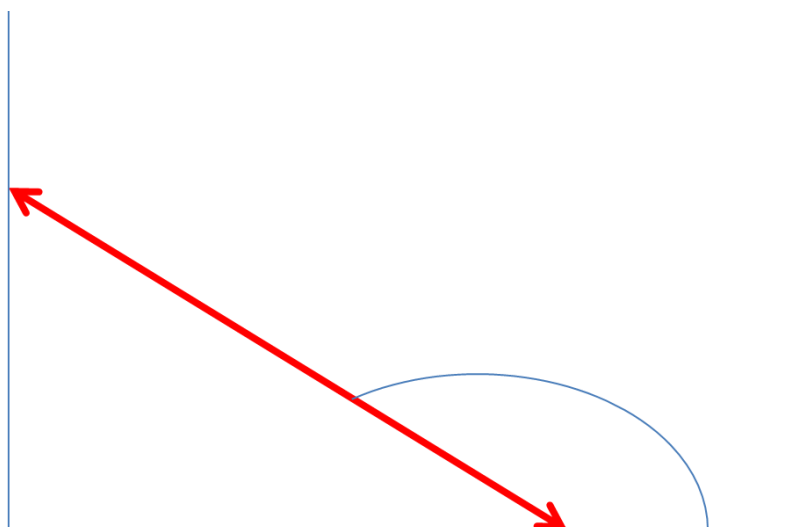
รูปที่ 20 ตัวอย่างการหาวงรีที่เหมาะสมกับรูปภาพ

(ที่มา: http://www.idlcoyote.com/documents/document_images/fit_ellipse.jpg)



รูปที่ 21 ตัวอย่างการหาแกนสั้น แกนยาว ของวงรี

(ที่มา: www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/screenshots/313/original.jpg)



รูปที่ 22 ตัวอย่างการคำนวณหามุมที่แกนยาวของวงรีทำกับแกนนอน

2.4 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

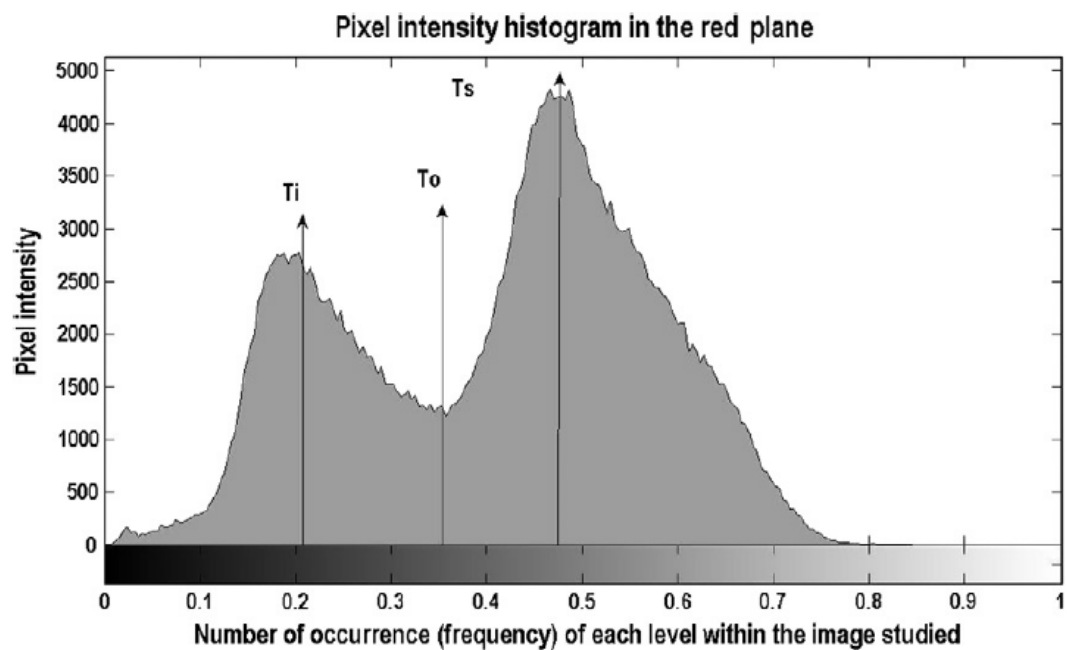
งานวิจัยที่ศึกษามานั้น ผู้วิจัยแบ่งตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยออกเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ การหาขนาดคละของมวลรวม การหารูปทรงของมวลรวม การหาโครงสร้างภายในของมวลรวม

2.4.1 การหาขนาดคละ

Bruno et al. (2011) ทำการวิจัยในหัวข้อ Image analysis for detecting aggregate gradation in asphalt mixture from planar image โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดคละของวัสดุมวลรวมโดยใช้ภาพถ่าย โดยวิธีการแบ่งส่วนเพื่อหาค่ากลาง(Threshold)ที่จะใช้แบ่งภาพออกเป็นสองส่วนคือ สีขาวกับสีดำ โดยมีหลักการแบ่งคือวัสดุมวลรวมจะมีความสว่างมากกว่าเราจะให้เป็นสีขาว ส่วนยางมะตอยที่มีความสว่างน้อยกว่าจะเป็นสีดำ ถ้าหากว่าจุดใดมีความสว่างน้อยกว่าค่ากลางที่กำหนด ก็จะให้ผลออกมาเป็นสีดำ แต่ถ้าหากจุดไหนมีความสว่างมากกว่าค่ากลางที่กำหนดก็จะให้เป็นสีขาว โดยถ้าหากมีหลังจากที่แบ่งภาพออกเป็นสองส่วนได้แล้ว ก็จะมีการตรวจหาขอบเขตของรูปทรงต่างๆ ด้วยวิธีการ Canny edge detector และทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาปริมาณที่สนใจมีทั้งหมด 4 ค่า คือ พื้นที่ เส้นรอบวง แกนเอกของวงรี แกนโทของวงรี
พื้นที่ วัดได้จากจำนวนของ pixel ในรูปภาพ เส้นรอบวงวัดได้จากจำนวนของ pixel ในรูปภาพ ซึ่งได้จากวงรีที่มีขนาดใกล้เคียงกับแต่ละรูปร่าง แกนเอกของวงรีหาได้จากการนำวงรีที่ใกล้เคียงกับแต่ละรูปร่าง(พื้นที่สีขาว) แล้วหาแกนเอกจากจำนวน pixel แกนโทของวงรี หาได้จากการนำวงรีที่ใกล้เคียงกับแต่ละรูป(พื้นที่สีขาว) แล้วหาแกนโทจากจำนวน pixel

2.4.1.1 การหาขนาดคละด้วยวิธีประมวลผลภาพ

นำแกนโทของวงรีมาแปลงจาก pixel ให้เป็นความยาวภาพจริง โดยเทียบสัดส่วนของภาพจริงกับ pixel ถ้าทราบว่าแกนโทยาวจริงเท่าใด ก็นำไปเปรียบเทียบกับขนาดเส้นทแยงมุมของช่องที่อยู่บนตะแกรงแต่ละขนาด ถ้าหากว่าเล็กกว่าก็ถือว่าผ่านได้ ถ้าหากใหญ่กว่าก็ไม่สามารถผ่านได้ ผลการวิเคราะห์ออกมาปรากฏว่าขนาดคละที่คำนวณได้จากภาพมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยพิจารณาจากกราฟ และตารางแสดงผล



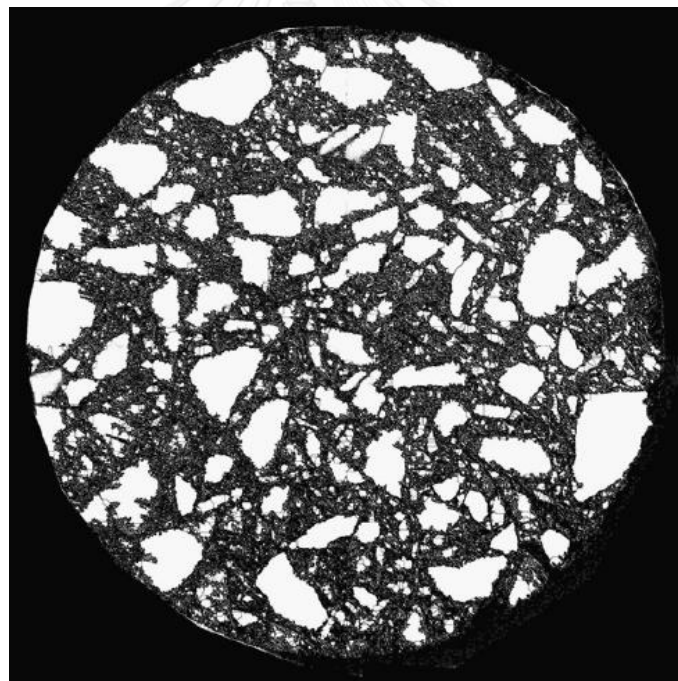
(Bruno et al, 2011)

จากรูป จุดสูงสุดและจุดต่ำสุดของกราฟมี 3 จุด คือ T_i T_o และ T_s ซึ่งก็คือค่ากลาง(Threshold)ของรูปนี้

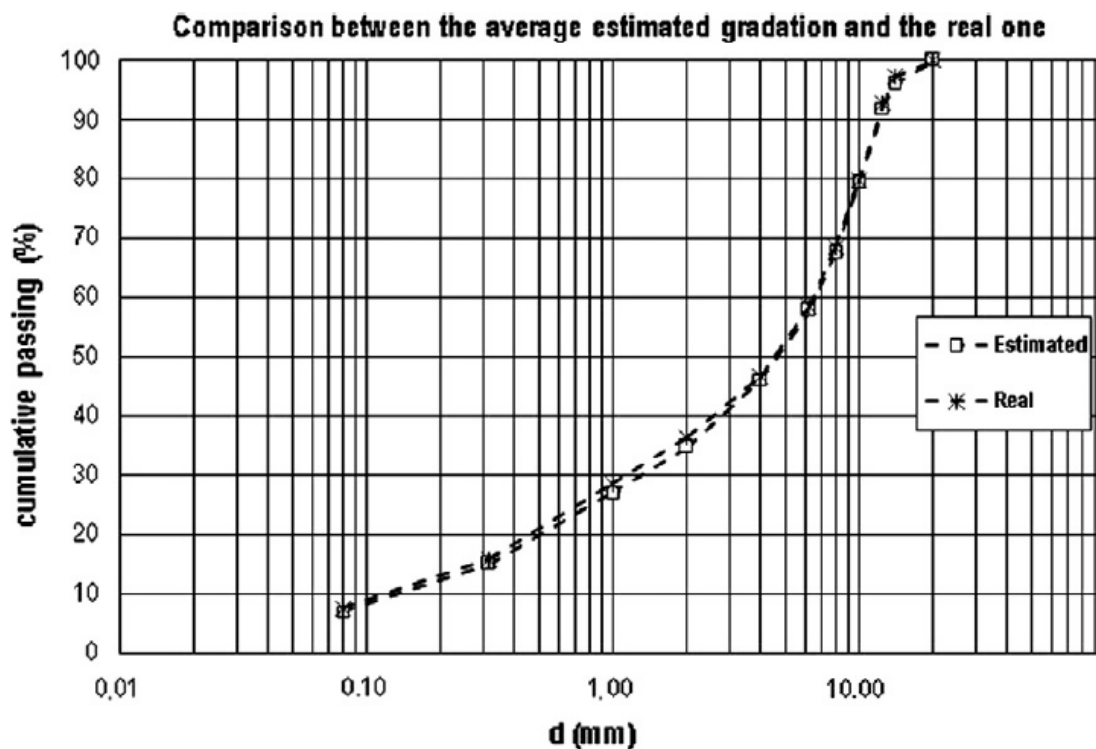
แต่ T_i กับ T_s มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเราจะเลือก T_o มาเป็นค่ากลาง เพราะสอดคล้องกับวิธีการของ Otsu



รูปที่ 24 ตัวอย่างหินที่ใช้ทดสอบ
(Bruno et al, 2011)



รูปที่ 25 ภาพหลังจากการแบ่งภาพเป็นสองสี
(Bruno et al, 2011)



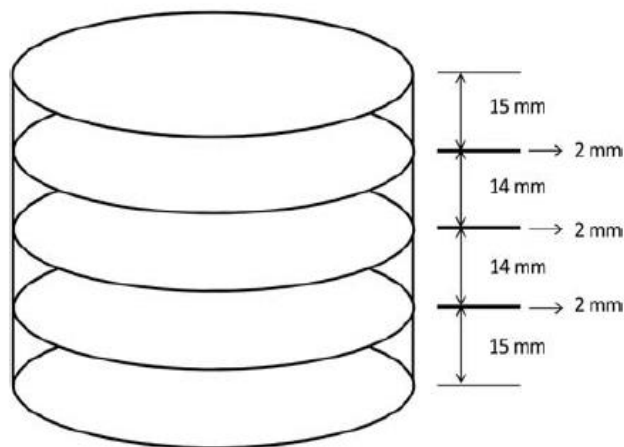
รูปที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง และเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรง เปรียบเทียบระหว่างวิธีปกติกับวิธีประมวลผลภาพถ่าย (Bruno et al, 2011)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงด้วยวิธีปกติ(สีชมพู) กับ วิธีประมวลผลภาพถ่าย (สีเหลือง) (Bruno et al, 2011)

Sieve size (mm)	0.08	0.315	1	2	4	6.3	8	10	12.5	14	20
Real passing sieve (%)	7.6	15.8	28.6	36.4	46.8	58.6	68.5	79.6	92.7	97.2	100.0
Average estimated passing sieve (%)	7.1	15.0	27.0	34.8	46.2	57.7	67.4	79.3	92.0	96.0	100.0
Δ	0.5	0.8	1.6	1.6	0.6	0.9	0.9	0.3	0.7	1.2	0
var	2.96	5.25	6.49	6.98	6.74	8.70	10.22	13.93	11.80	11.61	0.00

Vadood et al.(2012) ได้ทำการวิจัยในหัวข้อ Introducing a simple method to determine aggregate gradation of hot mix asphalt using image processing โดยนำตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาตัดออกเป็น 5 ส่วน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้มีวิธีการทำภาพออกเป็นสองส่วน(Binary image) อยู่สองวิธี คือ Shape method และ Color space method แต่หลังจากทำการทดลองผลปรากฏว่าวิธี Color space method ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ผู้วิจัย Vadood et al.จึงเลือกใช้วิธี Color space method ในการทำภาพให้เป็นสองส่วน หลังจากนั้นจึงทำการหาขอบโดยใช้วิธี Distance and watershed transform ซึ่งจำเป็นการหาขอบโดยใช้การเปลี่ยนแปลงสี และทำการวิเคราะห์ผล การวิเคราะห์ผลในครั้งนี้ปริมาณที่เราสนใจมีทั้งหมด 3 ค่า คือ พื้นที่ แกนเอก แกนโท พื้นที่หาได้จากจำนวน pixel ในหินแต่ละก้อน แกนเอกหาได้จากการนำวงรีที่ใกล้เคียงกับแต่ละ

รูปร่าง(พื้นที่สีขาว) แล้วหาแกนเอกจากจำนวน pixel แกนโทหาได้จากการนำวงรีที่ใกล้เคียงกับแต่ละรูปร่าง(พื้นที่สีขาว) แล้วหาแกนโทจากจำนวน pixel การคำนวณหาขนาดคละด้วยวิธีประมวลผลภาพทำได้โดยนำแกนโทของวงรีมาแปลงจาก pixel ให้เป็นความยาวภาพจริง โดยเทียบสัดส่วนของภาพจริงกับ pixel ถ้าทราบว่าแกนโทยาวจริงเท่าใด ก็นำไปเปรียบเทียบกับขนาดเส้นทแยงมุมของช่องที่อยู่บนตะแกรงแต่ละขนาด ถ้าหากว่าเล็กกว่าก็ถือว่าผ่านได้ ถ้าหากใหญ่กว่าก็ไม่สามารถผ่านได้ แล้วนำพื้นที่ของหินส่วนที่ผ่านมาเทียบกับพื้นที่หินทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้ปรากฏว่าขนาดคละที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายมีค่าใกล้เคียงกับความจริง โดยพิจารณาจากกราฟของขนาดคละจริงกับขนาดคละที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย และพิจารณาจากตารางแสดงผลการทดลอง



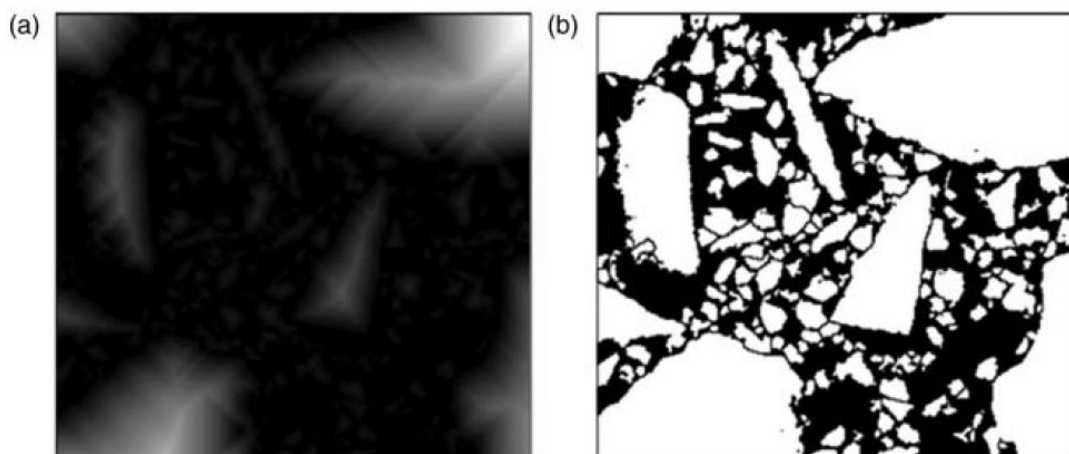
รูปที่ 27 ส่วนตัดห้าส่วนของตัวอย่างทรงกระบอก(Vadood et al., 2012)



รูปที่ 28 ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี Shape method (Vadood et al., 2012)



รูปที่ 29 ภาพที่ได้จากวิธี *Color space method* (Vadood et al, 2012)



รูปที่ 30 การหาขอบขอบโดยใช้วิธี *distance and watershed transform*
(Vadood et al., 2012)

ตารางที่ 7 ผลแสดงผลการวิเคราะห์การผ่านตะแกรงสะสมของแต่ละตัวอย่าง ตัวอย่างละห้าภาพ
(Vadood et al., 2012)

		(a) Maximum aggregate size: 12.5 mm					
Sieve size (mm)		0.075	0.3	2.36	4.75	9.5	12.5
Sample 1	Image 1	3.65	14.68	52.45	68.87	98.85	100
	Image 2	4.56	12.65	48.54	69.86	96.56	100
	Image 3	3.65	10.32	47.99	72.68	95.87	100
	Image 4	3.68	12.56	52.98	65.38	97.85	100
	Image 5	2.5	11.65	45.98	67.85	93.69	100
Sample 2	Image 1	2.65	18.68	54.68	73.99	95.85	100
	Image 2	3.01	18.88	58.16	72.89	96.99	100
	Image 3	4.75	16.65	56.84	72.9	94.46	100
	Image 4	3.94	12.69	57.44	71.85	93.85	100
	Image 5	3.21	13.75	53.65	68.68	94.4	100
Sample 3	Image 1	2.34	12.69	52.69	67.68	98.74	100
	Image 2	2.89	11.55	49.87	66.55	92.17	100
	Image 3	3.45	12.35	51.54	68.65	91.65	100
	Image 4	2.67	13.87	51.99	67.65	93.65	100
	Image 5	2.99	11.06	50.7	64.89	90.56	100

ตารางที่ 8 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง(สีเหลือง) และค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพ(สีชมพู)
(Vadood et al., 2012)

		(a) Maximum aggregate size: 12.5 mm					
Sieve size (mm)		0.075	0.3	2.36	4.75	9.5	12.5
Selected passing sieve (%)		6	15	49.5	70	95	100
Average of passing sieves (%) for the obtained aggregate gradations		3.33	13.60	52.37	69.36	95.01	100.00
STD of passing sieves for the obtained aggregate gradations		0.72	2.60	3.50	2.89	2.53	0.00

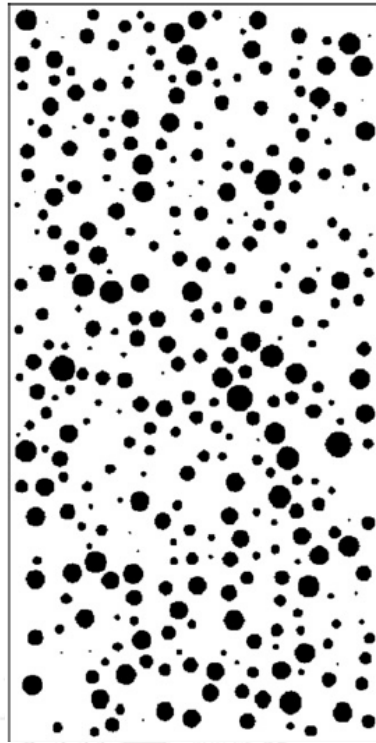
F.S. Barbosa et al. (2011) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Evaluation of aggregate gradation in lightweight concrete via image processing โดยทำการศึกษาว่าจำนวนเม็ดหินในวัสดุผสมรวม จะมีผลต่อขนาดคละหรือไม่ โดยทำการทดลองทั้งหมด 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่งการหาขนาดคละจากภาพถ่ายที่หินที่ยังไม่ได้ผสมคอนกรีต โดยนำเม็ดหินไปวางไว้บนพื้นหลังสีขาว แล้วทำการหาขนาดคละด้วยการประมวลผลภาพถ่าย แบบที่สองการหาขนาดคละ จากภาพคอนกรีตจริงที่ได้จากตัวอย่างทรงกระบอก การหาขนาดคละด้วยภาพถ่ายทำได้โดยนำภาพถ่ายไปแยกออกเป็นสองส่วนขาวดำ เหมือนกับงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น หลังจากแยกภาพเสร็จแล้ว เราจะทำการวิเคราะห์หาขนาดคละ โดยค่าที่เราสนใจมี 2 ค่า คือ พื้นที่ของหินแต่ละเม็ด หาได้จากจำนวนของ pixel และเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม หาจากการนำวงกลมที่มีพื้นที่เท่ากับหินแต่ละเม็ด ไปคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลาง เมื่อเราได้เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมแล้วเราก็นำ pixel ไปแปลงเป็นค่าความยาวจริงจากการเทียบสัดส่วน พอเราได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางจริงของหินแต่ละก้อน ก็จะนำไปเปรียบเทียบกับช่องของตะแกรงแต่ละเบอร์ถ้าหากมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับช่องของตะแกรง ก็จะสามารถลอดผ่านตะแกรงไปได้

สำหรับการทดลองแบบที่หนึ่งนั้น ได้ทำการทดลองจากวัสดุรวมสองชนิด ซึ่งได้คำนวณค่าขนาดคละไว้แล้ว จากนั้นจึงนำหินแต่ละชนิดไปแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่หนึ่งมีตัวอย่างหินจำนวน 876 เม็ด กลุ่มที่สองมีตัวอย่างหินจำนวน 7011 เม็ด และกลุ่มที่สาม 56000 เม็ด หลังจากการทดลองพบว่าการใช้ตัวอย่างหินมากขึ้นจะทำให้ขนาดคละที่ได้มีผลลัพธ์ที่ดีขึ้น โดยพิจารณาจากค่าในตารางแสดงผลการทดลอง ถึงแม้ว่าขนาดคละของกลุ่มที่สองจะมีค่าใกล้เคียงกับความจริงมากกว่า แต่ผลที่ออกมาก็ไม่ได้แตกต่างจากกลุ่มที่สามมากนัก จึงควรเลือกใช้ผลของกลุ่มที่สามเพราะมีจากการทำ Boxplot of d distribution การที่มีจำนวนหินมากขึ้นทำให้รูปร่างของแคบลงซึ่งทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง สำหรับการทดลองแบบที่สอง ตัวอย่างของคอนกรีตจะมีสองกลุ่ม โดยกลุ่มที่หนึ่งจะเป็นคอนกรีตที่ประกอบด้วยเม็ดหิน 25% กลุ่มที่สองเป็นคอนกรีตที่ประกอบด้วยเม็ดหิน 42.5% ผลการทดลองถูกแสดงผลออกมาในรูปกราฟเส้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างกลุ่มที่สองมีเส้นกราฟที่ใกล้กับความจริงมากกว่าตัวอย่างกลุ่มที่หนึ่ง

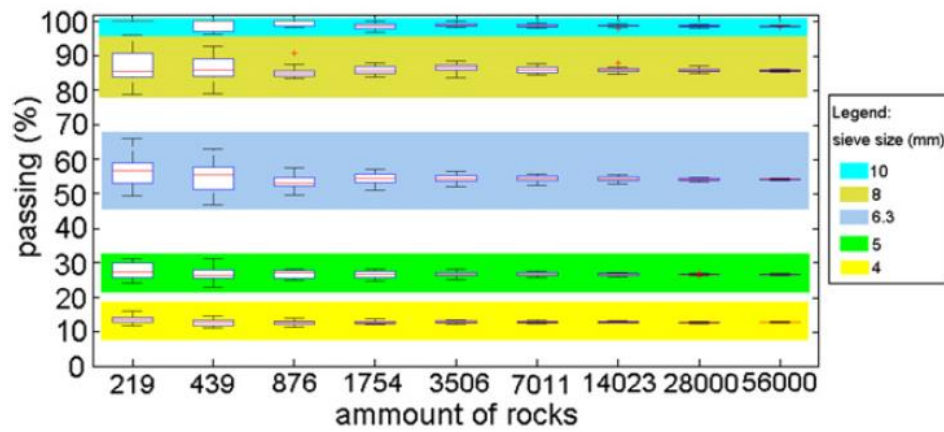


รูปที่ 31 ตัวอย่างหินที่ใช้ทดสอบ

(Barbosa et al., 2011)



รูปที่ 32 ภาพที่ได้จากการประมวลผลในการทดลองแบบที่หนึ่ง
(Barbosa et al., 2011)



รูปที่ 33 Boxplot of d distribution จะเห็นได้ว่ายิ่งใช้ตัวอย่างหินมากขึ้นค่าสูงสุดและต่ำสุดของ Boxplot จะแคบลง ทำให้ค่า passing% กระจายตัวน้อยลง
(Barbosa et al., 2011)

ตารางที่ 9 เปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงของกลุ่มที่ 1 (Barbosa et al., 2011)

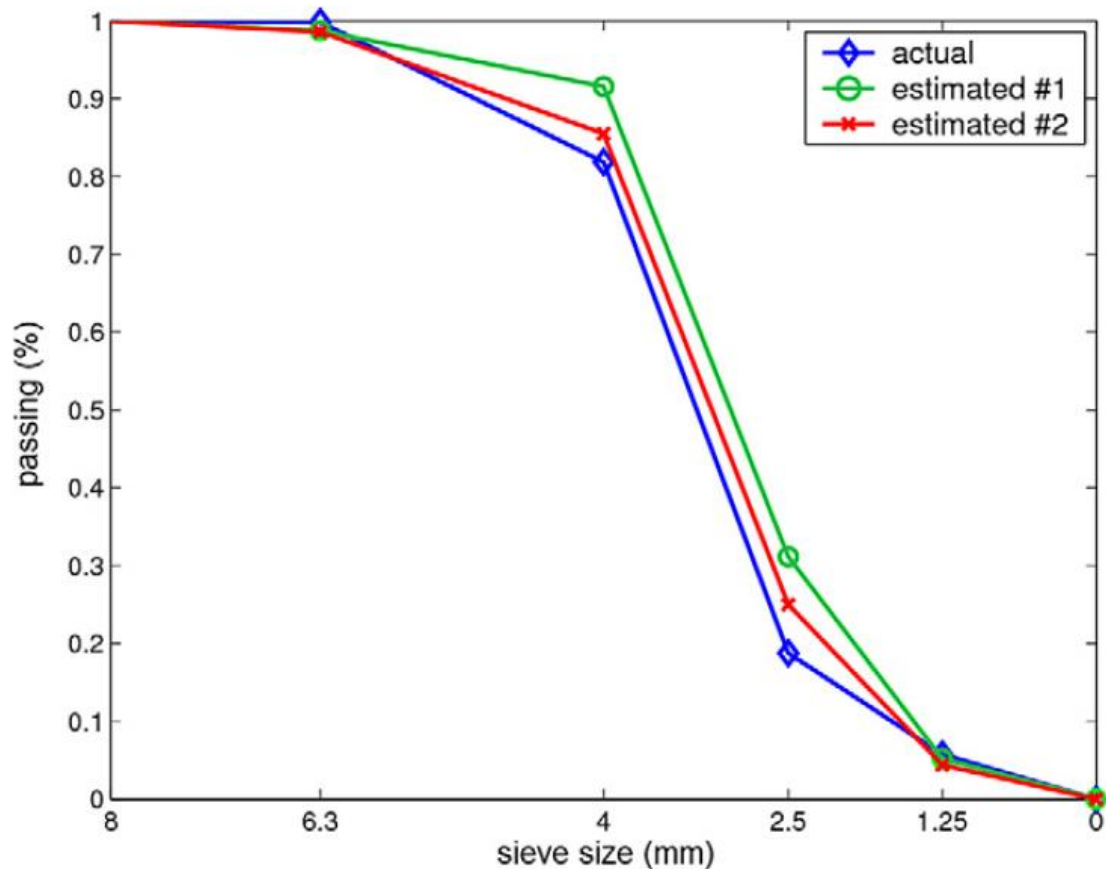
Sieve size (mm)	16	12.5	10	8	6.3	5	4	2.5	1.25	0
Original	100	100	96.7	48.5	23.2	8.5	3.8	0.2	0	0
Situation #1	100	100	97.7	58.0	26.4	7.4	4.5	0.3	0.1	0
Situation #2	100	100	95.8	45.7	23.6	8.4	4.0	0.3	0.1	0
Situation #3	100	100	95.9	49.6	24.5	8.4	4.3	0.3	0.1	0

ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงของกลุ่มที่ 2 (Barbosa et al., 2011)

Sieve size (mm)	16	12.5	10	8	6.3	5	4	2.5	1.25	0
Original	100	100	99.4	80.1	40.8	15.4	7.3	0.3	0	0
Situation #1	100	100	99.8	84.3	41.3	15.3	7.1	0.3	0.1	0
Situation #2	100	100	99.5	80.0	40.4	15.6	6.9	0.4	0.2	0
Situation #3	100	100	99.5	80.3	40.2	15.6	6.8	0.3	0.2	0



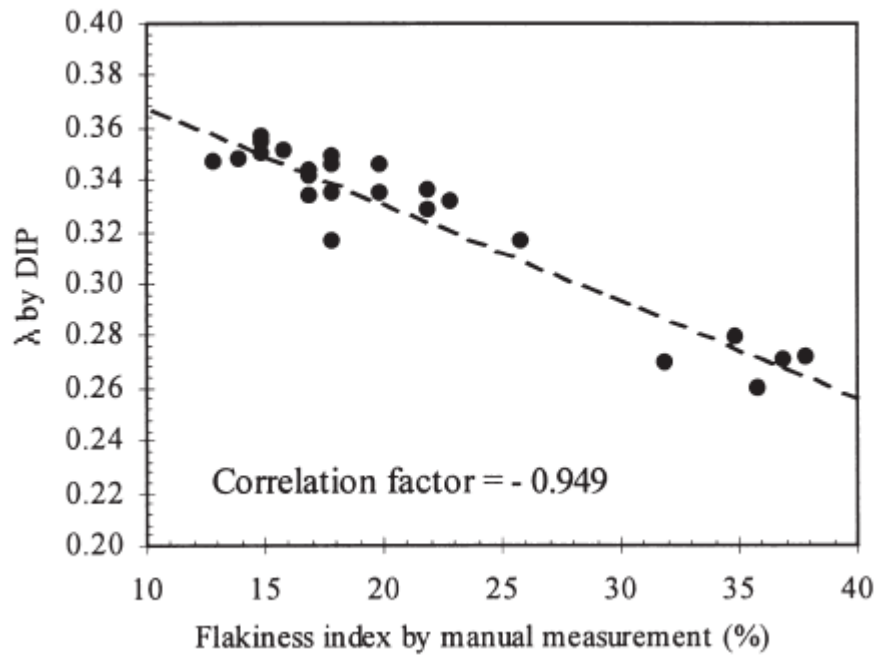
รูปที่ 34 ตัวอย่างคอนกรีตกลุ่มที่หนึ่งและกลุ่มที่สอง (Barbosa et al., 2011)



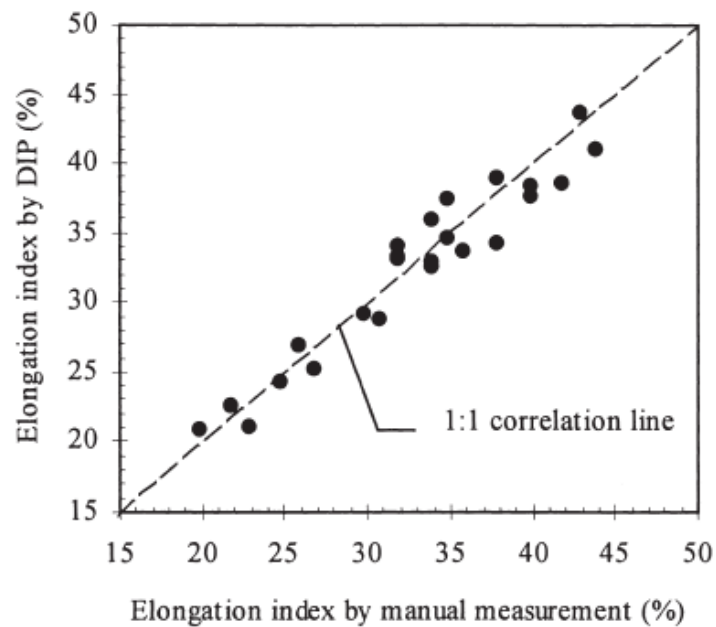
รูปที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ในการผ่านตะแกรง ของการทดลองแบบที่สอง โดยเส้นสีน้ำเงินคือขนาดคละของจริง สีแดงคือขนาดคละของกลุ่มที่สอง สีเขียวคือขนาดคละของกลุ่มที่หนึ่ง (Barbosa et al., 2011)

2.4.2 การหารูปปร่างรูปทรงของมวลรวม

A.K.H.Kwan et al.(1998) กล่าวถึง การนำ 25 กลุ่มตัวอย่างที่มีชนิดหินและขนาดแตกต่างกันไปวัดค่าความแบนและความเรียวยของหินโดยใช้วิธีการร่อนตะแกรงเปรียบเทียบกับวิธีการประมวลผลภาพถ่าย โดยที่วิธีการประมวลผลภาพถ่ายนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนสัดส่วนของพื้นที่เป็นสัดส่วนของมวล และมีการเปรียบเทียบเส้นแท่งมุมของหินกับขนาดตะแกรงเบอร์ต่างๆ ค่าที่ได้เมื่อนำไปแสดงลงในรูปแบบของกราฟทั้งสองวิธีการมีความสัมพันธ์กัน เพราะเมื่อนำค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายไปพล็อตกราฟ ผลที่ออกมาปรากฏว่ายังมีความสัมพันธ์กันในรูปของสมการเส้นตรง



รูปที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแบนที่หาด้วยวิธีปกติกับค่าแลมบ์ดา(ค่าความแบนที่กำหนดขึ้นจากการประมวลผลภาพถ่าย (Kwan et al., 1998)

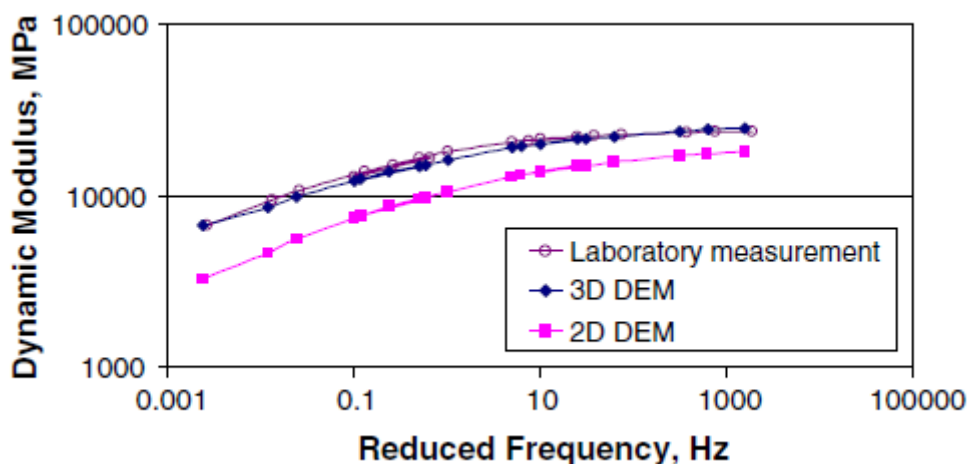


รูปที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความเร็วที่หาด้วยวิธีปกติกับดัชนีความเร็วที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย (Kwan et al., 1998)

Bessa et al.(2012) ได้นำหิน 3 ชนิด คือ หินแกรนิต Construction and Demolition Waste (CDW) และ Steel slag โดยนำกลุ่มตัวอย่างหินมาผสม 3 กลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งใช้หินแกรนิต 100% กลุ่มที่สองใช้หินแกรนิต 50% และ CDW 50% กลุ่มที่สามใช้หินแกรนิต 50% และ steel slag 50% โดยใช้ส่วนตัดจากตัวอย่างทรงกระบอก ซึ่งกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแบน ความเรียบและความกลมของหินผ่านวิธีประมวลผลภาพถ่าย โดยได้ใช้โปรแกรม ImageTool และ โปรแกรม Digital image analysis ช่วยในการหา contact point ระหว่างหินแต่ละก้อน ทิศทางการวางตัว และการแบ่งกลุ่มตามรัศมีของภาพ โดยตัวแปรที่เราสนใจมีทั้งหมดสี่ค่า คือ พื้นที่ เส้นรอบวง ทิศทางการวางตัว และรูปร่าง ผลลัพธ์ที่ออกมาเราจะนำมาวิเคราะห์ในสามปัจจัยหลัก คือ ลักษณะรูปร่างของมวลรวม โครงสร้างภายใน และการกระจายขนาด สำหรับลักษณะรูปร่างของมวลรวมจะทำการวิเคราะห์สองปัจจัยคือ เปอร์เซนต์ของความแบนกับความเรียบของอนุภาค และมุมกับความกลม สำหรับความแบนกับความเรียบของอนุภาคนั้นผลออกมาว่า หินแกรนิตจะมีความแบนมากกว่า CDW กับ Steel slag ดังนั้นการใช้ CDW กับ Steel slag จะให้แรงต้านมากกว่าหินแกรนิต สำหรับมุมกับความกลม ผลออกมาว่าหินแกรนิตมีความกลมน้อยกว่า CDW กับ Steel Slag สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างภายในนั้น จะทำการวิเคราะห์เป็นสองเรื่อง คือ contact point และ ทิศทางการวางตัว สำหรับ contact point นั้น ผลการวิเคราะห์ออกมาว่า ส่วนผสมที่หนึ่งกับส่วนผสมที่สองให้ค่าออกมาใกล้เคียงกัน สำหรับทิศทางการวางตัวนั้น ผลออกมาว่า ภาพตัดตามแนวราบให้ค่าทิศทางออกมาให้เคียงกัน แต่ภาพตัดตามแนวตั้งให้ค่าทิศทางออกมาต่างกัน สำหรับการวิเคราะห์การกระจายตัวผลออกมาว่าการใช้เครื่องอัดแบบ Super Gyrotory Compactor (SGC) ให้ผลการกระจายที่ดีกว่าเครื่องอัดแบบ Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)

