

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา  
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อการอนุรักษ์คุณภาพภาพถ่ายคัมภีร์ใบลาน

Applying Image Processing Techniques for Palm-Leaf Manuscripts Image's  
Quality Preservation

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. อัครา ธรรมมาสถิตย์กุล

#000251346

24 ส.ค. 2561

378710

เริ่มบริการ

๒7 ธ.ค. 2561

ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา

## ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยเรื่อง การใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อการอนุรักษ์คุณภาพภาพถ่ายคัมภีร์ใบลาน จัดทำขึ้นเพื่อการอนุรักษ์เอกสารโบราณที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคุณวันทนา กิตติวีรพันธ์ ผู้อำนวยการสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา และ คณะ ที่กรุณาให้ความรู้ ข้อมูล และตัวอย่างภาพถ่ายคัมภีร์ใบลาน อีกทั้งกราบขอบพระคุณพระครูวิมล ธรรมสิทธิ (พระอาจารย์แดง) เจ้าอาวาสวัดช่องลม นาเกลือ จังหวัดชลบุรี ผู้เชี่ยวชาญด้านคัมภีร์ใบลาน และ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญญฤทธิ์ อูยานนวาระ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คอมพิวเตอร์และการ สื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการประมวลผล ภาพ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการทำวิจัย และตรวจสอบผลการวิจัย มา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาสารสนเทศศึกษาทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และชี้แนะแนวทางในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวัญชฎิล พิศาลพงศ์ คณะมนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และ ดร.ศิริกานต์ ชูเชิด สำนักวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ที่กรุณาตรวจสอบ ปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่อง และให้คำแนะนำในการทำ รายงานการวิจัยให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ ครู อาจารย์ ทุกท่านประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในการทำวิจัยนี้ให้ สำเร็จ และขอบคุณสมาชิกในครอบครัวที่ส่งเสริมกำลังใจตลอดมา

ผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

คัมภีร์ไบเบิลเป็นเอกสารโบราณที่มีคุณค่าทั้งทางด้านประวัติศาสตร์ ถือเป็นมรดกทางวัฒนธรรมของชาติที่มีคุณค่าและความสำคัญอย่างยิ่ง มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับ พุทธศาสนา ตำรายา ตำราโหราศาสตร์ เป็นเอกสารชั้นต้นในศึกษาด้านประวัติศาสตร์ของสังคม คัมภีร์ไบเบิลส่วนใหญ่ถูกทำลาย หรือชำรุดเสียหายโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ การทำสำเนาแบบดิจิทัลไฟล์ และปรับปรุงคุณภาพภาพถ่ายที่ได้จะช่วยในการอนุรักษ์เอกสารโบราณเหล่านี้

การดำเนินการวิจัยเริ่มจากอ่านภาพดิจิทัลต้นฉบับ เลือกโหมดสี HSI ปรับความคมชัดของภาพ ด้วยวิธีการยืดความคมชัด ลดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองค่ามัธยฐาน การแยกตัวอักษรและพื้นหลังด้วยเทคนิคเทรซโฮลด์แบบการปรับตามความเข้มเฉพาะส่วนของภาพ อีกทั้งเพิ่มความชัดเจนของเส้นอักษรด้วยการใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ

ผลการวิจัยที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบและตรวจสอบกับผู้เชี่ยวชาญด้วยวิธีการวัดประสิทธิภาพเชิงคุณภาพ ซึ่งผลการวิจัยแสดงว่าการใช้เทคนิคการแยกตัวอักษรและพื้นหลังแบบการปรับตามความเข้มเฉพาะส่วนของภาพ สามารถแยกตัวอักษรและพื้นหลังในภาพที่มีสภาพแสงไม่สม่ำเสมอได้ดีกว่าการใช้เทคนิคเทรซโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ โดยค่าความถูกต้องอยู่ที่ 90% ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปแยกตัวอักษร เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการรู้จำตัวอักษรต่อไปได้

**คำสำคัญ:** คัมภีร์ไบเบิล การปรับปรุงคุณภาพ การประมวลผลภาพ

## Abstract

Palm leaf manuscripts are a very important evident of our historic. They are valuable ancient document. The contents in palm-leaf manuscript are about Buddhist doctrine, medicine, astrology and religion. Mostly palm-leaf manuscripts are found in the damaged sources. The digital files copying and image enhancement techniques could be used to preserve this valuable resources and knowledge.

This paper has proposed the enhancement techniques for palm-leaf manuscript images. The proposed method consists of image acquisition, HSI color model selection, image enhancement using contrast stretching, noise reduction using median filtering, image segmentation using local/adaptive thresholding, and enlarge text line using set of mathematical morphological techniques.

The resulted images are compared and validated with the experts. The results show the performance improvement of the adaptive thresholding over the global thresholding. The accuracy is 90%. The results show more visible character which could be used in the recognition step, in the future.

**Keywords:** Palm-leaf manuscripts, Enhancement, Image processing

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
<b>บทที่</b>	
1 บทนำ.....	1
ความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
คัมภีร์ไบเบิล.....	5
การประมวลผลภาพ.....	9
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	25
ขั้นตอนการประมวลผลภาพ.....	26
4 ผลการวิจัย.....	47
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	54
บรรณานุกรม.....	57
ภาคผนวก .....	60
ภาคผนวก ก ผลการทดลองภาพถ่ายคัมภีร์ไบเบิลทั้งหมด.....	61
ภาคผนวก ข ผลผลิตจากงานวิจัย.....	67

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระยะเวลาทำการวิจัยตลอดโครงการวิจัย.....	23
2	เปรียบเทียบผลการแยกตัวอักษรจากพื้นหลังภาพถ่ายใบลานที่ไม่ผ่านขั้นตอนการ ประมวลผลภาพ และผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพ.....	48
3	เปรียบเทียบผลการแยกตัวอักษรจากพื้นหลังภาพถ่ายใบลานด้วยการทำเทรซโฮลด์ แบบค่าเดียวทั้งภาพ กับการทำเทรซโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ.....	48

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ตัวอย่างภาพถ่ายคัมภีร์ไบเบิลที่เสื่อมสภาพ .....	2
2 กรอบแนวความคิดการวิจัย .....	3
3 คัมภีร์ไบเบิลและหีบใส่คัมภีร์ไบเบิล .....	6
4 คัมภีร์ไบเบิลที่ชำรุดจากสภาพแวดล้อมและการเก็บรักษา.....	6
5 การถ่ายภาพคัมภีร์ไบเบิลในสตูดิโอที่มีการจัดอุปกรณ์ถ่ายภาพที่เหมาะสม .....	7
6 การถ่ายภาพคัมภีร์ไบเบิลแบบไม่มีการจัดสภาพแวดล้อม.....	8
7 เปรียบเทียบภาพดิจิทัลกับภาพไมโครฟิล์มคัมภีร์ไบเบิล .....	8
8 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการประมวลผลภาพ .....	9
9 ระบบสี RGB.....	10
10 ระบบสี HSI.....	10
11 ตัวอย่างการกรองข้อมูลโดยใช้ค่ามัธยฐาน .....	13
12 ตัวอย่างการกรองข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย.....	14
13 ผลลัพธ์การกรองข้อมูลโดยใช้ค่ามัธยฐานและค่าเฉลี่ย (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่มีสัญญาณรบกวน (ค) ภาพที่ผ่านการกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน (ง) ภาพที่ผ่านการกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ย.....	14
14 การปรับปรุงคุณภาพด้วยเทคนิคฮิสโทแกรม .....	15
15 กราฟฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน.....	16
16 กราฟการแปลงค่าความเข้ม.....	16
17 การแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าล็อก .....	17
18 ฮิสโทแกรมของภาพ.....	18
19 ตัวอย่างการทำ Dilation .....	19
20 ตัวอย่างการทำ Erosion.....	20
21 ตัวอย่างการขยายภาพโดยการเพิ่มขนาดของเส้นตัวอักษรให้หนามากขึ้น.....	20
22 ขั้นตอนกระบวนการทำงานของระบบ .....	24
23 ภาพถ่ายคัมภีร์ไบเบิลจากวัตถุทอทั่วที่ใช้ในการทดลอง .....	25
24 ภาพต้นฉบับขนาด 1280x960 พิกเซล .....	27
25 ภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ ส่วนที่ 1 ขนาด 640x480 พิกเซล .....	27
26 ภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ ส่วนที่ 2 ขนาด 640x480 พิกเซล .....	27
27 ภาพในโหมดสี (ก) สีแดง (ข) สีเขียว และ (ค) สีน้ำเงิน .....	28
28 ภาพในโหมดสี (ก) ประเภทของสี (ข) ความอิ่มตัวของสี และ (ค) ความเข้มของสี.....	29
29 ภาพตั้งต้นในโหมดสีความเข้มสี (Intensity) และกราฟฮิสโทแกรม .....	30
30 ผลการปรับความคมชัดแบบฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน และกราฟฮิสโทแกรม.....	31

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
31 ผลการปรับความคมชัดแบบปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอิควอไลเซชันแบบปรับได้และกราฟฮิสโทแกรม.....	32
32 ผลการปรับความคมชัดแบบการแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าความเข้มเทาและกราฟฮิสโทแกรม .....	33
33 เปรียบเทียบผลการปรับความคมชัดแบบการแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าความเข้มเทา ที่ช่วงความเข้มสีและค่าแกมมาที่ต่างกัน พร้อมกราฟฮิสโทแกรม (ก) ช่วง 0.2-0.7 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.7 (ข) ช่วง 0.2-0.9 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.9 (ค) ช่วง 0.3-0.7 ค่าแกมมาเท่ากับ0.7 (ง) ช่วง 0.3-0.9 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.9.....	34
34 ผลการปรับความคมชัดแบบแปลงข้อมูลโดยใช้การยืดความคมชัด และกราฟฮิสโทแกรม.....	35
35 เปรียบเทียบผลการใช้เทคนิคการปรับความคมชัด 4 วิธี (ก) ฮิสโทแกรมอิควอไลเซชัน (ข) การปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอิควอไลเซชันแบบปรับได้ (ค) การแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา (ง) การยืดความคมชัด.....	36
36 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีใช้ค่าเฉลี่ย ด้วยมาส์คขนาด 3 (ก) จากผลการทำฮิสโทแกรมอิควอไลเซชัน (ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอิควอไลเซชันแบบปรับได้ (ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา (ง) จากผลการยืดความคมชัด .....	37
37 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีใช้ค่ามัธยฐานด้วยมาส์คขนาด 3 (ก) จากผลการทำฮิสโทแกรมอิควอไลเซชัน (ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอิควอไลเซชันแบบปรับได้ (ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา (ง) จากผลการยืดความคมชัด .....	38
38 ภาพขยายการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีใช้ (ก) ค่าเฉลี่ย และ (ข) ค่ามัธยฐานจากผลการยืดความคมชัด.....	38
39 ผลการทำเทรซโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ (ก) จากผลการทำฮิสโทแกรมอิควอไลเซชัน (ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอิควอไลเซชันแบบปรับได้ (ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา (ง) จากผลการยืดความคมชัด .....	39
40 ผลการทำเทรซโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ (ก) จากผลการทำฮิสโทแกรมอิควอไลเซชัน (ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอิควอไลเซชันแบบปรับได้ (ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา (ง) จากผลการยืดความคมชัด.....	41
41 การกลับค่าสีตัวอักษรสีขาว พื้นหลังสีดำ .....	43
42 การลบวัตถุขนาดเล็กกว่าตัวอักษร .....	43
43 การเพิ่มขอบลายเส้นตัวอักษรด้วยมาส์คแบบโดมอนขนาด 1.....	44
44 การเพิ่มขอบลายเส้นตัวอักษรด้วยมาส์คแบบโดมอนขนาด 7.....	44
45 การลดขอบลายเส้นตัวอักษรด้วยมาส์คแบบโดมอนขนาด 3 .....	44
46 การลบพื้นที่ที่ไม่ใช่ตัวอักษร .....	45
47 การเพิ่มความหนาให้ตัวอักษร.....	45