2.4.3 การหาโครงสร้างภายในของมวลรวม

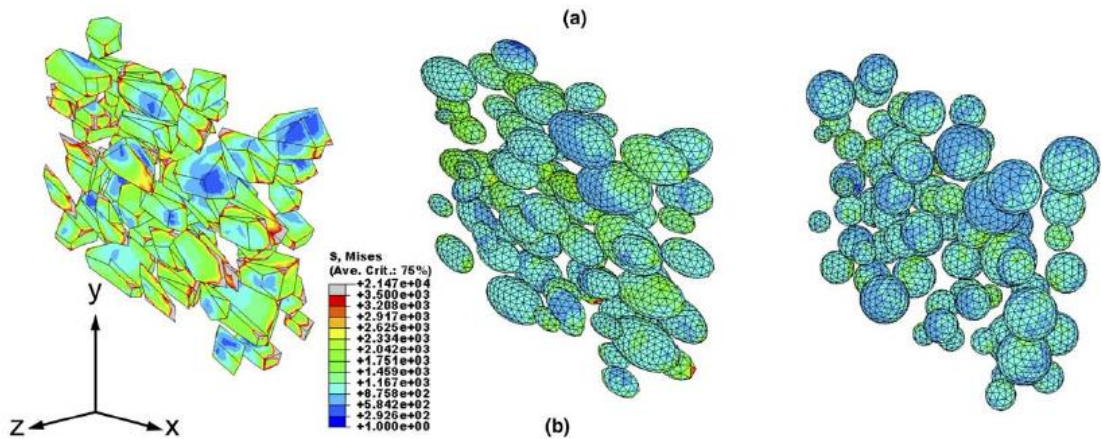
You et al.(2008)กล่าวถึง นำภาพหินมาวิเคราะห์แบบสองมิติและสามมิติ สำหรับการวิเคราะห์ในสามมิติใช้รังสีเอกซ์ช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้าง เพราะรังสีเอกซ์มีอำนาจในการทะลุทะลวง และรังสีเอกซ์สามารถทะลุอย่างละเอียดได้ดีกว่าหิน จึงทำให้เราสามารถจำลองพื้นผิวของตัวอย่างทรงกระบอกได้ และสร้างแบบจำลองชื่อว่า Digital element model (DEM) โดยนำตัวอย่างรูปทรงกระบอกไปหมุนและถ่ายรูปหลายๆรูป แล้วนำรูปเหล่านั้นมาต่อกันเป็นภาพสามมิติ และสุดท้ายก็นำแบบจำลองที่ได้มาตัดเป็นส่วนๆ และใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อช่วยแยกภาพหิน ยางมะตอยและช่องว่างอากาศออกจากกัน เพื่อหาค่า Dynamic modulus สำหรับการประมวลผลภาพแบบสามมิติ จะนำตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาแบ่งย่อยเป็นปริซึมสี่เหลี่ยมสามปริซึม แล้วนำไปคำนวณ สำหรับการประมวลผลภาพแบบสองมิติ จะนำตัวอย่างทรงกระบอกมาผ่าตามแนวตั้งออกเป็น 6 ส่วน แล้วนำหน้าตัดเหล่านั้นไปคำนวณต่อไป ผลที่ปรากฏจากกราฟจะพบว่า การประมวลผลสามมิติให้ผลของใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าสองมิติ



รูปที่ 38 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า Dynamic Modulus ของการวิเคราะห์แบบสองมิติ สามมิติ และในห้องแลป (You et al., 2008)

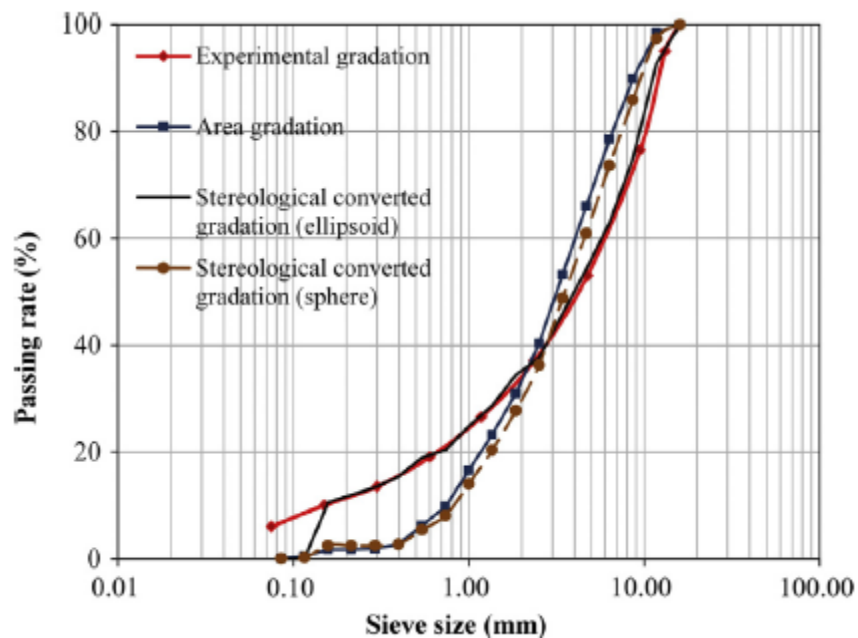
Bhasin et al.(2011)กล่าวถึง การนำกลุ่มตัวอย่างหิน 4 กลุ่มที่มีส่วนผสมของ binder content ,coarse gradation และ fine gradation ต่างกัน เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติที่แตกต่างกันทางกายภาพโดยเราจะทำการสร้างเมตริกซ์เพื่อจำลองมิติต่างๆของวัสดุรวมรวม ซึ่งเมตริกซ์นั้นจะเรียกว่า Fabric tensor พอเราทราบเมตริกซ์ของแต่ละตัวอย่าง เราก็จะนำเมตริกซ์เหล่านั้นไปหาค่า Eigen value , Eigen vector, Degree of anisotropy และนำมาผลที่ได้ประมวลผลผ่านโปรแกรม Quant 3D ผลที่ได้เปอร์เซ็นต์ของเนื้ออย่างละเอียดและขนาดคละ ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน

Chawla et al.(2006) ประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ ศึกษาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยแบบจำลองสามมิติที่ใช้ศึกษานั้นมีสามแบบ คือ แบบจำลองทรงกลม(Multi particle –sphere) และแบบจำลองทรงรี(Multi particle –ellipsoid) แบบรูปร่างจริงของอนุภาค(3D microstructure) และใช้แบบจำลองทั้งสามแบบนี้หาคำนวนหาค่า Young's modulus ผลปรากฏว่าค่า Young's modulus ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง และเมื่อทำการเปรียบเทียบการคำนวณค่า Young's modulus จากการคำนวณทั้งสามแบบผลปรากฏว่าค่า Young's modulus จากแบบจำลองแบบรูปร่างจริงของหินให้ค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด



รูปที่ 39 แบบจำลองสามมิติรูปทรงต่างๆ (Chawla et al., 2006)

Guo et al.(2015) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการหาขนาดคละสามวิธี วิธีแรก คือ ใช้การหาขนาดคละจากภาพถ่ายสองมิติ วิธีที่สอง คือ การหาขนาดคละจากการใช้แบบจำลองสามมิติโดยใช้ทรงกลมแทนมวลรวมแต่ละก้อน วิธีที่สาม คือ การหาขนาดคละจากการใช้แบบจำลองสามมิติโดยใช้ทรงรีแทนมวลรวมแต่ละก้อน เมื่อทำการเปรียบเทียบสามวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ผลปรากฏว่าการใช้แบบสามมิติชนิดทรงรีให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ในห้องแลป ดังนั้นการใช้แบบจำลองทรงรีจึงมีความเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุด และวิธีการทำโมเดลสามมิติมีความแม่นยำและรวดเร็วในการคำนวณหาขนาดคละ สามารถใช้แทนวิธีดั้งเดิมได้



รูปที่ 40 เปรียบเทียบขนาดคละจากวิธีทั้งสาม (สองมิติ ทรงกลม ทรงรี) กับการทดสอบในแลป

(Guo et al. ,2015)

2.5 สรุป

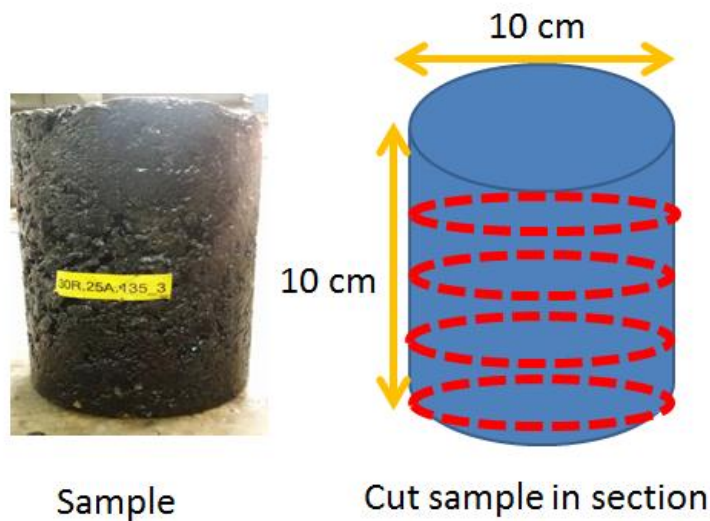
การประมวลผลภาพถ่ายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการหาขนาดคละ และวิเคราะห์รูปร่างของวัสดุมวลรวม และให้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง นอกจากนี้การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ยังสามารถช่วยลดต้นทุนที่ใช้ซื้ออุปกรณ์ในห้องแลบเพื่อทดสอบ และลดเวลาในการปฏิบัติงานลงได้มากกว่าวิธีปกติ ดังนั้นการใช้เทคนิคด้านการประมวลผลภาพถ่ายจึงมีความน่าสนใจ และควรจะมีการพัฒนาต่อไปในอนาคต ถ้าหากมีการพัฒนาเทคนิคทางด้านนี้ ผู้วิจัยเชื่อว่าในอนาคตจะต้องได้ผลที่มีความถูกต้องและแม่นยำใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นอย่างแน่นอน



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

สิ่งที่ผู้วิจัยต้องการจากการวิจัยในครั้งนี้คือ หาวิธีการประมวลภาพที่เหมาะสม เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์การค้ำที่มีความถูกต้องมากที่สุด

สำหรับค่าที่ต้องการวัดมีทั้งหมด 3 ค่า คือ พื้นที่ของมวลรวมแต่ละก้อน ความกว้าง ความยาว เพื่อนำไปคำนวณหาจำนวนก้อนและเปอร์เซ็นต์การค้ำ โดยจะมีการนำมวลรวมขนาดต่างๆมาคละขนาดกัน และนำมวลรวมเหล่านั้นไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การค้ำด้วยวิธีปกติ แล้วนำไปผสมกับยางมะตอยแล้วนำไปอัดให้เป็นแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm สูง 10 cm จากนั้นทำการตัดออกเป็นแผ่นบางๆส่วน ความหนา 2 mm ทั้งหมด 4 รอยตัด แล้วถ่ายภาพส่วนตัดทั้งหมดด้วยเครื่องสแกนเนอร์ระดับความละเอียด 1200 dpi เพื่อนำภาพถ่ายไปประมวลผลเพื่อหาจำนวนก้อนที่นับได้ และเปอร์เซ็นต์การค้ำในแต่ละหน้าตัด และนำผลลัพธ์ที่ได้มาแสดงผลในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ด้วยวิธีปกติ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป



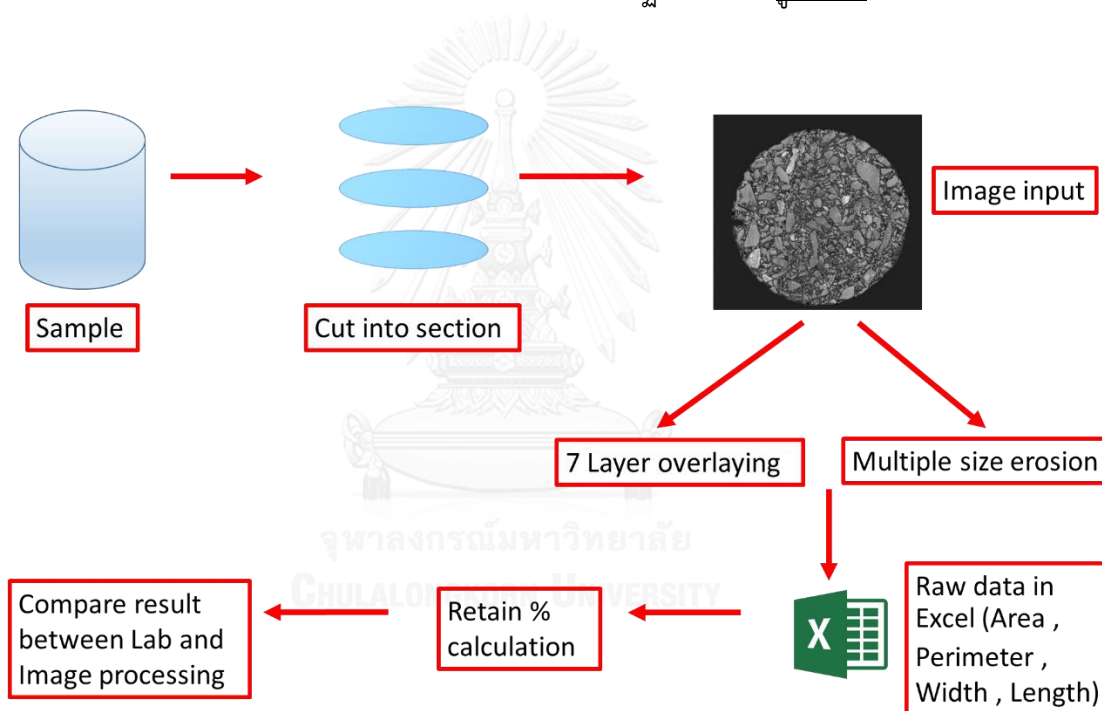
รูปที่ 41 ก้อนตัวอย่างและการตัดก้อนตัวอย่าง

3.1 ภาพรวมของงานวิจัย

สำหรับภาพรวมของงานวิจัย ผู้วิจัยได้แบ่งออกไว้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ขั้นตอนการประมวลผลภาพ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.1.1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

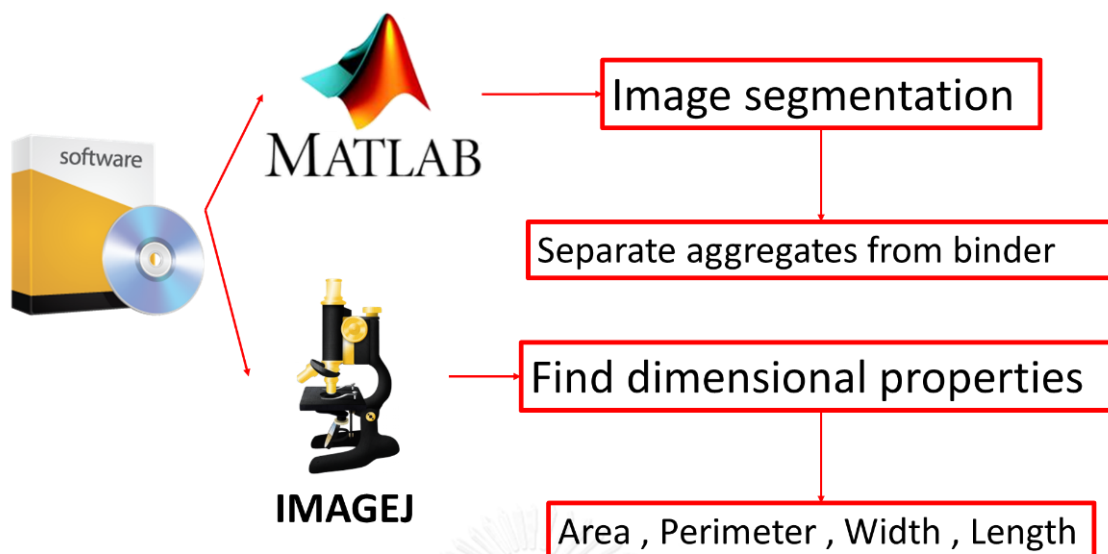
เริ่มต้นด้วยการนำก้อนตัวอย่าง มาตัดออกเป็น 5 ส่วน นำแต่ละส่วนสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ บันทึกภาพเป็นไฟล์ tif ความละเอียด 1200 dpi และนำภาพที่ได้ประมวลผลผ่านสองเทคนิค คือ เทคนิคการซ้อนภาพเจ็ดชั้น และเทคนิคการกัดกร่อนภาพแล้วแยกตามขนาดวัตต์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพ ได้แก่ พื้นที่ เส้นรอบรูป ความกว้าง และความยาว ของมวลรวมแต่ละก้อน มาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำและสัดส่วนด้านมิติด้วยซอฟต์แวร์ Excel จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมวลผลภาพกับค่าในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 42



รูปที่ 42 แสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพ

3.1.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ แบ่งออกเป็น 2 ซอฟต์แวร์ คือ MATLAB และ IMAGEJ โดยผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB ในการแยกภาพหินกับยางมะตอยให้แยกออกจากกัน ด้วยสองเทคนิค คือ เทคนิคการซ้อนภาพเจ็ดชั้นและเทคนิคการกัดกร่อนแล้วแยกตามขนาด ส่วนซอฟต์แวร์ IMAGEJ ใช้หาคุณสมบัติด้านมิติ ได้แก่ พื้นที่ เส้นรอบรูป ความกว้าง และความยาว ดังรูปที่ 43



รูปที่ 43 แสดงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

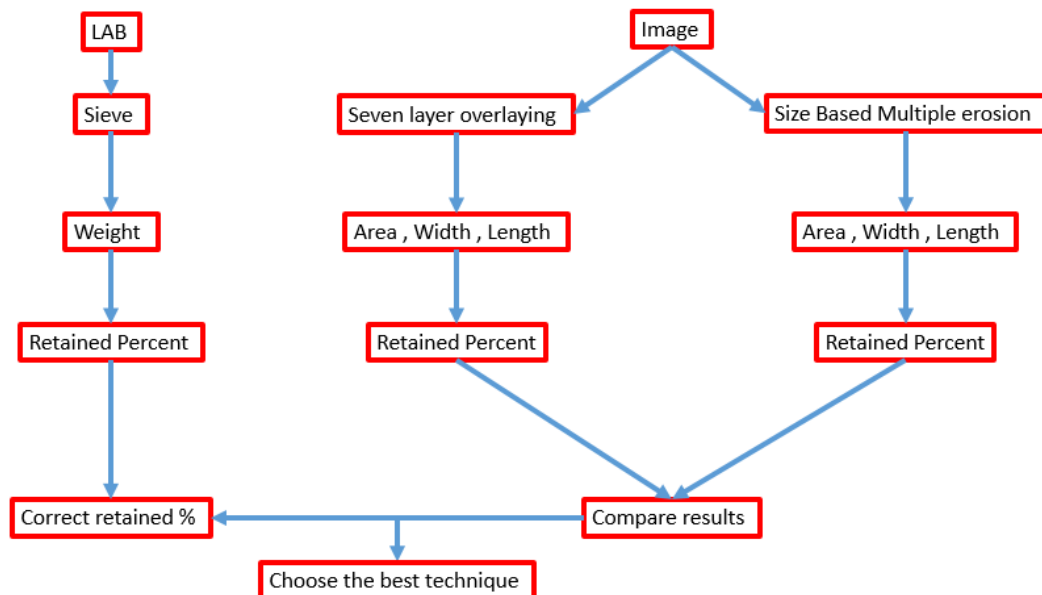
3.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ แบ่งออกเป็น 7 เรื่องหลัก คือ 1)วิเคราะห์เปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีประมวลผลภาพ 2)วิเคราะห์ดัชนีความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง 3)วิเคราะห์ความแตกต่างในการประมวลผลภาพของก้อนตัวอย่างที่แตกต่างกันทั้งสามก้อน 4)วิเคราะห์จำนวนหน้าตัดที่ใช้ในการทดสอบ 5)วิเคราะห์พื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณ 6)วิเคราะห์จำนวนก้อน การกระจายตัวและความถี่ของเปอร์เซ็นต์การค้ำ 7)เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของวิธีประมวลผลภาพและการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 44



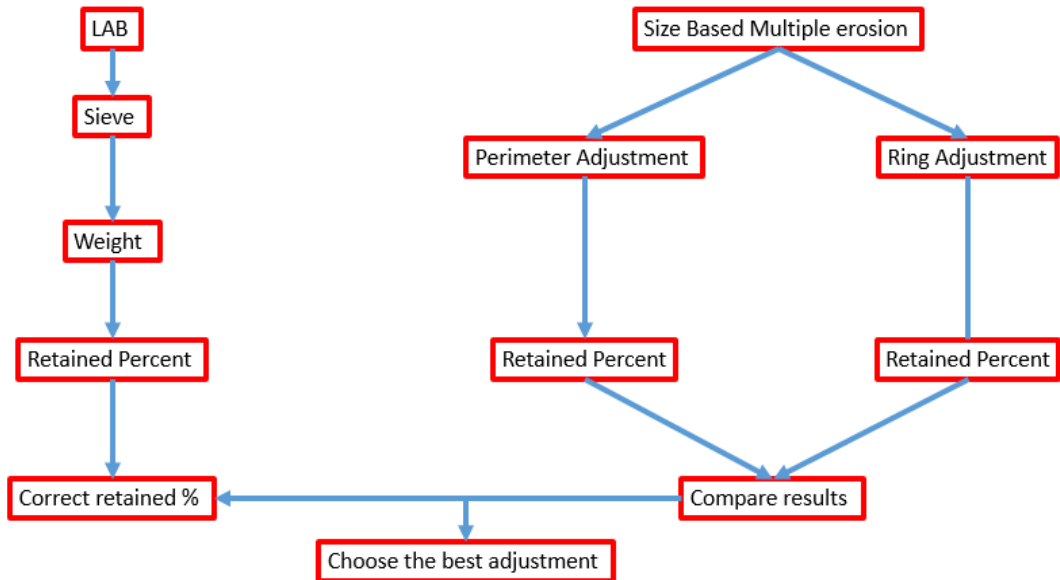
รูปที่ 44 ประเด็นที่วิเคราะห์ผลการทดสอบ

1) วิเคราะห์เปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีประมวลผลภาพ โดยผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการซ้อนภาพ 7 ชั้น กับวิธีการกัดกร่อนภาพตามขนาดของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 45



รูปที่ 45 เปรียบเทียบระหว่างวิธีการซ้อนภาพ 7 ชั้น กับวิธีการกัดกร่อนภาพตามขนาดของวัตถุ

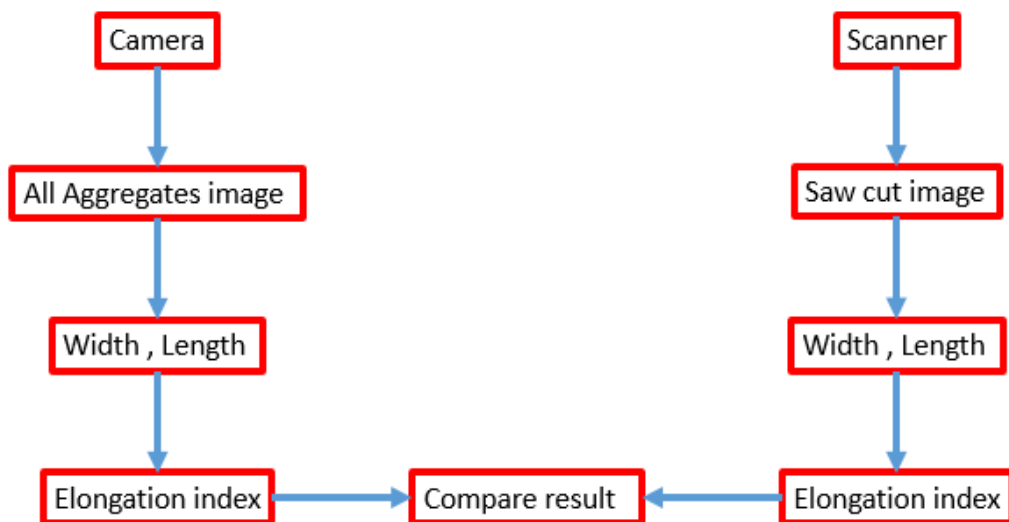
และผู้วิจัยทำเปรียบเทียบระหว่างวิธีการคำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและวิธีการคำนวณปรับแก้ด้วยวงแหวน ดังรูปที่ 46



รูปที่ 46 การเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและพื้นที่วงแหวน

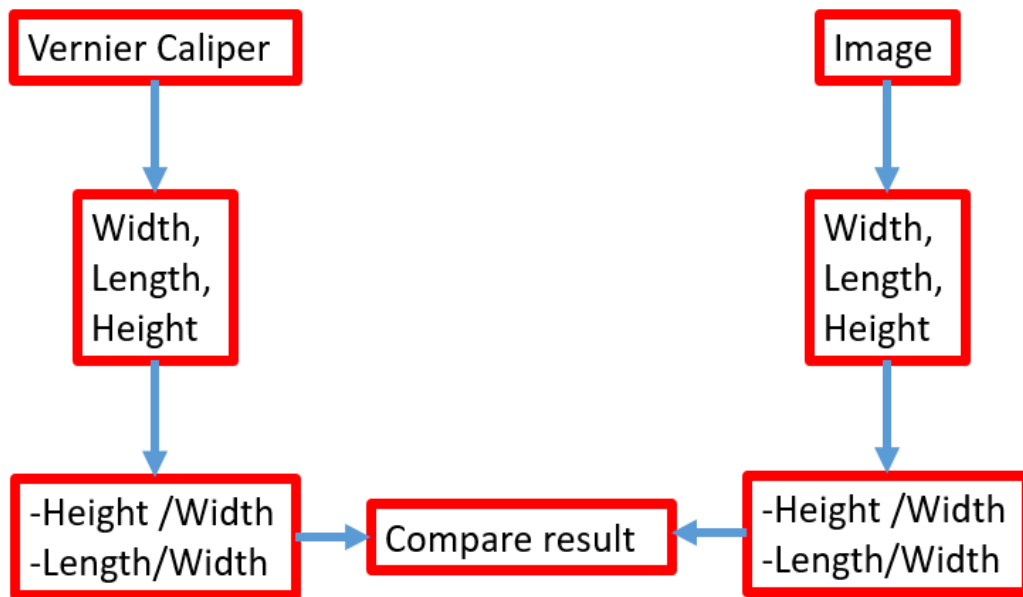
2)วิเคราะห์ดัชนีความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง

ผู้วิจัยต้องการตอบคำถามว่าดัชนีความยาวที่คำนวณได้ในแต่ละหน้าตัดมีค่าเท่ากับดัชนีความยาวที่ได้จากกล้องถ่ายภาพหรือไม่ ดังรูปที่ 47



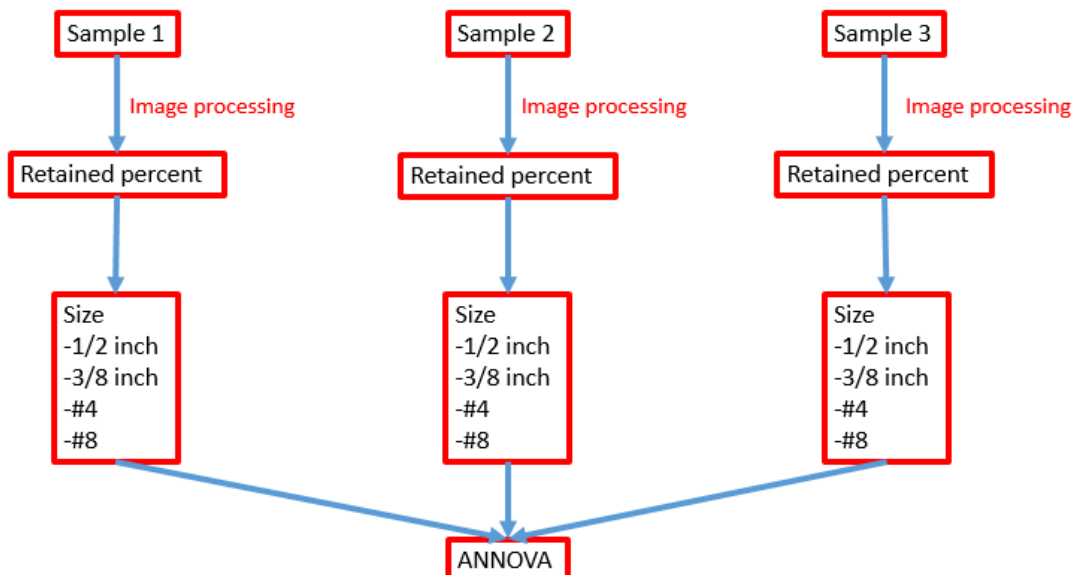
รูปที่ 47 เปรียบเทียบดัชนีความยาวที่คำนวณจากภาพถ่ายมวลรวมทุกก้อนกับภาพถ่ายหน้าตัด

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์สัดส่วนความสูงต่อความยาวและความยาวต่อความกว้างระหว่างการวัดด้วยเวอร์เนียร์กับการประมวลผลภาพ ดังรูปที่ 48



รูปที่ 48 การเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างการวัดด้วยเวอร์เนียและการประมวลผลภาพ

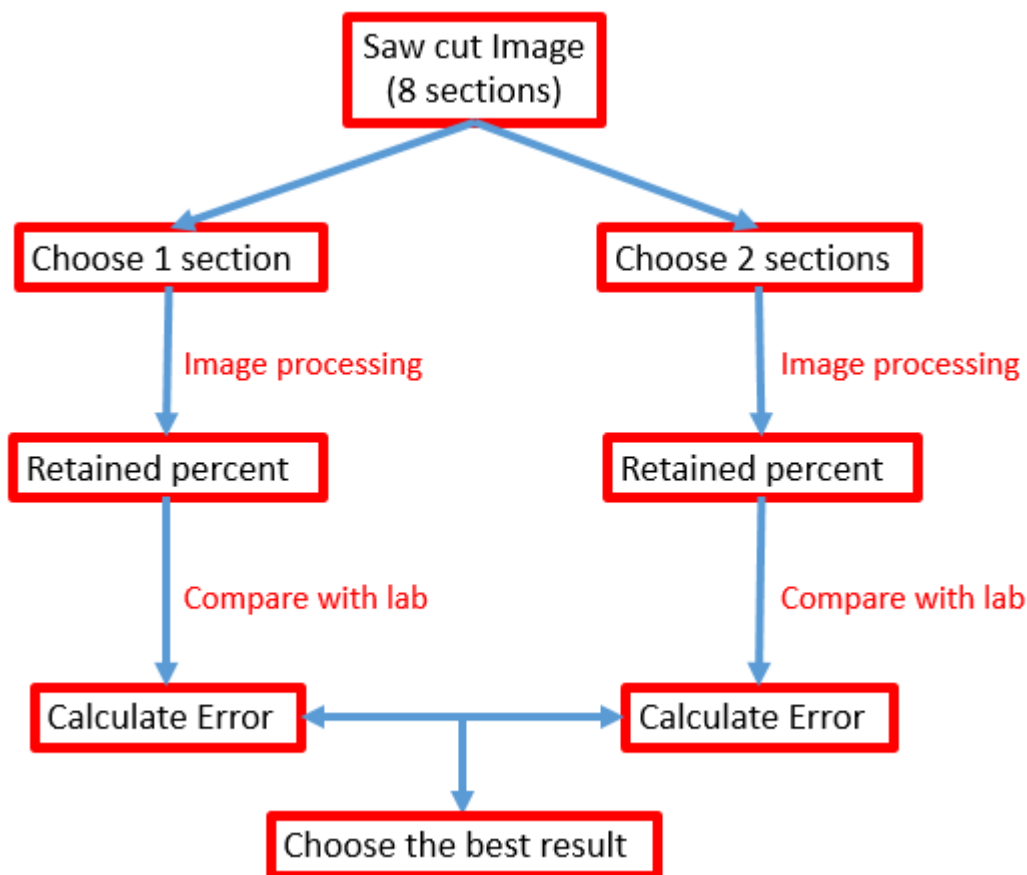
3) วิเคราะห์ความแตกต่างในการประมวลผลภาพของก้อนตัวอย่างที่แตกต่างกันทั้งสามก้อน ในส่วนนี้ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ค้างตะแกรงของก้อนตัวอย่างสามก้อน โดยทำการแยกทีละขนาด และนำค่าของแต่ละขนาดทดสอบความแตกต่างด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 49



รูปที่ 49 กระบวนการวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาพหน้าตัดก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อน

4)วิเคราะห์จำนวนหน้าตัดที่ใช้ในการทดสอบ

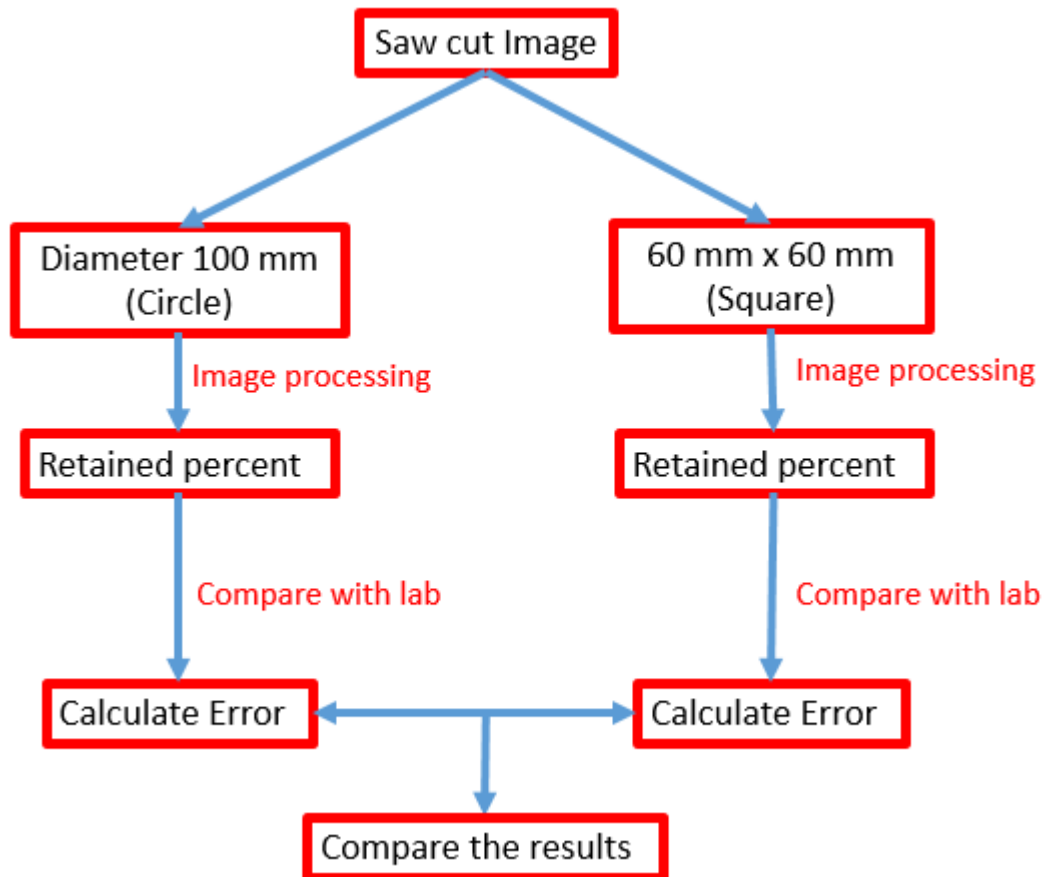
ในส่วนนี้ผู้วิจัยต้องการตอบคำถามในสองประเด็น คือ จำนวนหน้าตัดที่ต่างกันให้ผลที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์หรือไม่ และจำนวนหน้าตัดมากขึ้นจะส่งผลต่อความถูกต้องหรือไม่ สำหรับการทดสอบนั้นผู้วิจัยได้แสดงในรูปที่ 50



รูปที่ 50 กระบวนการวิเคราะห์จำนวนหน้าตัด

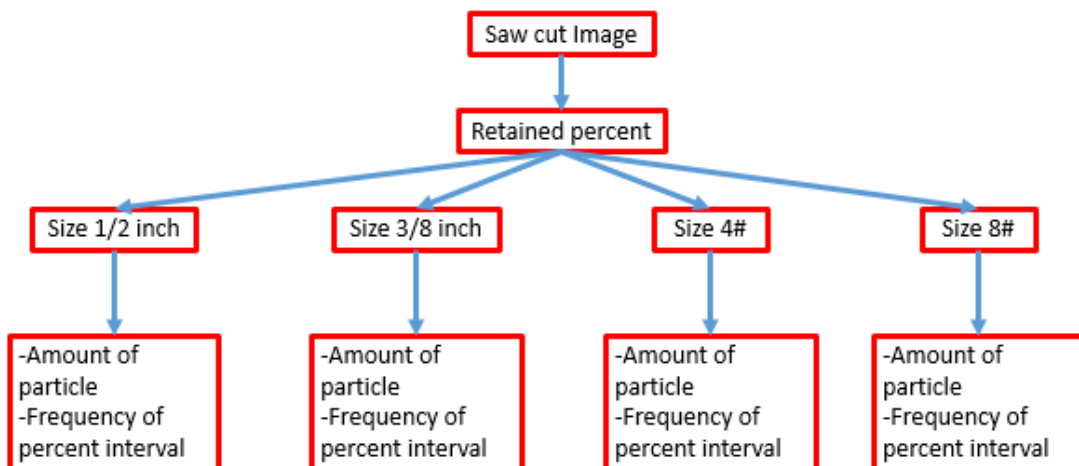
5)วิเคราะห์พื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณ

ในส่วนนี้ผู้วิจัยต้องการทราบคำตอบในสามประเด็น คือ ขนาดของพื้นที่ที่ใช้วิเคราะห์มีผลต่อผลการคำนวณหรือไม่ พื้นที่ขนาดเล็กส่งผลต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์หรือไม่ และพื้นที่ขนาดเล็กหรือใหญ่ให้ผลลัพธ์ของการคำนวณดีกว่า สำหรับวิธีวิเคราะห์นั้นในส่วนนี้ ผู้วิจัยได้แสดงไว้ในรูปที่ 51



รูปที่ 51 กระบวนการวิเคราะห์พื้นที่หน้าตัด

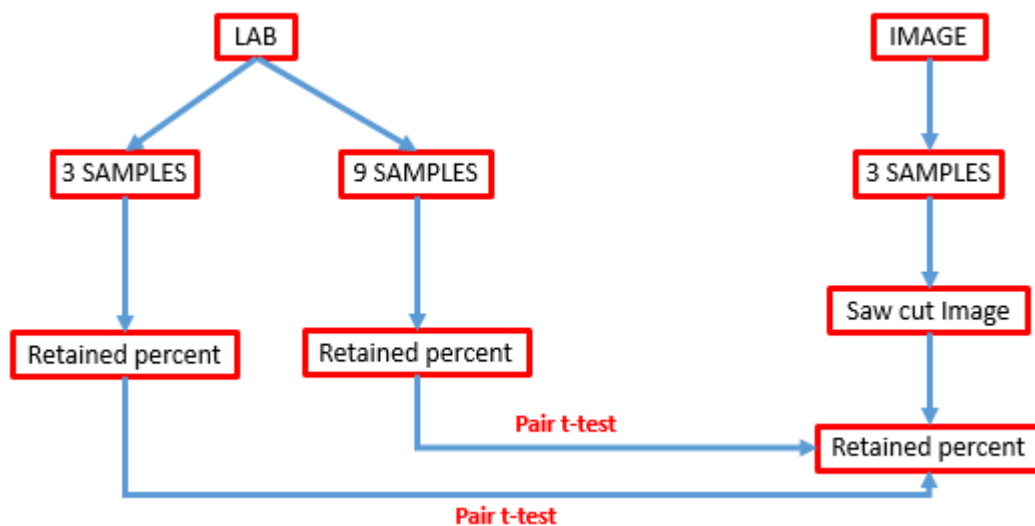
6)วิเคราะห์จำนวนก้อน การกระจายตัวและความถี่ของเปอร์เซ็นต์การค้ำ
 ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ในสามประเด็นคือ จำนวนก้อนที่นับได้ในแต่ละหน้าตัด ลักษณะการกระจายตัวของเปอร์เซ็นต์ค้ำแยกตามขนาดของมวลรวม และวิเคราะห์ช่วงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ค้ำดังแสดงในรูปที่ 52



รูปที่ 52 การวิเคราะห์จำนวนก้อน การกระจายตัวและความถี่ของเปอร์เซ็นต์การค้ำ

7)เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของวิธีประมวลผลภาพและการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ภาพหน้าตัดจากก้อนตัวอย่างสามก้อน เทียบกับค่าจากห้องปฏิบัติการ โดยค่าจากห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ ใช้ค่าจากสามก้อนตัวอย่าง และใช้ค่าจากแก้วก้อนตัวอย่าง จากนั้นนำค่าจากห้องปฏิบัติการมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพและทำการวิเคราะห์ผล ดังรูปที่ 53



รูปที่ 53 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของวิธีประมวลผลภาพและการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ

3.2 กำหนดปัญหาและออกแบบการทดลอง

การหาขนาดคละ ดัชนีความยาว ด้วยวิธีปกติที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้เวลานานในการทดลอง อุปกรณ์ในการทำค่อนข้างมาก และอุปกรณ์บางอย่างก็มีราคาแพง และถ้าหากทดลองโดยไม่ระมัดระวังก็อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์ด้านการประมวลผลภาพถ่ายเข้ามาช่วย ว่าจะมีความแตกต่างจากการทำด้วยวิธีปกติอย่างไร และนอกจากนี้ยังจะทดลองใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์หาทิศทางการวางตัวของภาพตัวอย่างอีกด้วย

3.2.1 ประชากร

คือ วัสดุมวลรวมแอสฟัลต์คอนกรีต ชนิด dense grade ขนาดเม็ดหินใหญ่สุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว

3.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

คือ ก้อนตัวอย่างวัสดุมวลรวมแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด dense grade ขนาดเม็ดหินใหญ่สุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว รูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm สูง 10 cm จำนวน 3 ก้อน