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
48 ขยายส่วนของภาพเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อน และหลังเพิ่มความหนาให้ตัวอักษร.....	45
49 การหาขอบตัวอักษร.....	46
50 การกลับค่าสี ภาพตัวอักษรสีดำ พื้นหลังสีขาว.....	46
51 ภาพถ่ายที่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพโหมดความเข้มสี (ค) ปรับความคมชัด (ง) ลดสัญญาณรบกวน (จ) แยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ฉ) เพิ่มความคมชัดของตัวอักษร.....	49
52 ภาพถ่ายที่ไม่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพโหมดความเข้มสี (ค) ปรับความคมชัด (ง) ลดสัญญาณรบกวน (จ) แยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ฉ) เพิ่มความคมชัดของตัวอักษร.....	51
53 ภาพขยายบริเวณที่ไม่สามารถแยกตัวอักษรได้ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพแยกพื้นหลัง.....	53
54 ผลการทดลองภาพถ่ายคัมภีร์โบราณที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้สมบูรณ์.....	61
55 ผลการทดลองภาพถ่ายคัมภีร์โบราณที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้ไม่สมบูรณ์.....	66

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความสำคัญของปัญหา

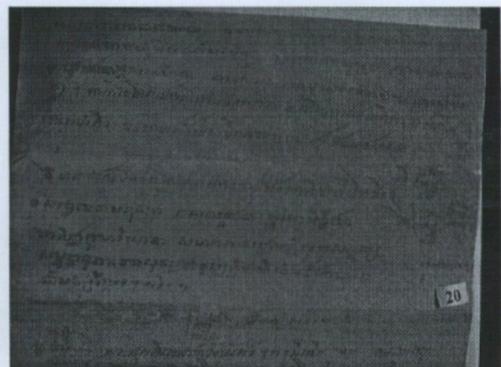
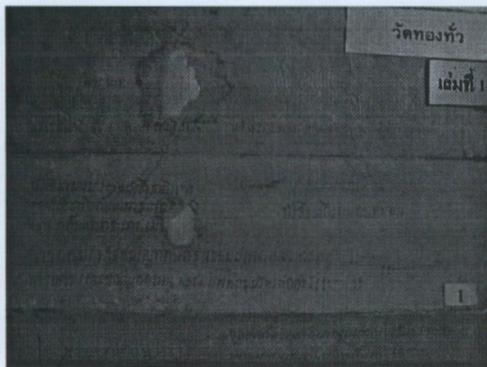
คัมภีร์ใบลานเป็นเอกสารโบราณที่มีคุณค่าทั้งทางด้านประวัติศาสตร์ และศาสนา ถือเป็นมรดกทางวัฒนธรรมของชาติที่มีคุณค่าและความสำคัญอย่างยิ่ง มีเนื้อหาที่เกี่ยวกับธรรมะที่เป็นคำสอนในพระไตรปิฎก เป็นที่รวบรวมสรรพวิทยาจากหลายสาขาวิชา เช่น พุทธศาสนา ตำรายา ตำราโหราศาสตร์ เป็นเอกสารชั้นต้นในศึกษาด้านประวัติศาสตร์ของสังคมสมัยก่อน แสดงให้เห็นถึงวัฒนธรรม อารยธรรม และภูมิปัญญาของคนในชาติ ยูเนสโกได้พิจารณาให้หนังสือใบลานเป็นมรดกทางวรรณคดีที่บันทึกประวัติศาสตร์โลก และบรรจุการอนุรักษ์หนังสือใบลานให้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการความทรงจำของโลก (UNESCO's Memory of the World Project) โดยมีศูนย์ฝึกอบรมในภูมิภาคอยู่ที่ สถาบันเอเชียศึกษา (the Institute of Asian Studies) ในเมืองมาดราส ประเทศอินเดีย (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO, 2008, วิชัย กุลชาบาล, 2543, สำนักหอสมุดแห่งชาติ, 2552ก, นิสาสล จำนงศรี, 2552)

การบันทึกข้อมูลลงในคัมภีร์ใบลานใช้วัสดุในธรรมชาติคือใบปาล์มซึ่งมีชื่อเรียกใบปาล์มแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศเช่นในสาธารณรัฐสังคมนิยมประชาธิปไตยศรีลังกาเรียกว่าโอลา (ola) ในอินเดียเรียกว่าทูลา (tula) สิริโหลลา (sritola) หรือการาลิกา (karalika) ในประเทศไทยเรียกว่าใบลาน (palm-leaf) (Ghosh, 2012) คัมภีร์ใบลานเป็นเอกสารโบราณที่บันทึกเรื่องราวโดยการจาร (เขียนด้วยเหล็กแหลมคม) เมื่อจารจบเรื่องแล้วจะใช้สายสนองร้อยเข้าเป็นผูก เรื่องหนึ่ง ๆ จะมีจำนวนผูกเท่าใดก็ได้ นับรวมเป็นหนึ่งคัมภีร์ การเตรียมใบลานการบันทึกหรือจารอักษรลงในใบลานซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาตินี้มีขั้นตอนวิธีที่ละเอียดอ่อน ต้องอาศัยความชำนาญ ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญโดยเฉพาะเท่านั้นจึงจารได้อย่างถูกต้องและสวยงาม และต้องมีเก็บรักษาอย่างถูกวิธี ข้อมูลอักษรจึงจะคงสภาพอยู่ได้นาน

สำนักหอสมุดหลายแห่ง รวมทั้งสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา ได้เล็งเห็นความสำคัญของเอกสารโบราณนี้ จึงได้มีการสำรวจ และอนุรักษ์เอกสารต้นฉบับ แต่เนื่องจากคัมภีร์ใบลานเป็นวัสดุที่เสื่อมสภาพไปตามกาลเวลา และสิ่งแวดล้อม ทั้งอุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง ฝุ่น และแมลง อีกทั้งการขาดความรู้ในการเก็บรักษาทำให้คัมภีร์ใบลานจำนวนมากถูกทำลาย หรือชำรุดเสียหายโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ (วันทนา กิตติศรีวรพันธ์, 2547) ถึงแม้จะเริ่มมีการทำสำเนาด้วยระบบดิจิทัลโดยใช้กล้องถ่ายภาพ (สินีนานฎ สมบูรณ์เอนก, 2555) แต่ภาพถ่ายที่ได้จากต้นฉบับที่ชำรุดหรือเสื่อมสภาพส่งผลให้ตัวอักษรในคัมภีร์ใบลานพร่าเลือนและไม่สมบูรณ์ อักษรที่ใช้ในใบลานส่วนใหญ่เป็นอักษรไทยโบราณ หรืออักษรขอม การคัดลอก การอ่านเพื่อถอดความหรือวิเคราะห์ข้อความทำได้ยากและต้องใช้เวลามาก

การปริวรรตอักษรเป็นการแปลงอักษรจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง เช่นการแปลงอักษรธรรมเป็นอักษรไทย การแปลงอักษรไทยโบราณเป็นอักษรไทยปัจจุบัน กระบวนการเหล่านี้จะทำให้การแปลความทำได้ง่ายขึ้น การปริวรรตอักษรจะทำได้ง่ายขึ้นถ้าตัวอักษรนั้นอยู่ในรูปอักษรพิมพ์ดิจิทัล

การนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาช่วยปรับปรุงคุณภาพภาพถ่ายคัมภีร์ใบลาน จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาเอกสารโบราณ ช่วยให้การคัดลอก การปริวรรต และถอดความสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้องมากยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้ต่อในกระบวนการประมวลผลคำ อีกทั้งยังช่วยสงวนรักษาเอกสารข้อมูลที่เป็นภูมิปัญญาของชาติไว้ได้ด้วย



ภาพที่ 1 ตัวอย่างภาพถ่ายคัมภีร์ใบลานที่เสื่อมสภาพ

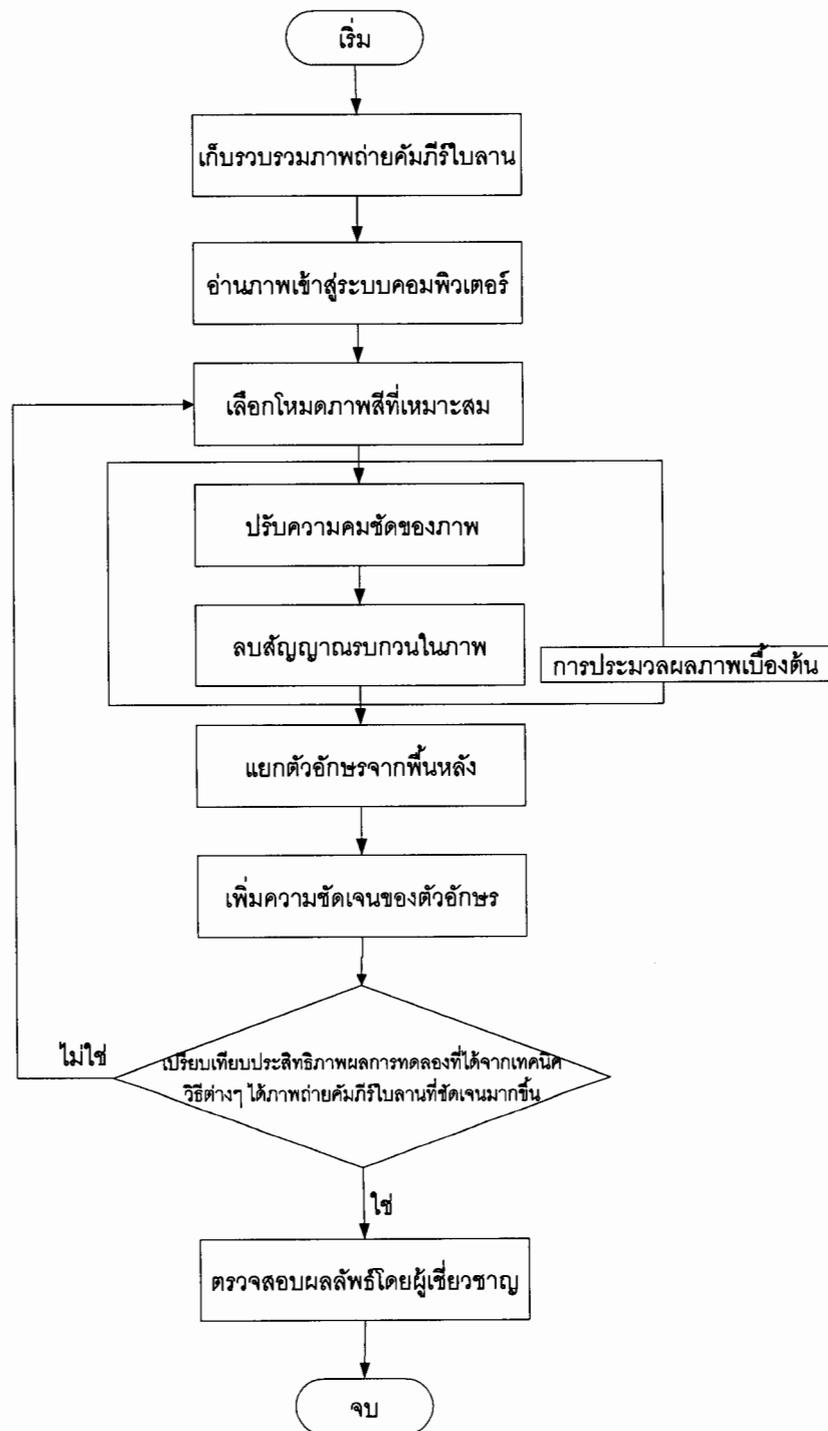
### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาเทคนิคการประมวลผลภาพที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพภาพถ่าย และความชัดเจนของตัวอักษรในคัมภีร์ใบลาน
2. เพื่อพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพภาพถ่ายคัมภีร์ใบลาน

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพภาพถ่าย
2. ใช้ภาพถ่ายคัมภีร์ใบลานที่เสื่อมสภาพ ตัวอักษรไม่ชัดเจน
3. ใช้ภาพถ่ายคัมภีร์ใบลานจากวัดทองทั่ว จังหวัดจันทบุรีที่ได้รับการอนุเคราะห์จากสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
4. ใช้ภาพถ่ายนามสกุล JPG ขนาด 1280 x 960 พิกเซล จำนวน 50 รูป

## กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 2 กรอบแนวความคิดการวิจัย

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ
2. เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์คัมภีร์โบราณและเป็นแนวทางให้กับผู้ที่สนใจถอดความ
3. ถ่ายทอดภูมิปัญญาตะวันออกให้คงอยู่ได้อย่างกว้างขวางและใช้ได้ในระยะยาว
4. เอื้อต่อการศึกษาค้นคว้าภูมิปัญญาตะวันออกในรูปแบบดิจิทัล

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### คัมภีร์ใบลาน

##### ลักษณะของคัมภีร์ใบลาน

คัมภีร์ใบลาน หรือ หนังสือโบราณ เป็นเอกสารโบราณที่บันทึกลายลักษณ์ โดยการจารหรือจารึกอักษรลงในใบของต้นลาน มีอายุน้อยกว่าศิลาจารึกแต่มากกว่าหนังสือสมุดไทยหรือสมุดข่อย ใบลานที่จารึกอักษรแล้วจะรวมกันเป็นเล่ม ผูกร้อยด้วยเชือกถัก เรียกว่า สายสนอง ร้อยตามรูที่เจาะไว้ในใบลานสมุดใบลานที่เป็นเล่มเรียกว่า ผูก เมื่อผูกร้อยแล้วมักประกบตัวเล่มด้วยไม้แผ่นยาว เรียกว่า ไม้ประกบ และรัดด้วยเชือกอีกชั้นหนึ่ง ไม้ประกบนี้จะทำหน้าที่หุ้มคัมภีร์อยู่ด้านนอกปกใบลาน เพื่อให้ลานแข็งแรง ไม่บิด หักเดาะ หรือฉีกขาดได้ง่าย คัมภีร์ใบลานหนึ่งเรื่องจะมีจำนวนผูกเท่าใดก็ได้ นับเป็น 1 คัมภีร์ อักษรที่ใช้จารส่วนมากจะเป็นอักษรขอม รองลงมาเป็นอักษรธรรมอีสาน อักษรธรรมล้านนา อักษรมอญ อักษรพม่า อักษรสิงหล อักษรปัลลະ และอักษรไทย สำหรับประเทศไทย ภาคกลางและภาคใต้ส่วนมากจารด้วยอักษรขอม ภาคเหนือจารด้วยอักษรธรรมล้านนา ภาคอีสานจารด้วยอักษรธรรมอีสาน และอักษรไทยน้อย เรื่องที่จารส่วนมากเป็นเรื่องเกี่ยวกับพระพุทธศาสนา เรื่องชาดก นิทาน ส่วนเรื่องอื่น ๆ จะเป็นตำรับยาโบราณ คาถาอาคม สาเหตุหลักที่เรียกว่า คัมภีร์ เนื่องจากส่วนใหญ่มีเนื้อหาทางพุทธศาสนา

การจารใบลาน ต้องมีการเตรียมใบลานภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม และเป็นขั้นตอนที่มีความละเอียดอ่อนมาก การจารึกอักษรด้วยวิธีการจารใบลาน จะใช้เหล็กแหลมกดให้เป็นรอยบนใบลาน ไม่ได้ใช้หมึก จากนั้นใช้ลูกประคบลบเขม่าไฟผสมน้ำมันยาง ลงให้สีดำจมลงไปตามร่องตัวอักษร แล้วนำทรายร้อนมาโรยลงบนใบลานเพื่อลบรอยเขม่าที่หน้าลาน สามารถจารได้ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง มีเลขบอกลำดับหน้า เรียกว่า อักษรบอกอังกา เป็นตัวอักษรตามพยัญชนะภาษาบาลีมีทั้งหมด 33 ตัว โดยจารไว้ริมด้านซ้ายด้านหลังของใบลานแต่ละใบ (วิชัย กุลาบาล, 2543, วันทนา กิตติวีรพันธ์, 2547, สำนักหอสมุดแห่งชาติ, 2552ข, Udaya Kumar D., et al., 2009)

คัมภีร์ใบลานถือเป็นอินทรีวัตถุชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเสื่อมสลายได้ตามกาลเวลา ตัวอักษรที่จารไว้จะลบเลือนได้หากไม่ได้ถูกจัดเตรียม และจัดเก็บอย่างถูกวิธี การอนุรักษ์คัมภีร์ใบลานนี้จึงถือเป็นการอนุรักษ์มรดกแห่งชาติทางหนึ่งด้วย

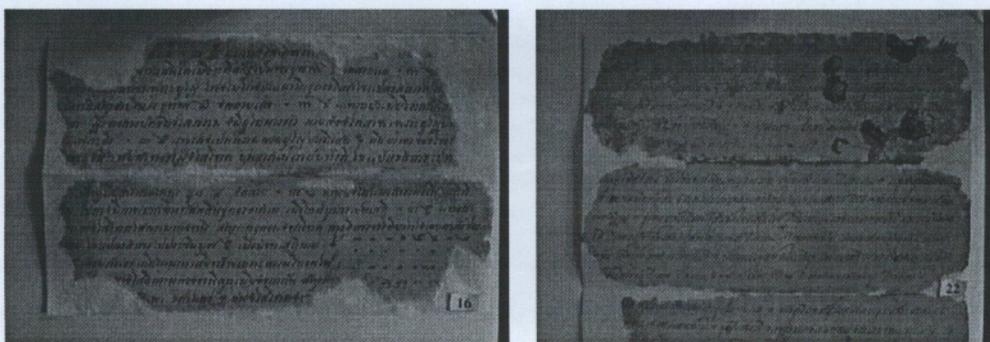


ภาพที่ 3 คัมภีร์ใบลานและหีบใส่คัมภีร์ใบลาน (ฐานข้อมูลพิพิธภัณฑ์ในประเทศไทย ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน), 2558)

**การชำรุดและเสื่อมสภาพของคัมภีร์ใบลาน**

คัมภีร์ใบลานมักจะชำรุดและเสื่อมสภาพจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

1. ความชื้นในอากาศทำให้ใบลานเกาะตัวแน่นเป็นก้อน และเกิดเชื้อราได้ง่าย
2. ความร้อนทำให้ใบลานแห้งกรอบ
3. แมลงสัตว์กัดแทะ
4. คราบสกปรกและรอยน้ำหมึก
5. การเสียดสีกันของใบลานที่ไม่ได้ผูกเป็นเล่ม ทำให้ตัวอักษรเลอะเลือนและจางหาย
6. อุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่คงที่ ทำให้ใบลานยืดและหดตัวจนแตกหักเสียหาย
7. การเก็บรักษาโดยขาดความรู้ ทำให้เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

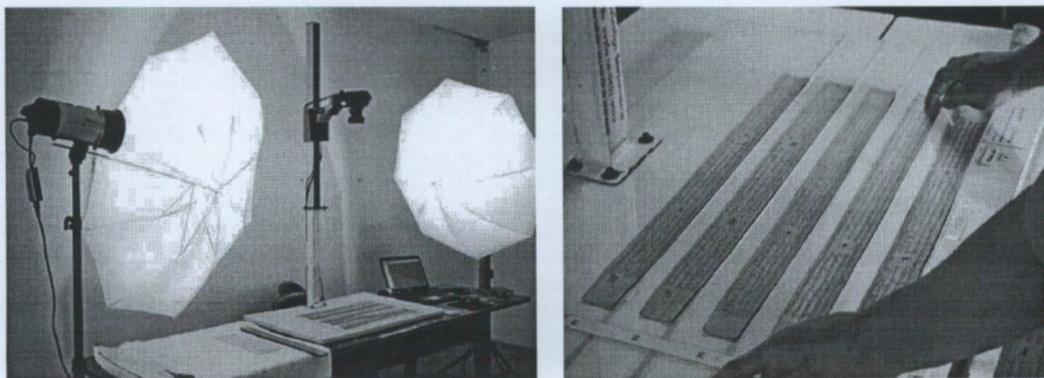


ภาพที่ 4 คัมภีร์ใบลานที่ชำรุดจากสภาพแวดล้อมและการเก็บรักษา

### การทำสำเนาคัมภีร์โบราณ

การคัดลอกหรือทำสำเนาคัมภีร์โบราณในอดีตต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญโดยเฉพาะเท่านั้นจึงจะทำได้ อย่างถูกต้องและสวยงาม แต่ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านหายากและมีจำนวนน้อยมาก ในยุคปัจจุบันทาง หอสมุดแห่งชาติใช้วิธีถ่ายสำเนาเป็นไมโครฟิล์ม สาเหตุที่ไม่ใช้วิธีการสแกนเหมือนเอกสารอื่นทั่ว ๆ ไป เนื่องจากความร้อนจะทำให้เกิดความเสียหายกับโบราณได้ ส่วนการทำงานภาคสนามหรือหนังสือโบราณที่เป็นของเอกชนจะใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลในการทำสำเนา (สำนักหอสมุดแห่งชาติ, 2552ข, Mohamed Sageer T.K. & Dr. Francis A.T., 2014) การทำสำเนาจากกล้องดิจิทัลจะมีคุณภาพไม่ดีเท่าวิธีการใช้ไมโครฟิล์ม เพราะไม่สามารถจัดแสงและกำหนดมาตราส่วนย่อขยายได้ แต่การทำเป็นดิจิทัลไฟล์ทำให้การเข้าถึงข้อมูลทำได้ง่ายและสะดวกมากกว่าไมโครฟิล์ม ที่ต้องใช้อุปกรณ์โดยเฉพาะในการอ่านภาพ การถ่ายภาพคัมภีร์โบราณที่ดี ก่อนการถ่ายภาพต้องมีการจัดลำดับหน้า เลขผูก เลข อังกา และความต่อเนื่องของเนื้อหาในโบราณ จัดตำแหน่งโบราณให้ตั้งตรง ไม่เอียงจากเส้นตารางฐานที่ตั้ง หากมีฝุ่นผง คราบดำหรือรอยเชิ้อราควรทำความสะอาดเสียก่อน และหากพบว่าตัวอักษรใดไม่ชัดต้องแต้มด้วยน้ำมันงาผสมผงคาร์บอนอีกครั้ง มีการจัดสตูดิโอถ่ายภาพที่มีการจัดแสงให้เหมาะสม พร้อมด้วยชุดกล้องถ่ายภาพพร้อมเลนส์ชุดแทนถ่ายภาพ เพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่คมชัดและมีคุณภาพดี แต่ในความเป็นจริงแล้วมักไม่มีการเตรียมการดังกล่าวก่อนการถ่ายภาพ