3.2.3 สมมติฐาน

ขนาดคละและดัชนีความยาวที่คำนวณได้จากแบบจำลองสามมิติด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่าย เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดคละและดัชนีความยาวที่คำนวณด้วยวิธีปกติในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

3.2.4 ตัวแปรที่สนใจ

3.2.4.1 ตัวแปรต้น

- 1) วิธีการที่ใช้วิเคราะห์ (การซ้อนภาพ 7 ชั้น และการแบ่งภาพออกเป็น 4 ส่วน)
- 2) พื้นที่หน้าตัดที่นำมาวิเคราะห์
- 3) จำนวนหน้าตัด

3.2.4.2 ตัวแปรตาม

- 1) เปอร์เซนต์ค้ำตะแกรงในแต่ละขนาด
- 2) ดัชนีความยาวของมวลรวมแต่ละขนาด

3.2.4.3 ตัวแปรควบคุม

- 1) ขนาดคละของตัวอย่าง ใช้แบบ dense grade เม็ดหินใหญ่สุด 3/4 นิ้ว
- 2) ภาพถ่ายที่ใช้วิเคราะห์มาจากเครื่องสแกนเนอร์ ความละเอียด 1200dpi

3.2.5 ออกแบบการทดลอง

สำหรับการออกแบบการทดลองนั้น ผู้เขียนทำการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ประเด็น คือ พื้นที่หน้าตัดที่นำมาวิเคราะห์ และจำนวนหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

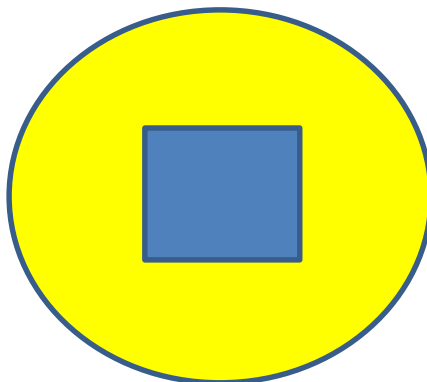
3.2.5.1 พื้นที่หน้าตัดที่นำมาวิเคราะห์

เวลานำภาพมาประมวลผล สามารถตัดเฉพาะบางส่วนมาคำนวณได้ ดังนั้นผู้วิจัยจะนำภาพที่ถ่ายมาวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน

สี่เหลี่ยม วงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm

สี่ฟ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัสมีพื้นที่ 60 mm x 60 mm

ดังนั้นใช้พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด 2 ระดับ



รูปที่ 54 แสดงขนาดพื้นที่ที่จะนำมาวิเคราะห์

3.2.5.2 จำนวนหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์

จำนวนหน้าตัดที่จะนำมาวิเคราะห์ ผู้วิจัยจะตัดก้อนตัวอย่างความสูง 10 cm หน้าตัดละ 2 cm ทำให้ได้ทั้งหมด 4 รอยตัด 1 รอยตัดจะมีทั้งหมด 2 หน้าตัดวงกลม ดังนั้นจะมีภาพหน้าตัดวงกลมก้อนตัวอย่างละ 8 หน้าตัดวงกลม แล้วนำแต่ละหน้าตัดถ่ายภาพด้วยเครื่อง Scanner ความละเอียด 1200 dpi เพื่อใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละหน้าตัด หน้าตัดมาเป็นตัวแทนของข้อมูลเพื่อคำนวณหาขนาดเปอร์เซ็นต์การ

ค้ำ และดัชนีความยาว

ดังนั้นใช้จำนวนหน้าตัดทั้งหมด 8 หน้าตัด

3.2.6 การออกแบบส่วนผสม

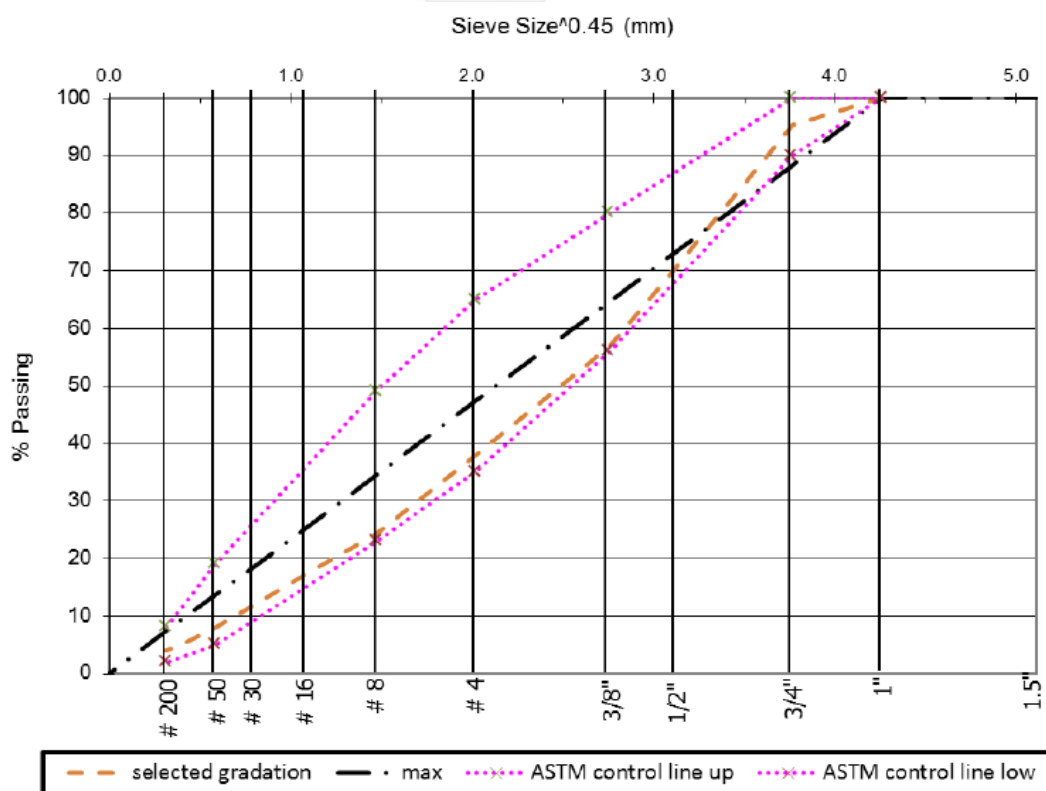
สำหรับส่วนผสมของก้อนตัวอย่างเป็นสูตรผสมชนิด Dense Graded

ส่วนผสมที่ใช้นำมาจากจากงานวิจัยของ ศิวารักษ์ (2556) โดยมีส่วนผสมต่างๆ

ตามตารางที่ 11 , รูปที่ 55 และตารางที่ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 ขนาดคละแบบ Dense Graded ที่ใช้ในงานศึกษา
(ศิวารักษ์ , 2556)

ตะแกรง	%การผ่านตะแกรงโดย น้ำหนัก	%ค้ำงสะสมโดย น้ำหนัก	%ค้ำงบนตะแกรงโดย น้ำหนัก
1 in	100	0	0
3/4 in	95.4	4.6	4.6
1/2 in	70.4	29.6	25
3/8 in	56.9	43.1	13.5
#4	38	62	18.9
#8	24.3	75.7	13.7
#16	17.2	82.8	7.1
#30	12	88	5.2
#50	8	92	4
#100	5.5	94.5	2.5
#200	4	96	1.5
Pan	0	100	4



รูปที่ 55 เส้นขนาดคละแบบ Dense Graded ที่ใช้ในงานศึกษา (ศิวารักษ์ , 2556)

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์หาค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Binder Content) สำหรับส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตขนาดคละ Dense Graded (คิววาร์กซ์ , 2556)

การหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมที่สุด				
%AC @ max Gmb	5.90%	ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม(OBC)	5.40%	
%AC @ max stability	4.90%			
%AC @ middle AV limit	5.40%			
ข้อกำหนดของปริมาณจราจรระดับสูง				
ข้อกำหนด	ผลการทดสอบ	ขั้นต่ำ	ขั้นสูง	ผลลัพธ์
%AV @ OBC (%)	4		3 5	ผ่าน
stability @ OBC (kN)	12.2		8 -	ผ่าน
flow @ OBC (0.25 mm)	13.5		8 14	ผ่าน
VMA @ OBC (%)	14.7		17 -	ผ่าน

3.3 ดำเนินการทดสอบ

การดำเนินการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ระยะหลัก คือ การทดสอบระยะนำร่อง การทดสอบระยะที่1 การทดสอบระยะที่2

3.3.1 การทดสอบระยะนำร่อง

เป็นการทดสอบความเป็นไปได้ของการทำวิจัย เช่น ทดสอบวิธีการคำนวณ ทดสอบอุปกรณ์ หาค่าที่เหมาะสมในการทดลอง เป็นต้น

1) ทดสอบความเป็นไปได้เบื้องต้นในการดำเนินการทดสอบ

เพื่อที่ได้ทดลองเครื่องมือและวิธีการที่ออกแบบ ว่ามีความเป็นไปได้ และมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด โดยดำเนินการทดสอบด้านต่างๆ เช่น เครื่องมือที่ใช้หาขนาดคละ ดัชนีความแบน ดัชนีความยาว มีสภาพสมบูรณ์พร้อมใช้งานหรือไม่ โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลมีปัญหาหรือข้อจำกัดหรือไม่

2) หาค่า Threshold ที่เหมาะสม

ค่า Threshold คือ ค่ากลางที่ใช้แบ่งรูปภาพออกเป็นสองส่วน คือ สีขาวกับสีดำ ต้องมีการหาค่า Threshold ที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถแยกภาพหินออกจากยางมะตอยได้อย่างชัดเจน และง่ายต่อการนำไปประมวลผลต่อไป

3) หาวิธีการในการประมวลผลภาพถ่ายให้เหมาะสมที่สุด

วิธีในการประมวลผลภาพถ่าย เพื่อแบ่งภาพออกเป็นสองส่วนนั้นมีหลายวิธี เช่น วิธีวิเคราะห์สี และวิธีวิเคราะห์รูปร่าง จะต้องทำการเลือกวิธีที่ให้ผลดีกว่าเพื่อประมวลผล

3.3.2 การทดสอบระยะที่ 1 การหาขนาดคละ ดัชนีความยาวด้วยวิธีปกติ

การหาขนาดคละและดัชนีความยาวด้วยวิธีปกติ

3.3.2.1 การหาขนาดคละ

- 1) นำหินไปใส่ในตะแกรงแล้วเขย่า จนกว่าหินจะไม่ลอดผ่านตะแกรงอีก
- 2) นำหินที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นไปชั่งบนเครื่องชั่งแล้วบันทึกน้ำหนัก
- 3) จากน้ำหนักของหินที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นนำไปหาค่า F.M. และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ของ Cumulative retained หรือ Percentage of Coarse

3.3.2.2 การหาดัชนีความยาว

- 1) นำตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงชั้นต่างๆ มาลอดผ่านช่องวัดความยาว โดยใช้ส่วนยาวที่สุดลอดผ่านช่องที่มีหมายเลขเท่ากับเบอร์ตะแกรงที่ค้างนั้นทีละก้อน จนครบทุกก้อน
- 2) นำส่วนที่ค้างและส่วนที่ผ่านช่องวัดความยาวของวัสดุแต่ละขนาดไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกค่าไว้

$$\text{ดัชนีความยาว}(EI) = \frac{Y}{X+Y} \times 100 \text{ เมื่อ}$$

X = มวลรวมของส่วนที่ลอดผ่านช่องวัดความยาวได้ มีหน่วยเป็นกรัม

Y = มวลรวมของส่วนที่ไม่สามารถลอดผ่านช่องวัดความยาวได้ มีหน่วยเป็นกรัม

3.3.3 การทดสอบระยะที่ 2 การหาขนาดคละ ดัชนีความยาว

ในเบื้องต้นผู้วิจัยทำการทดสอบการคำนวณหาขนาดและดัชนีความยาวที่ได้จากการประมวลผลภาพ เพื่อวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของการการคำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพ

3.3.3.1 การประมวลผลภาพถ่าย

กระบวนการที่ผู้วิจัยใช้ในการประมวลผลภาพถ่าย จะใช้ 4 กระบวนการหลัก คือ

- 1) กระบวนการดิจิไทซ์(Digitization) เพื่อนำภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยในที่นี้จะใช้เครื่อง Scanner ความละเอียด 1200 dpi โดยเลือกชนิดของภาพถ่ายเป็นระดับสีเทา
- 2) การแบ่งส่วนของภาพ(Segmentation) เพื่อแยกภาพส่วนที่สนใจออกมา และหาขอบเขตของรูปภาพ โดยใช้การทำ Binary และ Edge detection

3.3.3.2 ชนิดของภาพถ่ายดิจิตัลที่นำมาวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ภาพนั้นภาพที่นำมาวิเคราะห์นั้น จะต้องเป็นภาพสองระดับสี โดยภาพสองระดับสี คือ ภาพที่แสดงด้วยระดับสัญญาณ 2 ระดับ เช่น สีขาวกับสีดำ สีขาวกับสีแดง ซึ่งได้จากกระบวนการทำแบบให้เป็นสอง (binarization)

3.3.3.3 การหาขนาดคละ

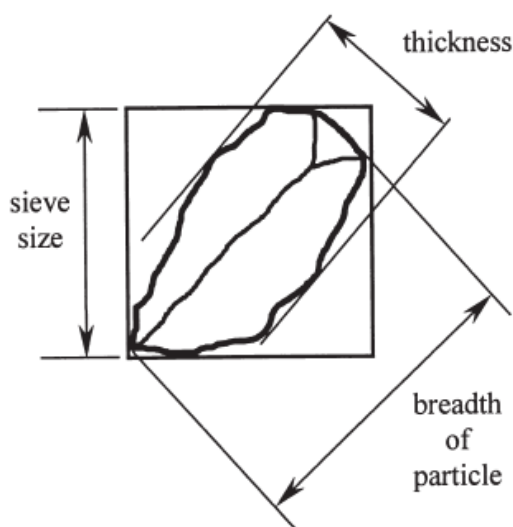
การคำนวณหาขนาดคละทำได้ดังนี้

- 1) นำภาพถ่ายส่วนตัดของแอสฟัลต์คอนกรีต มาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพถ่าย โดยผ่านกระบวนการทำภาพให้เป็นสอง ซึ่งก็จะสามารถแยกภาพหินออกจากยางมะตอยได้ โดยยางมะตอยจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสีดำทั้งหมด และภาพหินจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสีขาวทั้งหมด
- 2) นำภาพที่ถูกแบ่งออกเป็นสีขาวกับดำ มาตรวจหาขอบเขต

- 3) คำนวณหา พื้นที่ และเส้นรอบวงของหิน (วัดจากจำนวน pixel ในหินแต่ละรูป)โดยใช้โปรแกรม ImageJ
- 4) คำนวณหาวงรีที่มีขนาดใกล้เคียงกับรูปร่างใกล้เคียงกับหินแต่ละก้อน โดยใช้โปรแกรม ImageJ
- 5) คำนวณหาความยาวแกนโทของวงรีแต่ละรูป (วัดจากจำนวน pixel)
- 6) นำ Pixel ที่ได้ไปเทียบสัดส่วนกับภาพของจริง
- 7) หาเส้นทแยงมุมของช่องสำหรับตะแกรงแต่ละขนาด แล้วเปลี่ยนหน่วยเป็น pixel จากการเทียบสัดส่วน
- 8) หาเปอร์เซ็นต์การผ่านสะสมของตะแกรงแต่ละขนาด โดยจากสมการนี้
- 9) นำเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงไปพล็อตกราฟ

$$S_i = \frac{A_i}{T_A} \times 100 \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

- S_i คือ เปอร์เซ็นต์การผ่านสะสมของตะแกรงอันที่ i
- A_i คือ ผลรวมของพื้นที่หินซึ่งมีความยาวแกนโทของวงรีน้อยกว่าหรือเท่ากับเส้นทแยงมุมของช่องบนตะแกรงอันที่ i
- T_A คือ ผลรวมของพื้นที่ของหินทุกก้อน



รูปที่ 56 ตัวอย่างการดูความกว้างและความยาวหิน

(ถ้าหากแกนสั้นที่วัดได้ มีขนาดน้อยกว่าขนาดช่องตะแกรง ให้ถือว่าสามารถลอดผ่านตะแกรงไปได้)

(Kwan et al., 1999)

3.3.3.4 การหาดัชนีความยาว

- 1) นำความยาวของช่องวัดความยาวมาแปลงเป็น pixel
- 2) นำค่าแกนเอกที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย มาเทียบกับความยาวของช่องวัดความยาว ถ้าแกนเอกยาวน้อยกว่าช่องวัดความยาวให้ถือว่าสามารถลอดผ่านช่องวัดความยาวไปได้
- 3) โดยนำส่วนที่ค้ำบนตะแกรงที่คำนวณได้จากขนาดคละ มาคำนวณหาพื้นที่
- 4) โดยการคำนวณดัชนีความยาวสามารถทำได้โดยใช้สมการ

$$\text{ดัชนีความยาว}(EI) = \frac{Y}{X + Y} \times 100$$

เมื่อ X = พื้นที่รวมของส่วนที่ลอดผ่านช่องวัดความยาวได้ วัดจาก pixel

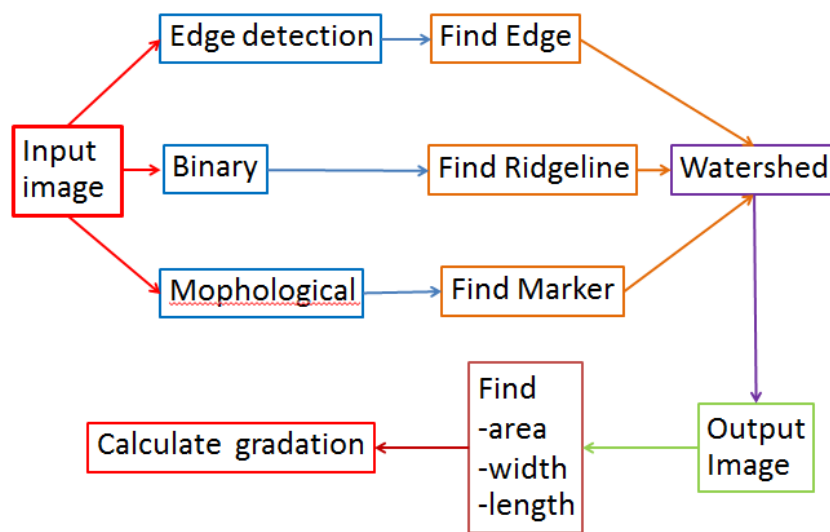
Y = พื้นที่รวมของส่วนที่ไม่สามารถลอดผ่านช่องวัดความยาวได้ วัดจาก pixel

3.4 เทคนิคการประมวลผลภาพ

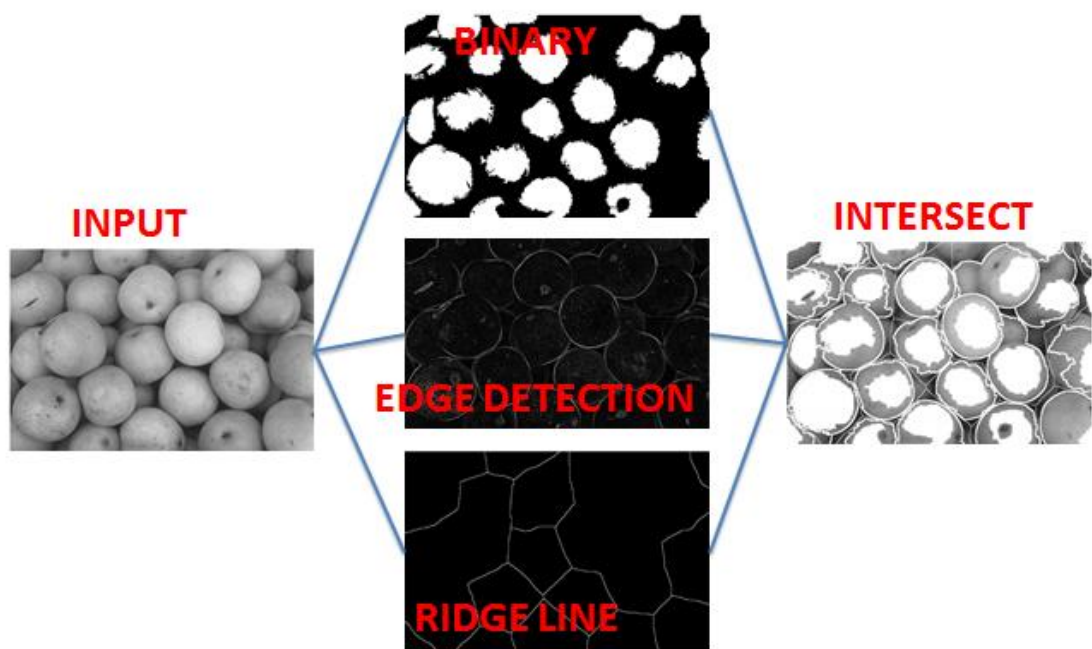
เนื่องจากระหว่างการทำประมวลผลภาพผู้วิจัยพบปัญหาโดยรวมสองก้อนอยู่ติดกันดังรูปที่ 52 ปัญหาแยกภาพแล้วเกิดความไม่คมชัด ปัญหาการหาค่า Threshold และปัญหาการเกิดรูปรบกวน (noise) จากงานวิจัยที่ผ่านมา นักวิจัยส่วนใหญ่ใช้วิธี watershed ในการแก้ปัญหา แต่ watershed ก็ยังมีความไม่สมบูรณ์อาจเกิดปัญหาได้เช่น เกิดการแยกภาพเกินขนาด ทำให้ภาพสูญเสียคุณภาพไป ผู้วิจัยได้นำเทคนิค watershed มาประยุกต์ใช้ สำหรับหลักการโดยทั่วไปในการทำ watershed นั้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการ นำภาพเริ่มต้น(Input Image) มาหาขอบเขต(Edge detection) , แยกส่วน (Morphological) และ ทำภาพเป็นขาวดำ(Binary) ตามลำดับ และนำผลจากภาพทั้งสามมาผ่าน กระบวนการ Watershed จากนั้นนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์หาพื้นที่ เส้นรอบรูป ความกว้าง และความยาว และนำค่าเหล่านั้นมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การค้ำบนตะแกรงต่อไป เทคนิค watershed ถูก ประยุกต์ใช้ในการแยกมวลรวมที่อยู่ติดกันให้แยกออกจากกัน เทคนิคนี้มองรูปภาพของมวลรวมแต่ละ ก้อนเหมือนหุบเขาที่กำลังล้อมรอบแอ่งน้ำอยู่ โดยขอบของรูปภาพเปรียบเสมือนสันเขาที่กำลัง ล้อมรอบแอ่งน้ำอยู่ ส่วนพื้นที่ด้านในเปรียบเสมือนบริเวณลุ่มน้ำที่อยู่ในหุบเขานั้น การที่เทคนิคนี้จะมี คุณภาพนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่าง คือ การหาขอบเขตของรูปภาพ(Edge detection) การแยกภาพ ออกเป็นขาวกับดำ(Binary) การแยกภาพโดยการกัดกร่อน(Morphological) โดยการหาขอบเขตของ รูปภาพ ส่งผลต่อความคมชัดของขอบเขต(Edge) การแยกภาพออกเป็นขาวกับดำส่งผลต่อการหาเส้น แบ่งขอบเขต(Ridge) การแยกภาพโดยการกัดกร่อนส่งผลต่อจำนวนวัตถุ(Marker) ซึ่งถ้าหากทั้งสาม ปัจจัยนี้มีได้ผลลัพธ์ที่ดี ก็จะทำให้ผลลัพธ์ของการแยกมวลรวมที่อยู่ติดกันมีค่าดีขึ้น(รูปที่ 57 และ 58) กระบวนการหาขอบเขตของแต่ละวัตถุที่อยู่ในรูปภาพ(Edge detection) คือ การใช้ระดับความเข้ม แสงที่แตกต่างกันเป็นตัวแบ่งขอบเขตของวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในรูปภาพ หรืออาจเรียกวิธีนี้ว่าการหา เส้นรอบรูปของวัตถุนั้นเอง โดยในกระบวนการนี้จะพิจารณาเฉพาะส่วนที่เป็นขอบเท่านั้น ข้อดีของวิธี นี้คือ สามารถหาเห็นขอบเขตของแต่ละวัตถุในรูปได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ข้อเสียของวิธีการนี้คือถ้าภาพพื้น หลังมีระดับความเข้มแสงใกล้เคียงกับวัตถุจะทำให้การหาขอบเขตยากขึ้น และมีความถูกต้องน้อยลง

กระบวนการแยกวัตถุในรูปภาพให้แยกออกจากกัน(Morphological) คือการกัดกร่อนรูปภาพให้เล็กลง เพื่อให้วัตถุที่ติดกันเป็นก้อนเดี่ยวแยกออกจากกันได้(รูปที่ 60)

ปัญหาในการใช้ Watershed มีอยู่สองปัญหาหลัก คือ การแยกส่วนของรูปน้อยเกินไป และการแยกส่วนของรูปจนมากเกินไป ดังรูปที่ 61 และ 62 ตามลำดับ จึงนำไปสู่การพัฒนาเทคนิคใหม่ 2 วิธี ได้แก่ การซ้อนภาพเจ็ดชั้น(7-layer Overlaying) และการกัดกร่อนภาพหลายขนาด(Multiple size erosion)



รูปที่ 57 กระบวนการหาเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัดแอสฟัลต์คอนกรีต



รูปที่ 58 ตัวอย่างกระบวนการ watershed

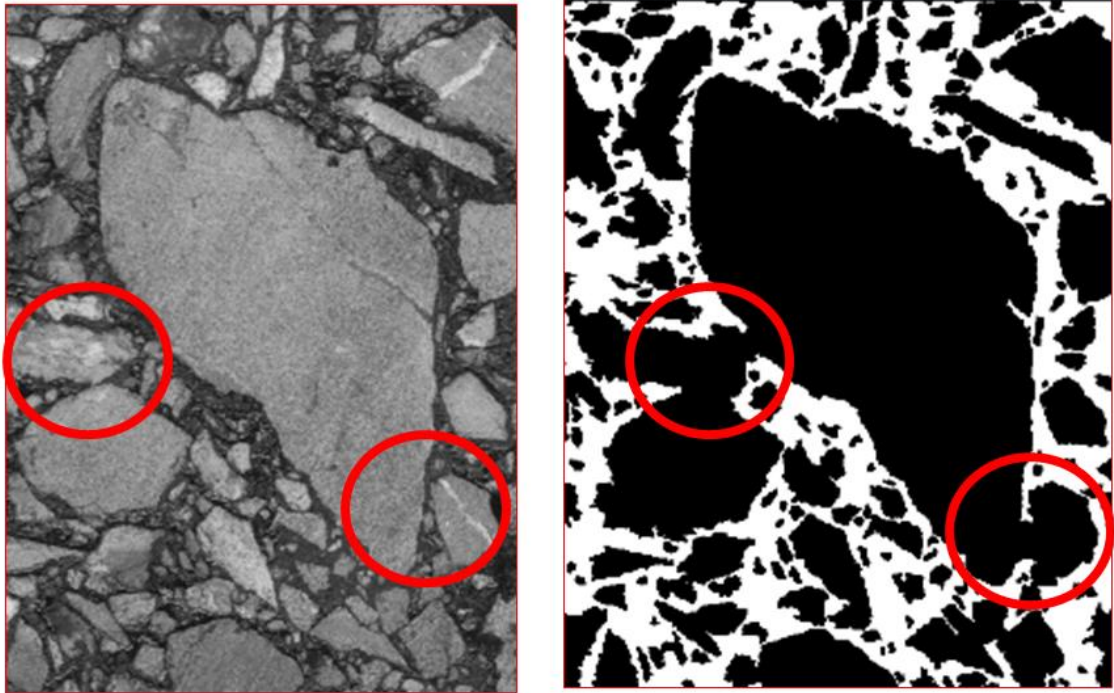

```

function Lrgb=Process(I, diamond_size)

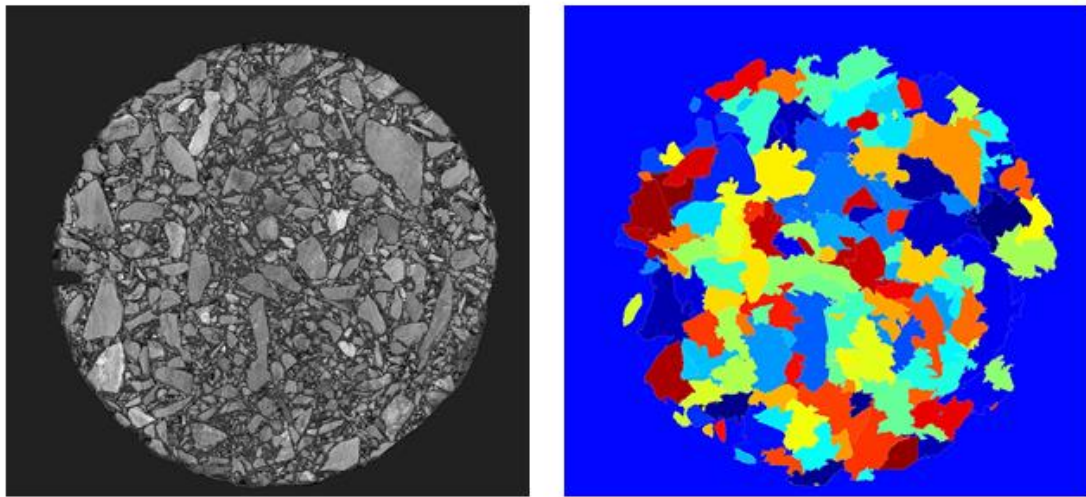
hy =fspecial('sobel');
hx =hy';
Iy =imfilter(double(I), hy, 'replicate');
Ix =imfilter(double(I), hx, 'replicate');
gradmag =sqrt(Ix.^2 +Iy.^2);
L =watershed(gradmag);
Lrgb =label2rgb(L);
se =strel('diamond', diamond_size);
Io =imopen(I, se);
Ie =imerode(I, se);
Iobr =imreconstruct(Ie, I);
Ioc =imclose(Io, se);
Iobrd =imdilate(Iobr, se);
Iobrcbr =imreconstruct(imcomplement(Iobrd), imcomplement(Iobr));
Iobrcbr =imcomplement(Iobrcbr);
fgm =imregionalmax(Iobrcbr);
I2 =I;
I2(fgm)=255;
se2 =strel(ones(5,5));
fgm2 =imclose(fgm, se2);
fgm3 =imerode(fgm2, se2);
fgm4 =bwareaopen(fgm3, 20);
I3 =I;
I3(fgm4)=255;
bw =im2bw(Iobrcbr, graythresh(Iobrcbr));
D =bwdist(bw);
DL =watershed(D);
bgm =DL ==0;
gradmag2 =imimposemin(gradmag, bgm | fgm4);
L =watershed(gradmag2);
I4 =I;
I4(imdilate(L ==0, ones(3, 3))| bgm | fgm4)=255;
Lrgb =label2rgb(L, 'jet', 'w', 'shuffle');

```

รูปที่ 59 ตัวอย่าง code ของโปรแกรม matlab สำหรับ watershed



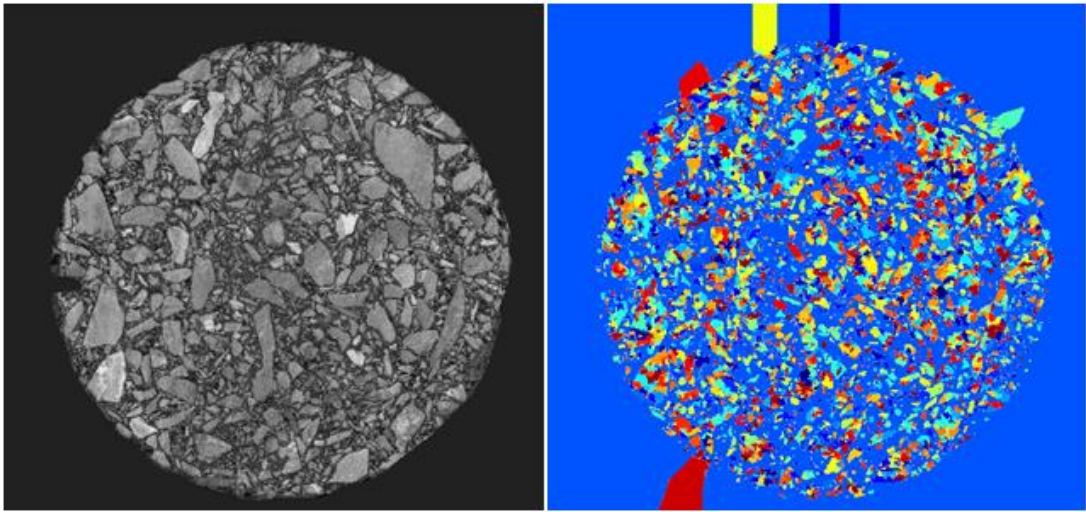
รูปที่ 60 ปัญหาการรวมติดกันหลังประมวลผลภาพ



INPUT

OUTPUT

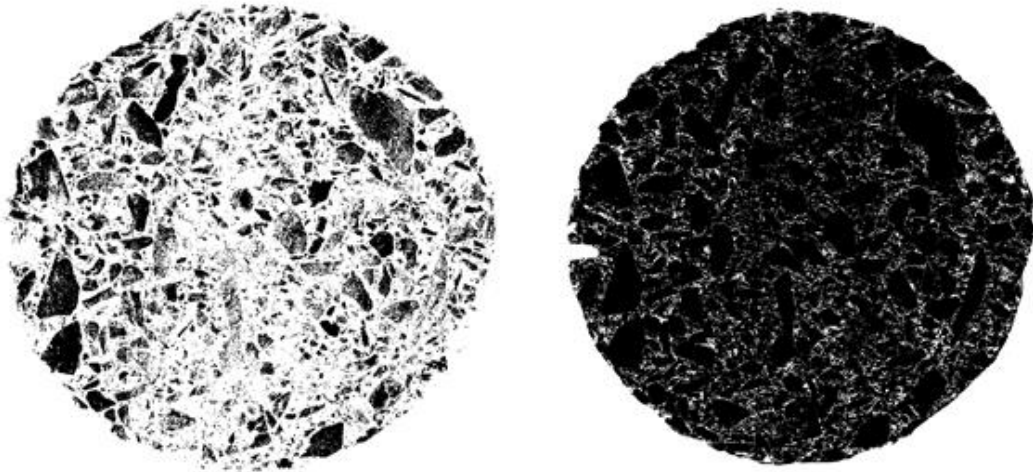
รูปที่ 61 ปัญหาการแยกส่วนจำนวนน้อยเกินไป



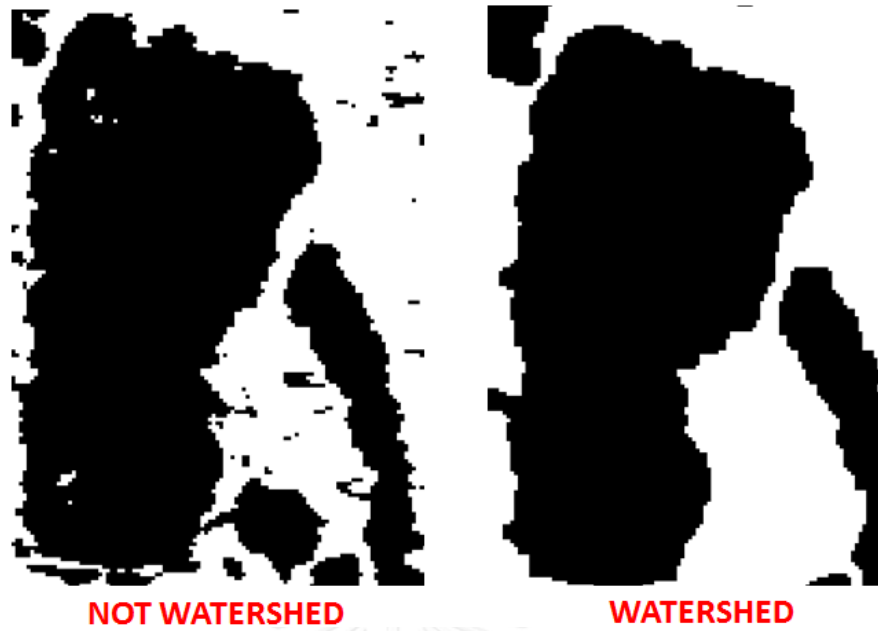
INPUT

OUTPUT

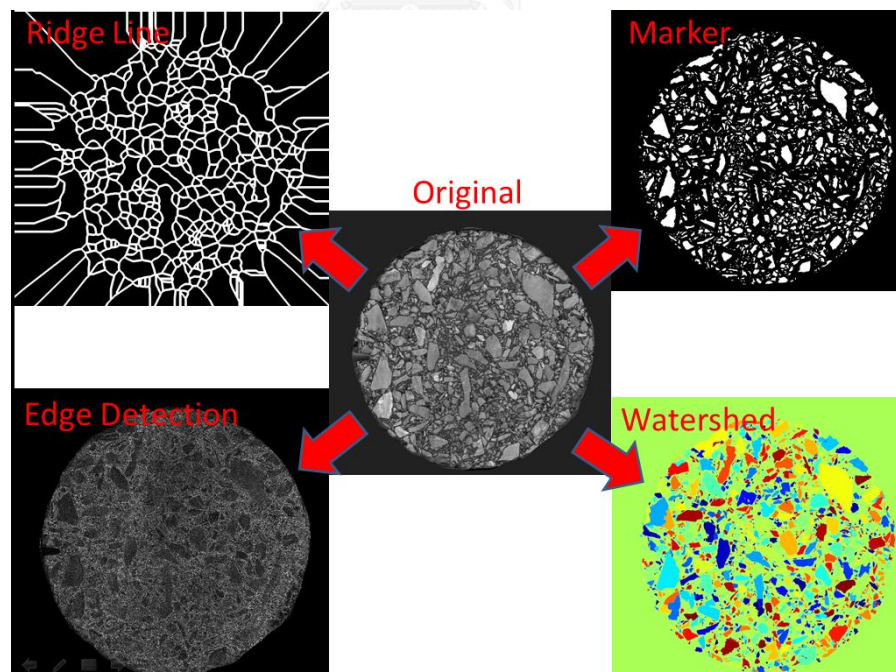
รูปที่ 62 ปัญหาการแยกส่วนจำนวนมากเกินไป



รูปที่ 63 ปัญหาภาพไม่คมชัด



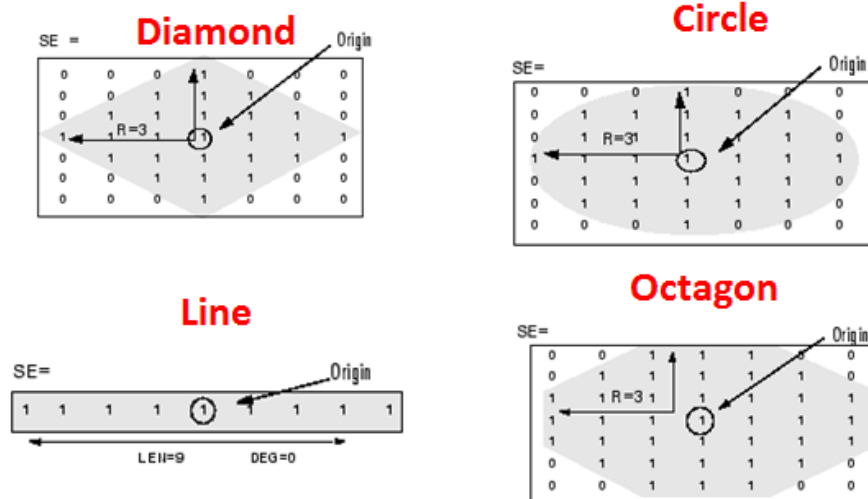
รูปที่ 64 เปรียบเทียบรูปที่มี noise และรูปที่ผ่านการ Watershed



รูปที่ 65 ผลจากการหาขอบเขตของรูปภาพ(Edge detection) การแยกภาพออกเป็นขาวกับดำ (Ridge line) การแยกภาพโดยการกักร้อน(Marker)

3.4.1 การซ้อนภาพเจ็ดชั้น(7-layer Overlaying)

การซ้อนภาพ คือ นำรูปเริ่มต้นมาทำให้เป็นภาพระดับสีเทา และนำภาพระดับสีเทานั้นผ่านกระบวนการ Watershed ซึ่งในการ Watershed นั้นจะต้องมีการเลือกรูปทรงของพื้นที่ที่จะใช้ segmentation รูป ด้วยคำสั่ง Strel ดังรูปที่ 66 เพื่อหารูปทรงที่เหมาะสมกับภาพ



รูปที่ 66 การเลือกรูปทรงของพื้นที่ด้วยคำสั่ง Strel

สำหรับภาพมวลรวมที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมเป็นมุม จึงควรใช้รูปทรง Diamond ในการคำนวณ จากนั้นทำการ Erosion closing opening และ Dilate รูปภาพ ดังรูปที่ 67

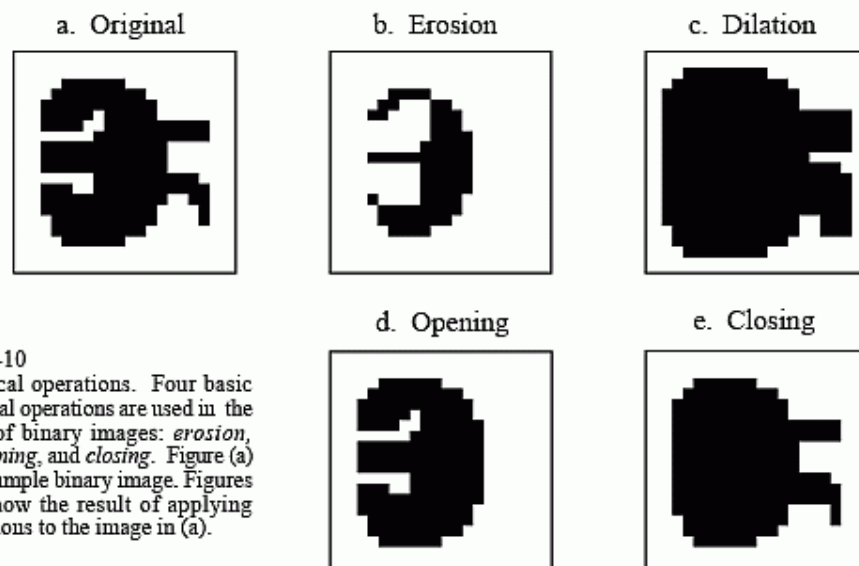


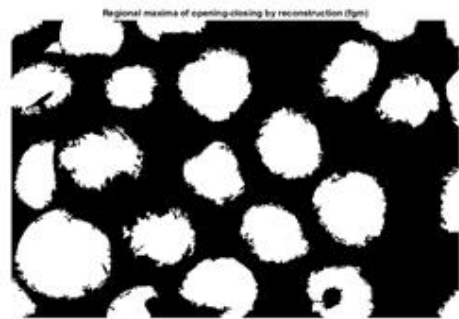
FIGURE 25-10 Morphological operations. Four basic morphological operations are used in the processing of binary images: *erosion*, *dilation*, *opening*, and *closing*. Figure (a) shows an example binary image. Figures (b) to (e) show the result of applying these operations to the image in (a).