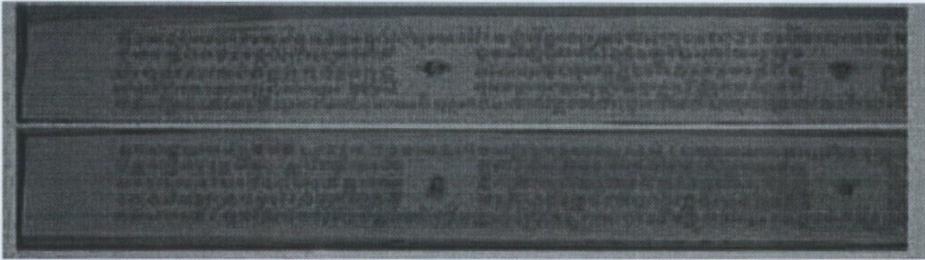
ถึงแม้โบราณจะถูกเก็บรักษาเป็นอย่างดี เส้นใยมักแตกหักเป็นรอย และสีพื้นหลังหรือสีของโบราณจะมีสีเหลืองนวลหรือหมองคล้ำตามกาลเวลา การทำสำเนาด้วยการถ่ายภาพจะเกิดสีของริ้วรอย และสีของพื้นหลังที่ใกล้เคียงกับตัวอักษร โดยเฉพาะการถ่ายภาพที่ไม่ได้มีการจัดสภาพแวดล้อม หรือการจัดแสงให้เหมาะสม จะทำให้การคัดแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังทำได้ยากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 5 การถ่ายภาพคัมภีร์โบราณในสตูดิโอที่มีการจัดอุปกรณ์ถ่ายภาพที่เหมาะสม (สำนักสื่อธรรมะ, 2559)



ภาพที่ 6 การถ่ายภาพคัมภีร์ไบเบิลแบบไม่มีการจัดสภาพแวดล้อม (Koraputonline, 2017)



(ก) ภาพดิจิทัล

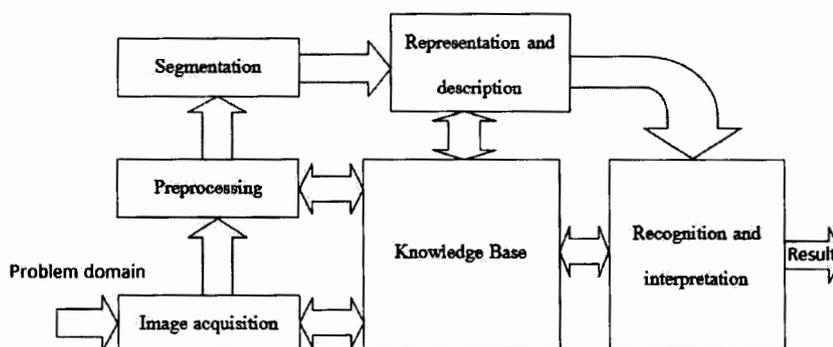


(ข) ภาพไมโครฟิล์ม

ภาพที่ 7 เปรียบเทียบภาพดิจิทัลกับภาพไมโครฟิล์มคัมภีร์ไบเบิล (สำนักสื่อธรรมะ, 2556)

## การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือ การประมวลผลสัญญาณรูปภาพโดยใช้ดิจิทัลคอมพิวเตอร์โดยมีขั้นตอนที่สำคัญดังแสดงในภาพ โดยงานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล (Image Acquisition) การดำเนินงานเบื้องต้นกับภาพถ่าย (Preprocessing) และการแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) (Gonzalez, R.C. & Woods R.E., 1992, Xu, Z. et al., 2009)



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ (Gonzalez, R.C. & Woods. R.E., 1992)

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Image acquisition) คือ การถ่ายภาพเซ็นเซอร์และ  
ความสามารถในการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลที่เก็บรวบรวมโดยเซ็นเซอร์ผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น กล้อง  
วิดีโอ กล้องดิจิทัล เป็นต้น โดยแปลงสัญญาณแบบอนาล็อก เป็นดิจิทัล ซึ่งเป็นการแสดงผลภาพใน  
ลักษณะสองมิติในหน่วยที่เรียกว่าพิกเซล (pixel) ภายในภาพคือค่าความเข้มแสงของภาพ (intensity)  
การเก็บค่าของความเข้มแสงของภาพดิจิทัลลงหน่วยความจำในลักษณะเส้นจุด (raster) นี้จะเรียกว่า  
ภาพบิตแมป (bit-mapped image) หรือภาพแรสเตอร์ (raster image) แต่ภาพที่จัดเก็บในลักษณะ  
นี้จะมีขนาดใหญ่จึงมีการบีบอัดภาพ (image compression) เพื่อให้ข้อมูลภาพมีขนาดเล็กลง ภาพ  
ดิจิทัลโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ

- 1.1 ภาพสี
- 1.2 ภาพโทนสีเทา
- 1.3 ภาพขาวดำ



**ประเภทของสี (Hue)** คือ เฉดสี โดยที่ค่าของ Hue จะมีค่าระหว่าง 0 - 359 ซึ่งจะไล่ลำดับการเปลี่ยนแปลงจากสีแดง (Hue = 0) ไปยังสีเขียว (Hue = 120) และจากสีเขียวไปยังสีน้ำเงิน (Hue = 240) และ จากสีน้ำเงินไปยังสีแดง (Hue = 0) โดยใช้สมการดังนี้

สูตรการคำนวณหาค่า Hue

$$H = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360 - \theta & B > G \end{cases} \quad (1)$$

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

**ความอิ่มตัวของสี (Saturation)** คือค่าที่ระบุว่ามีสีนั้นอยู่ห่างจากแกนกลางมากเท่าใด โดยที่ถ้าค่าความอิ่มตัวของสีมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้สีที่ได้ใกล้เคียงกับเฉดสีที่แท้จริงมากขึ้น โดยใช้สมการดังนี้

สูตรการคำนวณหาค่า Saturation

$$S = 1 \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (3)$$

**ความเข้มของสี (Intensity)** คือค่าที่ใช้ระบุว่ามีสีนั้นมีความเข้มมากเท่าใด ถ้าค่ามากขึ้นก็จะทำให้สีที่ได้มีส่วนประกอบของสีขาวมากขึ้น ในทางกลับกันถ้าค่านี้น้อยลงก็จะทำให้สีที่ได้มีส่วนประกอบของสีดำมากขึ้นเช่นกัน โดยใช้สมการดังนี้

สูตรการคำนวณหาค่า Intensity

$$I = \frac{1}{3} (R+G+B) \quad (4)$$

ในระบบสี HSI นี้จะสังเกตได้ว่าถ้าความเข้มของสีที่มนุษย์มองเห็นมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น เปลี่ยนจากสีแดงที่มีค่า Hue = 0, Saturation = 1, และ Intensity = 0.5 เป็น สีแดงที่มี ความสว่างมากขึ้น (ค่า Intensity สูงขึ้น) การเปลี่ยนแปลงนี้จะไม่มีผลกับค่า Hue ทำให้ระบบสี HSI นี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์รูปภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงมากกว่าระบบสี RGB

## 1.2 ภาพโทนสีเทา (Grayscale Image)

ฟังก์ชันของค่าความเข้มจะเป็นปริมาณสเกลาร์ ภาพโทนสีเทาบางครั้งอาจเรียกว่า ภาพสีเดียว (monochrome Image) วิธีการทำให้ภาพจากที่เป็นสีให้กลายเป็นขาวดำนั้น ต้องไปแก้ไขเปลี่ยนแปลงจุดสีทุก ๆ จุด (pixel) ที่ประกอบกันเป็นภาพ จากนั้นจึงแยกย่อยออกมาเป็นกลวิธีในการจัดการแนวคิดนั้นให้เป็นไปตามที่ต้องการ แม่สีของแสงนั้นจะประกอบไปด้วย 3 สี คือ แดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) ในคอมพิวเตอร์จะต้องใช้แม่สีของแสง การจะทำให้ภาพเป็นสีเฉดเท่านั้น จำเป็นจะต้องเฉลี่ยค่าสีของแม่สีทั้งสามนี้ให้มีค่าเท่า ๆ กัน ซึ่งคอมพิวเตอร์จะแบ่งระดับของเฉดสีออกเป็น 256 ระดับ มีค่าตั้งแต่ 0 – 255 เรียงจากสีที่มืดที่สุดไปสีที่สว่างที่สุดหรือ ดำไปขาว เช่น นำค่าแม่สีที่ได้มารวมกัน แดง (128) เขียว (128) น้ำเงิน (128) จะได้ภาพออกมาเป็นสีเทากลาง ๆ จากนั้นจะแปลงจากภาพสีให้เป็นภาพโทนสีเทา ซึ่งต้องแยกเอาสีธรรมชาติออกมาจากสีของแม่สีทั้งสาม (RGB) ก่อน แล้วจึงเอาค่าของแต่ละแม่สีนั้นมาเฉลี่ยกันให้เท่า ๆ กัน แต่ในความจริงนั้นหากทำออกมาตามขั้นตอนนี้ ผลจะไม่เหมือนภาพต้นฉบับ คือจะมีส่วนที่มืดเกินไป หรือสว่างเกินไป เพราะในแต่ละแม่สีนั้น ตัวแม่สีเองมีค่าความสว่างไม่เท่ากัน แม่สีของแสงนั้นจะประกอบไปด้วย 3 สี คือ แดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) ในคอมพิวเตอร์จะต้องใช้แม่สีของแสง การจะทำให้ภาพเป็นสีเฉดเท่านั้น จำเป็นจะต้องเฉลี่ยค่าสีของแม่สีทั้งสามนี้ให้มีค่าเท่า ๆ กัน โดยใช้สมการดังนี้

สูตรการคำนวณหาภาพโทนสีเทา

$$\text{Gray} = (0.299 \times \text{Red}) + (0.587 \times \text{Green}) + (0.114 \times \text{Blue}) \quad (5)$$

**1.3 ภาพขาว-ดำ (Binary Image)** สำหรับภาพบางชนิดจะมีลักษณะวัตถุที่ต้องการซึ่งมีความเข้มที่คงที่เมื่อเทียบกับพื้นหลังตัวอย่างได้แก่ ภาพของตัวอักษร (text) เป็นต้น ซึ่งภาพเหล่านี้จะมีความเข้มของวัตถุที่สามารถแยกออกพื้นหลังได้อย่างชัดเจน (มีความเข้มชั้นสองระดับ ได้แก่ ความเข้มของวัตถุและความเข้มของพื้นหลัง) การแยกส่วนประกอบภาพสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ (threshold) ซึ่งเป็นค่าความเข้มให้มีค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังได้ตัวอย่าง เช่น ภาพของตัวอักษรที่มีความเข้มของตัวอักษรเป็น 0 (สีดำ) และมีความเข้มของพื้นหลังเป็น 255 (สีขาว) ดังนั้นค่าเทรชโฮลด์จึงควรจะมีค่าเท่ากับ 128 เพื่อที่จะให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้ โดยปกติแล้วการเลือกค่าเทรชโฮลด์จะขึ้นอยู่กับฮิสโทแกรมของภาพ การหาค่าเทรชโฮลด์ควรที่เลือกค่าฮิสโทแกรมที่อยู่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด (peaks)

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{If } (x, y) > T \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

เมื่อ  $g(x, y)$  เป็นข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่งที่  $(x, y)$

T เป็นค่า Threshold

2. การดำเนินงานเบื้องต้นกับภาพถ่าย (Preprocessing) การดำเนินงานเบื้องต้นกับภาพถ่ายคือ การปรับปรุงภาพต้นฉบับก่อนนำเข้าสู่กระบวนการต่อไป เพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพลดหรือลบสัญญาณรบกวน มีกระบวนการหลักอยู่ 2 กระบวนการคือ

2.1 การลดสัญญาณรบกวน (Noise Removal)

2.2 การปรับความคมชัดของภาพ (Image Enhancement)

2.1 การลบสัญญาณรบกวน (Noise Removal) มีจุดประสงค์เพื่อลดทอนส่วนของรูปภาพที่มีสิ่งแปลกปลอมอันไม่พึงประสงค์ออกไป โดยสัญญาณรบกวนส่วนใหญ่มักจะมาจากคุณภาพของภาพต้นฉบับซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้ความถูกต้องของโปรแกรมลดลง

2.1.1 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน (Median filter) วิธีการนี้จะนำมาสก์ (mask) ไปวางทับภาพต้นฉบับแล้วนำตัวเลขมาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก จากนั้นจะเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางไปใช้ โดยวิธีการเลื่อนมาสก์จะเลื่อนจากซ้ายไปขวาบนลงล่าง วิธีการนี้จะต้องใช้การเรียงลำดับซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการคำนวณสูง แต่ข้อดีคือไม่สูญเสียความคมชัด

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Mask 3x3

1	3	4	6	8
2	7	1	1	4
6	8	9	0	6
5	1	2	2	3
8	4	7	0	5

ภาพต้นฉบับ

1	3	4	6	8
2	4	4	4	4
6	5	2	2	6
5	6	2	3	3
8	4	7	0	5

ภาพผลลัพธ์

ภาพที่ 11 ตัวอย่างการกรองข้อมูลโดยใช้ค่ามัธยฐาน

จากภาพเป็นการนำมาสก์ไปวางทับกับภาพต้นฉบับ นำค่ามาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก เช่น 1, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 แล้วเลือกค่ากลางมาใช้ คือ 4 นำไปแทนในภาพผลลัพธ์

2.1.2 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ย (Averaging Filter) ใช้เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในภาพ โดยวิธีการนี้จะเป็นการหาค่าเฉลี่ยโดยจะมีการกำหนดมาส์คให้กับภาพ โดยวิธีการเลื่อนมาส์คจะเลื่อนจากซ้ายไปขวาวนลงล่าง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำค่าเฉลี่ยของภาพมาลบสัญญาณรบกวน

1	2	1
2	4	2
1	2	1

Mask 3x3

1	3	4	6	8
2	1	2	1	4
6	1	3	9	6
5	1	3	2	3
8	4	7	0	5

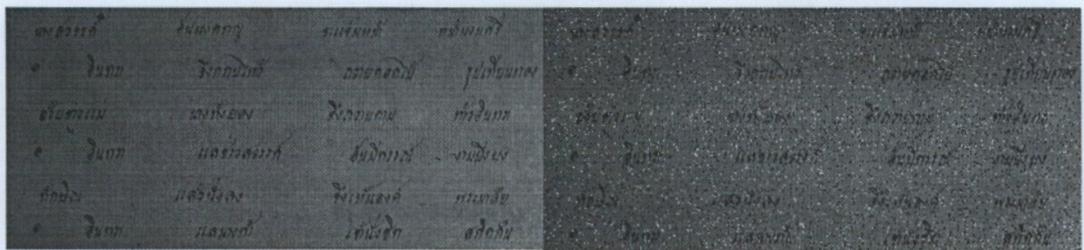
ภาพต้นฉบับ

1	3	4	6	8
2	2.12	2	1	4
6	1	3	9	6
5	1	3	2	3
8	4	7	0	5

ภาพผลลัพธ์

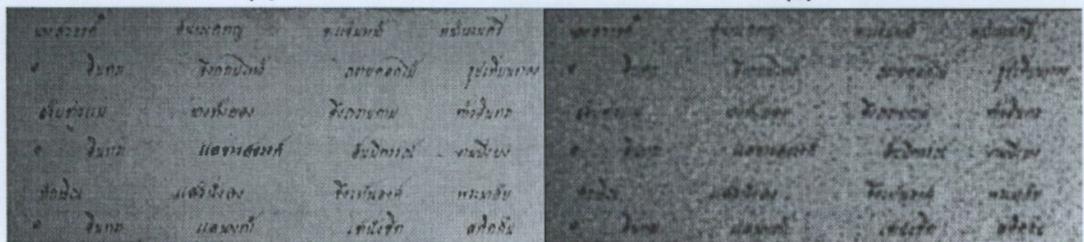
ภาพที่ 12 ตัวอย่างการกรองข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย

จากภาพ เป็นการนำมาส์คไปวางทับกับภาพต้นฉบับ นำค่ามาส์คคูณกับค่าในภาพต้นฉบับ เช่น  $(1*1)+(2*3)+(1*4)+(2*2)+(4*1)+(2*2)+(1*6)+(2*1)+(1*3)/16$  ซึ่งค่าที่ได้คือ 2.12 แล้วจึงนำไปแทนในภาพผลลัพธ์



(ก)

(ข)



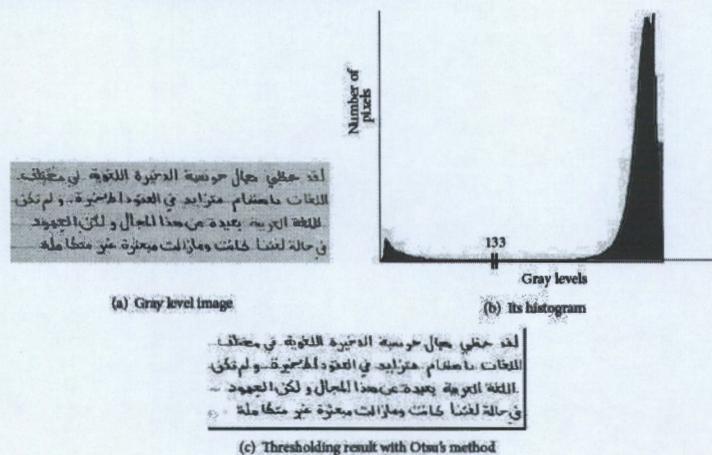
(ค)

(ง)

ภาพที่ 13 ผลลัพธ์การกรองข้อมูลโดยใช้ค่ามัธยฐานและค่าเฉลี่ย (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่มีสัญญาณรบกวน (ค) ภาพที่ผ่านการกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน (ง) ภาพที่ผ่านการกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ย

2.2 การปรับความคมชัดของภาพถ่าย (Image Enhancement) การปรับค่าความคมชัดของภาพด้วยการเฉลี่ยค่าความมืดและความสว่างของภาพ (พิเศษ ระยะเวลา และคณะ, 2556, Z. Shi & V. Govindaraju, 2005, K.R. Ingole & V.K. Shndilya, 2011, J. S. Lamba & Rajiv Kapoor, 2015) เพื่อเน้นภาพส่วนที่มีมืดเกินไปหรือสว่างเกินไปให้มีความพอดี การปรับความคมชัดให้กับภาพนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ภาพมีความคมชัดในภาพมากยิ่งขึ้นในสายตามนุษย์และให้ภาพนั้นมีความเหมาะสมกับงานโดยมีเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 ฮิสโทแกรม (Histogram) เป็นกราฟที่แสดงจำนวนพิกเซลของสี หรือค่าความเข้มต่าง ๆ ซึ่งภาพที่มีมืดจะมีฮิสโทแกรมกองอยู่ทางซ้าย ส่วนภาพที่สว่างจะมีฮิสโทแกรมกองอยู่ทางขวา กระบวนการประมวลผลด้วยฮิสโทแกรม หมายถึง กระบวนการในการปรับปรุงความเข้มของรูปภาพ เพื่อให้ได้ฮิสโทแกรมที่มีลักษณะตามต้องการ

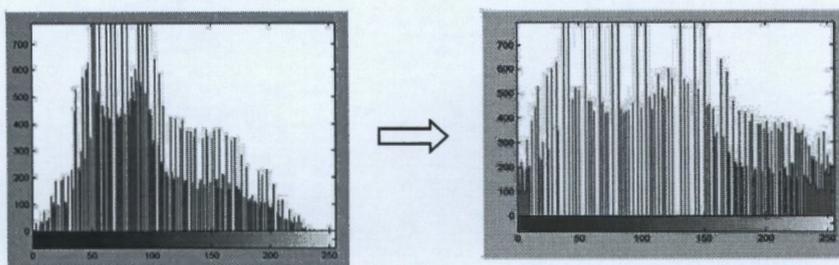


ภาพที่ 14 การปรับปรุงคุณภาพด้วยเทคนิคฮิสโทแกรม

(Toufik S., Abderrahmane K. & Halima B., 2014)

2.2.2 การปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอลไลเซชันแบบปรับได้ (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization: CLAHE) คือวิธีการเพิ่มคุณภาพภาพที่ได้รับการพัฒนาจากฮิสโทแกรมอีควอลไลเซชัน (Histogram Equalization: HE) โดยพิจารณารายละเอียดข้อมูลจากฮิสโทแกรมอีควอลไลเซชัน ในแต่ละค่าพิกเซลบนพื้นส่วนกลางของภาพต้นฉบับ โดยค่าฮิสโทแกรมที่มีระดับสูงกว่าค่าเฉลี่ยพิกเซลจะถูกนำมากระจายให้กับทุกพิกเซลในภาพ โดยค่าที่นำมากระจายจะเป็นค่าฮิสโทแกรมที่มีระดับสูงกว่าค่าเฉลี่ยพิกเซล