รูปที่ 67 อธิบายการ Erosion Dialation Opening และ Closing
(ออนไลน์ : http://www.dspsguide.com/graphics/F_25_10.gif)

จากนั้นทำการ Binary รูปภาพ เพื่อแยกภาพออกเป็นขาวกับดำ ดังรูปที่ 68



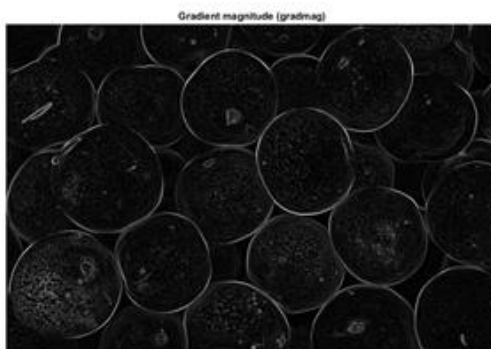
INPUT



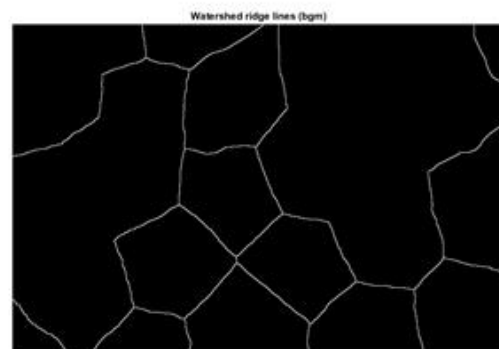
BINARY

รูปที่ 68 การทำภาพเป็น Binary

ทำการหาขอบเขตของรูปภาพ และแบ่งขอบเขตของรูปภาพ ดังรูปที่ 69



EDGE



RIDGE LINE

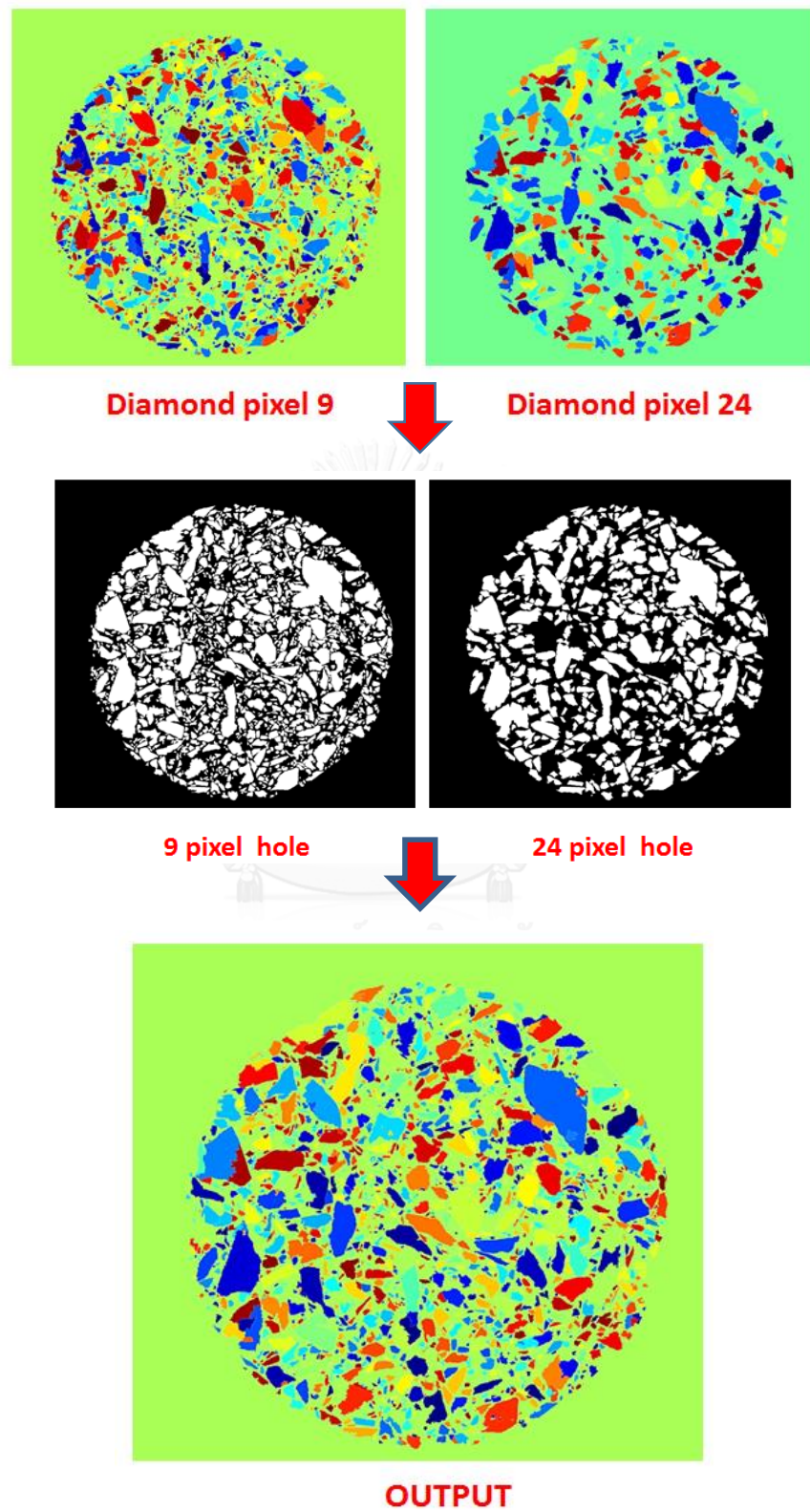
รูปที่ 69 การหาขอบเขตและเส้นแบ่ง

การซ้อนภาพเจ็ดชั้นนั้นมีหลักการ คือ การนำภาพมวบรวมหนึ่งรูป มาวิเคราะห์ด้วยขนาดของ Diamond Pixel ที่ต่างๆ กัน 7 ค่า ด้วยคำสั่ง Strel เพื่อทำการ Segmentation โดยเรียงลำดับจากค่าน้อยไปมาก ซึ่งจะทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน 7 ภาพ ค่อยๆนำภาพในแต่ละภาพมาหาซ้อนทีละชั้นจนครบเจ็ดชั้น คำว่าจุดตัดในที่นี้หมายถึงใช้เมทริกซ์สองเมทริกซ์ที่มีขนาดเท่ากัน แต่ละเมทริกซ์บรรจุค่าไว้สองค่าคือ สีขาวและสีดำ นำภาพทั้งสองเมทริกซ์มาเปรียบเทียบกัน ถ้าหากทั้งสองเมทริกซ์มีสีเดียวกันจะเรียกพื้นที่ส่วนนั้นว่าจุดตัด จะทำให้ช่วยแก้ปัญหาการรวมที่ถูกรวมเป็นหลายชั้นได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ไม่สามารถแยกภาพมวบรวมที่ขนาดเล็กกว่าเบอร์#8(2.38 มม.) ได้ ในรูปที่ 49 ได้แสดงตัวอย่างภาพเริ่มต้น(input) และผ่านคำสั่ง strel ที่ขนาดต่างๆ กัน 7 แบบ ได้แก่ 6 9 12 15 18 21 และ 24 pixel ตามลำดับ เนื่องจากการใช้ pixel ที่มีขนาดเล็กในการกัดกร่อน ทำให้ภาพถูกแยกออกจากกันมากเกินไป เช่นควรจะเป็นก้อนเดียว แต่แตกออกเป็น 10 ก้อน

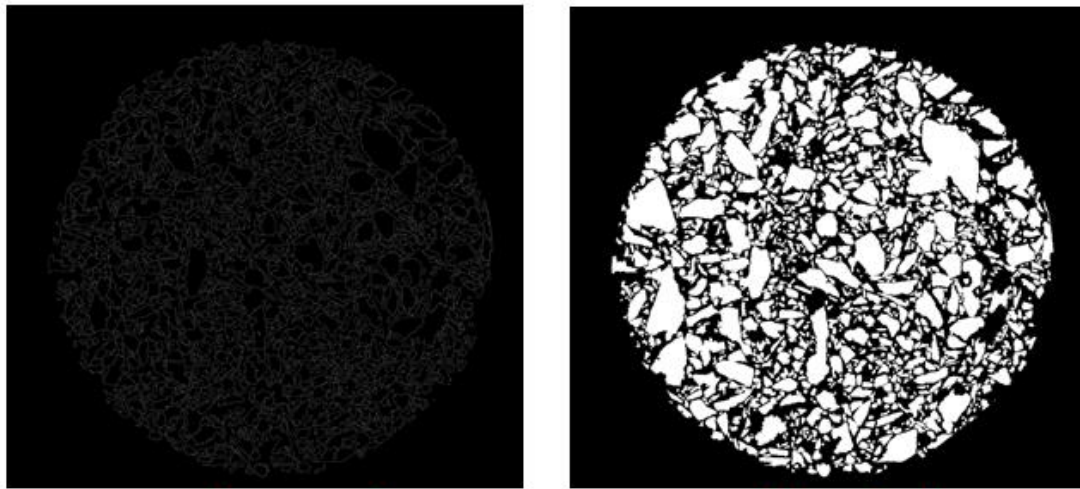
ต้องมีการนำภาพที่มีขนาดใหญ่เข้าซ้อนและทำการเชื่อมรูปภาพที่มีขนาดเล็กให้เชื่อมติดกัน โดยใช้รูปจาก pixel ที่เล็กกว่าเป็นตัวกำหนด จากนั้นทำการซ้อนภาพไปเรื่อยๆ จนได้ผลลัพธ์สุดท้าย หลักการซ้อนทับรูปแบบคือ สร้างรูปพื้นที่สีดำขนาดเท่ากับรูปภาพที่จะนำมาวิเคราะห์ จากนั้นนำเส้นขอบสีขาวของรูปภาพไปซ้อนทับกับพื้นที่สีดำ จากนั้นนำพื้นที่ซ้อนทับนั้นมาเจาะรู(hole) ด้วยโปรแกรม Matlab ทำให้ได้ภาพขาวดำออกมา เมื่อนำภาพขาวดำสองรูปซ้อนกัน ให้ใช้หลักการที่ว่าถ้าพื้นที่ส่วนไหนเป็นสีขาวเหมือนกัน ให้รีเทิร์นค่าสีจากรูปที่มีขนาด pixel ใหญ่กว่าไปไว้ในรูปที่มีขนาด pixel เล็กกว่า ทำให้สามารถรวมหินที่แตกออกจากกันให้เข้ามาติดเชื่อมกันได้เหมือนเดิม พอซ้อนภาพได้แล้วก็ใช้หลักการนี้ต่อไปเรื่อยๆจนครบเจ็ดชั้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านของการเลือกใช้ขนาดของ pixel ต้องเลือกให้เหมาะสมถ้าเลือกไม่เหมาะสมจะทำให้ภาพเกิดการขยายใหญ่เกินขนาดทำให้ไม่สามารถใช้ภาพนั้นมาวิเคราะห์ได้ และอีกปัญหาหนึ่งก็คือถ้าหากเกิดข้อผิดพลาดในการทับซ้อนของภาพ เช่น เกิดข้อผิดพลาดในการซ้อนทับในชั้นที่สาม ผลของการผิดพลาดนี้ก็จะต่อเนื่องไปจนถึงชั้นที่เจ็ด ดังนั้นต้องมีความระมัดระวังในการเลือกใช้ขนาด pixel ในการทำเป็นอย่างมาก เพราะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์เป็นอย่างมาก ภาพหนึ่งภาพจะมีค่า pixel ที่เหมาะสมแตกต่างกันไม่สามารถใช้ค่าแทนกันได้ ต้องมาจากการทดสอบเปรียบเทียบเท่านั้น ถ้ารูปภาพที่นำมาวิเคราะห์ถ้าหากมีเส้นขอบคมชัด และมีสีของหินและยางมะตอยแตกต่างกันอย่างชัดเจน จะให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการวิเคราะห์

กระบวนการซ้อนภาพเจ็ดชั้นมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำภาพเริ่มต้นใส่เข้าไปใน Matlab ด้วยฟังก์ชัน imread
- 2) ปรับภาพให้เป็นขาวดำ 8 bit ด้วยฟังก์ชัน im2grayscale
- 3) นำภาพ 8 bit ผ่านฟังก์ชัน Watershed transform ด้วย pixel value ขนาดเล็กที่สุด คือ 6 pixel
- 4) นำภาพ 8 bit ผ่านฟังก์ชัน Watershed transform ด้วย pixel value ขนาดใหญ่ขึ้น คือ 9 pixel
- 5) สร้างรูปภาพสีดำทั้งภาพ ขนาดเท่ากับรูปภาพเริ่มต้น
- 6) นำขอบสีขาวจากรูปภาพที่ได้จากกระบวนการ Watershed ไปใส่ในรูปภาพสีดำที่สร้างขึ้น
- 7) ใช้คำสั่ง hole เจาะรู ภาพที่ดำในวิธีการก่อนหน้านี้ทั้งขนาด 6 pixel ละ 9 pixel
- 8) ใช้รูปสีดำที่ผ่านการเจาะรูแล้ว มาคำนวณหาพื้นที่ที่ทับซ้อนกัน
- 9) ใช้สีของรูป 9 pixel เติมลงในรูป 6 pixel ถ้าหากมีพื้นที่สีขาวร่วมกัน
- 10) นำภาพผลลัพธ์ที่ได้เป็นรูป pixel เล็กต่อไป และเก็บขอบสีขาวของภาพใส่ pixel สีดำ
- 11) ทำการเจาะรู(hole)ภาพที่ดำที่มีขอบสีขาวก่อนหน้านี้
- 12) นำภาพ 8 bit ในตอนต้นผ่านฟังก์ชัน Watershed transform ด้วย pixel value ขนาดใหญ่ขึ้น คือ 12 pixel
- 13) ทำวิธีการเดิมวนซ้ำไปเรื่อยๆ โดยเพิ่มขนาด pixel เป็น 15 18 21 และ 24 pixel ตามลำดับ



รูปที่ 70 อธิบายกระบวนการซ้ภาพระหว่างภาพ Diamond strel 9 pixel และ 24 pixel



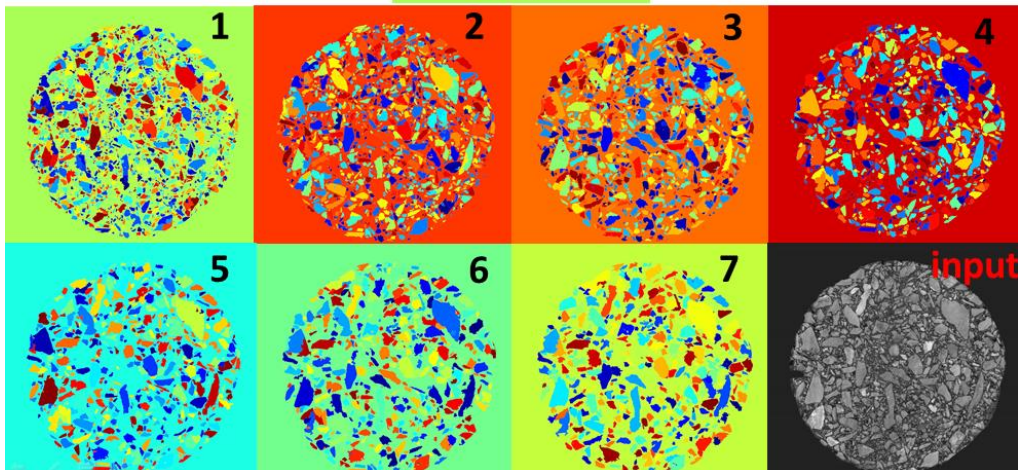
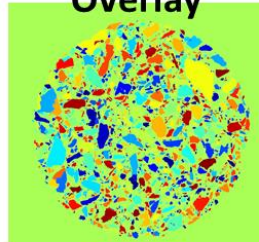
Before Hole

After Hole

รูปที่ 71 ภาพก่อน Hole และหลัง Hole



Overlay



รูปที่ 72 ภาพเริ่มต้น(input) ภาพตัวอย่างการซ้อนภาพเจ็ดชั้น (ภาพที่ 1-7) และภาพผลลัพธ์

(Overlay)

```

%Image 1 (Diamond small )
diamond_size_small =6;
Im =imread('1.tif');
I_1 =Im;
Lrgb_1 =Process(I_1, diamond_size_small);
figure('Name', 'Watershed Diamond small 1'),imshow(Lrgb_1);
imwrite(Lrgb_1,'diamond6.jpg','jpg','Quality',100);
%Marker 1
I_1 =rgb2gray(Lrgb_1);
BW_1 =zeros(size(I_1));
BW_1(I_1 ==255)=255;
%BW_1 =~BW_1;
%figure('Name', 'Marker Diamond small'),imshow(BW_1);
imwrite(BW_1,'diamond6_BW.jpg','jpg','Quality',100);
%Holes
BW1 =BW_1;
BW1(1, 1:end-1)=255;
BW1(1:end-1, 1)=255;
BW1(size(BW1, 1), 1:end-1)=255;
BW1(1:end-1, size(BW1, 2))=255;
BW1_fill =imfill(BW1, 'holes');
imwrite(BW1_fill,'diamond6_hole.jpg','jpg','Quality',100);

```

รูปที่ 73 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม Matlab เพื่อสร้างพื้นที่สีดำและเจาะรู

3.4.2 การกัดกร่อนภาพหลายขนาด (Multiple size erosion)

การกัดกร่อนนั้นสามารถทำให้ภาพหินที่อยู่ติดกัน แยกออกจากกันได้แต่ปัญหาของการกัดกร่อนภาพในงานวิจัยนี้ คือ ถ้าหากกัดกร่อนด้วย pixel ที่มีขนาดใหญ่มากเกินไป จะทำให้หินก้อนเล็กบางส่วนถูกกัดกร่อนจนหายไป ผู้วิจัยทราบว่าหินแต่ละขนาดต้องใช้ค่า pixel ที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงมีการแยกภาพออกเป็นสี่ชุดตามขนาดของมวลรวม เพื่อการเลือกใช้ค่า pixel ที่เหมาะสมตามขนาดของมวลรวมแต่ละชุด

สำหรับการแยกภาพออกเป็น 4 ส่วนนั้น ผู้เขียนได้กำหนดขนาดไว้สี่ขนาด ด้วยฟังก์ชัน Shape logic ซึ่งเป็นตัว add in ของโปรแกรม ImageJ ขนาดพื้นที่ของมวลรวมทั้งสี่ค่ามีดังนี้ 1-10000 pixel , 10001-30000 pixel , 30001-50000 pixel และ 50001 ขึ้นไป ตามลำดับ และนำภาพแต่ละ size มาผ่านวิธีกัดเซาะ (Morphological erosion) ที่ขนาดต่างๆ กัน โดยใช้หลักที่ว่า Size ขนาดใหญ่กว่า จะใช้ pixel ในการ Erode มากกว่า โดยผู้วิจัยได้เลือกค่าของการกัดกร่อนของมวลรวมแต่ละขนาดไว้ดังนี้ 5 pixel สำหรับมวลรวมที่มีขนาด 1-10000 pixel 20 pixel สำหรับมวลรวมที่มีขนาด 10001-30000 pixel 30 pixel สำหรับมวลรวมที่มีขนาด 30001-50000 pixel และ 60 pixel สำหรับมวลรวมที่มีขนาด 50001 pixel ขึ้นไป และนำภาพที่ผ่านการ Erode นั้น มาคำนวณวิเคราะห์หาขนาดต่อไป ถึงแม้ว่าวิธีการกัดกร่อนภาพจะทำให้ภาพที่ติดกันแยกออกจากกันได้ก็ตาม

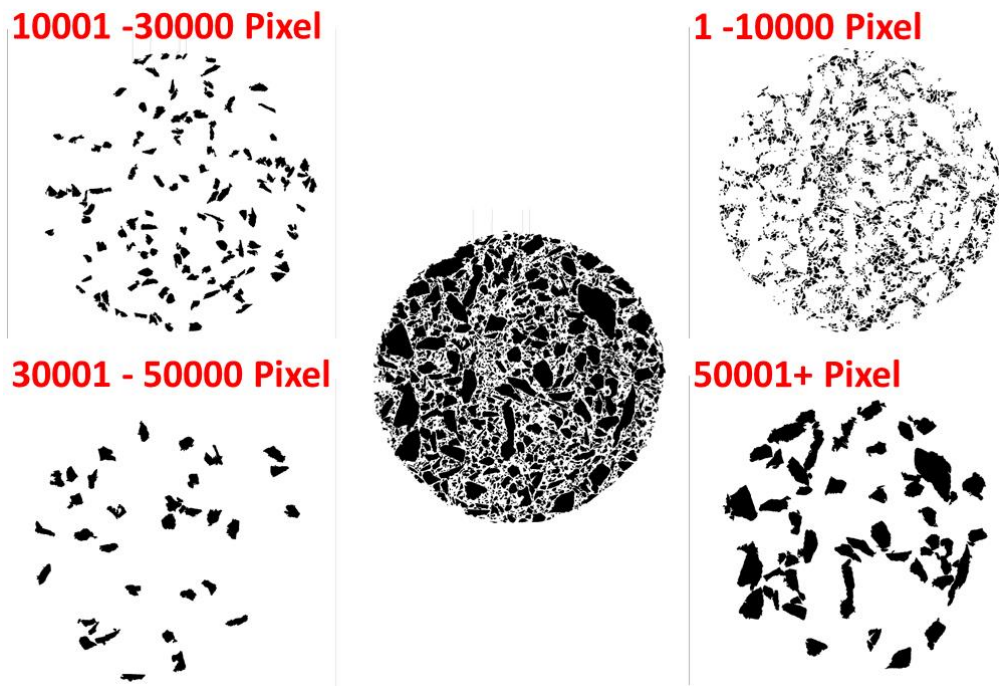
แต่ก็มีข้อเสียคือจะทำให้เสียพื้นที่บางส่วนไป ทำให้การคำนวณวิเคราะห์เกิดข้อผิดพลาดขึ้น ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแก้พื้นที่หลังจากการกัดเซาะ โดยผู้เขียนกล่าวในลำดับถัดไป

การกัดกร่อนภาพ(erode) มีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำภาพเริ่มต้นมาทำเป็นภาพขาวดำ (Gray scale) ชนิด 8 bit
- 2) ทำการ Binary ภาพขาวดำนั้น
- 3) ทำการแยกมวลรวมออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ 1-10000 pixel , 10001-30000 pixel , 30001-50000 pixel และ 50001 ขึ้นไป ด้วยฟังก์ชัน Shape logic ซึ่งเป็น add in ของ imageJ
- 4) นำภาพแต่ละส่วนมากัดกร่อน โดยใช้ฟังก์ชัน Erode ในโปรแกรม Matlab
- 5) นำภาพที่ถูกกัดกร่อนในแต่ละส่วนคำนวณปรับแก้พื้นที่ ซึ่งต้องปรับแก้สองแบบ คือ ปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป และปรับแก้ด้วยพื้นวงแหวน ซึ่งต้องมีการบวกค่าพื้นที่เข้าไปตามจำนวน pixel ที่ถูก Erode

```
%%readfile
I1=imread('section1_1-10000.jpg');
se1=strel('diamond',5);
I2=imread('section2_10001-30000.jpg');
se2=strel('diamond',20);
I3=imread('section3_30001-50000.jpg');
se3=strel('diamond',30);
I4=imread('section4_50001+.jpg');
se4=strel('diamond',65);
%%Dilate image
dilate5=imdilate(I1,se1);
dilate20=imdilate(I2,se2);
dilate30=imdilate(I3,se3);
dilate65=imdilate(I4,se4);
%%SAVE FILE
imwrite(dilate5,'dilate5.jpg','jpg','Quality',100);
imwrite(dilate20,'dilate20.jpg','jpg','Quality',100);
imwrite(dilate30,'dilate30.jpg','jpg','Quality',100);
imwrite(dilate65,'dilate65.jpg','jpg','Quality',100);
```

รูปที่ 74 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมการกัดกร่อนรูปภาพโดยใช้โปรแกรม Matlab

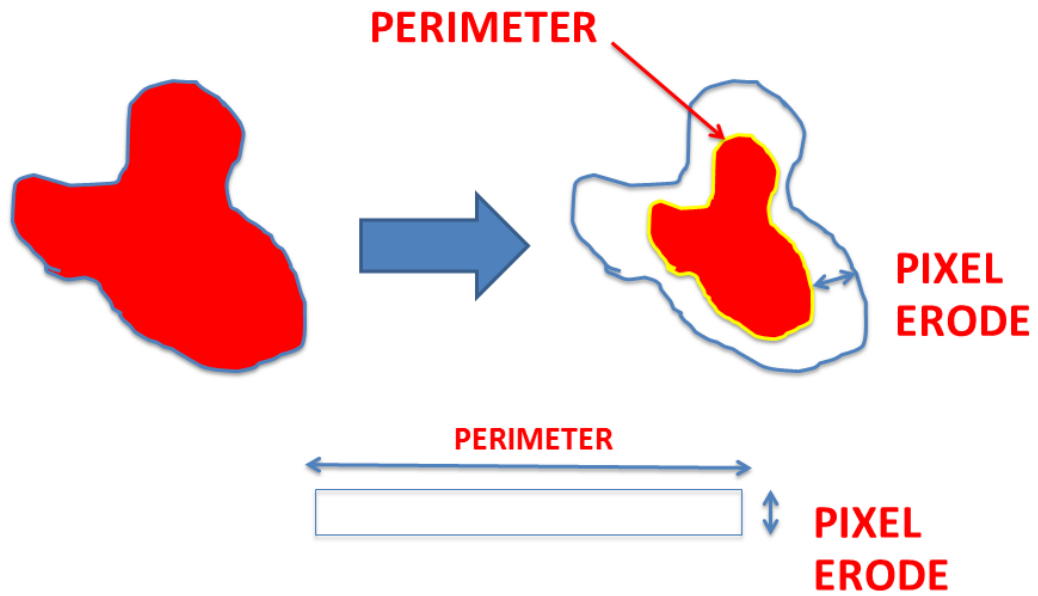


รูปที่ 75 การแยกภาพออกเป็นสีส่วนตามขนาดของ pixel

3.4.2.1 การคำนวณปรับแก้พื้นที่

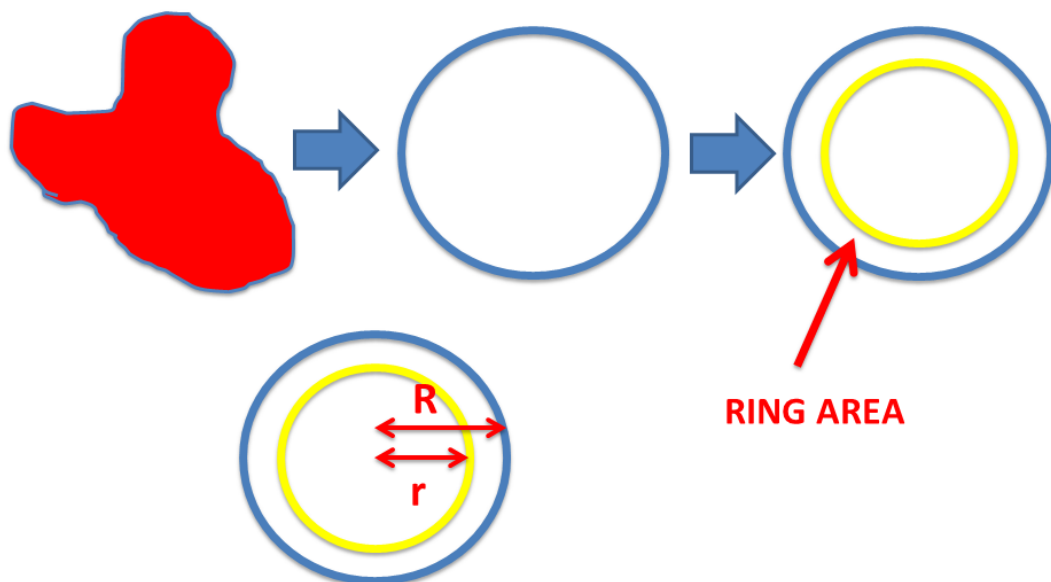
เนื่องจากการกัดกร่อนแยกตามขนาดวัตถุ (Multiple size erosion) มีพื้นที่บางส่วนถูกกัดเซาะออกไป ทำให้ค่าพื้นที่ที่มีขนาดน้อยลง จึงต้องมีการคำนวณปรับแก้พื้นที่ให้มีขนาดใกล้เคียงกับพื้นที่เดิมที่ถูกกัดเซาะไป โดยผู้วิจัยคิดค้นวิธีการคำนวณปรับแก้ไว้สองวิธี คือ วิธีการปรับแก้โดยใช้เส้นรอบรูป และวิธีการปรับแก้โดยใช้วงแหวน โดยคำนวณปรับแก้โดยเส้นรอบรูปได้ถูกอธิบายไว้ในรูปที่ 76 และการปรับแก้โดยใช้วงแหวนได้ถูกอธิบายไว้ในรูปที่ 77 การปรับแก้โดยใช้เส้นรอบรูปนั้นจะมองเส้นรอบรูปเป็นความยาวด้านหนึ่งของสี่เหลี่ยมผืนผ้า และใช้ pixel ที่ถูก erode เป็นความกว้างของสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสุดท้ายนำพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าบวกกับพื้นที่เหลือจากการถูกกัดกร่อนก็จะทำให้สามารถได้พื้นที่ใกล้เคียงกับก่อนถูกกัดกร่อนมากขึ้น ทำนองเดียวในการปรับแก้ด้วยวงแหวน จะมองมวลรวมแต่ละก้อนเป็นรูปวงกลม และนำเส้นรอบรูปไปคำนวณหาค่ารัศมี และนำรัศมีที่ได้บวกกับ pixel ที่ถูก erode ก็จะทำให้ได้วงกลมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นทำการบวกพื้นที่วงแหวนเข้าตรงพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะก็จะทำให้พื้นที่ใกล้เคียงกับเดิมมากขึ้น อย่างไรก็ตามในบทที่ 4 ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวิธี เพื่อตัดสินใจเลือกใช้วิธีที่ดีที่สุดได้

PERIMETER ADJUST



รูปที่ 76 อธิบายการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป

RING ADJUST



รูปที่ 77 อธิบายการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน

3.4.2.1.1 การปรับแก้เส้นรอบรูปและรัศมีของมวลรวมก่อนจะนำค่าไปคำนวณ

เนื่องจากมวลรวมที่ผ่านการกัดเซาะจะมีเส้นรอบรูปและเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง จึงต้องมีการปรับแก้ค่าก่อนที่จะนำไปคำนวณ ดังสมการที่ (1) (2) และ (3)

$$\frac{Perimeter_{erode}}{2\pi} = R_{erode} \quad (1)$$

$$R_{adjust} = R_{erode} + pixel \times \frac{mm}{pixel} \quad (2)$$

$$Perimeter_{adjust} = 2\pi R_{adjust} \quad (3)$$

เมื่อ

$Perimeter_{dilate}$ = เส้นรอบรูปของมวลรวม ที่ผ่านการกัดเซาะ (*Erode*)

R_{erode} = รัศมีของมวลรวมที่ผ่านการกัดเซาะ (*Erode*)

R_{adjust} = รัศมีของมวลรวมที่ผ่านการปรับแก้

$pixel$ = ขนาดของ $pixel$ ที่ถูกกัดเซาะ (*Erode*)

$\frac{mm}{pixel}$ = สัดส่วนความยาวของภาพจริงเป็น mm หารด้วยความยาวของภาพที่เป็น $pixel$

$Perimeter_{adjust}$ = เส้นรอบรูปของมวลรวมที่ผ่านการปรับแก้

3.4.2.1.2 การปรับแก้โดยใช้เส้นรอบรูป

สำหรับการปรับแก้พื้นที่ด้วยเส้นรอบรูป ผู้วิจัยได้ใช้แนวทางในการปรับแก้สองแนวทาง แนวทางแรกคือใช้พื้นที่ของ $particle$ ที่ถูก *Erode* รวมกับผลคูณของเส้นรอบรูปที่ผ่านการปรับแก้กับจำนวน $pixel$ ที่ถูก *erode* ออกไป ดังสมการที่ (4)

$$area_{adjust} = area_{erode} + perimeter_{adjust} \times pixel \times \frac{mm}{pixel} \quad (4)$$

$area_{adjust}$ = พื้นที่ของมวลรวมซึ่งถูกปรับแก้ (mm^2)

$area_{erode}$ = พื้นที่ของมวลรวมซึ่งถูกกัดเซาะ (mm^2)

$Perimeter_{adjust}$ = ความยาวเส้นรอบรูปที่ผ่านการปรับแก้ (mm)

3.4.1.1.3 การปรับแก้โดยใช้วงแหวน

สำหรับการปรับแก้โดยใช้วงแหวนนั้น ผู้วิจัยได้สร้างวงแหวนโดยใช้ผลต่างของพื้นที่วงกลมที่ได้จากรัศมีที่ถูกปรับแก้กับวงกลมที่ได้จากรัศมีที่ถูกกัดเซาะ ดังสมการที่ (5) และ (6)

$$area_{adjust} = area_{erode} + Ring \quad (5)$$

$$Ring = \pi(R_{adjust}^2 - R_{erode}^2) \quad (6)$$

เมื่อ

$area_{adjust}$ = พื้นที่ของมวลรวมที่ผ่านการปรับแก้ (mm^2)

$area_{erode}$ = พื้นที่ของมวลรวมที่ถูกกัดเซาะ ($Erode$) mm^2

$Ring$ = พื้นที่วงแหวน (mm^2)

R_{erode} = รัศมีของมวลรวมที่ผ่านการกัดเซาะ ($Erode$) (mm)

R_{adjust} = รัศมีของมวลรวมที่ผ่านการปรับแก้ (mm)

3.5 การเตรียมก้อนตัวอย่าง (Sample Preparation)

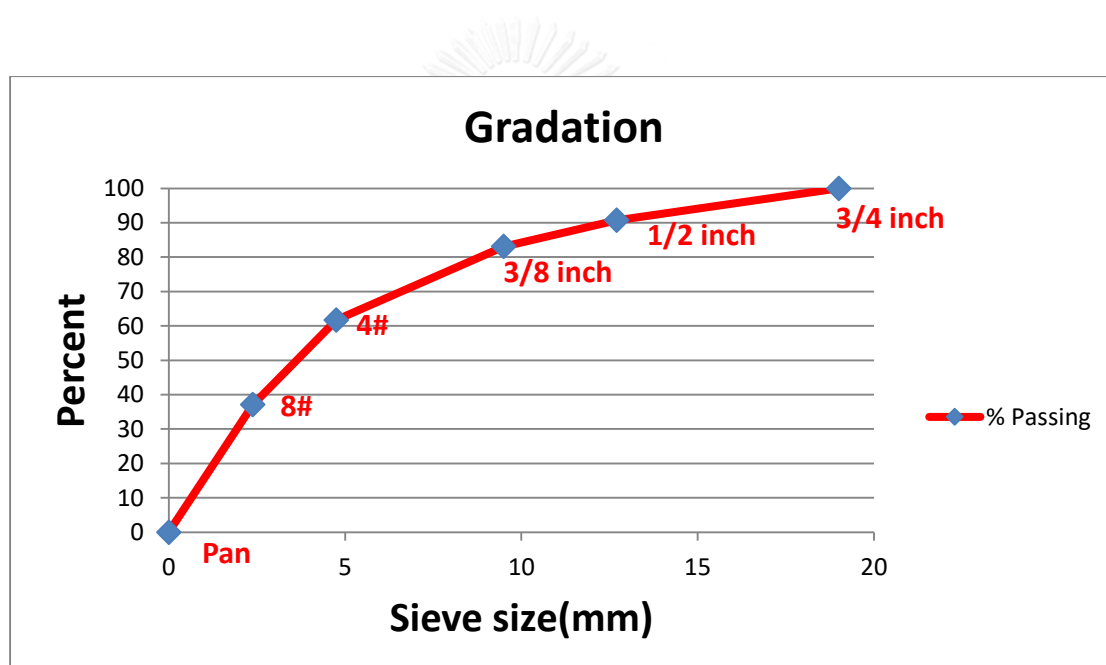
การเตรียมก้อนตัวอย่างนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ การเตรียมวัสดุที่ใช้ทดสอบ และการเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณ

3.5.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ทดสอบ (Material Preparation)

สำหรับการเตรียมตัวอย่างนั้น ผู้วิจัยได้นำมวลรวมผสมมาร์อนตะแกรงออกเป็น 4 ขนาดได้แก่ 1/2in 3/8in 4# และ 8# จากนั้นนำมวลรวมแต่ละขนาดที่ค้างบนตะแกรงไปล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำมวลรวมในแต่ละตะแกรงไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชม. และนำมวลรวมเหล่านั้นไปผสมกับยาง 5.5% และนำมวลรวมที่ผสมกับยางไปบดอัดด้วยวิธี Gyrotory ในห้องแลป เพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่างออกมา พร้อมทั้งบันทึกค่า Gmb และ Gsb จากนั้นนำก้อนตัวอย่างที่ได้มาตัดออกเป็นส่วนๆ ส่วนละ 2 cm โดยตัดทั้งหมดสี่รอยตัด และนำหน้าตัดเหล่านั้นมาสแกนด้วยความละเอียด 1200dpi ทำให้ได้ภาพหน้าตัดทั้งหมด 8 หน้าตัด

ตารางที่ 13 น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์การค้างบนตะแกรง และเปอร์เซ็นต์การลอดผ่านตะแกรงของมวลรวม
ในตะแกรงแต่ละขนาด

Sieve size	Weight (gram)	Retain%	% Passing
3/4inch (19 mm)	0	0	100
1/2inch (12.7mm)	170.3	9.2821715	90.717829
3/8inch (9.5mm)	139.9	7.6252248	83.092604
4# (4.75mm)	392.5	21.393143	61.69946
8# (2.38mm)	451.3	24.598027	37.101433
PAN Dust(less than 2.38mm)	680.7	37.101433	0



รูปที่ 78 ขนาดคละของก้อนตัวอย่าง

3.5.1.1 การบดบัตด้วยเครื่องบดอัดแบบหมุน (Compact by gyratory)

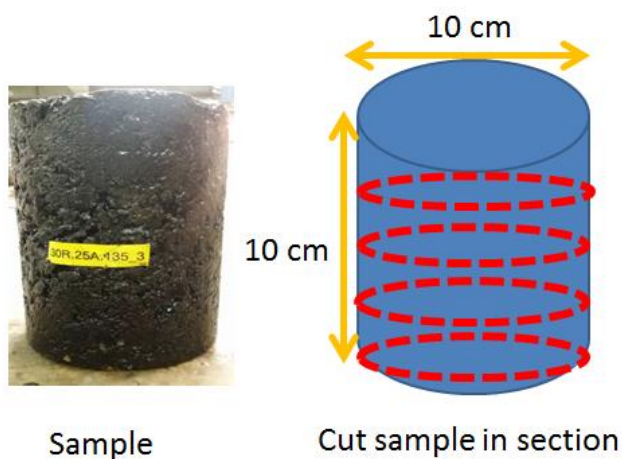
การบดอัดแบบ Gyratory เป็นหนึ่งในวิธีที่ดีที่สุดของการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ในระหว่างการบดอัด ความสูงของก้อนตัวอย่างจะถูกวัดเป็นระยะ ความหนาแน่นและช่องว่างอากาศก็จะถูกคำนวณไปพร้อมๆกับการวัดความสูง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการบดอัดด้วยวิธี Gyratory คือ ความดัน มุมในการหมุน และจำนวนรอบของการหมุน เครื่องบดอัดแบบหมุนสามารถบดอัดหน้าตัดได้สองแบบ คือ แบบเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม.(6 นิ้ว) และ 100 มม.(4 นิ้ว) ข้อมูลการบดอัดจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์และผู้บดอัดสามารถเห็นค่าต่างๆที่คำนวณได้ในระหว่างการบดอัด และสามารถบันทึกผลในรูปแบบของไฟล์ Excel ได้อีกด้วย



รูปที่ 79 เครื่องบดอัดแบบหมุน(Gyratory Compactor) ในห้องปฏิบัติการผิวทาง

3.5.1.2 การตัดแบ่งก้อนตัวอย่างและการเตรียมภาพหน้าตัด (Sample division and Image preparation)

ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งก้อนตัวอย่างออกเป็นห้าส่วน โดยมีการตัดเกิดขึ้นทั้งสี่รอยตัด และนำรอยตัดทุกรอยไปสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ความละเอียด 1200dpi ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่องสแกนนี้เป็นภาพระดับสีเทา(Gray scale) และมีนามสกุล .tiff ในระหว่างการตัดจะต้องมีน้ำหล่อเย็นเข้าไปด้วยเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการตัด เพราะความร้อนทำให้เกิดการงอของหน้าตัดและทำให้ยางมะตอยละลายได้



รูปที่ 80 การตัดก้อนตัวอย่างออกเป็นห้าส่วน ส่วนละ 2 ซม.