ฮิสโทแกรมอีควอลไลเซชันเป็นการทำให้ฮิสโทแกรมกระจายกันอย่างสม่ำเสมอ (uniform) การปรับปรุงนี้ไม่มีการลดหรือเพิ่มจำนวนจุดภาพแต่เป็นการปรับค่าความเข้มของจุดภาพใหม่ทั้งหมด

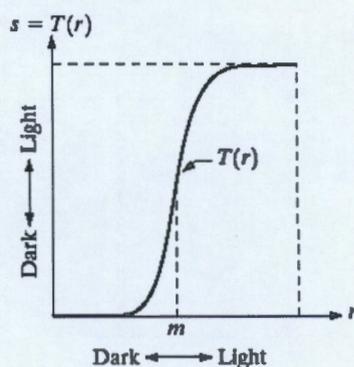


ภาพที่ 15 กราฟฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน (Tutorialspoint, 2018)

**2.2.3 การแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าความเข้มเทา (Gray-Level Transformation)** เป็นการแปลงความเข้มของภาพตั้งต้นไปเป็นความเข้มของภาพผลลัพธ์ โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{Function: } s = T(r) \quad (7)$$

เมื่อ  $r$  คือ ภาพ input และ  $s$  คือ ภาพ output

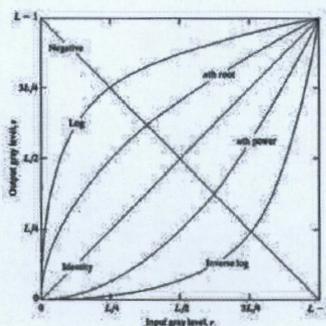


ภาพที่ 16 กราฟการแปลงค่าความเข้ม (Gonzalez, R.C. & Woods R.E., 1992)

**2.2.4 การแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าล็อก (Log Transformations)** เป็นการปรับภาพให้ดูสว่างยิ่งขึ้น เป็นการปรับค่าของช่วงพิคเซลที่แตกต่างกันอย่างมากให้ลดลง โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{Function: } s = c \log(1 + r) \quad (8)$$

เมื่อ  $r$  คือ ภาพ input และ  $s$  คือ ภาพ output



ภาพที่ 17 การแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าล็อก (Gonzalez, R.C. & Woods R.E., 1992)

2.2.5 การยืดความคมชัด (Contrast Stretching) หรือการปรับระดับสีเทาของภาพ เป็นการขยายขนาดความคมชัด หรือขยายความเข้มของโทนสีเทาให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ โดยคำนวณค่าความสว่างจากค่าความเข้มสูงสุด และค่าความเข้มต่ำสุดของภาพ โดยใช้สมการดังนี้

$$b(m,n) = 255 \frac{a(m,n) - \text{Min}(m,n)}{\text{Max}(m,n) - \text{Min}(m,n)} \quad (9)$$

เมื่อ  $b(m,n)$  คือค่าความสว่างหลังการปรับปรุง  
 $a(m,n)$  คือค่าความสว่าง  
 $\text{Max}(m,n)$  คือค่าความเข้มสูงสุดของภาพ  
 $\text{Min}(m,n)$  คือค่าความเข้มต่ำสุดของภาพ

3. การแยกส่วนของภาพ (Image Segmentation) การแยกส่วนของภาพจะทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนวัตถุที่ต้องการออกมาจากพื้นหลังของภาพได้จะทำให้ทราบว่าในภาพมีวัตถุอยู่ที่ไหนและพิกเซลใดเป็นของวัตถุชิ้นใด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวถือเป็นพื้นฐานของการประมวลผลขั้นสูงที่จะนำไปสู่การตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพของภาพที่ใช้งานต่อไป

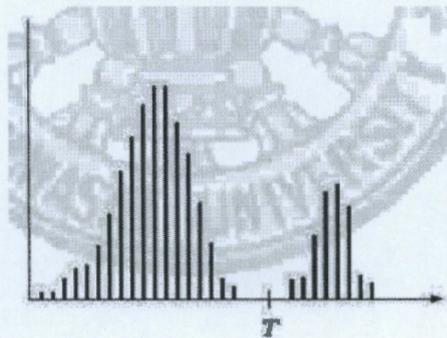
การแยกส่วนภาพโดยใช้ค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) เป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุดในการแบ่งแยกส่วนของภาพ โดยการแยกวัตถุ (object) หรือพื้นหน้า (foreground) ออกจากพื้นหลัง (background) โดยพิจารณาจากฮิสโทแกรม (Histogram) ของภาพ โดยนำภาพสีมาทำการแปลงเป็นภาพสีเทาและนำมาแปลงเป็นภาพขาวดำ มีการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ขึ้นมา 2 ค่า คือ high threshold (T1) และ low threshold (T2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T1 จะถูกปรับเป็น 1 (สีขาวเป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า T2 จะถูกปรับเป็น 0 (สีดำ) ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่าเทรชโฮลด์ทั้งสอง การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ค่า >T1) มีค่ามากกว่า T2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกันขั้นตอนนี้จะเป็นการแบ่งภาพขาว-ดำ ซึ่งจะส่งผลต่อการจดจำภาพหรือระยะเวลาในการประมวลผลภาพโดยตรง (Otsu, N., 1979, Ankit Aggarwal, R.S. Chauhan &

Kamaljeet Kaur, 2013) การทำเทรชโฮลด์มีเทคนิคหลัก ๆ อยู่ 2 เทคนิค คือ การทำเทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ (Global Thresholding) และการทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะส่วนของภาพ (Local/Adaptive Thresholding) (Garg, N.K., Kaur, L., & Jindal, M.K., 2010)

3.1 การทำเทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ (Global Thresholding) คือการหาเทรชโฮลด์ค่าเดียวแล้วใช้กับภาพทั้งภาพ โดยการเลือกค่าเทรชโฮลด์จะขึ้นอยู่กับฮิสโทแกรมของภาพ ควรเลือกค่าฮิสโทแกรมที่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุดเหมาะกับงานที่ต้องการความรวดเร็ว เพราะมีการคำนวณค่าเทรชโฮลด์เพียงครั้งเดียว ใช้ได้ดีกับภาพที่มีความสว่างสม่ำเสมอ การประมวลผลภาพจะใช้ค่าเกณฑ์ในการควบคุมตำแหน่งที่สำคัญในการแยกภาพซึ่งผลลัพธ์จะเป็นประเภทวัตถุ หรือ พื้นหลังสามารถเขียนเป็นตัวแปรแบบบูลีน (boolean) "1" หรือ "0" โดยเทคนิคที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพนั้น จะเป็นการแบ่งส่วนภาพขาวดำ (binary) โดยจะเลือกค่าเทรชโฮลด์ ซึ่งจะพิจารณาว่าจุดใดควรจะเป็นสีขาวที่มีค่าเท่ากับ 1 หรือจุดใดควรจะเป็นสีดำที่มีค่าเท่ากับ 0 โดยจะคำนวณจากพิกเซลกับค่าคงที่เทรชโฮลด์ หากมีค่าความเข้มน้อยกว่าเทรชโฮลด์ จะให้ค่าเท่ากับ 1 หากมีค่าความเข้มมากกว่าเทรชโฮลด์ จะให้ค่าเท่ากับ 0 หลังจากผ่านกระบวนการแปลงภาพแล้วจะทำให้สามารถแยกภาพกับพื้นหลังออกจากกันได้อย่างชัดเจน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(x, y) > T \\ 0, & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (10)$$

เมื่อ  $f(x, y)$  เป็นข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่งที่  $x, y$   
 $T$  เป็นค่าเทรชโฮลด์



ภาพที่ 18 ฮิสโทแกรมของภาพ

### 3.2 การทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะส่วนของภาพ

(Local/Adaptive Thresholding) คือการหาค่าเทรชโฮลด์แบบปรับค่าตามข้อมูลท้องถิ่น เหมาะสำหรับภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอที่มีการใช้ค่าเทรชโฮลด์หลายค่า เนื่องจากแต่ละส่วนของภาพจะใช้ค่าเทรชโฮลด์ไม่เท่ากัน โดยหาค่าเทรชโฮลด์จากการหาค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซล ภายใต้หน้าต่างที่มีขนาด  $N*N$  โดยหาไปจนครบทุกพิกเซล

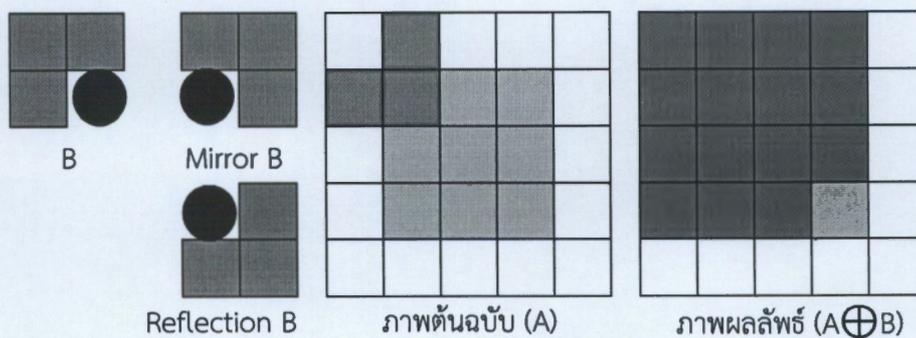
### 3.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ (Morphology Image Processing)

เป็นการปรับปรุงการแบ่งส่วนภาพให้ดีขึ้น เนื่องจากการแบ่งส่วนภาพด้วยการทำเทรชโฮลด์อาจมีส่วนของวัตถุที่ไม่ใช่สิ่งที่ต้องการ หรือสัญญาณรบกวน รูปทรงที่ราบเรียบ เส้นขอบที่บางหรือหนาเกินไป กระบวนการที่นิยมนำมาใช้มีสองวิธีคือ การขยายภาพ (Dilation) และการลดภาพ (Erosion)

(1) กระบวนการขยายภาพ (Dilation) คือการเพิ่มขอบวัตถุให้หนามากขึ้น ตามลักษณะของหน้าต่างโครงร่าง เปรียบเสมือนการกร่อนพื้นหลังเพื่อให้วัตถุมีขนาดใหญ่ขึ้นอาจมีผลให้วัตถุที่แยกจากกันอยู่ติดกันได้ด้วย โดยใช้สมการดังนี้

สูตรการทำ Dilation

$$A \oplus B = \{ Z | (B)_z \cap A \neq \emptyset \} \tag{11}$$

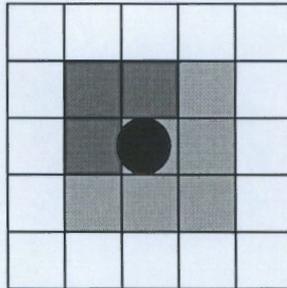
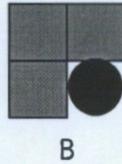


ภาพที่ 19 ตัวอย่างการทำ Dilation

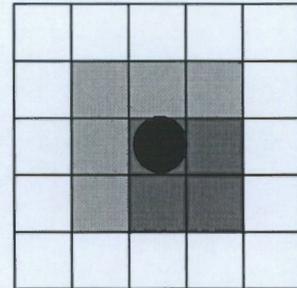
(2) กระบวนการลดภาพ (Erosion) คือ การกัดเซาะให้วัตถุมีขนาดแคบลง เป็นการกำจัดพิกเซลขนาดเล็กที่เป็นพื้นหลังของภาพ และเพื่อลดขนาดของวัตถุหรือเส้นขอบภาพให้เล็กลง โดยใช้สมการดังนี้

สูตรการทำ Erosion

$$A \ominus B = \{ Z | (B)_z \subseteq A \} \quad (12)$$

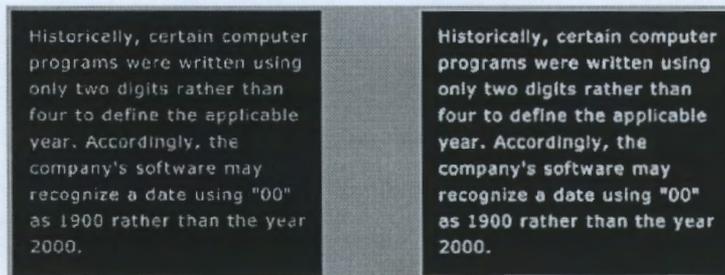


ภาพต้นฉบับ(A)



ภาพผลลัพธ์ (A ⊖ B)

ภาพที่ 20 ตัวอย่างการทำ Erosion



ภาพที่ 21 ตัวอย่างการขยายภาพโดยการเพิ่มขนาดของเส้นตัวอักษรให้หนามากขึ้น (DSPStackExchange, 2011)

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิศิษฎ์ ยุทธาภรณ์พินิจ (2553) ศึกษาการแยกตัวอักษรธรรมอีสานบนหนังสือโบราณด้วยกระบวนการประมวลผลภาพ ปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการปรับปรุงความเปรียบต่าง (Contrast Improvement) ด้วยการตัดค่าปลายสูงที่ไม่กระทบต่อรายละเอียดสำคัญทิ้งไป จากนั้นแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง โดยการเปรียบเทียบเทคนิค 4 วิธี คือเทคนิคเทรซโฮลด์ การหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่ การติดตามขอบวัตถุ และการทำเทรซโฮลด์แบบเฉพาะที่ โดยทดลองกับภาพถ่ายโบราณจำนวน 10 ภาพ มีการแบ่งภาพออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ ขนาด 100x100 พิกเซล เพื่อคำนวณค่าที่เหมาะสมเฉพาะที่ ผลการทดลองพบว่า การหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่ ถึงแม้จะลดสัญญาณรบกวนได้น้อยกว่าวิธีของโซเบล แต่ให้ลายเส้นตัวอักษรที่สมบูรณ์กว่า ส่วนวิธีการติดตามขอบวัตถุไม่สามารถใช้ในการแยกตัวอักษรจากพื้นหลังได้ การทำเทรซโฮลด์แบบเฉพาะที่ให้ผลดีกว่าการทำเทรซโฮลด์แบบทั้งภาพ หากกลุ่มพิกเซลที่เชื่อมโยงต่อเนื่องกัน (connected component) คำนวณหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัตถุเพื่อแยกลายเส้นตัวอักษรออกจากสัญญาณรบกวน เช่น สัดส่วนความยาว (eccentricity) ถ้าค่านี้เข้าใกล้ 1 แสดงว่าเป็นเส้น และ พื้นที่ (area) ใช้ในการลบวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือเล็กกว่าพื้นที่ตัวอักษร โดยกำหนดให้พื้นที่ตัวอักษรมีค่า 5 พิกเซล ถ้าวัตถุที่มีขนาดใหญ่ 340 พิกเซล และ วัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า 5 พิกเซลจะพิจารณาเป็นสัญญาณรบกวนและถูกลบออก จากนั้นใช้เทคนิคโปรเจกชันโปรพายลีในแนวนอนเพื่อแยกบรรทัด และโปรเจกชันโปรพายลีในแนวตั้งเพื่อแยกตัวอักษร ค่าความถูกต้องของตัวอักษรที่แยกได้ถูกต้องเท่ากับ 67.41%

อัจฉรินทร์ กล่อมแสร้ (2555) ศึกษาการสกัดคุณลักษณะภาพเพื่อการรู้จำตัวเขียนอักษรธรรมล้านนา มีการเปรียบเทียบการสกัดคุณลักษณะด้วยวิธีต่าง ๆ เริ่มต้นด้วยการนำภาพไมโครฟิล์มคัมภีร์โบราณเข้าสู่ระบบโดยตัดแยกเป็นใบลานเดี่ยว การตัดแยกใช้เทคนิคการทำโปรเจกชันโปรไฟล์ในแนวนอน แล้วหาค่าสูงสุดสัมพัทธ์ (Local Maxima) แล้วแปลงภาพเป็นสองระดับ อัตราความถูกต้องในการตัดแยกใบลานเดี่ยวเท่ากับ 74.81% จากนั้นใช้เทคนิคการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบพลวัต (Dynamic Programming) เพื่อตัดขอบเงาของภาพ ปรับความเอียงโดยวิธีการปรับให้เรียบด้วยการนับความยาวแบบแถวต่อแถว ตัดแยกบรรทัด วิเคราะห์คุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ โมเมนต์ทิศทาง การแปลงฟูริเยร์ และการแปลงเวฟเล็ต ใช้เทคนิคเค-เนียร์เรสเนเบอร์เป็นตัวจำแนกแบบทดสอบแบบข้ามชุด 10 ชุด ได้ผลที่ดีที่สุดจากการใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ และ 1 มิติ ร่วมกับคุณลักษณะเชิงพื้นที่ ชุดข้อมูลระดับบนได้อัตราความถูกต้อง 93.22% ชุดข้อมูลระดับกลางได้อัตราความถูกต้อง 95.48% และ ชุดข้อมูลระดับล่างได้อัตราความถูกต้อง 97.77% ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือตัวเขียนอักษรธรรมล้านนาที่นำมาทดสอบคัดเลือกมาเฉพาะตัวอักษรเดี่ยวที่มีลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์ หากใช้ภาพที่มีตัวเขียนติดกันมากจะเกิดข้อผิดพลาดค่อนข้างมาก อีกทั้งคุณลักษณะต่าง ๆ ที่นำมาใช้ยังมีจำนวนมากสามารถเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มอัตราความถูกต้องได้

Surinta, O. & Chamchong, R. (2008) พัฒนาโปรแกรมเพื่อตัดแยกตัวอักษรจากภาพถ่ายคัมภีร์โบราณ โดยการแปลงภาพสีในโหมด RGB ให้เป็นภาพในโหมดสีเทา ลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีเกาเซียน ฟิลเตอร์ (Gaussian Filtering) ลบภาพพื้นหลังด้วยวิธีออตสู (Otsu's) โดยใช้ค่าเทรซโฮลด์ที่ได้จากการทำฮิสโทแกรมจากนั้นทำการแยกบรรทัดข้อความโดยการทำโปรเจกชันฮิสโทแกรมในแนวนอน เมื่อได้ตัวอักษรแต่ละบรรทัดแล้วนำมาจากเป็นอักขระแต่ละตัวโดยใช้ค่าเทรซโฮลด์เพื่อหา

ช่องว่างระหว่างตัวอักษร เมื่อได้ตำแหน่งช่องว่างแล้วจึงสามารถแยกตัวอักษรแต่ละตัวได้ โดยทำการทดลองกับภาพถ่ายจำนวน 227 ภาพ สามารถลบภาพพื้นหลังได้อย่างสมบูรณ์ 138 ภาพ คิดเป็น 61% ไม่สามารถลบภาพพื้นหลังได้สมบูรณ์ จำนวน 89 ภาพ คิดเป็น 39% ผลการแยกบรรทัดถูกต้อง 4 บรรทัด คิดเป็น 78% แยกบรรทัดถูกต้อง 5 บรรทัด คิดเป็น 87% ค่าเฉลี่ย 82.5% ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้ต่อในกระบวนการรู้จำตัวอักษรได้

Chamchong, R. & Chun Che F. (2012) ทำการแยกบรรทัดตัวอักษรจากภาพถ่ายใบลานด้วยเทคนิคโปรเจกชันแบบปรับได้เป็นบางส่วน (Adaptive Partial Projection: APP) และเทคนิคโปรเจกชันแบบแก้ไขได้เป็นบางส่วน (Modified Partial Projection: MPP) การทดลองพบว่าเทคนิค APP ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า MPP ค่าความถูกต้องเท่ากับ 67.05% ซึ่งจำกัดคือกรณีที่สระอยู่ใกล้กับบรรทัดก่อนหน้ามากกว่าบรรทัดตัวเอง หรือกรณีที่มีสายเส้นของบรรทัดก่อนหน้าตัวตัวมาโดนบรรทัดตัวเองจะถูกแยกผิด

Rajeev M., Prasad N.V.G. & Venkata Rao N. (2013) นำเสนอเทคนิคการปรับปรุงเอกสารใบลานโดยวิธีการทำนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ร่วมกับการทำไบนารีเซชัน (Binarization) ขั้นตอนแรกเป็นการลบภาพพื้นหลังด้วยเทคนิคพีชไวส์ ลินีเยอร์ (Piece-wise Linear) และ แบบไม่เป็นลีนีเยอร์ (Non Linear) แปลงภาพสีต้นฉบับให้เป็นภาพขาวดำด้วยวิธีการทำเทรชโฮลด์ จากนั้นลบพื้นหลังและทำให้ตัวอักษรเด่นชัดขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถทำให้ตัวอักษรมีความเด่นชัดมากขึ้น

S. Phattarachairawee & M. Ketcham (2017) นำเสนอเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพโดยเทคนิคยึดความเข้มสีของภาพถ่าย เริ่มจากการแปลงภาพถ่ายจากภาพสี RGB เป็นภาพโหมดสีเทา เทคนิคในการปรับปรุงภาพถ่ายที่ใช้มีทั้งหมด 4 เทคนิค คือ การปรับค่าความอิ่มตัวของสี การยึดความเข้มสี การแปลงความเข้มโหมดสีเทา และเทคนิคฮิสโทแกรมอีควอลไลเซชัน ในการแยกภาพพื้นหลังและตัวอักษร โดยทดลองกับภาพถ่าย JPG ความละเอียดที่ 300 จุดต่อนิ้ว ขนาด 4\*2 นิ้ว จำนวน 30 ภาพ ผลการทดลองให้ภาพตัวอักษรที่ชัดเจนมากขึ้น สามารถลดสัญญาณรบกวนของภาพได้งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการแปลงภาพที่ผ่านการปรับปรุงแล้วในโหมดสีเทากลับไปโหมดภาพสี RGB