3.5.2 การเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณ

สำหรับการเตรียมข้อมูลนั้นต้องมีการเตรียมข้อมูล 2 ส่วน คือ Gmb (Bulk specific gravity of mixture) และ Gsb (Bulk Specific Gravity of Stone) โดย Gmb หมายถึงความถ่วงจำเพาะของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตของก้อนตัวอย่างทั้งก้อน ส่วน Gsb หมายถึง ความถ่วงจำเพาะของเม็ดหิน

มวลรวม ซึ่งจะนำไปใช้คำนวณปรับแก้เปอร์เซ็นต์การค้ำบนตะแกรงเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับ การประมวลผลภาพ

3.5.2.1 การคำนวณปรับแก้ค่าความถ่วงจำเพาะ (Adjust Gsb)

เนื่องจากการร่อนตะแกรง ผู้วิจัยได้ร่อนถึงเพียงแค่มวลรวมเบอร์ 8 ทำให้ไม่มีข้อมูลค่า Gsb ของมวลรวมต่ำกว่าเบอร์ 8 ผู้วิจัยจึงต้องมีการเฉลี่ยค่า Gsb ตั้งแต่ต่ำกว่าเบอร์ 8 ลงไปโดยใช้ข้อมูลของ ก้อนตัวอย่างสูตรเดียวกันที่มีการร่อนตะแกรงต่ำกว่าเบอร์ 8 คำนวณค่า Gsb ซึ่งใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ ค้ำในตะแกรงแต่ละเบอร์ และค่า Gsb ของตะแกรงในแต่ละเบอร์ คำนวณหา Gsb เฉลี่ยตั้งแต่มวล รวมขนาดเล็กกว่าเบอร์ 8 จนถึงเบอร์ 8 ได้

$$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (9)$$

G = ค่าเฉลี่ยของ Gsb

G₁, G₂, G₃, ... G_n = ค่า Gsb ของหินที่มีขนาดตะแกรงชั้นที่ 1, 2, 3, ... n

P₁, P₂, ... P_n = เปอร์เซนต์การค้ำหินที่มีขนาดตะแกรงชั้นที่ 1, 2, 3, ... n

3.4.2.3 การปรับแก้เปอร์เซ็นต์การค้ำบนตะแกรงโดยปริมาตร

เนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ของการประมวลผลภาพและอัตราส่วนน้ำหนักของมวลรวม เป็นค่าสัดส่วนที่ แตกต่างกัน จึงต้องทำการปรับแก้ก่อนการเปรียบเทียบ การปรับแก้ถูกคำนวณด้วยจำนวนเนื้ออย่างมะ ตอย ค่า Gsb และ Gmb สูตรที่ใช้ในการคำนวณปรับแก้มีดังนี้

$$\% \text{Retain by volume}_i = \frac{V_{si}}{V_{mT}} = \frac{1 - P_b}{G_{sbi}} \times G_{mb} \times \% \text{Retain by weight}_i \quad (10)$$

V _{si}	=	ปริมาตรของหินแต่ละขนาด
V _{mT}	=	ปริมาตรรวมของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
P _b	=	ปริมาณยางมะตอยโดยน้ำหนักรวม
%Retain by volume _i	=	เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงโดยปริมาตรที่ผ่านการปรับแก้แล้ว
%Retain by weight _i	=	เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงโดยน้ำหนักที่ได้จากห้องปฏิบัติการ
G _{mb}	=	Bulk specific gravity ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต
G _{sbi}	=	Bulk specific gravity ของมวลรวมแต่ละขนาด i

3.4.2.2 สูตรทางสถิติที่ใช้ในการคำนวณ

เนื่องจากผู้วิจัยไม่ทราบความแปรปรวนของประชากรของมวลรวม จึงเลือกใช้ค่า T-Score ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{sd/\sqrt{n}} \quad (11)$$

t = ค่า T-score

\bar{X} = ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ค้ำบนตะแกรงที่ได้ในแต่ละหน้าตัด

μ_0 = ค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงโดยน้ำหนักที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

sd = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของก้อนตัวอย่าง

n = จำนวนข้อมูลที่ใช้เฉลี่ย

3.5.2.3 การคำนวณสัดส่วนด้านมิติ

สำหรับสัดส่วนด้านมิติของมวลรวม ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ความกว้าง(W) ความยาว(L) และความสูง(H) ค่าความยาวหมายถึงสัดส่วนความยาวต่อความกว้าง(L/W) ค่าความแบนหมายถึงสัดส่วนความสูงต่อความกว้าง(H/W) นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการเปรียบเทียบสัดส่วนความกว้างต่อความยาว(W/L) เพื่อเปรียบเทียบเพิ่มเติมอีกด้วย

3.6 ขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบค่าจากการประมวลผลภาพและค่าจากห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนการทำงานโดยต่อมีดังนี้

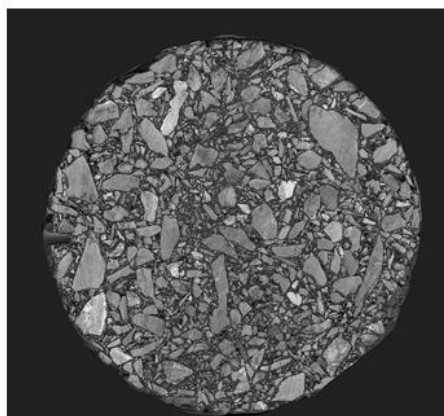
- 1) นำมวลรวมมาร่อนตะแกรง โดยให้ตะแกรงชั้นบนสุดเป็น 3/4 นิ้ว 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว 4# 8# และถาดรอง ตามลำดับ
- 2) บันทึกเปอร์เซ็นต์การค้ำบนตะแกรง และคำนวณขนาดคละ
- 3) นำมวลรวมทั้งหมดบดอัดด้วยวิธี Gyrotory
- 4) นำก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดด้วยวิธี Gyrotory มาตัดเป็น 5 ส่วน
- 5) นำส่วนที่ได้จากการตัด 5 ส่วน สแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ความละเอียด 1200 dpi ทำให้ได้ภาพหน้าตัดทั้งหมด 8 ภาพ
- 6) นำภาพสองมิติเพื่อนำไปวิเคราะห์หา Gradation, Elongation index
- 7) เปรียบเทียบผลกับค่าที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ



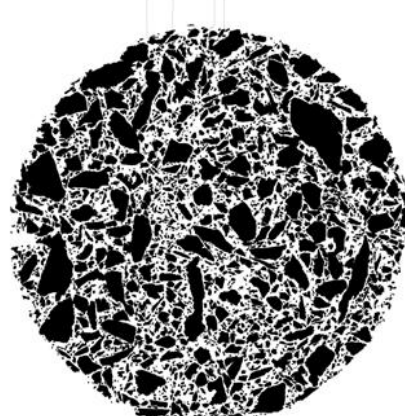
รูปที่ 81 การนำมวลรวมอบแห้งก่อนทำการบดอัด



รูปที่ 82 ก่อนตัวอย่างหลังการบดอัด



Input



Output

รูปที่ 83 ตัวอย่างการวิเคราะห์ภาพหน้าตัด

3.7 เครื่องมือที่ใช้วิจัย

1)แบบบันทึก พื้นที่ของหิน เส้นรอบวงของหิน ความยาวแกนเอก ความยาวแกนโท มุม

ตารางที่ 14 แบบบันทึก พื้นที่ของหิน เส้นรอบวงของหิน ความยาวแกนเอก ความยาวแกนโท มุม

หินก้อน ที่	พื้นที่(ตารางมม.)	เส้นรอบวง(มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความยาว(มม.)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

2)แบบบันทึกเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆของวัสดุมวลรวม เปรียบเทียบระหว่างวิธีปกติ และวิธี
ประมวลผลภาพถ่าย

ตารางที่ 15 แบบบันทึกเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆของวัสดุมวลรวมด้วยวิธีประมวลผล
ภาพถ่าย

ตะแกรง	พื้นที่ผ่าน	พื้นที่ค้ำ	พื้นที่ค้ำ สะสม	พื้นที่ผ่านสะสม	เปอร์เซ็นต์ที่ ผ่าน	เปอร์เซ็นต์ที่ผ่าน สะสม
1						
2						
3						
4						
5						

3)แบบบันทึกดัชนีความยวระหว่างวิธีปกติกับวิธีประมวลผลภาพถ่าย

ตารางที่ 16 แบบบันทึกดัชนีความยวระหว่างวิธีปกติกับวิธีประมวลผลภาพถ่าย

ตะแกรง	พื้นที่ผ่าน	พื้นที่ค้ำ	พื้นที่ค้ำ สะสม	พื้นที่ผ่านช่อง วัดความยาว
1				
2				
3				

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำขนาดคละและดัชนีความยาวที่ได้จากการประมวลผลของแต่ละหน้าตัดมาเฉลี่ยกัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำค่าเฉลี่ยของขนาดคละกับดัชนีความยาวไปหาความแตกต่างกับค่าจริงที่คำนวณด้วยวิธีปกติ และนำมาสรุปผล

ซอฟต์แวร์ที่ใช้

ImageJ , EXCEL, Matlab

3.8.1 ค่าทางสถิติที่ใช้

-ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน T-score F-score

โดยสำหรับค่าเฉลี่ยผู้วิจัยจะนำขนาดคละและดัชนีความยาวที่คำนวณได้มาเฉลี่ยกัน เพื่อใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดสำหรับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สำหรับการคำนวณ F-Score และ T-score

สำหรับค่า F-score และ T-score นั้น ใช้เพื่อวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ถ้าหากค่า F_0 และ T_0 มีค่ามากกว่าค่า F วิฤติ และ T วิฤติ ก็จะปฏิเสธสมมติฐานว่าง แต่ ถ้าหากค่า F_0 และ T_0 มีค่าน้อยกว่าค่า F วิฤติ และ T วิฤติ ก็จะยอมรับสมมติฐานว่าง โดยใช้วิธี T-test : Two sample assume equal variances สำหรับการเปรียบเทียบสองชุดข้อมูล และใช้วิธี Anova: Single Factor สำหรับการเปรียบเทียบมากกว่าสองชุดข้อมูลขึ้นไป

- ถ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ==> ดี
- ถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ==> ไม่ดี

3.8.2 การทดสอบทางสถิติ

ผู้วิจัยเลือกเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรกับขนาดคละและดัชนีความยาว

โดยใช้การทดสอบสมมติฐานด้วย t-test และ f-test

- 1)ระหว่างพื้นที่ซึ่งแตกต่างกัน โดยการใช้ค่า F-Score ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ T-Score ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
- 2)ระหว่างสัดส่วนความยาวต่อความกว้างที่แตกต่างกัน โดยการใช้ค่า F-Score ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ T-Score ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
- 3)ระหว่างจำนวนหน้าตัดซึ่งแตกต่างโดยการใช้ค่า F-Score ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และ T-Score ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.8.2.1 การทดสอบสมมติฐานการวิจัย ด้วยสถิติ t-test

ผู้วิจัยเปรียบเทียบความแตกต่างของประชากร หรือกลุ่มตัวอย่าง โดยในตอนแรกจะเสนอเนื้อหาการทดสอบสมมติฐานการวิจัย ด้วยสถิติ t-test ซึ่งมี 2 แบบ คือ t-test แบบ Independent และ t-test แบบ Dependent ซึ่งมีวิธีการเลือกใช้และข้อตกลงเบื้องต้นในการใช้แตกต่างกัน ส่วนเนื้อหาตอนหลังมีสรุปเกี่ยวกับสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างที่ใช้กันบางตัว เช่น F-test ANOVA เป็นต้น มีสาระสำคัญ ดังนี้ค่ะ

การทดสอบที (t-test) เป็นเทคนิคการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้การทดสอบ โดยวิธีการนี้ใช้ในกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย ($n < 30$) ผู้ที่ค้นพบการแจกแจงของ t มีชื่อว่า W.S.Gosset เขียนผลงานชิ้นนี้ออกเผยแพร่โดยใช้นามปากกาว่า “student” ให้ความรู้ใหม่ว่า ถ้าข้อมูลมีจำนวนน้อย การแจกแจงจะไม่เป็นโค้งปกติตามทฤษฎี ต่อมาการแจกแจงใหม่นี้มีชื่อว่า Student t-distribution และเรียกกันเวลาใช้ทดสอบโดยคุณสมบัติการแจกแจงนี้ว่า t-test (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ, 2540) สถิติทดสอบ t ใช้ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้ได้กับกรณีที่มีประชากรหนึ่งกลุ่มและสองกลุ่ม (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2551 หน้า 185)

1) การใช้ t-test แบบ Independent

เป็นสถิติที่ใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน

ข้อมูลที่รวบรวมได้อยู่ในระดับ อัตรภาคหรืออัตราส่วน ใช้สถิติการทดสอบค่า t มีชื่อเฉพาะว่า t-test for Independent Samples สถิตินี้ใช้มากทั้งในการวิจัยเชิงเปรียบเทียบและการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งมี 2 กรณี (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2549, หน้า 86)

ข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบ กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (Two Independent Samples)

t-test (Independent)

กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มไม่สัมพันธ์กัน(เป็นอิสระต่อกัน)

ค่าของตัวแปรตามในแต่ละหน่วยเป็นอิสระต่อกัน

กลุ่มตัวอย่างได้มาอย่างสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ

ไม่ทราบความแปรปรวนของแต่ละประชากร

(ศิริชัย กาญจนวาสี,ทวีวัฒน์ ปิตยานนท์ และดิเรก ศรีสุโข(2551, หน้า 58)

2) การใช้ t- test แบบ dependent

เป็นสถิติที่ใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย() ระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่ไม่เป็นอิสระจากกัน และกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเดียว ได้แก่ สถิติการทดสอบค่า t มีชื่อเฉพาะว่า t-test for dependent Samples ซึ่งมักพบในการวิจัยเชิงทดลองที่ต้องการเปรียบเทียบผลระหว่างก่อนทดลองกับหลังทดลองหรือเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ได้จากการจับคู่(คู่อิทธิสัมพันธ์, วงศ์รัตน์, 2549, หน้า 87) ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2540) กล่าวว่า ข้อมูลที่เรียกว่า คู่(pair observation) นั้นมีหลายประเภท แต่คุณสมบัติสำคัญจะต้องเกี่ยวข้องกัน (Dependent Sample) มีข้อมูลอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆ ประเภทแรก คือ ข้อมูลที่สอบหรือวัดจากคนเดียวกัน 2 ครั้ง ข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบ t-test (Mean One Sample Test) กรณีมีกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม(One Sample) ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาค(Interval Scale) หรือมาตราอัตราส่วน(Ratio Scale) กลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่มได้จากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ ค่าของตัวแปรตามแต่ละหน่วยเป็นอิสระต่อกัน ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร

(ศิริชัย กาญจนวาสี,ทวีวัฒน์ ปิตยานนท์ และดิเรก ศรีสุข(2551)

ประเภทที่สอง เป็นประเภทคุณลักษณะของตัวอย่างที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดเลือกมาเป็นคู่ๆ(math-pairs) เช่น เด็กฝาแฝด สามภรรยา เซาร์ปัญญาเท่ากัน รสนิยมเดียวกัน เป็นต้น ตอนเลือกมาจะเป็นคู่ๆ แต่ตอนทำการทดลอง หรือศึกษาจะต้องสุ่มอีกครั้ง การทดสอบความแตกต่างจะใช้ t- dependent ข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน(Two Related-Samples)

t-test (Dependent or Matched Pair Sample)

ข้อมูล 2 ชุดได้มาจากกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน หรือมาจากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม สัมพันธ์กัน

ค่าของตัวแปรตามแต่ละหน่วยเป็นอิสระต่อกัน

กลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ

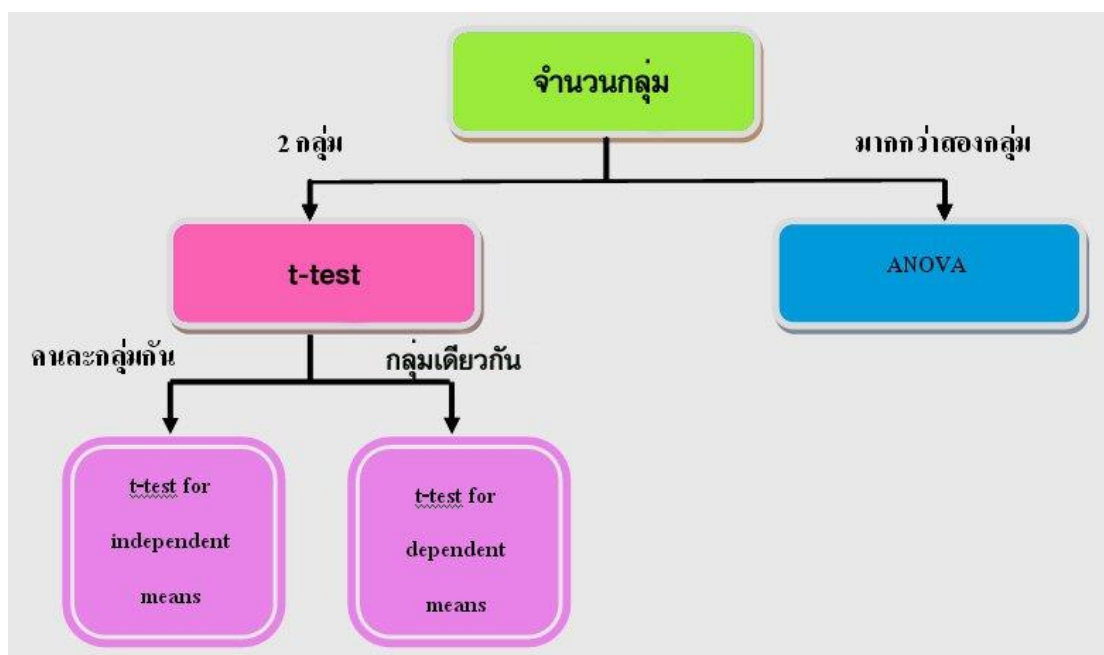
ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร

(ศิริชัย กาญจนวาสี,ทวีวัฒน์ ปิตยานนท์ และดิเรก ศรีสุข(2551)

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์(2549) สรุปไว้ว่า สถิติที่ใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกลุ่มเดียว มี 2 ตัว คือ Z-test กับ t-test

Z-test ใช้ในกรณีที่ ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร(μ) ถ้าไม่ทราบจะใช้ t-test แต่มีตำราหรือนักสถิติหลายท่าน เสนอว่า หากไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากรถ้ามีตัวอย่างขนาดเล็ก น้อยกว่า 30 ให้ใช้ t-test แต่ถ้ามีขนาดใหญ่ คือ มากกว่า 30 จะใช้ Z-test ก็ได้เป็นการใช้เพื่ออนุโลมกัน มิใช่จะใช้แทนกันได้เลย เพราะว่า ค่าวิกฤติของ t-test ขึ้นอยู่กับชั้นความเป็นอิสระ ส่วนของ Z-test ไม่ขึ้นอยู่กับชั้นความเป็นอิสระ จากตารางการแจกแจงแบบ t จะเห็นว่า เมื่อชั้นของความ เป็นอิสระเพิ่มขึ้น ค่า t จะใกล้เคียงกับค่า Z และเกือบจะเท่ากัน เมื่อชั้นของความ เป็นอิสระเท่ากับ 120 เป็นต้นไป ฉะนั้น ถ้าไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร จะใช้ Z-test แทน t-test

สิทธิ์ อีรสรณ์(2552) สรุปไว้ว่า ในกรณีที่ เป็นสถิติอิงพารามิเตอร์ ถ้าเป็นการเปรียบเทียบคนสองกลุ่ม ก็ใช้ t-test ซึ่งแบ่งเป็น t-test for Independent Means สำหรับการเปรียบเทียบสองกลุ่ม ส่วนถ้าเป็นการเปรียบเทียบคนกลุ่มเดียวกัน ก็ใช้ t-test for Dependent Means ส่วนถ้าเป็นการเปรียบเทียบคนมากกว่าสองกลุ่ม ก็ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน(Analysis of Variance หรือ ANOVA)



รูปที่ 84 สถิติอิงพารามิเตอร์เพื่อศึกษาความแตกต่าง

การวิเคราะห์ความแตกต่าง(Analysis Of differences) กรณีประชากรสองกลุ่ม

นงลักษณ์ วิรัชชัย(2552, หน้า 5) สรุปไว้ว่า สถิติอนุมานเบื้องต้นใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม โดยอาจเปรียบเทียบได้ทั้งค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน สัดส่วน สหสัมพันธ์ สถิติที่ใช้แตกต่างกันตามลักษณะข้อมูล เช่น การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม เมื่อมีกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ รู้ความแปรปรวนของประชากรใช้ Z-test เมื่อมีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กใช้ t-test ซึ่งมีสูตรการคำนวณแยกตามลักษณะความแปรปรวนของกลุ่มประชากรว่ามีขนาดเท่ากัน หรือไม่เท่ากัน และลักษณะของกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระหรือไม่เป็นอิสระต่อกัน การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความแปรปรวนสองกลุ่มใช้ F-test การวิเคราะห์ความแตกต่างของสัดส่วนระหว่างกลุ่มใช้ Z-test และการวิเคราะห์ความแตกต่างของสหสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มใช้ Z-test หรือ X^2

ตารางที่ 17 สถิติที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตามจำนวนกลุ่มและระดับการวัดมาตรา
อัตราส่วน(ค่าเฉลี่ย, S^2)

จำนวนกลุ่ม	สถิติที่ใช้ทดสอบ
กลุ่มเดียว	
- ขนาด น้อยกว่า 30	t-test
- ขนาด มากกว่า 30	Z-test
สองกลุ่ม	
-2 กลุ่มไม่เป็นอิสระกัน ขนาดกลุ่มน้อยกว่า 30	Paired t-test t-test แบบ Dependent
-2 กลุ่มเป็นอิสระกัน ขนาดกลุ่มน้อยกว่า 30	t-test แบบ Independent
-2 กลุ่ม เป็นอิสระกัน ขนาดกลุ่มตัวอย่าง มากกว่า 30	Z-test
มากกว่า 2 กลุ่ม	
-มากกว่า 2 กลุ่มอิสระกัน	One Way ANOVA
-มากกว่าสองกลุ่มสัมพันธ์กัน	One Way ANOVA Repeated measure(แบบการวัดซ้ำ)

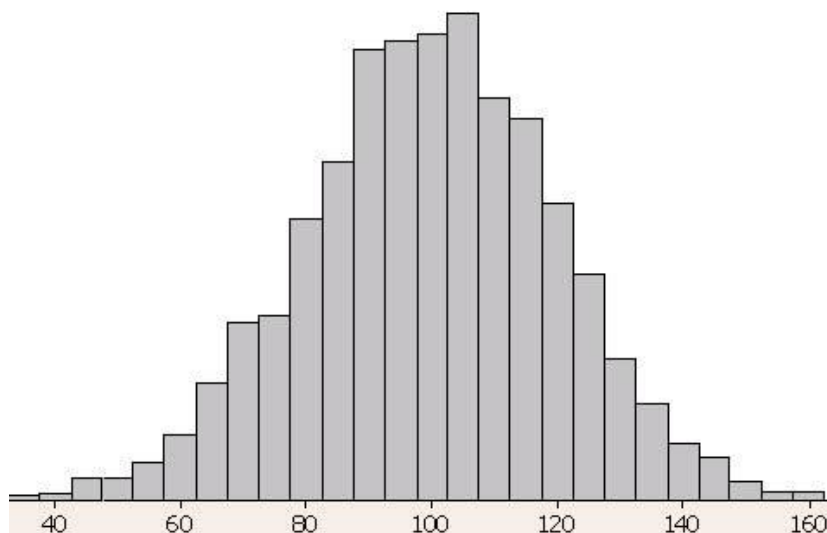
3.8.2.2 การทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนของสองประชากร (F- test)

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการกระจายของข้อมูล (F-Test)

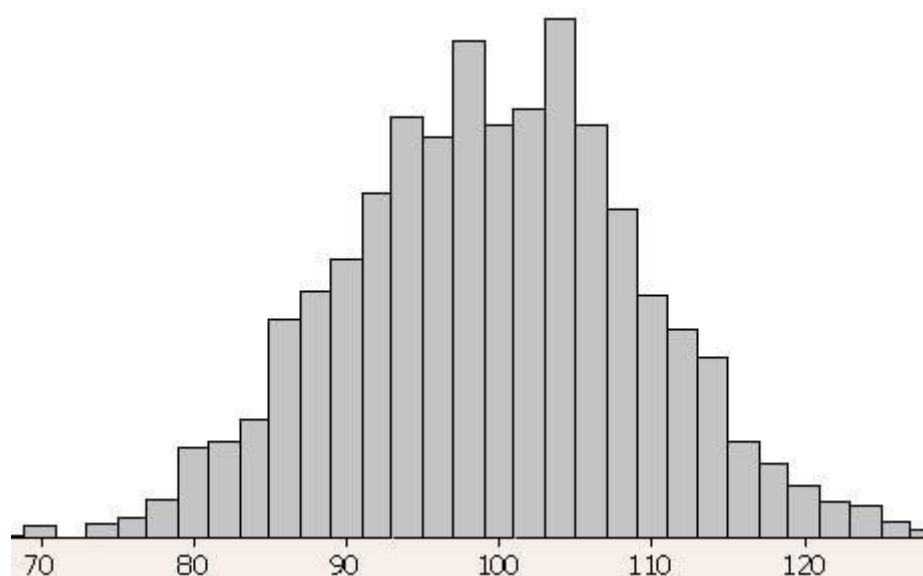
ทำไมถึงต้องมีการทดสอบว่าข้อมูลสองกลุ่มนั้นมี การกระจายของค่า (Variance) ต่างกันหรือไม่ ก็ ด้วยเพราะเงื่อนไขของเครื่องมือทางสถิติหลายอย่างกำหนดเอาไว้ ว่าข้อมูลจะต้องมี การกระจาย เท่ากัน หรือไม่แตกต่างกันถึงจะใช้เครื่องมือสถิตินั้นได้ เช่น 2 Sample T-Test ที่ต้องคำนวณ ต่างกัน กรณีค่า Variance ต่างและไม่ต่างกัน หรือ ANOVA ที่กำหนดว่าข้อมูลทุกกลุ่มจะต้องมี (Variance) ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญเท่านั้น

ความแตกต่างของการกระจายค่าตัวอย่างสำคัญอย่างไร

จากรูปที่ 1 และ 2 ก็เป็น กราฟแสดงการกระจายของข้อมูลสองกลุ่มโดยใช้กราฟฮิสโตแกรมในการ แสดง หากเราเปรียบเทียบกราฟการกระจายระหว่างรูปที่ 85 และ 86 โดยไม่ได้สนใจสเกลของแกน นอน เราก็จะสรุปได้ว่าข้อมูลสองกลุ่มนี้มีการกระจายไม่แตกต่างกัน ถ้าเราดูสเกลด้านแกนนอน จะ พบว่าแตกต่างกัน นั่นคือค่าการกระจายของข้อมูลตามกราฟรูปที่ 86 จะน้อยกว่าค่าการกระจายของ ข้อมูลตามกราฟรูปที่ 85

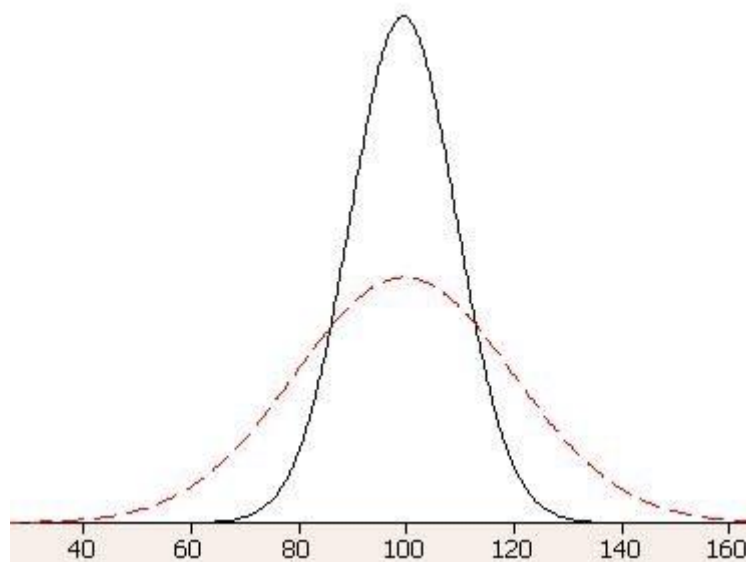


รูปที่ 85 Histogram plot ของข้อมูลที่ 1



รูปที่ 86 Histogram plot ของข้อมูลที่ 2

ถ้าเราทดสอบข้อมูลทั้งสองกลุ่ม ด้วยเครื่องมือทางสถิติจะประเภทที่ทดสอบหาความแตกต่างของค่ากลาง เช่น 2 Sample T-Test จะได้ผลสรุปทางสถิติว่าไม่แตกต่างกัน นั้นเพราะ 2 Sample T-Test จะมองแค่ค่ากลางของข้อมูลเท่านั้นว่าต่างกันหรือไม่



รูปที่ 87 เปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลสองกลุ่ม ที่ค่ากลางเท่ากัน

จากรูปที่ 87 กรณีนี้ข้อมูลของสองประชากรมีค่ากลางอยู่ที่เดียวกัน แสดงกราฟบนแกนนอน (X) เดียวกันเรา ก็เริ่มเห็นความแตกต่าง ถ้าพิจารณาให้ดีจะพบว่า การกระจายของข้อมูลกลุ่มเส้นทึบ มีค่าการกระจายน้อยกว่ากลุ่มเส้นประ นั่นก็เป็นความแตกต่างที่เราเห็นและจำเป็นต้องพิจารณา

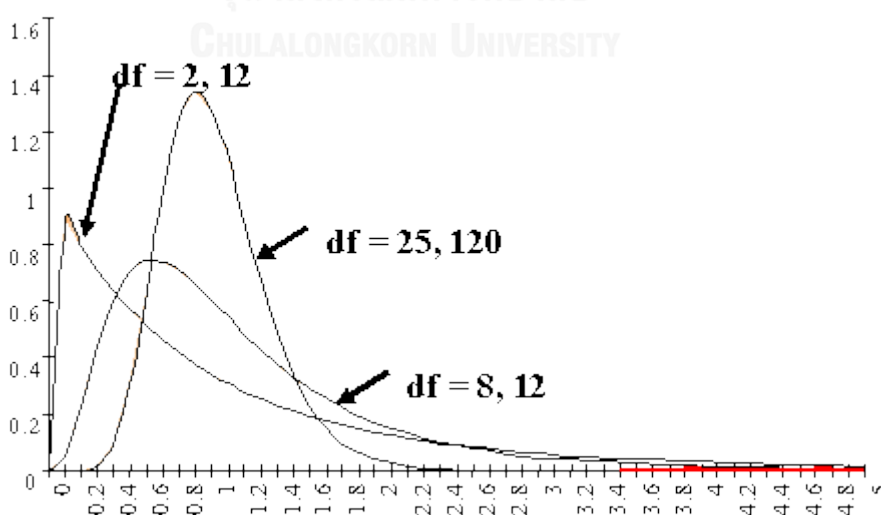
แต่กราฟตามรูปที่ 87 ที่เห็นแตกต่างกันเช่นนี้ก็อาจจะเป็นเพราะ ปริมาณของตัวอย่างยังไม่มากพอ ในทางสถิติถือว่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เมื่อการตัดสินใจด้วยกราฟ ไม่อาจจะสรุปผลการเปรียบเทียบได้ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือทางสถิติ ที่ให้คำตอบออกมาเป็นตัวเลขเพื่อจะได้สรุปได้ว่า ต่างหรือไม่ต่างกัน(อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) ที่เรียกว่า F-Test

F-Distribution

Sir Ronald Aylmer Fisher ได้พบว่า ถ้า $(S_1)^2$ และ $(S_2)^2$ เป็นค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ที่มีจำนวนตัวอย่าง n_1 และตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ที่มีจำนวนตัวอย่าง n_2 ตามลำดับ และตัวอย่างทั้งหมดได้มาจากการสุ่มมาจากประชากร 2 ประชากรที่มีการกระจายแบบ Normal distribution และมี $(\sigma_1)^2$ และ $(\sigma_2)^2$ เป็นค่าความแปรปรวนของประชากรกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

$$F = \frac{S_1^2 / \sigma_1^2}{S_2^2 / \sigma_2^2} = \frac{\sigma_2^2 \times S_1^2}{\sigma_1^2 \times S_2^2}$$

ค่า F ที่ได้จะมีลักษณะการกระจายเช่นดังรูปที่ 88 โดยจะเบี่ยงออกทางขวามือ และมีค่ามากกว่า 0 เสมอ ลักษณะของกราฟจะเปลี่ยนแปลงระดับความเบ้ ตามขนาด Degree of freedom ซึ่งเท่ากับ n_1-1 และ n_2-1 และต่อมารูปแบบการกระจายนี้ได้ถูกเรียกว่า Fisher Distribution หรือ F-Distribution



รูปที่ 88 F-Distribution

ข้อกำหนด (Assumption) ของ F-Test

ก่อนจะมีการใช้ F-Test ผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องแน่ใจว่าข้อมูลที่มีอยู่ เป็นไปตามเงื่อนไข 2 อย่างต่อไปนี้

1. สิ่งตัวอย่างที่จะเทียบกันทั้งสองกลุ่ม ถูกสุ่มมาจากประชากรแม้อย่างถูกต้อง (Randomly)
2. ประชากรที่ทำการสุ่มตัวอย่างมานั้นจะต้องมีการกระจายแบบ Normal distribution

Test Statistics

ในการทดสอบจะใช้ สถิติทดสอบ F โดยที่มีสมการดังนี้

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{โดยที่} \quad S_1^2 > S_2^2 \quad \text{และ} \quad df_1 = n_1 - 1, \quad df_2 = n_2 - 1$$

ค่า F ดังกล่าวจะสอดคล้องตาม F-Distribution ดังนั้นเราจึงใช้ ค่าจาก F-Distribution ดังกล่าวมาเป็นเกณฑ์ทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ของ F-Statistics ใน F-Test

การประยุกต์ใช้ F-test

ในบรรดาเครื่องมือทางสถิติที่มีการพิสูจน์โมเดลทางคณิตศาสตร์ (Model fit) เช่น Analysis of Variance และ Linear Regression Analysis จึงต้องมี F-Test เป็นตัวทดสอบทางสถิติเพื่อหาว่า Error จาก Model มากกว่า ค่าจริงหรือไม่ ซึ่ง Error หรือ Sum square ก็ค่า Varaince นั้นเอง นี้เองคือเหตุที่เราจะพบ F-Statistics ในการวิเคราะห์ Analysis of Variance และ Linear Regression Analysis

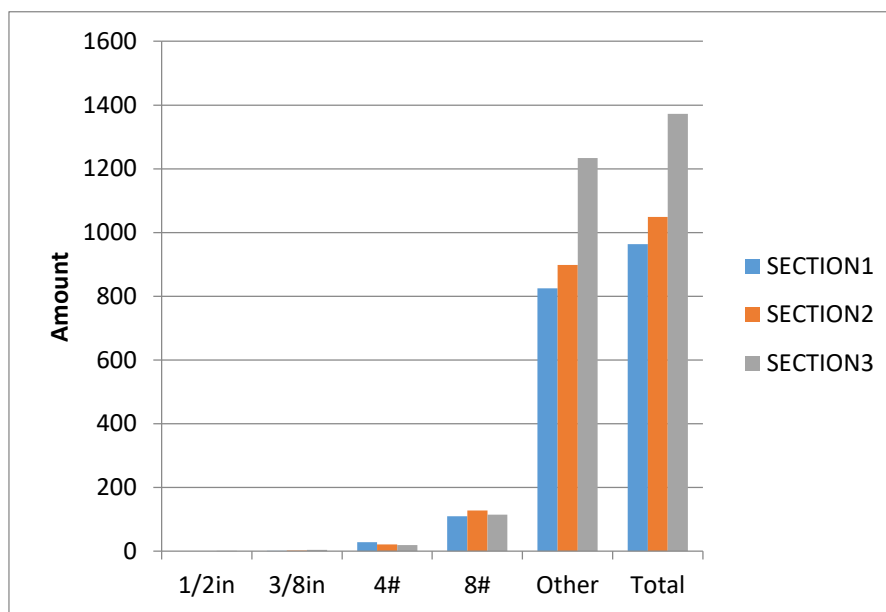
ข้อจำกัดของ F-Test

1. ใช้ได้กับ 2 ประชากรเท่านั้น ดังนั้นหากมีประชากรที่จะทดสอบมากกว่า 2 จะต้องใช้สถิติตัวอื่นในการทดสอบ
2. จะให้ผลการทดสอบผิดพลาดมาก หากข้อมูลไม่เป็น Normal distribution อย่างแท้จริง

สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้การทดสอบสองแบบ คือ Pair t test แบบ independent และ Annova สำหรับ Pair t test แบบ independent ใช้ทดสอบความแตกต่างทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การค้างที่ได้จากการประมวลผลภาพ(ตัวอย่างที่ 1) และเปอร์เซ็นต์การค้างจากห้องปฏิบัติการ (ตัวอย่างที่ 2) เพราะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยสิ่งที่แตกต่างกัน คือ การได้มาของข้อมูลเปอร์เซ็นต์การค้างบนตะแกรง จึงถือว่าเป็นสองกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน สำหรับ Annova ใช้ทดสอบความแตกต่างทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การค้างบนตะแกรงของก้อนตัวอย่างสามก้อน เพราะถือว่าเป็นข้อมูลมากกว่าสองกลุ่มที่มีความสัมพันธ์กัน

3.8.3 การแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล

แสดงผลในรูปแบบของกราฟ แผนภูมิแท่ง และตารางแสดงผล



รูปที่ 89 ตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง

ตารางที่ 18 ตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบของตาราง

Sieve size	MANUAL	7LAYER	ERODE (no adjust)	Perimeter adjust (Erode)	Ring adjust (Erode)
1/2in	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0
3/8in	1.9	5.1	2.1	2.1	2.0
4#	13.7	16.9	11.8	17.1	15.1
8#	18.6	13.4	16.8	20.6	18.3
Other	20.5	14.4	16.6	18.3	17.5

3.9 การเปรียบเทียบผล

สำหรับการเปรียบเทียบผลนั้น ผู้วิจัยต้องการทราบว่า ระหว่างวิธีการซ้อนภาพ 7 ชั้นกับวิธีการกัดกร่อนภาพวิธีใดให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จำนวนหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์มีผลต่อการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำบงตะแกรงหรือไม่ พื้นที่หน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์มีผลต่อการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำบงตะแกรงหรือไม่ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลดังนี้

3.9.1 การเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างวิธีซ้อนภาพ 7 ชั้น และวิธีกัดกร่อนภาพ

สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างวิธีซ้อนภาพ 7 ชั้น กับวิธีกัดกร่อนภาพ ซึ่งผู้วิจัยใช้ภาพนำเข้าหนึ่งภาพ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างภาพผลลัพธ์ที่โปรแกรมควรจะวิเคราะห์ได้จากภาพนำเข้าด้วยโปรแกรม Photoshop และทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำบงตะแกรงของภาพดังกล่าว ทำให้ได้ข้อมูลการวิเคราะห์ 1 ชุด เก็บไว้เป็นค่าจริง จากนั้นนำภาพนำเข้าภาพเดียวกันที่ยังไม่ผ่านโปรแกรม Photoshop มาวิเคราะห์ผ่านวิธีซ้อนภาพ 7 ชั้น ทำให้ได้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ 1 ชุด เก็บไว้เป็นค่าทดสอบของวิธีซ้อนภาพ 7 ชั้น และทำการวิเคราะห์ภาพดังกล่าวด้วยวิธีกัดกร่อนภาพ ทำให้ได้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ 1 ชุด เก็บไว้เป็นค่าทดสอบของวิธีกัดกร่อนภาพ จากนั้นนำข้อมูลทั้งสามชุด ที่กล่าวมาข้างต้น มาแสดงผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำบงตะแกรงในแต่ละขนาดในรูปแบบของแผนภูมิแท่ง

3.9.2 การวิเคราะห์จำนวนหน้าตัด

สำหรับการวิเคราะห์จำนวนหน้าตัด ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ใน 1 หน้าตัด เทียบกับการวิเคราะห์ใน 2 หน้าตัด โดยใน 1 ก้อนตัวอย่าง มีภาพหน้าตัดทั้งหมด 8 หน้าตัด ซึ่งผู้วิจัยใช้ค่าเฉลี่ยของก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน สำหรับการวิเคราะห์แบบ 1 หน้าตัด ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ก้อนละ 8 หน้าตัด รวมเป็นทั้งสิ้น 24 หน้าตัด โดยใช้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การค้ำบงตะแกรงของทั้ง 24 หน้าตัด เป็นตัวแทนของข้อมูล เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การค้ำบงตะแกรงของการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ และทำการวิเคราะห์มวลรวมขนาด $1/2$ นิ้ว $3/8$ นิ้ว เบอร์ 4 และเบอร์ 8

3.9.3 การวิเคราะห์พื้นที่

สำหรับการวิเคราะห์พื้นที่ ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบใน 3 ขนาด คือ ขนาดหน้าตัดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ขนาด 40x40 มม. และขนาด 60x60 มม. โดยในแต่ละขนาดผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ 8 หน้าตัด สำหรับในหนึ่งขนาดพื้นที่ ทำให้ได้ข้อมูลพื้นที่ละ 8 ชุด และนำค่าเฉลี่ยของแต่ละขนาดจากทั้งสามชุดนั้นมาเปรียบเทียบกันว่าค่าใดให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.10 สรุปการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้ ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ออกแบบการทดลอง ทดลองในระย่นำร่อง ทดสอบสอบระยะที่ 1-3 ปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการ ทดสอบ วิเคราะห์ผลการทดสอบ สรุปผลการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์

สำหรับการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 7 ประเด็น คือ

- 1)เปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีประมวผลสภาพ
- 2)เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของวิธี ประมวผลสภาพและการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ
- 3)วิเคราะห์พื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณ
- 4)วิเคราะห์จำนวนหน้าตัดที่ใช้ในการทดสอบ
- 5)วิเคราะห์ความแตกต่างในการประมวผลสภาพของ ก้อนตัวอย่างที่แตกต่างกันทั้งสามก้อน
- 6)วิเคราะห์จำนวนก้อน การกระจายตัวและความถี่ของ เปอร์เซ็นต์การค้ำบนตะแกรง
- 7)วิเคราะห์ดัชนีความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง และสัดส่วน ความกว้างต่อความยาว



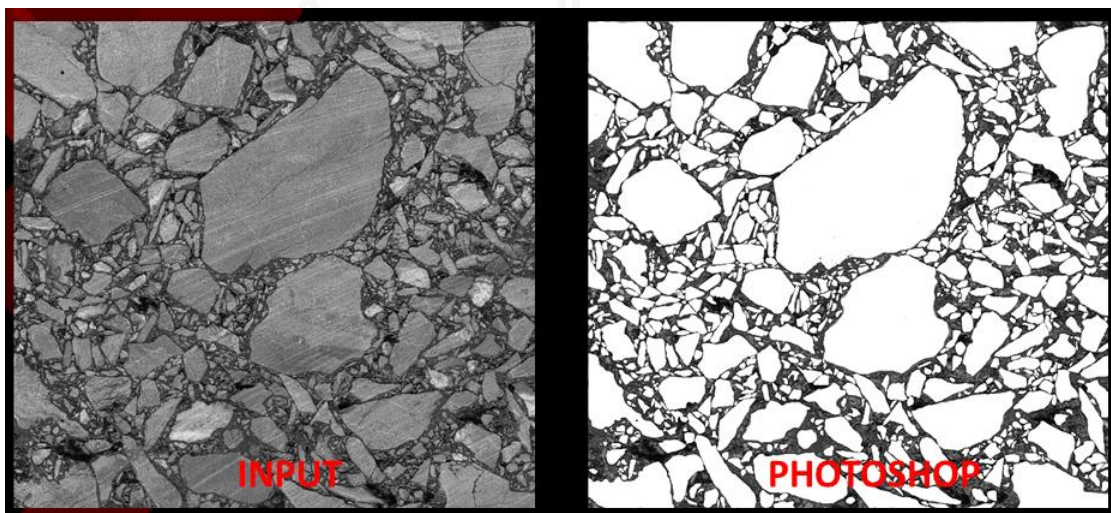
บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

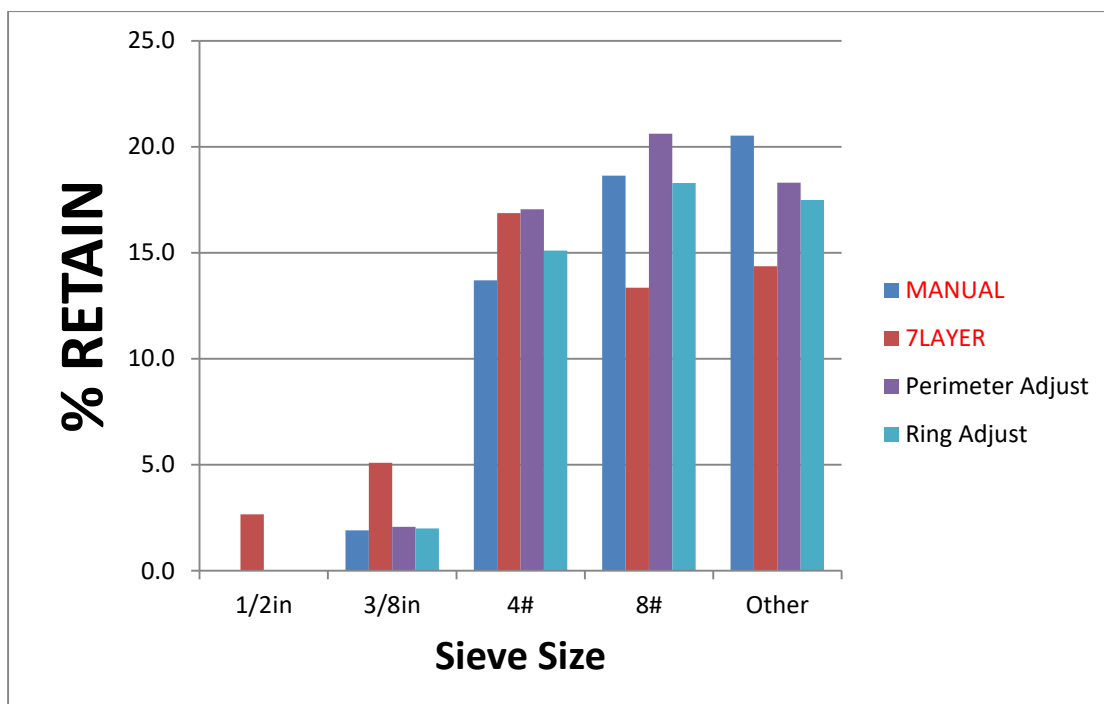
4.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีประมวลผลภาพ

สำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำของวิธีประมวลผลภาพ แบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก คือ ส่วนที่หนึ่ง เปรียบเทียบว่าระหว่างวิธีการซ้อนภาพ 7 ชั้น กับวิธีการกัดกร่อนภาพและแยกวิเคราะห์เป็นส่วนๆ วิธีใดให้ประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนที่สองเปรียบเทียบว่าระหว่างวิธีการคำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและวิธีการคำนวณปรับแก้ด้วยวงแหวนวิธีใดให้ความถูกต้องมากกว่ากัน และในส่วนที่สามเป็นการทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณได้จากการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป และเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณได้จากการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน

4.1.1 เปรียบเทียบระหว่างวิธีการซ้อนภาพ 7 ชั้น กับวิธีการกัดกร่อนภาพตามขนาดของวัตถุ ผู้วิจัยได้สร้างแบบต้นแบบขึ้นมาหนึ่งภาพดังรูปที่ 90 โดยผู้วิจัยมีแนวคิดที่ว่าตาของมนุษย์สามารถแยกภาพได้ดีที่สุดและมีความเที่ยงตรงมากกว่าคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ให้ผลดังนี้ จากรูปที่ 91 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพต้นแบบที่ได้จากการทำ Photoshop การซ้อนภาพเจ็ดชั้น การกัดกร่อนและปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป การกัดกร่อนและปรับแก้ด้วยวงแหวน ผลปรากฏว่าจากลักษณะของกราฟ การกัดกร่อนแล้วปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและการกัดกร่อนแล้วปรับแก้ด้วยวงแหวน ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำผลใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากกว่าการซ้อนภาพ 7 ชั้น ซึ่งหมายความว่าวิธีการกัดกร่อนภาพให้ผลการคำนวณดีกว่าการซ้อนภาพ 7



รูปที่ 90 ภาพที่ทำการล้างวิเคราะห์ขึ้น



รูปที่ 91 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพที่ได้จากการทำ Photoshop การซ้อนภาพเจ็ดชั้น

การกัดกร่อนและปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป การกัดกร่อนและปรับแก้ด้วยวงแหวน

MANUAL

หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพที่ทำการสังเคราะห์ขึ้น

7LAYER

หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพที่ผ่านการซ้อนภาพเจ็ดชั้น

Perimeter Adjust

หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพที่ผ่านการกัดกร่อนแล้วแยกตามขนาดวัตถุ และทำการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป

Ring Adjust

หมายถึง หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพที่ผ่านการกัดกร่อนแล้วแยกตามขนาดวัตถุ และทำการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน

4.1.2 เปรียบเทียบว่าระหว่างวิธีการคำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและวิธีการคำนวณปรับแก้ด้วยวงแหวน

เมื่อเปรียบเทียบผลจากตารางที่ 19 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลต่างกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวิธี

ผลปรากฏว่าในก้อนตัวอย่าง 1 ให้ค่าผลต่างกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในวิธีการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปเป็น 161 และให้ค่าผลต่างกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในวิธีการปรับแก้ด้วยวงแหวนเป็น 222 จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าวิธีการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการปรับแก้ด้วยวงแหวน

ในก้อนตัวอย่าง 2 ให้ค่าผลต่างกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในวิธีการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปเป็น 309 และให้ค่าผลต่างกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในวิธีการปรับแก้ด้วยวงแหวนเป็น 357 จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าวิธีการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการปรับแก้ด้วยวงแหวน

ในก้อนตัวอย่าง 3 ให้ค่าผลต่างกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในวิธีการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปเป็น 226 และให้ค่าผลต่างกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในวิธีการปรับแก้ด้วยวงแหวนเป็น 278 จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าวิธีการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการปรับแก้ด้วยวงแหวน ซึ่งก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนให้ผลสอดคล้องกันจึงสามารถสรุปได้ว่าการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปให้ผลลัพธ์ดีกว่าการปรับแก้ด้วยวงแหวน

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบผลเปอร์เซ็นต์การค้ำของการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและเปอร์เซ็นต์การค้ำของการปรับแก้ด้วยรัศมี

SAMPLE	SIEVE SIZE	COMBIN ED1	COMBIN ED2	SIEVE (Lab)	Error_squ are1	Error_squ are2
1	1/2in(12.7mm)	4.5	4.4	7.7	10.5	11.2
	3/8in(9.5mm)	5.4	5.2	6.4	0.9	1.4
	4#(4.75mm)	13.6	12.1	17.8	17.4	32.3
	8#(2.38mm)	19.7	17.7	20.4	0.6	7.1
	Other(Less than 2.38mm)	20.1	18.5	31.6	132.0	170.3
		SUM SQUARE ERROR				161.3
2	1/2in(12.7mm)	12.4	12.1	7.7	22.5	19.5
	3/8in(9.5mm)	6.4	6.1	8.1	2.9	4.1
	4#(4.75mm)	18.3	16.3	17.8	0.2	2.3
	8#(2.38mm)	16.7	14.2	18.7	4.0	20.5
	Other(Less than 2.38mm)	14.8	13.9	31.6	279.5	311.3
		SUM SQUARE ERROR				309.1
3	1/2in(12.7mm)	7.1	6.9	7.7	0.4	0.7
	3/8in(9.5mm)	6.2	6.0	6.4	0.0	0.2
	4#(4.75mm)	17.0	15.1	17.8	0.6	7.2
	8#(2.38mm)	17.6	15.3	20.4	8.1	25.9
	Other(Less than 2.38mm)	16.8	15.9	31.6	217.6	245.4
		SUM SQUARE ERROR				226.4

4.1.3 เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณได้จากการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป และเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณได้จากการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน

สถิติที่ใช้ทดสอบในที่นี้ คือ t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances เพราะเมื่อนำข้อมูลสองชุดคือ เเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณได้จากการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป และเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณได้จากการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน มาหาค่าความแปรปรวนแล้วคำนวณค่า F_0 โดยเปรียบเทียบทั้งหมดในสี่ขนาด คือ 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว เบอร์ 4# และเบอร์ 8# โดยใช้ $F_{critical}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สุดท้ายได้ค่า F_0 น้อยกว่า $F_{critical}$ ทุกขนาดของมวลรวม ซึ่งหมายความว่าค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 ตารางแสดงการคำนวณหาค่า F_0 เพื่อทดสอบว่ามีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่

Calculation	1/2in	3/8in	4#	8#
Perimeter	7.83	0.58	1.93	2.43
Ring	18.40	3.32	3.29	7.77
var1/var2 (F0)	0.43	0.17	0.59	0.31
F_critical	3.47	3.47	3.47	3.47

Perimeter หมายถึง เเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
 Ring หมายถึง เเปอร์เซ็นต์การค้ำบนตะแกรงที่ปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน
 Var1 หมายถึง ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
 Var2 หมายถึง ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน
 F_critical หมายถึง ค่าวิกฤตที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 22 เป็นการทดสอบสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ค้ำที่คำนวณจากวิธีการปรับแก้โดยใช้เส้นรอบรูปมีค่าเท่ากับการปรับแก้โดยใช้พื้นที่วงแหวนในก้อนตัวอย่างที่ 1 ผลที่ได้จากตารางที่ 22 คือ มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว เบอร์ 4# และเบอร์ 8# มีค่า p-value มากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานว่างหมายความว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ หรืออาจสรุปได้ว่าค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณด้วยวิธีปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปไม่แตกต่างกับการคำนวณปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวนสำหรับตัวอย่างก้อนที่ 1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ทำนองเดียวตารางที่ 23 ก็มีการทดสอบสมมติฐานว่างเดียวกับตารางที่ 22 ผลที่ได้จากตารางที่ 23 คือ ในก้อนตัวอย่าง 2 มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และเบอร์ 4# มีค่า p-value มากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานว่าง นั่นหมายความว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ หรืออาจสรุปได้ว่าค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำสำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และเบอร์ 4# ที่คำนวณด้วยวิธีปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปไม่แตกต่างกับการคำนวณปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวนสำหรับตัวอย่างก้อนที่ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับมวลรวมเบอร์ 8# มีค่า p-value ต่ำกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานว่าง นั่นหมายความว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ หรืออาจหมายความว่าสำหรับมวลรวมเบอร์ 8# ค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณด้วยวิธีปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปแตกต่างกับการคำนวณปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวนสำหรับตัวอย่างก้อนที่ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ในการทำงานเดียวกัน ตารางที่ 24 ก็มีการตั้งสมมติฐานเดียวกับตารางที่ 22 และ ตารางที่ 23 ผลที่ได้จากตารางที่ 26 คือ ในก้อนตัวอย่าง 3 มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และเบอร์ 4# มีค่า p-value มากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานว่าง นั่นหมายความว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ หรืออาจสรุปได้ว่าค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำสำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และเบอร์ 4# ที่คำนวณด้วยวิธีปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปไม่แตกต่างกับการคำนวณปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวนสำหรับตัวอย่างก้อนที่ 3 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นเอง สำหรับมวลรวมเบอร์ 8# มีค่า p-value ต่ำกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานว่าง นั่นหมายความว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ หรืออาจหมายความว่าสำหรับมวลรวมเบอร์ 8# ค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณด้วยวิธีปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปแตกต่างกับการคำนวณปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวนสำหรับตัวอย่างก้อนที่ 3 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการทดสอบทางสถิติ จะเห็นได้ว่าโดยภาพรวมค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำของการปรับแก้ด้วยวิธีการใช้เส้นรอบรูปไม่มีความแตกต่างกับการคำนวณปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน

จากการทดสอบนี้ทำให้ทราบว่าวิธีกักร่อนภาพตามขนาดวัตถุให้ผลลัพธ์ดีกว่าวิธีการซ้อนภาพเจ็ดชั้น และวิธีการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปให้ผลลัพธ์ดีกว่าวิธีการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการกักร่อนภาพแยกตามขนาด แล้วปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของภาพที่ได้จากการทำ Photoshop การซ้อนภาพเจ็ดชั้น การกักร่อนและปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป การกักร่อนและปรับแก้ด้วยวงแหวน

Sieve size	MANUAL	7LAYER	Perimeter Adjust	Ring Adjust
1/2in	0.0	2.7	0.0	0.0
3/8in	1.9	5.1	2.1	2.0
4#	13.7	16.9	17.1	15.1
8#	18.6	13.4	20.6	18.3
Other	20.5	14.4	18.3	17.5

โดย SIEVE SIZE หมายถึง ขนาดตะแกรง
 MANUAL หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำที่วิเคราะห์ได้จากภาพที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมาจาก Photoshop
 7LAYER หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่วิเคราะห์ได้จากวิธีซ้อนภาพเจ็ดชั้น
 Perimeter Adjust หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่วิเคราะห์ได้จากวิธีกักร่อนภาพแล้วแยกตามส่วน และทำการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
 Ring Adjust หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่วิเคราะห์ได้จากวิธีกักร่อนภาพแล้วแยกตามส่วน และทำการปรับแก้ด้วยวงแหวน

ตารางที่ 22 ผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อนการคำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและการคำนวณ
ปรับแก้ด้วยวงแหวนของก้อนตัวอย่าง 1

1/2in		3/8in		4#		8#		
t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		
	Perimeter	Ring	Perimeter	Ring	Perimeter	Ring	Perimeter	Ring
Mean	4.1	4.0	5.0	4.7	14	12	19.6	17.7
Variance	22.6	21.5	5.7	5.2	7	5	9.0	7.9
Observations	8	8	8	8	8	8	8	8
Pooled Variance	22.04		5.41		6.03		8.48	
Hypothesized Mean Difference	0		0		0		0	
df	14		14		14		14	
t Stat	0.04		0.20		1.26		1.33	
P(T<=t) one-tail	0.48		0.42		0.11		0.10	
t Critical one-tail	1.76		1.76		1.76		1.76	
P(T<=t) two-tail	0.97		0.85		0.23		0.20	
t Critical two-tail	2.14		2.14		2.14		2.14	



ตารางที่ 23 ผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อนการคำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและการคำนวณปรับแก้ด้วยวงแหวนของก้อนตัวอย่าง 2

1/2in t-Test: Two-Sample Assuming Equal		3/8in t-Test: Two-Sample Assuming		4# t-Test: Two-Sample Assuming		8# t-Test: Two-Sample Assuming					
Perimeter	Ring	Perimeter	Ring	Perimeter	Ring	Perimeter	Ring				
Mean	12.4	12.1	Mean	6.4	6.1	Mean	18.3	16.3	Mean	16.7	14.2
Variance	47.8	45.6	Variance	9.1	8.3	Variance	20.5	17.2	Variance	3.9	2.5
Observatio	8	8	Observatio	8	8	Observatio	8	8	Observatio	8	8
Pooled Var	46.7		Pooled Var	8.7		Pooled Var	18.8		Pooled Var	3.2	
Hypothesiz	0		Hypothesiz	0		Hypothesiz	0		Hypothesiz	0	
df	14		df	14		df	14		df	14	
t Stat	0.1		t Stat	0.2		t Stat	0.9		t Stat	2.8	
P(T<=t) o	0.5		P(T<=t) o	0.4		P(T<=t) o	0.2		P(T<=t) o	0	
t Critical on	1.8		t Critical on	1.8		t Critical on	1.8		t Critical on	1.8	
P(T<=t) t	0.9		P(T<=t) t	0.8		P(T<=t) t	0.4		P(T<=t) t	0	
t Critical tw	2.1		t Critical tw	2.1		t Critical tw	2.1		t Critical tw	2.1	

ตารางที่ 24 ผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อนการคำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและการคำนวณปรับแก้ด้วยวงแหวนของก้อนตัวอย่าง 3

1/2in t-Test: Two-Sample Assuming Equal		3/8in t-Test: Two-Sample Assuming		4# t-Test: Two-Sample Assuming		8# t-Test: Two-Sample Assuming					
Perimeter	Ring	Perimeter	Ring	Perimeter	Ring	Perimeter	Ring				
Mean	7.1	6.9	Mean	6.2	6	Mean	17	15.1	Mean	17.6	15.3
Variance	11.5	11	Variance	7	6.5	Variance	10.5	8.7	Variance	3.2	2.6
Observatio	8	8	Observatio	8	8	Observatio	8	8	Observatio	8	8
Pooled Var	11.2		Pooled Var	6.8		Pooled Var	9.6		Pooled Var	2.9	
Hypothesiz	0		Hypothesiz	0		Hypothesiz	0		Hypothesiz	0	
df	14		df	14		df	14		df	14	
t Stat	0.1		t Stat	0.2		t Stat	1.2		t Stat	2.6	
P(T<=t) o	0.5		P(T<=t) o	0.4		P(T<=t) o	0.1		P(T<=t) o	0	
t Critical on	1.8		t Critical on	1.8		t Critical on	1.8		t Critical on	1.8	
P(T<=t) t	0.9		P(T<=t) t	0.8		P(T<=t) t	0.2		P(T<=t) t	0	
t Critical tw	2.1		t Critical tw	2.1		t Critical tw	2.1		t Critical tw	2.1	

ตารางที่ 25 ตัวอย่างเปอร์เซ็นต์การค้างตะแกรงที่ใช้วิเคราะห์สำหรับวิธีการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป

SIEVE SIZE	SECT 1	SECT 2	SECT 3	SECT 4	SECT 5	SECT 6	SECT 7	SECT 8
1/2in(12.7mm)	0.0	0.0	4.3	13.0	3.4	3.2	0.0	9.3
3/8in(9.5mm)	2.1	3.3	6.5	7.2	2.9	2.9	7.9	6.9
4#(4.75mm)	17.1	12.2	13.7	15.6	12.8	14.8	16.0	9.0
8#(2.38mm)	20.6	23.1	20.3	13.2	22.2	19.9	18.3	19.5
Other(Less than 2.38mm)	18.3	21.7	29.2	16.8	20.3	19.6	18.1	18.2

โดย SIEVE SIZE

หมายถึง ขนาดตะแกรง

SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8

ตารางที่ 26 ตัวอย่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ใช้วิเคราะห์สำหรับวิธีการปรับแก้ด้วยวงแหวน

SIEVE SIZE	SECT 1	SECT 2	SECT 3	SECT 4	SECT 5	SECT 6	SECT 7	SECT 8
1/2in(12.7mm)	0.0	0.0	4.2	12.7	3.3	3.1	0.0	9.1
3/8in(9.5mm)	2.0	3.1	6.2	6.9	2.7	2.8	7.5	6.6
4#(4.75mm)	15.1	10.7	12.4	14.0	11.1	13.2	14.4	8.1
8#(2.38mm)	18.3	21.2	18.5	11.8	20.1	17.8	16.3	17.5
Other(Less than 2.38mm)	17.5	20.7	28.1	16.0	19.3	18.7	17.2	17.4

โดย SIEVE SIZE หมายถึง ขนาดตะแกรง
SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8

4.2 เทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของวิธีประมวลผลภาพและการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ

สำหรับในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ในสี่ประเด็นหลัก คือ

- 1) ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยใช้ก้อนตัวอย่างสามก้อน
- 2) ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการทดสอบร่อนตะแกรงกับตัวอย่างกับการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ จากก้อนตัวอย่างสามก้อน
- 3) ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ได้จากห้องปฏิบัติการกับเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ได้จากการประมวลผลภาพ
- 4) ผลต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงเฉลี่ยของการประมวลผลภาพ 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

4.2.1 ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการทดสอบร่อนตะแกรงกับการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยใช้ก้อนตัวอย่างสามก้อน

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้นำค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การค้ำของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนจากห้องปฏิบัติการ เทียบกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัดจากก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อน โดยใช้ 8 หน้าตัดในหนึ่งก้อนตัวอย่าง ทำให้ได้ภาพหน้าตัดทั้งหมด 24 หน้าตัด

ตารางที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยใช้ก้อนตัวอย่าง

สามก้อน และสมมติฐานว่างในที่นี้คือค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพ

ผลการวิเคราะห์ที่ได้ค่าดังนี้ สำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว เบอร์ 4# และเบอร์ 8# มีค่า p-value มากกว่า 0.05 ทำให้ยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพ ซึ่งหมายถึงค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันกับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้จึงสรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์การค้ำที่วิเคราะห์จากการประมวลผลภาพหน้าตัดไม่มีความแตกต่างกับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากสามก้อนตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

4.2.2 ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการทดสอบร่อนตะแกรงแก้วตัวอย่างกับการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ จากก้อนตัวอย่างสามก้อน

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้นำค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนจากห้องปฏิบัติการ เทียบกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของหน้าตัดจากก้อนตัวอย่างทั้งเก้าก้อน โดยใช้ 8 หน้าตัดในหนึ่งก้อนตัวอย่าง ทำให้ได้ภาพหน้าตัดทั้งหมด 24 หน้าตัด

ตารางที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยใช้ก้อนตัวอย่างเก้าก้อน โดยสมมติฐานว่างในที่นี้คือค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพ จากผลการวิเคราะห์ตารางที่ 31 พบว่ามวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และเบอร์ 8# มีค่า p-value มากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพ นั้นหมายความว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่สำหรับมวลรวมขนาดเบอร์ 4# มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพ นั้นหมายความว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณด้วยวิธีประมวลผลภาพที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์การค้ำที่วิเคราะห์จากการประมวลผลภาพหน้าตัดไม่มีความแตกต่างกับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากเก้าก้อนตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ สำหรับมวลรวม 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และเบอร์ 8# มี

เพียงมวลรวมขนาดเบอร์ 4# เท่านั้นที่แตกต่างกัน แต่โดยภาพรวมส่วนใหญ่ถือว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยใช้ก้อนตัวอย่างสามก้อน

	1/2in		3/8in		4#		8#	
	LAB	IMAGE	LAB	IMAGE	LAB	IMAGE	LAB	IMAGE
Mean	6.39	7.88	6.92	5.87	20.14	16.39	19.12	17.97
Variance	3.48	37.09	0.59	7.05	6.97	14.93	1.54	6.45
Observations	9	24	9	24	9	24	9	24
Hypothesized Mean	0.00		0.00		0.00		0.00	
df	30		30		21		28	
t Stat	-1.07		1.75		3.17		1.73	
P(T<=t) one-tail	0.15		0.05		0.00		0.05	
t Critical one-tail	1.70		1.70		1.72		1.70	
P(T<=t) two-tail	0.29		0.09		0.005		0.09	
t Critical two-tail	2.04		2.04		2.08		2.05	

ตารางที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการทดสอบบรอนตะแกรงแก้วตัวอย่างกับการคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ จากก้อนตัวอย่างสามก้อน

	1/2in		3/8in		4#		8#	
	LAB	IMAGE	LAB	IMAGE	LAB	IMAGE	LAB	IMAGE
Mean	7	7.88	7.12	5.87	18.7	16.39	19.17	17.97
Variance	1.45	37.09	0.82	7.05	2.39	14.93	1.18	6.45
Observations	3	24	3	24	3	24	3	24
Hypothesized Me	0		0		0		0	
df	19		8		6		5	
t Stat	-0.62		1.66		1.94		1.47	
P(T<=t) one-tail	0.27		0.07		0.05		0.1	
t Critical one-tail	1.73		1.86		1.94		2.02	
P(T<=t) two-tail	0.54		0.14		0.1		0.2	
t Critical two-tail	2.09		2.31		2.45		2.57	

4.2.3 ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ได้จากห้องปฏิบัติการกับเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ได้จากการประมวลผลภาพ

จากตารางที่ 29 ได้แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ได้จากห้องปฏิบัติการกับเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ได้จากการประมวลผลภาพ จากผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าค่า t ของผลต่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.71 และ -2.35 ซึ่งน้อยกว่าค่าวิกฤติ คือ 2.39 จึงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ดังนั้นจึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานว่างได้ ซึ่งหมายความว่าผลต่างของผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ 0 สำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว

แต่สำหรับในมวลรวมขนาด เบอร์ 4# และเบอร์ 8# มีค่า t เกินกว่าค่าวิกฤติจึงปฏิเสธสมมติฐานว่างที่ว่าผลต่างของผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปกับ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่าผลต่างของผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการไม่เท่ากับ 0

ตารางที่ 29 ผลการทดสอบสมมติฐานว่าง ผลต่างของผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ 0

Sieve size	sd	μ_0	\bar{X}	n	t	ผล
1/2in	6.10	0.00	0.88	24.00	0.71	ยอมรับ
3/8in	2.61	0.00	-1.25	24.00	-2.35	ยอมรับ
4#	3.93	0.00	-2.31	24.00	-2.89	ปฏิเสธ
8#	2.29	0.00	-1.20	24.00	-2.57	ปฏิเสธ

Sieve size	หมายถึง ขนาดตะแกรง
sd	หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพหน้าตัด
μ_0	หมายถึง ผลต่างเปอร์เซ็นต์การค้ำที่กำหนด
\bar{X}	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพหน้าตัด
N	หมายถึง จำนวนเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัด
T	หมายถึง ค่า t-score

4.2.4 ผลต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงเฉลี่ยของการประมวลผลภาพ 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

จากตารางที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงเฉลี่ยของการประมวลผลภาพ 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยใช้ก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน วิเคราะห์ในสี่ขนาด คือ 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว เบอร์ 4# และเบอร์ 8# ผลที่ได้ปรากฏว่า สำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว ได้ค่าผลต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการประมวลผลภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการของก้อนตัวอย่างที่ 1 ก้อนตัวอย่างที่ 2 และก้อนตัวอย่างที่ 3 เป็น 3.6 4.7 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับมวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว ได้ค่าผลต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการประมวลผลภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการของก้อนตัวอย่างที่ 1 ก้อนตัวอย่างที่ 2 และก้อนตัวอย่างที่ 3 เป็น 1.4 1.7 และ 1.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับมวลรวมขนาดเบอร์ 4# ได้ค่าผลต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการประมวลผลภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการของก้อนตัวอย่างที่ 1 ก้อนตัวอย่างที่ 2 และก้อนตัวอย่างที่ 3 เป็น 1.4 1.7 และ 1.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับมวลรวมขนาดเบอร์ 8# ได้ค่าผลต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการประมวลผล

ภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการของก้อนตัวอย่างที่ 1 ก้อนตัวอย่างที่ 2 และก้อนตัวอย่างที่ 3 เป็น 0.8 2.0 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 30 ผลต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงเฉลี่ยของการประมวลผลภาพ 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

SAMPLE	SIZE	IMAGE	LAB	ERROR
1	1/2in	4.1	7.7	-3.6
	3/8in	5.0	6.4	-1.4
	4#	13.9	17.8	-3.9
	8#	19.6	20.4	-0.8
2	1/2in	12.4	7.7	4.7
	3/8in	6.4	8.1	-1.7
	4#	18.3	17.8	0.4
	8#	16.7	18.7	-2.0
3	1/2in	7.1	5.6	1.5
	3/8in	6.2	6.9	-0.6
	4#	17.0	20.5	-3.5
	8#	17.6	18.4	-0.8

SAMPLE หมายถึง ก้อนตัวอย่าง

SIZE หมายถึง ขนาดตะแกรง

IMAGE หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำที่ได้จากการประมวลผลภาพ

LAB หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการ

4.3 วิเคราะห์ความแตกต่างในการประมวลผลภาพระหว่างก้อนตัวอย่างสามก้อน

สำหรับในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อน ว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (Anova single factor) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 31 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณด้วยวิธีการประมวลผลภาพของก้อนตัวอย่างทั้งสาม โดยมีสมมติฐานว่างว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีค่าเท่ากัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ออกมาดังนี้ สำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว ได้ค่า P-value 0.02 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีค่าเท่ากัน จึงสรุปได้สำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของก้อนตัวอย่างทั้งสามมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับมวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว ได้ค่า P-value 0.51 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีค่าเท่ากัน จึงสรุปได้สำหรับมวลรวมขนาด 3/2 นิ้ว เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของก้อนตัวอย่างทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับมวลรวมขนาดเบอร์ 4# ได้ค่า P-value 0.06 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีค่าเท่ากัน จึงสรุปได้สำหรับมวลรวมขนาดเบอร์ 4# เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของก้อนตัวอย่างทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับมวลรวมขนาดเบอร์ 8# ได้ค่า P-value 0.06 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีค่าเท่ากัน จึงสรุปได้สำหรับมวลรวมขนาดเบอร์ 8# เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของก้อนตัวอย่างทั้งสามไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ตารางที่ 31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การค้ำในตะแกรงแต่ละขนาดระหว่าง
ก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3

1/2inch Anova: Single Factor							3/8inch Anova: Single Factor						
SUMMARY							SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>			<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Sample1	8	33.2	4.1	22.6			Sample1	8	39.7	5.0	5.7		
Sample2	8	99.2	12.4	47.8			Sample2	8	51.3	6.4	9.1		
Sample3	8	56.7	7.1	11.5			Sample3	8	49.9	6.2	7.0		
ANOVA							ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>	<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	280.219	2	140.11	5.14	0.02	3.47	Between Groups	10.06372	2	5.0319	0.6951	0.5102	3.4668
Within Groups	572.737	21	27.27				Within Groups	152.023	21	7.2392			
Total	852.956	23					Total	162.0867	23				
#4 Anova: Single Factor							#8 Anova: Single Factor						
SUMMARY							SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>			<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Sample1	8	111.3	13.9	6.6			Sample1	8	157.0	19.6	9.0		
Sample2	8	146.0	18.3	20.5			Sample2	8	133.8	16.7	3.9		
Sample3	8	136.1	17.0	10.5			Sample3	8	140.4	17.6	3.2		
ANOVA							ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>	<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	79.92	2	39.96	3.18	0.06	3.47	Between Groups	35.75	2	17.87	3.33	0.06	3.47
Within Groups	263.53	21	12.55				Within Groups	112.71	21	5.37			
Total	343.45	23					Total	148.45	23				

4.4 วิเคราะห์อิทธิพลของขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณ

สำหรับการวิเคราะห์พื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณ แบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก คือ ขนาดของพื้นที่ที่ใช้วิเคราะห์มีผลต่อผลการคำนวณหรือไม่ พื้นที่ขนาดเล็กส่งผลต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์หรือไม่ พื้นที่ขนาดเล็กหรือใหญ่ให้ผลลัพธ์ของการคำนวณดีกว่า

การวิเคราะห์พื้นที่หน้าตัดในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ในสองขนาดพื้นที่คือ พื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดหน้าตัด 60 x 60 mm และพื้นที่วงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm โดยในตารางที่ 32 ได้แสดงเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละหน้าตัดที่คำนวณด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm ตารางที่ 33 ได้แสดงเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละหน้าตัดที่คำนวณด้วยพื้นที่วงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm

ตารางที่ 32 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ค้ำงโดยใช้พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm

SIEVE SIZE	SECT 1	SECT 2	SECT 3	SECT 4	SECT 5	SECT 6	SECT 7	SECT 8	AVERAG E
1/2in	0.0	3.9	0.0	13.9	6.6	3.5	0.0	10.6	4.8
3/8in	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.4
4#	11.0	5.4	17.6	5.7	13.7	13.2	7.9	2.3	9.6
8#	13.6	15.1	15.0	13.2	12.9	16.2	10.7	15.1	14.0

โดย SIEVE SIZE หมายถึง ขนาดตะแกรง
 SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8
 AVERAGE หมายถึง เปอร์เซนต์การค้ำงตะแกรงเฉลี่ยของแปดหน้าตัด

ตารางที่ 33 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ค้ำงโดยใช้พื้นที่หน้าตัดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm

Sieve size	SECT 1	SECT 2	SECT 3	SECT 4	SECT 5	SECT 6	SECT 7	SECT 8	Averag e
1/2in	0.0	0.0	4.3	13.0	3.4	3.2	0.0	9.3	4.1
3/8in	2.1	3.3	6.5	7.2	2.9	2.9	7.9	6.9	5.0
4#	17.1	12.2	13.7	15.6	12.8	14.8	16.0	9.0	13.9
8#	20.6	23.1	20.3	13.2	22.2	19.9	18.3	19.5	19.6

โดย SIEVE SIZE หมายถึง ขนาดตะแกรง
 SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8
 AVERAGE หมายถึง เปอร์เซนต์การค้ำงตะแกรงเฉลี่ยของแปดหน้าตัด

4.4.1 ขนาดพื้นที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์หรือไม่

ตารางที่ 34 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานว่างว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพจากภาพหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm และภาพหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm มีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้ผลการทดสอบออกมาดังนี้

ในภาพหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm สำหรับมวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว และเบอร์ 4# มีค่า t เท่ากับ -2.2 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ 2.8 จึงยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพจากภาพหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm มีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งหมายความว่าสำหรับมวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว และเบอร์ 4# ค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพจากภาพหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm มีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว และเบอร์ 8# มีค่า t เท่ากับ 2.9 และ -4.7 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ 2.84 จึงปฏิเสธสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพจากภาพหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm มีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งหมายความว่า สำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว และเบอร์ 8# มีค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพจากภาพหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm มีค่าไม่เท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลการทดสอบทางสถิติจะเห็นว่าพื้นที่หน้าส่งผลต่อการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพหน้าตัดแอสฟัลต์คอนกรีต

ในภาพหน้าตัดขนาด 60x60 mm สำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว มีค่า t เท่ากับ -1.57 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ 2.84 จึงยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพจากภาพหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm มีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งหมายความว่าสำหรับมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว ค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพจากภาพหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm มีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับมวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4# และเบอร์ 8# มีค่า t เท่ากับ -16.84 -4.83 และ -11.13 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ 2.84 จึงปฏิเสธสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพจากภาพหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm มีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งหมายความว่า สำหรับมวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4# และเบอร์ 8# มีค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพจากภาพหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm มีค่าไม่เท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลการทดสอบทางสถิติจะเห็นว่าพื้นที่หน้าส่งผลต่อการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างพื้นที่หน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm และพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm ให้ผลการทดสอบทางสถิติที่แตกต่างกัน(ตารางที่ 35) จากการทดสอบนี้ผู้วิจัยจึงได้ข้อ

สรุปว่าพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กส่งผลต่อการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพหน้าตัดแอสฟัลต์คอนกรีต และผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ว่าพื้นที่หน้าตัดเล็กหรือใหญ่ให้ผลลัพธ์ของการคำนวณที่ดีกว่าในหัวข้อ 4.4.2 ที่จะได้กล่าวในลำดับถัดไป

ตารางที่ 34 ผลการทดสอบสมมติฐานเฉลี่ยว่าเปอร์เซ็นต์ค้ำจากพื้นที่หน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm และพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm มีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ได้จากการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการหรือไม่

Diameter 100 mm	ขนาดตะแกรง	sd	μ_0	\bar{X}	n	t	ผลการทดสอบ
	1/2in	5.3	7.7	13.1	8	2.9	ปฏิเสธ
	3/8in	2.0	8.1	6.6	8	-2.2	ยอมรับ
	4#	3.6	17.8	17.8	8	0.0	ยอมรับ
	8#	1.2	18.7	16.6	8	-4.7	ปฏิเสธ
60 x 60 mm	ขนาดตะแกรง	sd	μ_0	\bar{X}	n	t	ผลการทดสอบ
	1/2in	5.2	7.7	4.8	8	-1.6	ยอมรับ
	3/8in	1.0	6.4	0.4	8	-16.5	ปฏิเสธ
	4#	4.8	17.8	9.6	8	-4.8	ปฏิเสธ
	8#	1.6	20.4	14.0	8	-11.1	ปฏิเสธ

60x60 mm	หมายถึง ภาพหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm
Diameter 100 mm	หมายถึง ภาพหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm
SD	หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพแปดหน้าตัด
μ_0	หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำจากห้องปฏิบัติการของก้อนตัวอย่าง 1
\bar{X}	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพหน้าตัด
N	หมายถึง จำนวนเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัด
T	หมายถึง ค่า t-score

4.4.2 พื้นที่หน้าตัดเล็กหรือใหญ่ให้ผลลัพธ์ของการคำนวณดีกว่า

จากตารางที่ 36 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพ และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ โดยเปรียบเทียบระหว่างหน้าตัดขนาด 60x60 mm กับหน้าตัดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ว่าค่าใดให้ผลต่างจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการน้อยที่สุด ผลปรากฏว่าหน้าตัด 60x60 mm ให้ผลของค่าความแตกต่างกำลังสองเป็น 152 หน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ให้ผลของค่าความแตกต่างกำลังสองเป็น 30 จึงสรุปได้ว่า การใช้พื้นที่ขนาดใหญ่กว่าในการคำนวณให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าในการคำนวณ

จากการวิเคราะห์ในส่วนนี้สรุปได้ว่าพื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่งผลกระทบต่อการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำ โดยพื้นที่หน้าตัดที่มีขนาดใหญ่กว่าจะให้ค่าของผลลัพธ์ที่ดีกว่า

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ว่าหน้าตัดขนาดเล็กหรือหน้าตัดขนาดใหญ่ให้ผลการทดสอบใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการมากกว่า

60x60 mm			Diameter 100 mm		
IMAGE	LAB	ERROR ²	IMAGE	LAB	ERROR ²
4.8	7.7	8.5	4.1	7.7	12.9
0.4	6.4	35.6	5.0	6.4	2.0
9.6	17.8	67.2	13.9	17.8	15.1
14.0	20.4	41.3	19.6	20.4	0.6
SUM SQUARE ERROR		152.6	SUM SQUARE ERROR		30.5

60x60 mm หมายถึง ภาพหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm

Diameter 100 mm หมายถึง ภาพหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm

IMAGE หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำเฉลี่ยที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพ

LAB หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำเฉลี่ยที่คำนวณได้จากก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อน

4.5 วิเคราะห์อิทธิพลของจำนวนหน้าตัดที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

สำหรับการวิเคราะห์ในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำของการใช้หน้าตัดสองหน้าตัดเทียบกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และทดสอบสมมติฐานว่าจำนวนหน้าตัดที่ต่างกันให้ผลที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์หรือไม่ จำนวนหน้าตัดมากขึ้นจะส่งผลต่อความถูกต้องหรือไม่

สำหรับการวิเคราะห์จำนวนหน้าตัดที่ใช้ทดสอบทำได้โดยการนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ในหนึ่งหน้าตัด จำนวน 8 หน้า เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ในสองหน้าตัดจำนวน 8 คู่ และใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์สองหน้าตัดเปรียบเทียบกับข้อมูลการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ โดยผลที่ได้แยกออกเป็น 3 ก้อนตัวอย่าง ตัวอย่างละ 4 ขนาด คือ 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว #4 และ #8

ตารางที่ 37 38 และ 39 ได้แสดงผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของการใช้หน้าตัดสองหน้าตัดในการคำนวณ โดยมีการปรับแก้สองแบบ คือ การปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูปและการปรับแก้ด้วยพื้นที่วงแหวน

ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำแต่ละขนาดโดยใช้สองหน้าตัดเฉลี่ยในการคำนวณด้วยการปรับแก้แบบใช้เส้นรอบรูปของก้อนตัวอย่าง

Sieve size	SECT 1	SECT 2	SECT 3	SECT 4	SECT 5	SECT 6	SECT 7	SECT 8	Average
1/2in	4.6	1.6	3.8	8.1	1.7	6.2	0.0	6.3	4.1
3/8in	4.5	3.1	4.7	5.1	5.4	4.9	5.6	4.9	4.8
4#	13.0	13.5	13.3	15.2	14.4	11.9	14.1	10.9	13.3
8#	20.0	21.5	21.3	16.5	20.3	19.7	20.7	20.9	20.1
Other	18.3	20.7	24.8	18.2	19.2	18.9	19.9	19.3	19.9

Sieve size หมายถึง ขนาดตะแกรง

SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8

Average หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัดที่ 1 ถึงหน้าตัดที่ 8

ตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำแต่ละขนาดโดยใช้สองหน้าตัดเฉลี่ยในการคำนวณด้วยการปรับแก้แบบใช้เส้นรอบรูปของก้อนตัวอย่าง 2

Sieve size	SECT 1	SECT 2	SECT 3	SECT 4	SECT 5	SECT 6	SECT 7	SECT 8	Average
1/2in	10.9	18.0	14.8	2.7	10.8	11.4	19.0	17.1	13.1
3/8in	5.1	8.2	3.9	6.1	4.3	9.6	8.3	6.9	6.6
4#	20.5	13.2	19.3	23.7	19.9	16.7	14.2	15.2	17.8
8#	17.6	15.4	16.4	17.5	18.6	16.8	14.9	15.9	16.6
Other	15.3	14.3	14.3	15.4	14.8	14.8	14.1	15.1	14.8

Sieve size หมายถึง ขนาดตะแกรง

SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8

Average หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัดที่ 1 ถึงหน้าตัดที่ 8

ตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ค้ำแต่ละขนาดโดยใช้สองหน้าตัดเฉลี่ยในการคำนวณด้วยการปรับแก้แบบใช้เส้นรอบรูปของก้อนตัวอย่าง 3

Sieve size	SECT 1	SECT 2	SECT 3	SECT 4	SECT 5	SECT 6	SECT 7	SECT 8	Average
1/2in	6.6	6.8	6.9	4.9	9.5	4.3	5.7	8.7	6.7
3/8in	7.1	5.2	6.3	5.8	2.8	7.7	9.0	5.5	6.2
4#	17.6	13.3	20.8	18.4	18.2	15.3	17.7	16.3	17.2
8#	16.1	19.0	17.4	18.7	17.9	18.4	16.8	17.9	17.8
Other	17.7	17.9	15.7	16.6	16.3	16.8	15.9	16.0	16.6

Sieve size หมายถึง ขนาดตะแกรง

SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8

Average หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัดที่ 1 ถึงหน้าตัดที่ 8

4.5.1 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำของการใช้หน้าตัดสองหน้าตัดเทียบกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 39 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากหน้าตัด 2 หน้าตัด มีค่าเท่ากับกับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการของก้อนตัวอย่าง 1 ได้ผลการทดสอบคือ สำหรับก้อนตัวอย่าง 1 มวลรวมขนาดเบอร์ 8# มีค่า t เท่ากับ -0.56 น้อยกว่าค่าวิกฤติ 2.84 จึงยอมรับสมมติฐานที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากหน้าตัดมีค่าเท่ากับกับค่าที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ นั่นหมายความว่าสำหรับก้อนตัวอย่าง 1 ที่มีมวลรวมขนาดเบอร์ 8# ค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากหน้าตัดมีค่าเท่ากับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 39 ผลการทดสอบสมมติฐานว่างว่าการใช้หน้าตัดสองหน้าตัดมีค่าเปอร์เซ็นต์ค้ำ
ตะแกรงเท่ากับการร่อนตะแกรงในห้องแล็บ โดยใช้ก้อนตัวอย่างหนึ่งในการทดสอบ

ขนาดตะแกรง	Sd	μ_0	\bar{X}	n	t	ผลการ ทดสอบ
1/2in	2.80	7.73	4.05	8.00	-3.72	ปฏิเสธ
3/8in	0.76	6.36	4.76	8.00	-5.95	ปฏิเสธ
4#	1.39	17.80	13.30	8.00	-9.15	ปฏิเสธ
8#	1.56	20.41	20.10	8.00	-0.56	ยอมรับ

Size หมายถึง ขนาดตะแกรง

SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพแปดหน้าตัด

μ_0 หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำจากห้องปฏิบัติการของก้อนตัวอย่าง 1

\bar{X} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำบนตะแกรงจากภาพหน้าตัด

N หมายถึง จำนวนเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัด

T หมายถึง ค่า t-score

ตารางที่ 40 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานว่างค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้
จากหน้าตัด 2 หน้าตัด มีค่าเท่ากับกับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ
ของก้อนตัวอย่าง 2 โดยมีสมมติฐานว่าง คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากหน้าตัด 2
หน้าตัด มีค่าเท่ากับกับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ ได้ผลการ
ทดสอบดังนี้ สำหรับก้อนตัวอย่าง 2 มวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว และเบอร์ 4# มีค่า t เท่ากับ -2.15 และ
0.01 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ 2.84 จึงยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำ
ตะแกรงที่คำนวณได้จากหน้าตัด มีค่าเท่ากับกับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จาก
ห้องปฏิบัติการ ซึ่งหมายความว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากหน้าตัด มีค่าเท่ากับค่า
เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 40 ผลการทดสอบสมมติฐานว่างการใช้หน้าตัดสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับการร้อนตะแกรงใน
ห้องแลป โดยใช้ก้อนตัวอย่าง 2 ในการทดสอบ

ขนาด ตะแกรง	sd	μ_0	\bar{X}	n	t	
1/2in	5.31	7.66	13.08	8.00	2.89	ปฏิเสธ
3/8in	2.05	8.12	6.56	8.00	-2.15	ยอมรับ
4#	3.61	17.82	17.84	8.00	0.01	ยอมรับ
8#	1.24	18.73	16.64	8.00	-4.74	ปฏิเสธ

Size	หมายถึง ขนาดตะแกรง
SD	หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพแปดหน้าตัด
μ_0	หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำจากห้องปฏิบัติการของก้อนตัวอย่าง 2
\bar{X}	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพหน้าตัด
N	หมายถึง จำนวนเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัด
T	หมายถึง ค่า t-score

จากตารางที่ 41 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานว่างโดยมีสมมติฐานว่างคือ ค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากหน้าตัด 2 หน้าตัด มีค่าเท่ากับกับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบออกดังนี้ สำหรับก้อนตัวอย่าง 3 มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และเบอร์ 8# มีค่า t เท่ากับ 1.67 -1.07 และ -1.73 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ 2.84 จึงยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากหน้าตัด มีค่าเท่ากับกับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งหมายความว่าค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากหน้าตัด มีค่าเท่ากับกับค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากห้องปฏิบัติการที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 41 ผลการทดสอบสมมติฐานว่างการใช้หน้าตัดสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับการระนองตะแกรงใน
ห้องแลป โดยใช้ก้อนตัวอย่าง 3 ในการทดสอบ

Size	sd	μ_0	\bar{X}	n	t	ผล
1/2in	1.78	5.61	6.66	8	1.67	ยอมรับ
3/8in	1.86	6.89	6.18	8	-1.07	ยอมรับ
4#	2.24	20.50	17.21	8	-4.15	ปฏิเสธ
8#	0.97	18.38	17.79	8	-1.73	ยอมรับ

Size หมายถึง ขนาดตะแกรง

SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพแปดหน้าตัด

μ_0 หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำจากห้องปฏิบัติการของก้อนตัวอย่าง 3

\bar{X} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพหน้าตัด

N หมายถึง จำนวนเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัด

T หมายถึง ค่า t-score

4.5.2 จำนวนหน้าตัดที่ต่างกันให้ผลที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์หรือไม่

จากตารางที่ 43 ได้แสดงการทดสอบสมมติฐานว่าง โดยมีสมมติฐานว่าง คือ ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงระหว่างการคำนวณด้วยหนึ่งหน้าตัดเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับ 0 ผู้วิจัยทำการสุ่มสองหน้าตัดที่แตกต่างกันจากก้อนตัวอย่าง ก้อนตัวอย่างละสี่คู่ โดยไม่ใช้หน้าตัดที่อยู่ติดกัน ทำให้ได้ค่าออกมาทั้งหมด 12 ค่า จากผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากการวิเคราะห์ที่ได้ผลออกมาดังนี้ สำหรับตะแกรงขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว เบอร์ 4# และเบอร์ 8# ค่าความแตกต่างได้ 5.67 6.75 8.03 และ 6.62 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ คือ 2.59 จึงปฏิเสธสมมติฐานว่างที่ว่าค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงระหว่างการคำนวณด้วยหนึ่งหน้าตัดเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่าค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงระหว่างการคำนวณด้วยหนึ่งหน้าตัดเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยสองหน้าตัดมีค่าไม่เท่ากับ 0 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจำนวนหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์ส่งผลกระทบต่อการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำ ซึ่งหลักความเป็นจริงถ้าใช้เพียงหน้าตัดเดียวในการวิเคราะห์ก็อาจเกิดปัญหาในการวิเคราะห์มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว หรือ 3/8 นิ้ว ได้ เพราะบางหน้าตัดอาจจะมีมวลรวมของขนาดนี้น้อยกว่าความเป็นจริง ถ้าหากมีอีกหน้าตัดเข้ามาคำนวณด้วยจะส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนลดลง อย่างไรก็ตามถ้าหากเป็นมวลรวมขนาดเบอร์ 4# และเบอร์ 8# จะให้ผลการคำนวณที่ดีกว่าเพราะมีจำนวนก้อนมากเพียงพอและใกล้เคียงกันมากกว่าในแต่ละหน้าตัด

ตารางที่ 42 ผลการทดสอบสมมติฐานว่าค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในการวิเคราะห์โดยใช้หนึ่งหน้าตัดกับการวิเคราะห์ในสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับ 0

ขนาดตะแกรง	SD	μ_0	\bar{X}	n	t	ผลการทดสอบ
1/2in	2.16	0	3.54	12	5.67	ปฏิเสธ
3/8in	1.65	0	3.22	12	6.75	ปฏิเสธ
4#	1.39	0	3.22	12	8.03	ปฏิเสธ
8#	1.05	0	2.00	12	6.62	ปฏิเสธ

SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพสิบสองหน้าตัด

μ_0 หมายถึง ผลต่างเปอร์เซ็นต์การค้ำที่ควรจะเป็น

\bar{X} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การค้ำจากภาพหน้าตัด

N หมายถึง จำนวนเปอร์เซ็นต์การค้ำของหน้าตัด

T หมายถึง ค่า t-score

4.5.3 จำนวนหน้าตัดมากขึ้นจะส่งผลต่อความถูกต้องหรือไม่

จากตารางที่ 43 ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงเทียบกับค่าทดสอบจากห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณในสองหน้าตัด สี่หน้าตัด และหกหน้าตัด โดยใช้ค่าความแตกต่างกำลังสองของผลการวิเคราะห์เป็นตัวเปรียบเทียบพบว่าในสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับ 54 ในสี่หน้าตัดมีค่าเท่ากับ 18 และในหกหน้าตัดมีค่าเท่ากับ 15 จึงสรุปได้ว่าการใช้หน้าตัดจำนวนมากขึ้นในการคำนวณทำให้ผลต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในห้องปฏิบัติการลดลง ดังนั้นการใช้หน้าตัดในการคำนวณในปริมาณที่มากกว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้จำนวนหน้าตัดที่น้อยกว่า

ตารางที่ 43 ผลการเปรียบเทียบค่าผลต่างกำลังสองของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงแบบสองหน้าตัดสี่หน้าตัดและหกหน้าตัด

SIZE	2sect	4sect	6sect	LAB	2sect_error	4sect_error	6sect_error
1/2in	8.3	6.5	6.0	5.6	7.2	0.8	0.2
3/8in	7.4	7.1	6.4	6.9	0.2	0.1	0.2
4#	13.8	16.4	16.7	20.5	44.9	16.8	14.7
8#	16.9	17.9	18.0	18.4	2.3	0.3	0.1
SUM SQUARE ERROR					54.6	18.0	15.2

SIZE	หมายถึง ขนาดของมวลรวม
2sect	หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงจากการวิเคราะห์ในสองหน้าตัด
4sect	หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงจากการวิเคราะห์ในสี่หน้าตัด
6sect	หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงจากการวิเคราะห์ในหกหน้าตัด
LAB	หมายถึง เปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงจากห้องปฏิบัติการ
2sect_error	หมายถึง ผลต่างกำลังสองของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากสองหน้าตัดและห้องปฏิบัติการ
4sect_error	หมายถึง ผลต่างกำลังสองของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากสี่หน้าตัดและห้องปฏิบัติการ
6sect_error	หมายถึง ผลต่างกำลังสองของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากหกหน้าตัดและห้องปฏิบัติการ

4.6 วิเคราะห์ดัชนีความยาว สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง และสัดส่วนความกว้างต่อความยาว

สำหรับในส่วนนี้ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์เนื้อหาใน 3 ประเด็น คือ

- 1) ดัชนีความยาวที่วิเคราะห์ได้จากภาพหน้าตัดก้อนตัวอย่างมีค่าเท่ากับดัชนีความยาวที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายมวลรวมก่อนผสมหรือไม่
- 2) การวิเคราะห์ที่สัดส่วนความกว้างต่อความยาวและความยาวต่อความกว้าง จากภาพถ่ายมวลรวมก่อนผสม และจากภาพถ่ายหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง
- 3) ผลการวิเคราะห์ความยาวต่อความกว้างและความสูงต่อความกว้างจากข้อมูลการวัดจริงด้วยเวอร์เนียร์ และจากภาพถ่ายมวลรวมก่อนผสม

ตารางที่ 44 แสดงค่าดัชนีความยาวที่คำนวณได้ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 ตามลำดับ โดย 1 ก้อนตัวอย่างมีทั้งหมด 8 หน้าตัด โดยมีการเปรียบเทียบค่าดัชนีความยาวที่คำนวณได้จากกล้องถ่ายภาพ

Sample	SEC T 1	SEC T 2	SEC T 3	SEC T 4	SEC T 5	SEC T 6	SEC T 7	SEC T 8	Aggregate image
Elongation index sample1	28.4	20.2	21.7	22.5	21.1	16.0	19.5	21.6	21.2
Elongation index sample2	18.8	21.1	22.5	17.1	18.6	22.8	19.2	18.0	19.9
Elongation index sample3	24.0	20.7	22.4	20.3	17.3	19.2	20.4	24.6	21.2

SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8

Elongation index หมายถึง ดัชนีความยาว

Aggregate image หมายถึง ภาพถ่ายมวลรวมก่อนบดอัด

4.6.1 ดัชนีความยาวที่คำนวณได้ในแต่ละหน้าตัดมีค่าเท่ากับดัชนีความยาวที่ได้จากกล้องถ่ายภาพหรือไม่

ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 46 โดยสมมติฐานว่างของการทดสอบนี้คือ ดัชนีความยาวที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละหน้าตัดมีค่าเท่ากับดัชนีความยาวที่วิเคราะห์จากภาพถ่ายมวลรวม ซึ่งการถ่ายภาพมวลรวมด้วยกล้องถ่ายภาพผู้วิจัยได้นำมวลรวมทดลองบนกระดาษสีดำ และทำการถ่ายภาพจากมุมสูงทำให้เห็นภาพมวลรวมทุกก้อนและใช้ภาพถ่ายจากมุมสูงนี้คำนวณค่าดัชนีความยาว จากผลการทดสอบพบว่าสำหรับก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 ได้ค่า t เป็น 0.15 -0.13 และ 0.07 ตามลำดับซึ่งน้อยกว่าค่าวิกฤติ 2.84 จึงยอมรับสมมติฐานว่างที่ว่าดัชนีความยาวที่คำนวณได้ในแต่ละหน้าตัดมีค่าเท่ากับดัชนีความยาวที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ ซึ่งนั่นหมายความว่าดัชนีความยาวที่คำนวณได้ในแต่ละหน้าตัดมีค่าเท่ากับดัชนีความยาวที่ได้จากกล้องถ่ายภาพที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 45 ผลการทดสอบสมมติฐานว่างว่าดัชนีความยาวที่คำนวณได้จากหน้าตัดมีค่าเท่ากับดัชนีความยาวที่ได้จากกล้องถ่ายรูป

เปรียบเทียบดัชนีความยาว	sd_section	μ_0	\bar{X}	n	t	ผล
sample1	3.48	21.18	21.37	8	0.15	ยอมรับ
sample2	2.10	19.85	19.75	8	-0.13	ยอมรับ
sample3	2.45	21.18	21.12	8	-0.07	ยอมรับ

Sd_section	หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความยาวจากภาพแปดหน้าตัด
μ_0	หมายถึง ดัชนีความยาวของก้อนตัวอย่างที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการ
\bar{X}	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของดัชนีความยาวจากภาพหน้าตัด
N	หมายถึง จำนวนหน้าตัด
T	หมายถึง ค่า t-score

4.6.2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความกว้างต่อความยาวและความยาวต่อความกว้าง

ตารางที่ 47 แสดงผลการวิเคราะห์สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง(L/W) และความกว้างต่อความยาว(W/L) ใน 8 หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 โดยก้อนตัวอย่าง โดยภาพรวมก้อนตัวอย่างทั้งสามมีค่าความกว้างต่อความยาวเท่ากับประมาณ 0.6 และมีค่าสัดส่วนความยาวต่อความกว้างเท่ากับ 1.7 ซึ่งสอดคล้องค่าเฉลี่ยของสัดส่วนทั้งสองภาพ สำหรับค่าความเร็ว คือ สัดส่วนความยาวต่อความกว้างของมวลรวม สำหรับค่าความแบน คือ สัดส่วนความหนาต่อความกว้างของมวลรวม ผลการวิเคราะห์ค่าความเร็ว แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ผลการวิเคราะห์ค่าความเร็วเปรียบเทียบระหว่างการวัดด้วยเวอร์เนียร์กับการใช้ภาพจากกล้องถ่ายรูป และผลการวิเคราะห์ค่าความเร็วที่ได้ในแต่ละหน้าตัด ในส่วนของการวิเคราะห์การวัดด้วยเวอร์เนียร์มีค่าความเร็วเฉลี่ย 1.5 การวิเคราะห์ภาพถ่ายให้ค่าความเร็วเฉลี่ย 1.6 ซึ่งมีค่าความแตกต่างกัน 0.1 สำหรับการวัดค่าความเร็วเฉลี่ยของแต่ละหน้าตัด มีค่าประมาณ 1.75

ตารางที่ 46 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง(L/W) และความกว้างต่อความยาว(W/L) ใน 8 หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3

SAMPLE	1		2		3	
	L/W	W/L	L/W	W/L	L/W	W/L
1	1.7	0.62	1.71	0.62	1.76	0.61
2	1.81	0.59	1.74	0.61	1.75	0.61
3	1.82	0.59	1.71	0.62	1.76	0.61
4	1.79	0.6	1.75	0.61	1.78	0.6
5	1.81	0.59	1.76	0.61	1.98	0.68
6	1.84	0.59	1.76	0.61	1.75	0.61
7	1.86	0.58	1.69	0.63	1.72	0.62
8	1.81	0.6	1.74	0.61	1.74	0.61
average	1.81	0.60	1.73	0.62	1.78	0.62

ตารางที่ 48 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความยาวต่อความกว้าง และความกว้างต่อความยาวจากภาพถ่ายมวลรวมก่อนผสม ของก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 โดยในก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 มีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างเฉลี่ยประมาณ 1.6 ซึ่งในการวิเคราะห์ภาพหน้าตัดให้ค่าประมาณ 1.8 สำหรับสัดส่วนความกว้างต่อความยาวจากภาพถ่ายมวลรวมก่อนผสม มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.6 ซึ่งมีค่าเท่ากับการวิเคราะห์ภาพหน้าตัด

จากการวิเคราะห์ในส่วนนี้สรุปได้ว่าค่าสัดส่วนความยาวต่อความกว้างและสัดส่วนความยาวต่อความกว้างที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพหน้าตัดมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ภาพถ่ายมวลรวมก่อนผสม โดยมีค่าประมาณ 1.7-1.8 สำหรับสัดส่วนความยาวต่อความกว้าง และมีค่าประมาณ 0.6 สำหรับสัดส่วนความกว้างต่อความกว้าง

ตารางที่ 47 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความยาวต่อความกว้าง และความกว้างต่อความยาวจากภาพถ่ายมวลรวมก่อนผสม ของก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3

Sample	L/W Average	W/L Average
1	1.56	0.66
2	1.67	0.62
3	1.69	0.63

4.6.3 ผลการวิเคราะห์ความยาวต่อความกว้างและความสูงต่อความกว้าง

ตารางที่ 49 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความยาวต่อความกว้าง(L/W)และค่าความสูงต่อความกว้าง(H/W) ที่ได้จากการวัดด้วยเวอร์เนียเปรียบเทียบกับค่าคำนวณผ่านการประมวลผลภาพถ่าย โดยใช้รูปภาพจากกล้องถ่ายภาพซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความยาวต่อความกว้างและสัดส่วนความสูงต่อความกว้างมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างการวัดจริงด้วยเวอร์เนียและการคำนวณด้วยการประมวลผลภาพ

จากผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้สรุปได้ว่าค่าดัชนีความยาวที่ได้จากการคำนวณหน้าตัด มีค่าเท่ากับค่าดัชนีความยาวที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ ค่าสัดส่วนความยาวต่อความกว้างและสัดส่วนความสูงต่อความกว้างที่ได้จากการประมวลผลภาพมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากเวอร์เนีย

ตารางที่ 48 ผลการวิเคราะห์ค่าความเร็ว(L/W)และค่าความแบน(H/W) ที่ได้จากการวัดด้วยเวอร์เนียเปรียบเทียบกับค่าคำนวณผ่านการประมวลผลภาพถ่าย โดยใช้รูปภาพจากกล้องถ่ายภาพ

Sample		Sample1	Sample2	Sample3
Vernier caliper	L/W	1.48	1.47	1.51
	H/W	0.58	0.61	0.60
Aggregate images	L/W	1.55	1.64	1.63
	H/W	0.56	0.64	0.61

4.7 วิเคราะห์จำนวนก้อน การกระจายตัวและความถี่ของเปอร์เซ็นต์การค้ำ

สำหรับในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ในสามประเด็น คือ จำนวนก้อนที่นับได้ในแต่ละหน้าตัด ลักษณะการกระจายตัวของเปอร์เซ็นต์ค้ำแยกตามขนาดของมวลรวม และความถี่ของเปอร์เซ็นต์ค้ำ โดยความถี่ของช่วงเปอร์เซ็นต์การค้ำหมายถึงจำนวนหน้าหน้าตัดที่นับได้ของช่วงเปอร์เซ็นต์การค้ำ ขนาดต่างๆ

4.7.1 จำนวนก้อนที่นับได้ในแต่ละหน้าตัด

ตารางที่ 49 50 และ 51 แสดงผลการวิเคราะห์จำนวนก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน ก้อนละ 8 หน้าตัด โดยแยกมวลรวมออกเป็น 5 ขนาด คือ 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว #4 #8 และต่ำกว่า #8 สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาด 1/2 นิ้ว ในแต่ละก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1 4 และ 2 ก้อน ตามลำดับ สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว ในแต่ละก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3 4 และ 4 ก้อน ตามลำดับ สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาด #4 ในแต่ละก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 21 26 และ 26 ก้อน ตามลำดับ สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาด #8 ในแต่ละก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 105 89 และ 91 ก้อน ตามลำดับ สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาดต่ำกว่า #8 ในแต่ละก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 919 818 และ 880 ก้อน ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าจำนวนก้อนที่นับได้ของมวลรวมเบอร์ 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และเบอร์ #4 มีจำนวนไม่มากนัก แต่ก็มีแนวโน้มใกล้เคียงกันในแต่ละหน้าตัดและมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันสำหรับก้อนตัวอย่างทั้งสาม สำหรับหินเบอร์ #8 ค่าเฉลี่ยในแต่ละหน้าตัด มีแนวโน้มใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 100 ก้อน สำหรับมวลรวมขนาดต่ำกว่าเบอร์ #8 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 900 ก้อน และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันในแต่ละก้อนตัวอย่าง นอกจากนั้นในแต่ละหน้าตัดยังมีจำนวนก้อนรวมทุกขนาดใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 900 ก้อนอีกด้วย

ตารางที่ 49 ผลการวิเคราะห์จำนวนก้อนของมวลรวมที่นับได้ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 1

SIEVE SIZE	SEC T1	SEC T2	SEC T3	SEC T4	SEC T5	SEC T6	SEC T7	SEC T8	Average
1/2in(12.7mm)	0	0	1	4	1	1	0	3	1
3/8in(9.5mm)	1	2	4	4	2	2	5	4	3
4#(4.75mm)	28	21	19	21	23	22	23	13	21
8#(2.38mm)	109	128	114	74	119	109	96	94	105
Other(Less than 2.38mm)	825	898	4	123	798	925	907	898	868

SIEVE SIZE หมายถึง ขนาดตะแกรง

SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8

Average หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนก้อนที่นับได้

ตารางที่ 50 ผลการวิเคราะห์จำนวนก้อนของมวลรวมที่นับได้ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 2

SIEVESIZE	SECT 1	SECT 2	SECT 3	SECT 4	SECT 5	SECT 6	SECT 7	SECT 8	Average
1/2in	5	6	4	1	4	1	6	6	4
3/8in	4	6	1	2	5	5	4	4	4
4#	24	16	32	35	24	27	23	25	26
8#	104	89	97	94	92	83	76	80	89
Other	815	761	858	818	796	867	786	841	818

SIEVE SIZE หมายถึง ขนาดตะแกรง

SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8

Average หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนก้อนที่นับได้

ตารางที่ 51 ผลการวิเคราะห์จำนวนก้อนของมวลรวมที่นับได้ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง 3

SIEVE SIZE	SECT 1	SECT 2	SECT 3	SECT 4	SECT 5	SECT 6	SECT 7	SECT 8	Average
1/2in	3	2	1	3	2	1	3	4	2
3/8in	4	4	5	3	2	4	5	2	4
4#	22	19	30	26	25	28	24	30	26
8#	79	105	92	97	101	88	89	80	91
Other	988	891	918	880	904	844	832	786	880

SIEVE SIZE หมายถึง ขนาดตะแกรง

SECT1 – SECT8 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 – หน้าตัดที่ 8

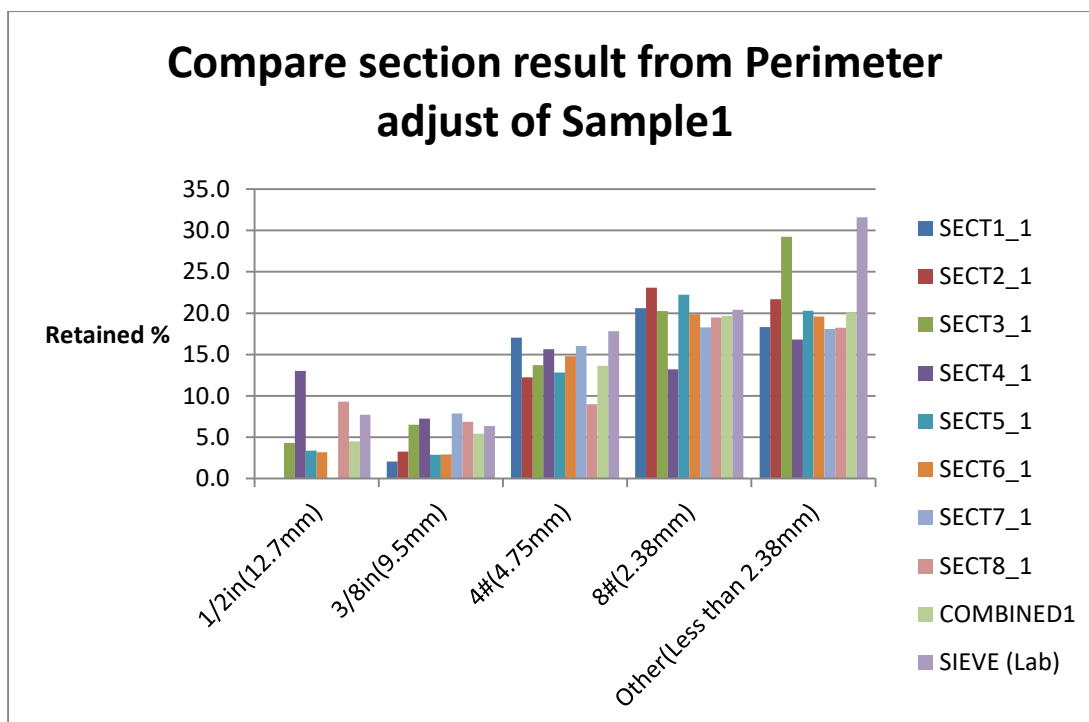
Average หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนก้อนที่นับได้

4.7.2 ลักษณะการกระจายตัวของเปอร์เซ็นต์ค้ำแยกตามขนาดของมวลรวม

รูปที่ 92 93 และ 94 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดของมวลรวม 5 ขนาด คือ 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว #4 #8 และต่ำกว่า #8 โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างขนาดของมวลรวมและเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรง โดยใช้หน้าตัดทั้งหมด 8 หน้าตัด และทำการวิเคราะห์รวม 8 หน้าตัด 1 ภาพ และเทียบกับผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ 1 ค่า จากผลการวิเคราะห์จากรูปที่ 77 มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว มีการกระจายขนาดไม่ตื้นัก มวลรวมขนาดเบอร์ 4# เบอร์ 8# และต่ำกว่าเบอร์ 8# ให้ผลการกระจายตัวที่ดีกว่า แต่มวลรวมขนาดต่ำกว่าเบอร์ 8# มีค่าความแตกต่างมากเกินไปเมื่อเทียบค่าจากห้องปฏิบัติการ

ผลการวิเคราะห์จำนวนก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน ก้อนละ 8 หน้าตัด โดยแยกมวลรวมออกเป็น 5 ขนาด คือ 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว #4 #8 และต่ำกว่า #8 รูปที่ 92 93 และ 94 เป็นการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำของมวลรวมในแต่ละก้อนตัวอย่าง

สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาด 1/2 นิ้ว ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีเปอร์เซ็นต์การค้ำไม่เท่ากันในแต่ละหน้าตัด สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีเปอร์เซ็นต์การค้ำไม่เท่ากันในแต่ละหน้าตัด สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาด #4 ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การค้ำในแต่ละหน้าตัดใกล้เคียงกัน คือประมาณ 10-15% สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาด #8 ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การค้ำในแต่ละหน้าตัดใกล้เคียงกัน คือประมาณ 15-20% สำหรับมวลรวมตะแกรงขนาดต่ำกว่า #8 ในแต่ละหน้าตัดของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การค้ำในแต่ละหน้าตัดใกล้เคียงกัน คือประมาณ 15% จากผลการวิเคราะห์นี้ค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำของมวลรวมขนาด #4 และ #8 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการมากที่สุด โดยค่าความแตกต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำการไม่ควรแตกต่างกันเกิน 4% สำหรับมวลรวมขนาดเบอร์ 4# ไม่ควรเกิน 3% สำหรับมวลรวมขนาดเบอร์ 8# เนื่องจากค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและการร่อนตะแกรงมีค่าอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ที่กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 92 การเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละหน้าตัด เพอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงแบบวิเคราะห์รวม 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ ของก้อนตัวอย่าง 1 ซึ่งผ่านการปรับแก้พื้นที่ด้วยการใช้เส้นรอบรูป

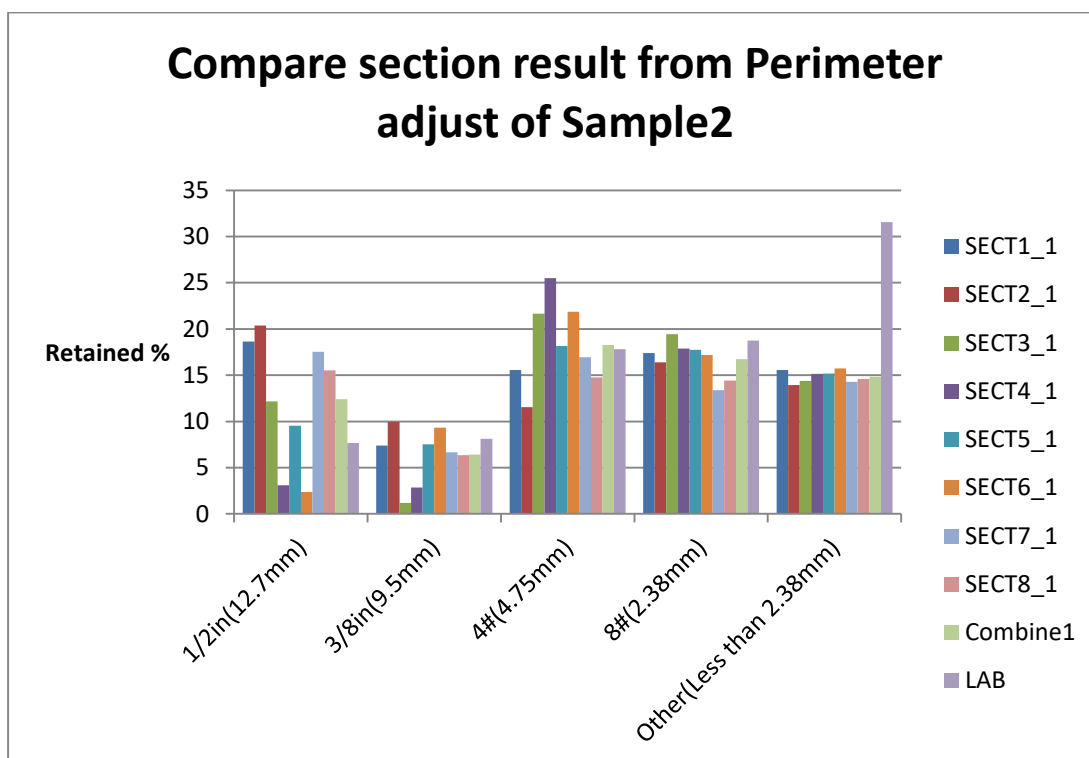
โดย SECT1_1 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 คำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป

SECT2_1 หมายถึง หน้าตัดที่ 2 คำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป

SECT8_1 หมายถึง หน้าตัดที่ 8 คำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป

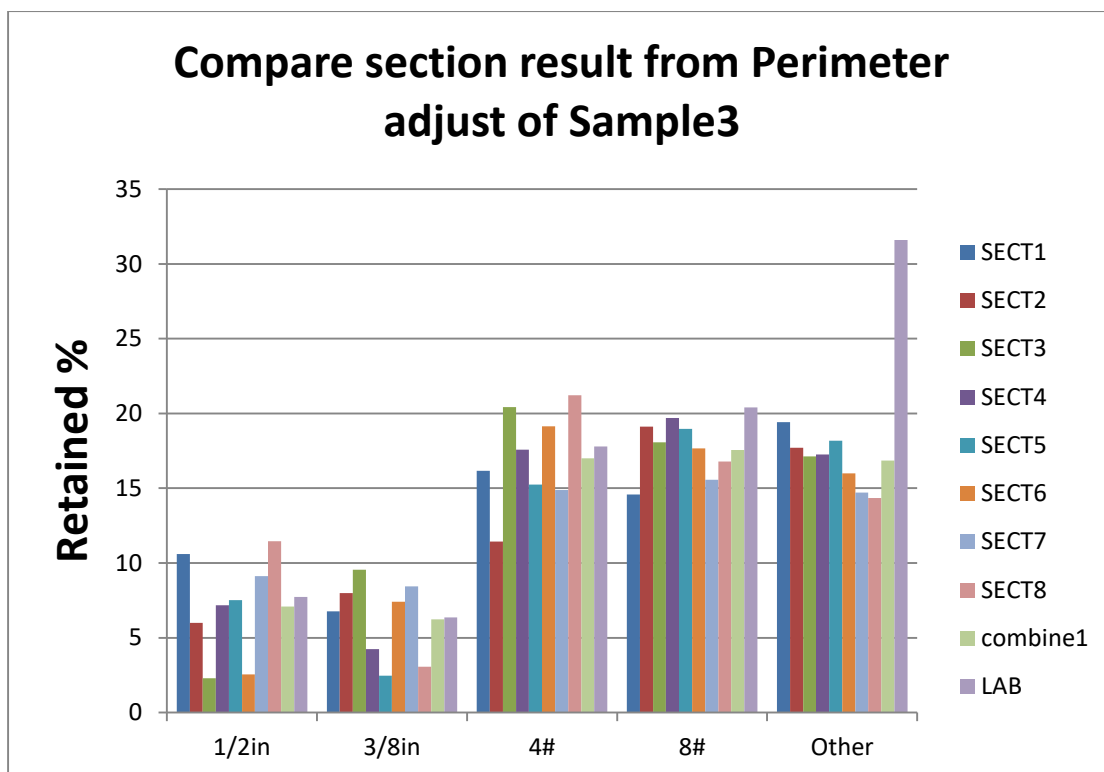
COMBINED1 หมายถึง คำนวณรวมตั้งแต่หน้าตัดที่ 1 ถึงหน้าตัดที่ 8 และทำการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป

SIEVE(Lab) หมายถึง การทดลองในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 93 การเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละหน้าตัด เพอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงแบบวิเคราะห์รวม 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ ของก้อนตัวอย่าง 2 ซึ่งผ่านการปรับแก้พื้นที่ด้วยการใช้เส้นรอบรูป

โดย SECT1_1 หมายถึง หน้าตัดที่ 1 คำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
 SECT2_1 หมายถึง หน้าตัดที่ 2 คำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
 SECT8_1 หมายถึง หน้าตัดที่ 8 คำนวณปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
 COMBINED1 หมายถึง คำนวณรวมตั้งแต่หน้าตัดที่ 1 ถึงหน้าตัดที่ 8 และทำการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
 LAB หมายถึง การทดลองในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 94 การเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละหน้าตัด เพอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงแบบวิเคราะห์ห้รวม 8 หน้าตัด และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่ได้จากการร่อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ ของก้อนตัวอย่าง 3 ซึ่งผ่านการปรับแก้พื้นที่ด้วยการใช้เส้นรอบรูป

SECT1_1	หมายถึง หน้าตัดที่ 1 คำนวนปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
SECT2_1	หมายถึง หน้าตัดที่ 2 คำนวนปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
SECT8_1	หมายถึง หน้าตัดที่ 8 คำนวนปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
COMBINED1	หมายถึง คำนวนรวมตั้งแต่หน้าตัดที่ 1 ถึงหน้าตัดที่ 8 และทำการปรับแก้ด้วยเส้นรอบรูป
LAB	หมายถึง การทดลองในห้องปฏิบัติการ

4.7.3 วิเคราะห์ช่วงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ค้ำ

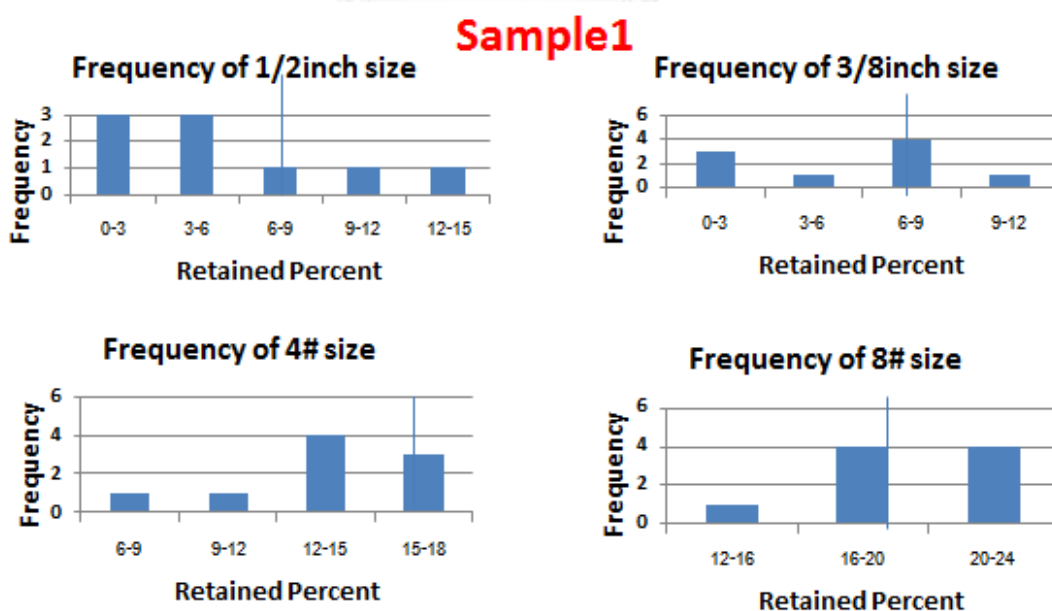
สำหรับช่วงความถี่ของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่วิเคราะห์ได้ในมวลรวมแต่ละขนาดมีความแตกต่างกันในก้อนตัวอย่างแต่ละก้อน โดยรูปที่ 95 96 และ 97 แสดงค่าความถี่ของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรง โดยใช้จำนวนหน้าตัดเป็นตัวแทนของความถี่ ของก้อนตัวอย่าง 1 2 และ 3 ตามลำดับสำหรับก้อนตัวอย่าง 1

จากรูปที่ 95 มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 0-6% มวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 6-9% มวลรวมขนาด #4 มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 12-18% มวลรวมขนาด #8 มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 16-24% สำหรับก้อนตัวอย่าง 1

จากรูปที่ 96 มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 14-21% มวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 6-9% มวลรวมขนาด #4 มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 12-24% มวลรวมขนาด #8 มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 15-18% สำหรับก้อนตัวอย่าง 2

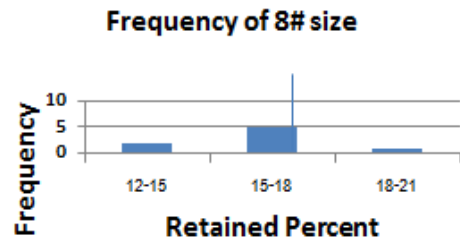
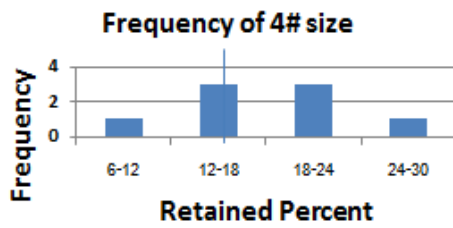
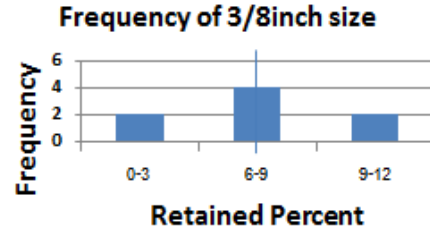
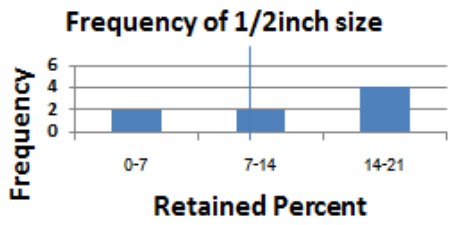
จากรูปที่ 97 มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 4-12% มวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 6-9% มวลรวมขนาด #4 มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 15-20% มวลรวมขนาด #8 มีค่าความถี่สูงสุดของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงอยู่ที่ 18-21% สำหรับก้อนตัวอย่าง 3

จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าช่วงความถี่สูงสุดที่มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการมากที่สุด คือช่วงความถี่ของมวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ #4 และ เบอร์ #8



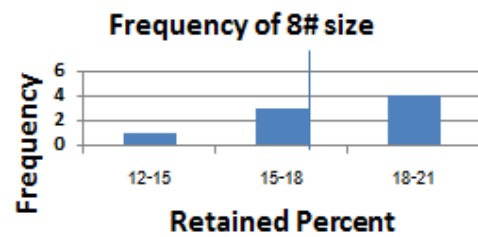
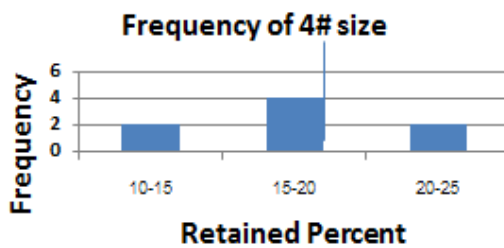
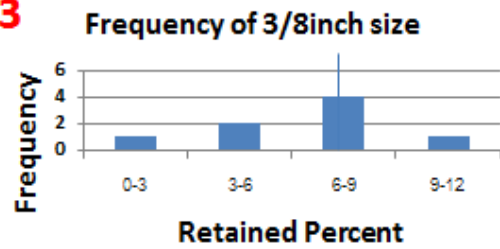
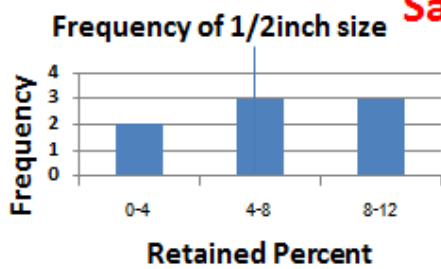
รูปที่ 95 ความถี่ของช่วงเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่าง 1

Sample2



รูปที่ 96 ความถี่ของช่วงเปอร์เซ็นต์ค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่าง 2

Sample3



รูปที่ 97 ความถี่ของช่วงเปอร์เซ็นต์ค้ำตะแกรงในแต่ละขนาดของก้อนตัวอย่าง 3

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

สำหรับในบทที่ 5 นี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงผลสรุปของงานวิจัยโดยผู้วิจัยทำการแยกประเด็นไว้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จากในบทที่ 1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มีสามส่วนหลัก คือ

- 1) ประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลภาพถ่ายมาวิเคราะห์ภาพถ่ายหน้าตัดแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อคำนวณหาคุณสมบัติด้านมิติของมวลรวมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต อันได้แก่ ขนาดคละ, ดัชนีความยาว
- 2) เพื่อเปรียบเทียบขนาดคละและดัชนีความยาวที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย และขนาดคละที่ได้จากวิธีปกติ
- 3) เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปร พื้นที่หน้าตัดและจำนวนหน้าตัด ที่มีต่อความถูกต้องของผลการวัดด้วยเทคนิคประมวลผลด้วยภาพถ่าย

5.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายคำนวณหาคุณสมบัติด้านมิติของมวลรวม

ผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคใหม่ขึ้นมาสองเทคนิค คือ เทคนิคการซ้อนภาพเจ็ทชันและเทคนิคการกัดกร่อนภาพแล้วแยกตามขนาดวัตถุ ซึ่งสองเทคนิคใหม่นี้สามารถแก้ปัญหาภาพมวลรวมที่แนบติดกันได้ จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสองเทคนิคใหม่นี้ โดยการเปรียบเทียบกับภาพที่แยกด้วยสายตามนุษย์(manual)

จากการทดลองของผู้วิจัยเทคนิคการประมวลผลสามารถคำนวณคุณสมบัติด้านมิติ คือ ขนาดคละ และดัชนีความยาว โดยใช้พื้นที่ ความยาว และความกว้างของมวลรวมในการคำนวณ

สำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคในการประมวลผลภาพถ่ายนั้น ผู้วิจัยได้มีการคิดค้นเทคนิคใหม่ขึ้นมาสองเทคนิค คือ เทคนิคการซ้อนภาพเจ็ทชันและเทคนิคการกัดกร่อนแล้วแยกตามขนาดวัตถุ จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของการคำนวณโดยสร้างภาพต้นแบบที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะประมวลผลได้ขึ้นมาหนึ่งภาพและทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของการคำนวณ ผลปรากฏว่าเทคนิคการกัดกร่อนแล้วแยกตามขนาดวัตถุให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากกว่าเทคนิคการซ้อนภาพเจ็ทชัน ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เทคนิคการกัดกร่อนภาพแล้วแยกตามขนาดวัตถุในการคำนวณคุณสมบัติด้านมิติของมวลรวม

5.2 เปรียบเทียบขนาดคละและดัชนีความยาวที่ได้จากการประมวลผลภาพและจากวิธีร้อนตะแกรงในห้องปฏิบัติการ

สำหรับการเปรียบเทียบนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ การเปรียบเทียบขนาดคละ และการเปรียบเทียบดัชนีความยาว ในส่วนของขนาดคละนั้นผู้วิจัยได้ใช้เปอร์เซ็นต์การค้ำเป็นตัวแทนเปรียบเทียบ ในส่วนของดัชนีความยาวนั้น ผู้วิจัยได้ใช้สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง และสัดส่วนความสูงต่อความกว้างเป็นตัวเปรียบเทียบ

5.2.1 เปรียบขนาดคละจากการประมวลผลภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากในบทที่ 4 ในหัวข้อ 4.2 ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากภาพถ่ายหน้าตัดวงกลมเทียบกับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของก้อนตัวอย่างสามก้อน และเก้าก้อน โดยใช้มวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว เบอร์ 4# และเบอร์ 8# ได้ผลว่าเปอร์เซ็นต์การค้ำของมวลรวมแต่ละขนาดที่ได้จากการประมวลผลภาพหน้าตัดไม่มีความแตกต่างกับเปอร์เซ็นต์การค้ำของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อน และเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของมวลรวมขนาด 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และเบอร์ 8# จากวิธีประมวลผลภาพหน้าตัดไม่มีความแตกต่างกับเปอร์เซ็นต์การค้ำของก้อนตัวอย่างทั้งเก้าก้อนในห้องปฏิบัติการ จึงสรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์การค้ำระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกับการประมวลผลภาพหน้าตัด

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การค้ำที่คำนวณได้จากก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน(annova) ได้ผลออกมาว่าเปอร์เซ็นต์การค้ำของก้อนตัวอย่างทั้งสามก้อนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงสรุปได้ว่าในสูตรการผสมและวิธีบดอัดแบบเดียวกันเมื่อทำการประมวลผลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ การใช้ก้อนตัวอย่างที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำ

5.2.2 เปรียบเทียบดัชนีความยาวจากการประมวลผลภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

สำหรับการเปรียบเทียบดัชนีความยาว ได้ทำการวิเคราะห์ในสองส่วน คือ เปรียบเทียบระหว่างการคำนวณจากภาพถ่ายหน้าตัดของก้อนตัวอย่างผสมร้อนกับการคำนวณจากภาพถ่ายมวลรวมก่อนผสมที่ถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพแนวตั้ง เปรียบเทียบระหว่างการวัดด้วยเวอร์เนียร์กับการประมวลผลภาพ สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณในหน้าตัดกับการคำนวณด้วยกล้องถ่ายภาพ ผลการทดสอบที่ได้ คือ ดัชนีความยาวที่คำนวณได้จากภาพถ่ายหน้าตัดมีค่าไม่แตกต่างจากดัชนีความยาวที่คำนวณจากภาพถ่ายมวลรวมแนวตั้งจากกล้องถ่ายภาพ สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการวัดด้วยเวอร์เนียร์กับการประมวลผลภาพ ในด้านของสัดส่วนความยาวต่อความกว้าง ค่าที่ได้จากการวัดด้วยเวอร์เนียร์กับการประมวลผลภาพมีค่าแตกต่างกันประมาณ 0.1 ในด้านของสัดส่วนความสูงต่อความกว้าง ค่าที่วัดได้จากการวัดด้วยเวอร์เนียร์มีค่าใกล้เคียงกันมากกับการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ จึงสรุปได้ว่าค่าสัดส่วนความสูงต่อความกว้าง และสัดส่วนความยาวต่อความกว้างที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ

5.3 พื้นที่หน้าตัดและจำนวนหน้าตัด

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาว่าพื้นที่หน้าตัดและจำนวนหน้าตัดส่งผลต่อการวิเคราะห์สัดส่วนด้านมิติหรือไม่ สำหรับพื้นที่หน้าตัดผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 60x60 mm เทียบกับพื้นที่หน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm สำหรับจำนวนหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์ผู้วิจัยได้ทำการวัดเปรียบเทียบในจำนวนหน้าตัดที่ไม่เท่ากัน

5.3.1 พื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณ

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบทางสถิติว่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กมีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่หรือไม่ ผลปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงที่คำนวณได้จากพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กมีไม่เท่ากับเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงสรุปได้ว่ามีความแตกต่างกัน จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบต่อว่าพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กกับพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ พื้นที่แบบไหนให้ความถูกต้องของการคำนวณมากกว่ากัน โดยเทียบกับผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ ผลปรากฏว่าพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ให้ผลของความถูกต้องมากกว่าพื้นที่ขนาดเล็ก

5.3.2 จำนวนหน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณ

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบทางสถิติว่าผลต่างของค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำของการคำนวณจากหนึ่งหน้าตัดและสองหน้าตัดมีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ ผลปรากฏว่าผลต่างของค่าเปอร์เซ็นต์การค้ำของการคำนวณจากหนึ่งหน้าตัดและสองหน้าตัดมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ จึงสรุปได้ว่าจำนวนหน้าตัดที่แตกต่างกันส่งผลต่อการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงของมวลรวม จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบต่อว่าจำนวนหน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณมากขึ้นส่งผลต่อความถูกต้องของการคำนวณเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงหรือไม่ โดยเปรียบเทียบค่าผลต่างกำลังสองของเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงจากวิธีปกติกับวิธีประมวลผลภาพ โดยทำการเปรียบเทียบในสองหน้าตัดสี่หน้าตัดและหกหน้าตัด ผลปรากฏว่าค่าความถูกต้องเรียงจากมากไปน้อยคือ หกหน้าตัด สี่หน้าตัด และสองหน้าตัด จึงสรุปได้ว่าจำนวนหน้าตัดที่ใช้วิเคราะห์ถ้าหากมีจำนวนมากขึ้นจะทำให้เกิดความถูกต้องของการคำนวณมากขึ้น

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการประมวลผลภาพจะให้ค่าไม่ตรงกับการคำนวณในห้องปฏิบัติการ 100% แต่การประมวลผลภาพก็มีข้อดี คือ ช่วยประหยัดเวลาในการคำนวณเมื่อเทียบกับวิธีปกติ ช่วยประหยัดค่าอุปกรณ์ในการทดสอบ และมีความปลอดภัยสูง โดยสำหรับในงานวิจัยนี้เทคนิคนี้สามารถนำไปใช้ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การค้ำตะแกรงเบื้องต้นได้ โดยการนำก้อนตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการ และก้อนตัวอย่างจากภาคสนามมาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำด้วยวิธีการประมวลผลภาพหน้าตัด เปอร์เซ็นต์การค้ำของก้อนตัวอย่างต้องมีค่าใกล้เคียงกันในส่วนผสมแบบเดียวกัน เพราะจากบทที่ 4 ของงานวิจัยนี้สรุปว่าก้อนตัวอย่างที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การค้ำของภาพหน้าตัดแอสฟัลต์คอนกรีต

ในอนาคตถ้าหากว่าผู้วิจัยมีเครื่องมือที่เหมาะสมและทันสมัยมากขึ้น ผู้วิจัยจะสามารถทำงานวิจัยในระดับที่สูงขึ้นได้ โดยการประมวลผลภาพในแบบสามมิติโดยใช้ภาพถ่ายจาก CT SCAN ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการประมวลผลภาพในสองมิติ ผู้วิจัยคิดว่าเทคนิคการประมวลผลภาพในอนาคตจะต้องเป็นที่ยอมรับในวงการวิศวกรรมอย่างแน่นอน



รายการอ้างอิง





ขนาดช่องของตะแกรงเบอร์ต่างๆ

ขนาดตะแกรง	ขนาดช่อง
1 นิ้ว	25.4 mm
3/4 นิ้ว	19 mm
1/2 นิ้ว	12.7 mm
3/8 นิ้ว	9.5 mm
เบอร์ 4	4.75 mm
เบอร์ 8	2.38 mm
เบอร์ 16	1.2 mm
เบอร์ 30	0.6 mm
เบอร์ 50	0.3 mm
เบอร์ 100	0.15 mm
เบอร์ 200	0.075 mm

ความยาวของช่องวัดความยาวที่ใช้กับตะแกรงขนาดต่างๆ
(กองวิเคราะห์และวิจัย, กรมทางหลวง)

Sieve Size U.S. Standard Square Opening (mm.)	Gauge length (mm.)
63.5-50.8 (2 1/2"-2")	102.87 (4.050")
50.8-38.1 (2"-1 1/2")	80.01 (3.150")
38.1-25.4 (1 1/2"-1")	57.15 (2.250")
25.4-19.05 (1"-3/4")	40.01 (1.575")
19.05-12.7 (3/4"-1/2")	28.58 (1.125")
12.7-9.52 (1/2"-3/8")	20.02 (0.788")
9.52-4.76 (3/8"-#4)	12.85 (0.506")

(ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมคำนวณใน MATLAB วิธีซ้อนภาพ 7 ชั้น)

```
function Lrgb = Process(I, diamond_size)

%% Step 1. Gray scale
%I = imread('trf-1.png');
%    I = rgb2gray(IMG);
%figure('Name', 'Gray scale'),imshow(I);
%imshow(I);

%% Step 2. Use the Gradient Magnitude as the Segmentation
Function
hy = fspecial('sobel');
hx = hy';
Iy = imfilter(double(I), hy, 'replicate');
Ix = imfilter(double(I), hx, 'replicate');
gradmag = sqrt(Ix.^2 + Iy.^2);
%    figure
%    imshow(gradmag,[]), title('Gradient magnitude (gradmag)')

%% Step
L = watershed(gradmag);
Lrgb = label2rgb(L);
%figure, imshow(Lrgb), title('Watershed transform of gradient
magnitude (Lrgb)')

%% Step 3.
se = strel('diamond', diamond_size);
Io = imopen(I, se);
%figure
%imshow(Io), title('Opening (Io)')

%% Step 4.
Ie = imerode(I, se);
Iobr = imreconstruct(Ie, I);
%figure
%imshow(Iobr), title('Opening-by-reconstruction (Iobr)')

%% Step 5.
Ioc = imclose(Io, se);
%figure
%imshow(Ioc), title('Opening-closing (Ioc)')

%% Step 6.
Iobrd = imdilate(Iobr, se);
Iobrchr = imreconstruct(imcomplement(Iobrd), imcomplement(Iobr));
Iobrchr = imcomplement(Iobrchr);
%figure
%imshow(Iobrchr), title('Opening-closing by reconstruction
(Iobrchr)')

%% Step 7.
fgm = imregionalmax(Iobrchr);
```

```

%figure
imshow(fgm), title('Regional maxima of opening-closing by
reconstruction (fgm)')

%% Step 8.
I2 = I;
    (ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมคำนวณใน MATLAB วิธีซ้อนภาพ 7 ชั้น)

I2(fgm) = 255;
%figure
imshow(I2), title('Regional maxima superimposed on original
image (I2)')

%% Step 9.
se2 = strel(ones(5,5));
fgm2 = imclose(fgm, se2);
fgm3 = imerode(fgm2, se2);

fgm4 = bwareaopen(fgm3, 20);
I3 = I;
I3(fgm4) = 255;
%figure
imshow(I3)
%title('Modified regional maxima superimposed on original image
(fgm4)')

%% Step 10.
bw = im2bw(Iobrcbr, graythresh(Iobrcbr));
%figure
imshow(bw), title('Thresholded opening-closing by reconstruction
(bw)')

%% Step 11.
D = bwdist(bw);
DL = watershed(D);
bgm = DL == 0;
%figure
imshow(bgm), title('Watershed ridge lines (bgm)')

%% Step 12.
gradmag2 = imimposemin(gradmag, bgm | fgm4);
L = watershed(gradmag2);
I4 = I;
I4(imdilate(L == 0, ones(3, 3)) | bgm | fgm4) = 255;
%figure
imshow(I4)
%title('Markers and object boundaries superimposed on original
image (I4)')

%% Step 13.
Lrgb = label2rgb(L, 'jet', 'w', 'shuffle');
%figure
imshow(Lrgb)
%title('Colored watershed label matrix (Lrgb)')

```

```

%% Step 14.
%hold on
%himage = imshow(Lrgb);
%himage.AlphaData = 0.1;
%figure;imshow(I);
%title('Lrgb superimposed transparently on original image')

```

(ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมคำนวณใน MATLAB วิธีซ้อนภาพ 7 ชั้น)

```

%% readfile
I1=imread('section1_1-10000.jpg');
se1=strel('diamond',5);
I2=imread('section2_10001-30000.jpg');
se2=strel('diamond',20);
I3=imread('section3_30001-50000.jpg');
se3=strel('diamond',30);
I4=imread('section4_50001+.jpg');
se4=strel('diamond',65);

%% Dilate image
dilate5=imdilate(I1,se1);
dilate20=imdilate(I2,se2);
dilate30=imdilate(I3,se3);
dilate65=imdilate(I4,se4);

%% SAVE FILE
imwrite(dilate5,'dilate5.jpg','jpg','Quality',100);
imwrite(dilate20,'dilate20.jpg','jpg','Quality',100);
imwrite(dilate30,'dilate30.jpg','jpg','Quality',100);
imwrite(dilate65,'dilate65.jpg','jpg','Quality',100);

clc;
clear all;
warning off;

%% 1 - 2
% Image 1 ( Diamond small )
diamond_size_small = 6;
Im = imread('1.tif');
I_1 = Im;
Lrgb_1 = Process(I_1, diamond_size_small);
figure('Name', 'Watershed Diamond small 1'),imshow(Lrgb_1);
imwrite(Lrgb_1,'diamond6.jpg','jpg','Quality',100);
% Marker 1
I_1 = rgb2gray(Lrgb_1);
BW_1 = zeros(size(I_1));
BW_1(I_1 == 255) = 255;
%BW_1 = ~BW_1;
%figure('Name', 'Marker Diamond small'),imshow(BW_1);
imwrite(BW_1,'diamond6_BW.jpg','jpg','Quality',100);
% Holes
BW1 = BW_1;
% BW1(1, 1:end-1) = 255;
% BW1(1:end-1, 1) = 255;

```



```

%     BW1(size(BW1, 1), 1:end-1) = 255;
%     BW1(1:end-1, size(BW1, 2)) = 255;
BW1_fill = imfill(BW1, 'holes');
imwrite(BW1_fill, 'diamond6_hole.jpg', 'jpg', 'Quality', 100);

```

(ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐาน ASTM)

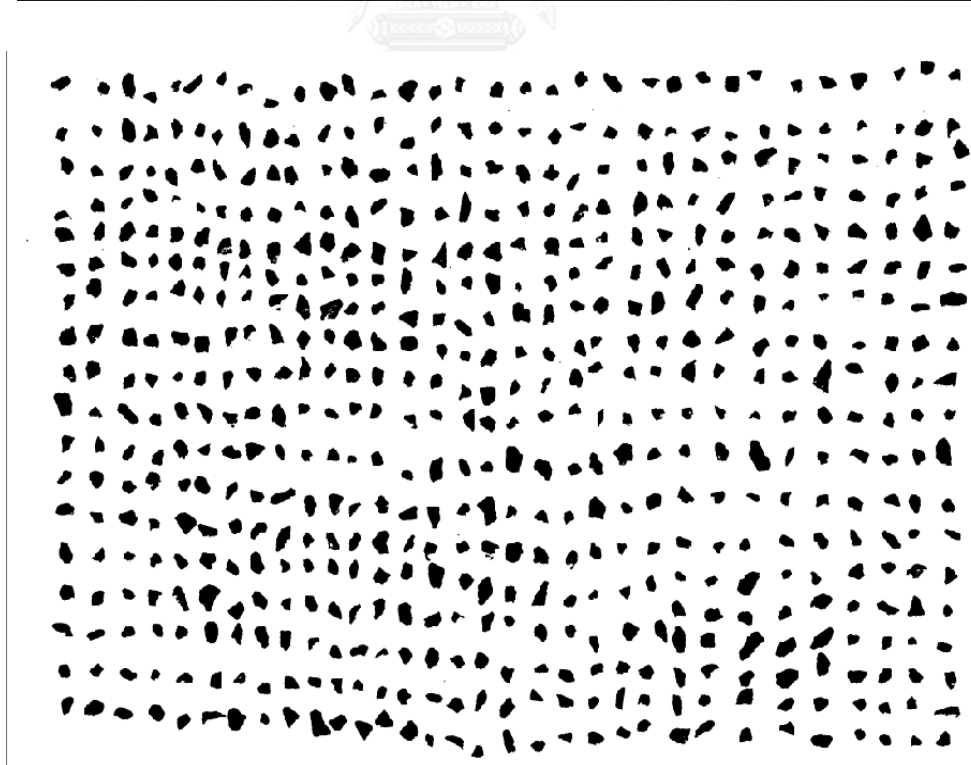
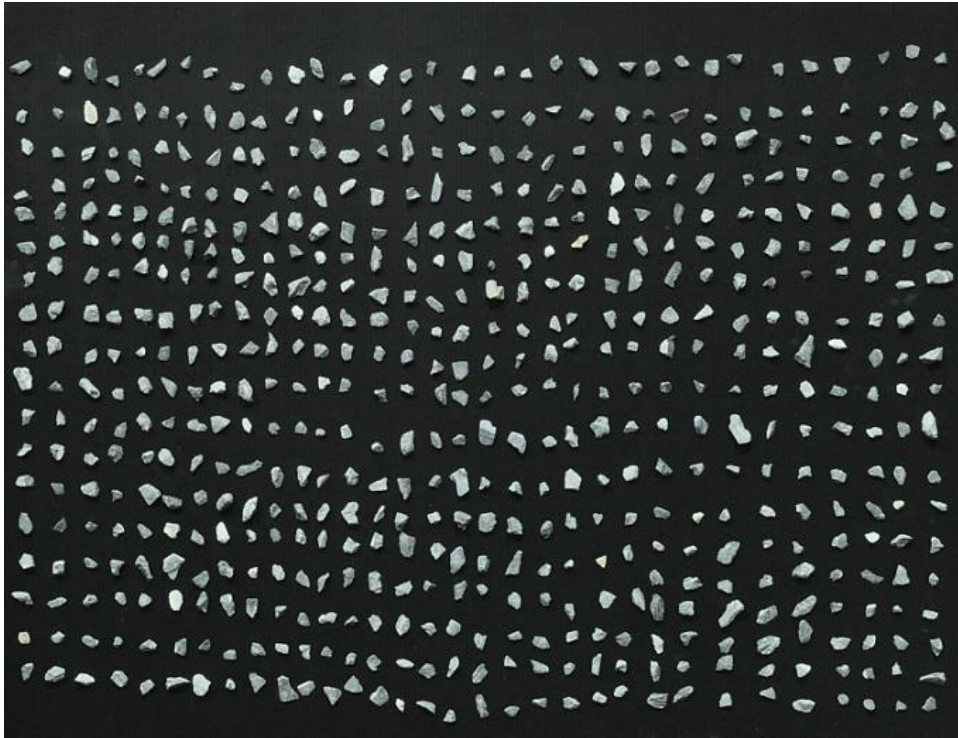
TABLE 2 Precision

	Total Percentage of Material Passing		Standard Deviation (1s), % ^A	Acceptable Range of Two Results (d2s), % ^A
Coarse Aggregate.^B				
Single-operator precision	<100	≥95	0.32	0.9
	<95	≥85	0.81	2.3
	<85	≥80	1.34	3.8
	<80	≥60	2.25	6.4
	<60	≥20	1.32	3.7
	<20	≥15	0.96	2.7
	<15	≥10	1.00	2.8
	<10	≥5	0.75	2.1
	<5	≥2	0.53	1.5
	<2	>0	0.27	0.8

(ตัวอย่างภาพถ่ายด้านบน และด้านข้างก่อนและหลังวิเคราะห์)



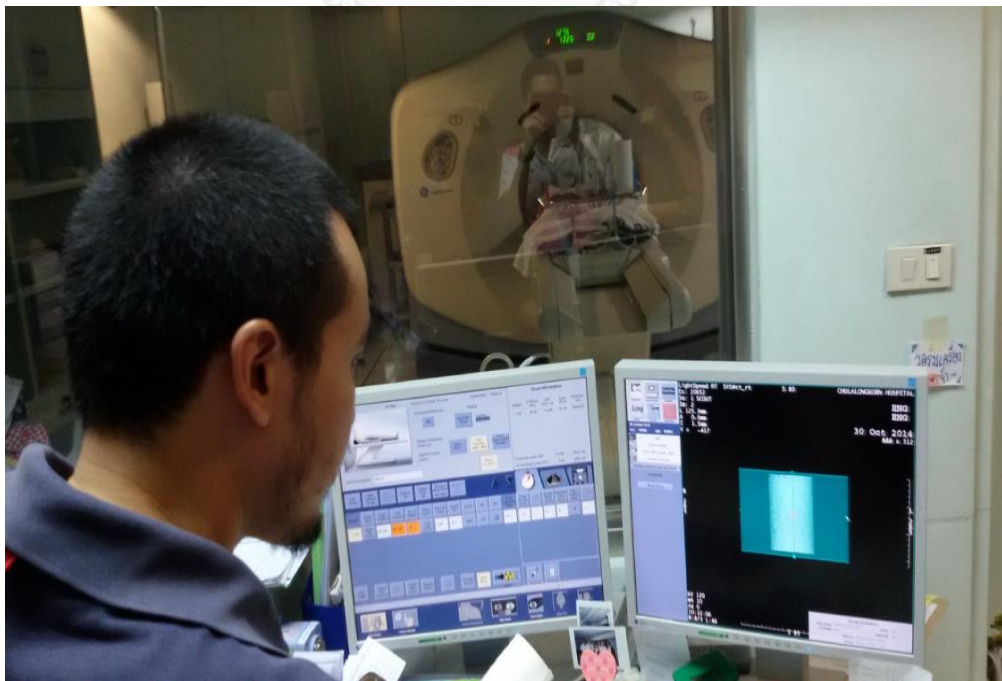
(ตัวอย่างการวิเคราะห์ภาพที่ถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ)



(ตัวอย่างที่คำนวณได้จากการประมวลผลภาพ)

Area	Perimeter	BX	BY	Width	Height	Major	Minor	Angle	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngle	Min Feret
65.2.2	113.7	16.0	10.0.3	34.2	30.2	34.0	24.4	149.4	38.0	17.1	109.7	146.7	26.6
46.1.8	85.6	23.3.4	96.0	27.9	25.0	28.2	20.9	30.1	28.8	233.5	111.6	17.1	22.1
43.5.8	93.4	18.8.9	94.1	25.1	30.5	30.1	18.4	57.0	33.4	190.2	118.7	46.2	21.0
42.9.9	86.8	10.9.6	10.4.3	27.4	24.1	27.8	19.7	15.8.1	29.1	111.7	108.9	138.3	20.5
46.1.7	87.0	70.8	10.2.0	24.6	29.4	28.4	20.7	11.8.8	30.6	79.2	102.0	106.6	20.3
34.8.1	79.2	39.3.1	93.3	20.6	25.3	23.7	18.7	12.5.5	26.6	393.9	100.2	137.5	19.7
33.3.5	75.5	69.4	14.1.7	19.7	24.5	23.7	17.9	10.9.8	26.5	75.1	141.7	112.4	19.2
34.6.8	77.0	22.7.3	17.7.3	25.3	19.6	24.4	18.1	17.9.4	25.4	227.3	193.1	6.3	19.0
28.3.9	66.4	27.5.1	18.2.0	20.0	19.1	19.8	18.3	27.3.3	21.0	275.2	194.6	28.0	18.8
39.1.6	83.6	28.0.0	10.1.2	28.9	19.3	28.9	17.2	14.8.8	31.0	280.0	113.3	21.5	18.8
49.9.2	100.8	15.6.6	92.6	23.8	35.8	36.4	17.5	68.9.9	37.6	160.1	128.3	69.7	18.7
32.9.1	83.8	43.1.9	95.0	28.3	21.0	26.1	16.1	21.0.0	28.3	431.9	112.5	2.6	18.6
27.9.5	70.5	66.3	18.6.8	19.7	21.4	20.8	17.1	12.2.4	23.2	67.0	189.4	131.7	18.4
41.4.7	89.7	13.8.6	14.4.7	32.6	19.0	31.4	16.8	16.2.0	33.4	138.6	149.1	167.5	18.3
32.9.8	74.5	74.0	99.8	24.0	20.3	24.8	16.9	26.0.0	25.4	74.2	113.5	24.9	18.2
40.8.3	83.5	20.7	14.6.3	23.8	26.3	29.7	17.5	51.0.0	30.3	21.6	171.4	41.6	18.2
35.3.8	78.8	18.5.5	13.9.8	26.7	18.8	26.0	17.3	16.5.9	28.1	185.6	141.4	158.1	17.8

(ภาพตัวอย่างทดสอบเครื่อง CT SCAN)



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายกฤษฎา แสนสมบูรณ์

วัน เดือน ปี เกิด 25 มกราคม พ.ศ.2534 จังหวัดเชียงใหม่

ที่อยู่ปัจจุบัน

348/1 ถนนเจริญราษฎร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน รหัสไปรษณีย์
51000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556 วศ.บ. (วิศวกรรมสำรวจ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่ทำงานปัจจุบัน

บริษัท เฮ้าส์ ออฟ กริฟฟิน จำกัด (House of Griffin) อาคารซี.พี. ทาวเวอร์ 3
ถนนพญาไท แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน ครูสอนคณิตศาสตร์และฟิสิกส์

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2558 ครูสอนคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ บริษัท เฮ้าส์ ออฟ กริฟฟิน จำกัด
(House of Griffin) อาคารซี.พี. ทาวเวอร์ 3 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ

ผลงานตีพิมพ์

กฤษฎา แสนสมบูรณ์. การวิเคราะห์มิติขนาดของหินโรยทางที่ผ่านการสีหรือ
โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ,การประชุมวิชาการและแสดงนิทรรศการอุตสาหกรรมระบบ
ขนส่งทางรางไทย ครั้งที่ 2 , พิษณุโลก , 2558

ทุนการศึกษาที่ได้รับ

-พ.ศ.2558 ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช
ประจำปีการศึกษา พ.ศ.2558

-พ.ศ.2558 ทุนพัฒนางานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ) ระดับปริญญาโท
ประจำปี พ.ศ.2558

ศิวารักษ์ อุ่นศิริไฉย. ผลของขนาดเศษยางบดผสมในมวลรวมที่มีต่อคุณสมบัติความต้านทานการยุบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน. ปรึญญานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

ต่อศักดิ์ สีลานันท์, เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา Biological Statistics Laboratory, ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

ไพศาล สันติธรรมนนท์. การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล, หน้า 235-277. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

มาตรฐานงานแอสฟัลต์คอนกรีต[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://www.civilclub.net/webboard/index.php?topic=3869.0>

กรมทางหลวงชนบท. มาตรฐานการวัดดัชนีความยาว[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://localroaddev.drr.go.th/>

ประเสริฐ บุญชัยสุข, รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม. กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก 566). เล่ม 2. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556.

กองวิเคราะห์และวิจัย. กรมทางหลวงชนบท. วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว. กรุงเทพฯ, 2518.

บุญชัย แสงเพชรงาม, แอสฟัลต์ซีเมนต์[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sboonch3/subjects/ce_materials.html

แผนกวิชาก่อสร้างวิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่. การหาขนาดคละของมวลรวมหยาบ[Online]. เข้าถึงได้จาก: <http://mixdesign.cmtc.ac.th/> [28 พฤษภาคม 2557]

กิริติ เครือจันทร์ , ธีระพงษ์ กิจธนศักดิ์ , ชวลิต ชูสุวรรณ และบุญชัย แสงเพชรงาม. การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะทางกายภาพของหินโรยทางรถไฟที่ตำแหน่งต่างๆเมื่อผ่านการใช้งาน , การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19 , ขอนแก่น , 2557

เทียมจันทร์ พานิชย์ผลินไชย.(2540). สถิติเพื่อการวิจัย, วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 พฤษภาคม – สิงหาคม 2540, หน้า 32-46)

นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2552). “ความสัมพันธ์ระหว่างสถิติกับการวิจัย”. สักทอง : วารสารการวิจัย. ปีที่ 15 ฉบับที่ 1/2552 มกราคม-มิถุนายน 2552. หน้า 1-13.

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. (2549). ระเบียบวิธีการวิจัยทางสังคมศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่ 9)
กรุงเทพมหานคร : จามจุรีโปรดักท์.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ.(2540). สถิติวิทยาทางการวิจัย. (พิมพ์ครั้งที่ 3). ภาควิชาการวัดผล
และวิจัยการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร : สุวีริ
ยาสาส์น.

ศิริชัย กาญจนวาสี, ทวีวัฒน์ ปิตยานนท์ และดิเรก ศรีสุโข (2551). การเลือกใช้สถิติที่เหมาะสม
สำหรับการวิจัย. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิทธิ์ ชีรสรณ์. (2552). เทคนิคการเขียนรายงานวิจัย. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร :
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรุณี อ่อนสวัสดิ์. (2551). ระเบียบวิธีวิจัย. (พิมพ์ครั้งที่ 3). พิษณุโลก : ภาควิชาการศึกษา คณะ
ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