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพภาพถ่าย มีความสำคัญและเป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นต้องทำก่อน เพื่อลดสัญญาณรบกวนของภาพ และได้ภาพตัวอักษรที่ชัดเจนมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นทดลองหาขั้นตอนวิธีในการปรับปรุงคุณภาพภาพถ่ายที่มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มผลความสำเร็จในการประมวลผลภาพขั้นสูง และกระบวนการรู้จำตัวอักษรต่อไป

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา  
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อการอนุรักษ์คุณภาพภาพถ่ายคัมภีร์โบราณ มีลำดับขั้นตอนดำเนินการวิจัย และระยะเวลาทำการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาหลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งในเรื่องคัมภีร์โบราณ และเทคนิคการประมวลผลภาพถ่าย
2. เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ภาพถ่ายคัมภีร์โบราณ ที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
3. ทดลองเทคนิคการประมวลผลภาพ
4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการทดลอง และตรวจสอบความถูกต้องกับผู้เชี่ยวชาญด้าน คัมภีร์โบราณ และการประมวลผลภาพ
5. สรุปผลวิจัย
6. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์
7. นำเสนอผลงานวิจัย

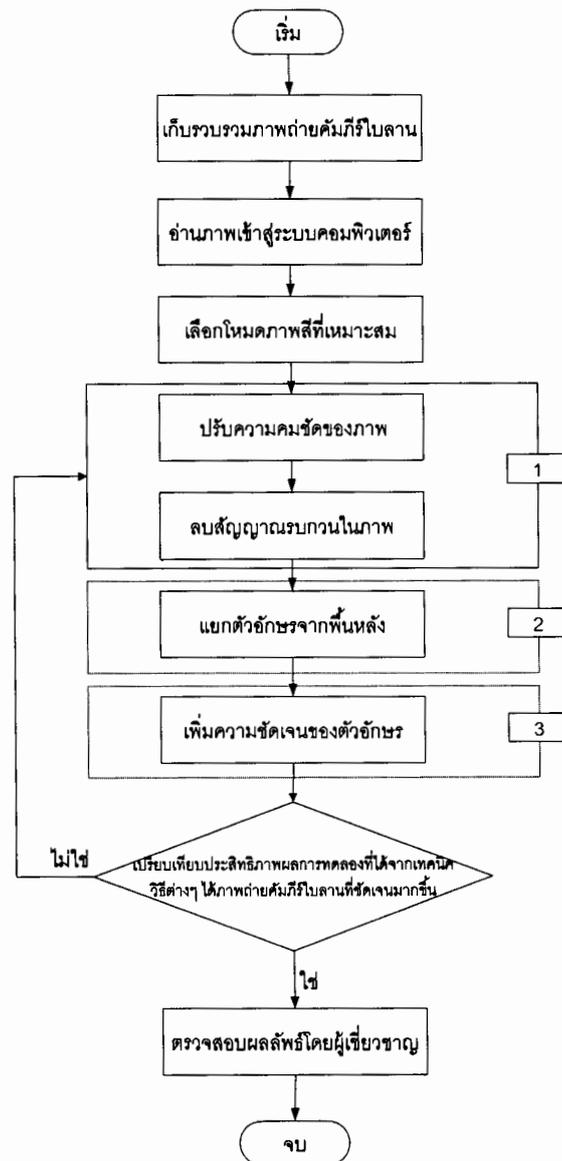
ตารางที่ 1 ระยะเวลาทำการวิจัยตลอดโครงการวิจัย

รายการกิจกรรม	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ศึกษาหลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	→											
เก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ภาพถ่าย		→										
ทดลองเทคนิคการประมวลผลภาพ			→	→								
เปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการทดลอง และตรวจสอบความถูกต้องกับผู้เชี่ยวชาญ				→	→	→						
สรุปผลวิจัย						→	→	→				
จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์									→	→		
ตีพิมพ์ / เผยแพร่ผลงานวิจัย										→	→	→

091.09593  
๑ 478 ก

378710

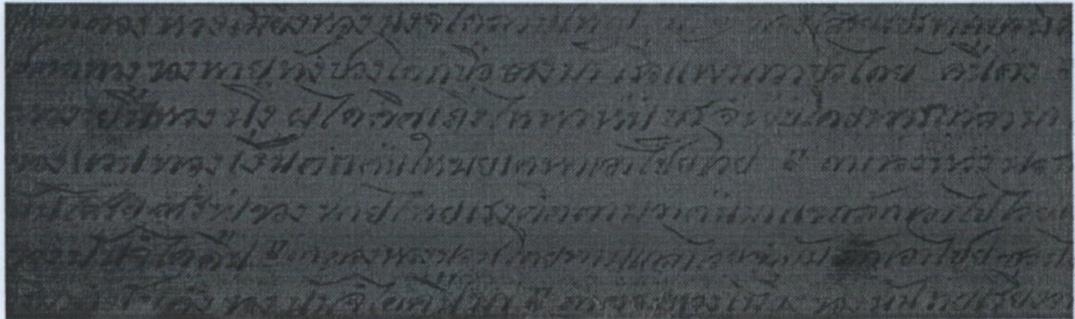
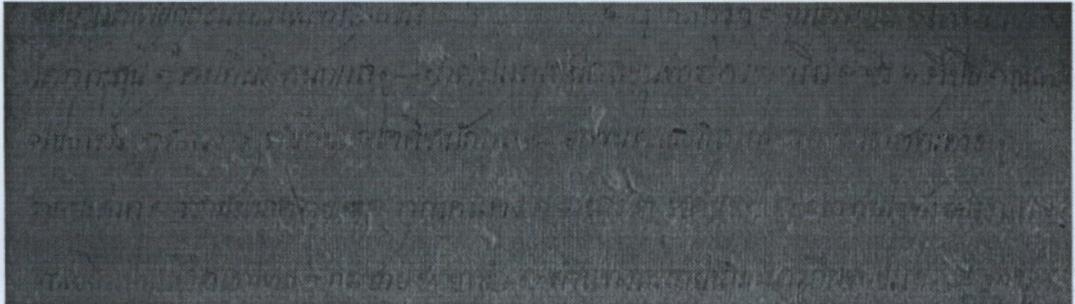
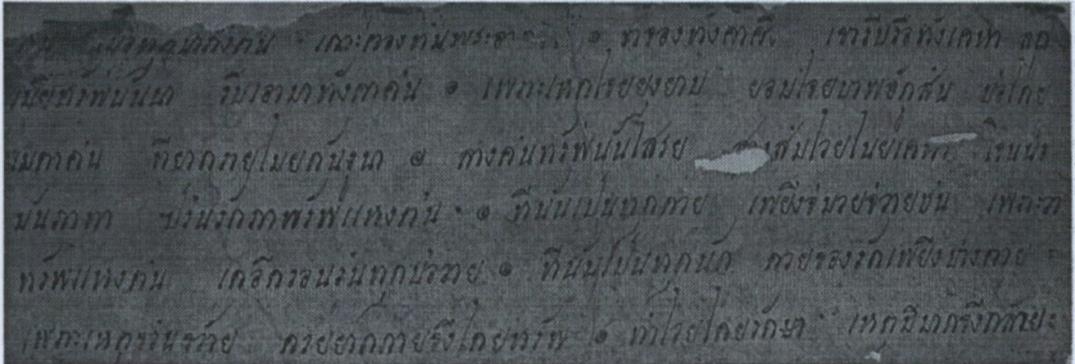
ในขั้นตอนการทดลองเทคนิคการประมวลผลภาพแบ่งเป็นขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนคือ ขั้นที่ 1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น ขั้นที่ 2 การแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง และขั้นที่ 3 การเพิ่มความชัดเจนของตัวอักษร ดังแสดงในภาพ



ภาพที่ 22 ขั้นตอนกระบวนการทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ใช้ภาพถ่ายคัมภีร์ใบลานจากวัดทองทั่ว ตำบลคลองนารายณ์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี ที่ได้รับการอนุรักษ์จากสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา โดยสำนักหอสมุดได้ถ่ายจากกล้องดิจิทัล เป็นภาพถ่ายนามสกุล JPG ขนาด 1280 x 960 พิกเซล จำนวน 50 รูป เนื่องจากเป็นคัมภีร์ใบลานโบราณ จึงมีความเสียหายตามกาลเวลา ทำให้สีและความสว่างของภาพไม่สม่ำเสมอ มีระยะห่างในการถ่ายภาพแตกต่างกัน และมีสัญญาณรบกวนจำนวนมาก



ภาพที่ 23 ภาพถ่ายคัมภีร์ใบลานจากวัดทองทั่วที่ใช้ในการทดลอง

## ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ มีขั้นตอนการทำงานแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนมีเทคนิควิธีการทดลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดดังนี้

1. การเตรียมภาพคัมกริโบลาน
2. การเลือกโหมดสีที่เหมาะสม
  - 2.1 โหมดสี RGB
  - 2.2 โหมดสี HSI
3. การปรับความคมชัดของภาพ
  - 3.1 ฮิสโทแกรมอีควอลไลเซชัน (Histogram Equalization: HE)
  - 3.2 การปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอลไลเซชันแบบปรับได้ (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization: CLAHE)
  - 3.3 การแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าความเข้มเทา (Gray-Level Transformation)
  - 3.4 การยืดความคมชัด (Contrast Stretching)
4. การลดสัญญาณรบกวน
  - 4.1 การใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย (Averaging Filter)
  - 4.2 การใช้ตัวกรองแบบค่ามัธยฐาน (Median Filter)
5. แยกตัวอักษรจากพื้นหลัง
  - 5.1 การทำเทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ (Global Thresholding)
  - 5.2 การทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ (Local/Adaptive Thresholding)
6. เพิ่มความชัดเจนให้ตัวอักษร
  - 6.1 การเพิ่มขนาดตัวอักษร (Dilation)
  - 6.2 การลบวัตถุที่ไม่ใช่ตัวอักษร (Erosion)

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมภาพถ่ายคัมภีร์โบราณ

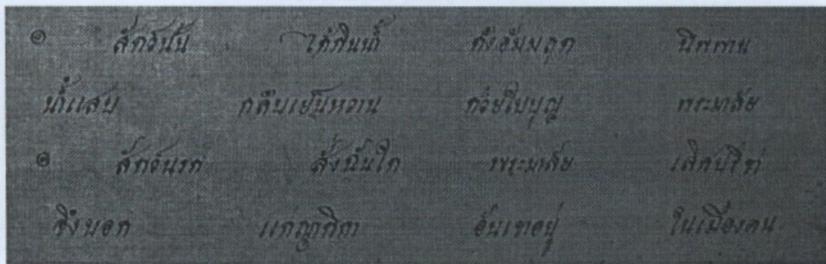
จากไฟล์ภาพดิจิทัลต้นฉบับขนาด 1280x960 พิกเซล โหมดสีแดง เขียว น้ำเงิน มีการแบ่งภาพออกเป็นสองส่วนที่มีขนาดเท่ากัน ขนาด 640x480 พิกเซล การแบ่งภาพออกเป็นส่วน ๆ นี้เหมาะสำหรับภาพที่ค่าต่าง ๆ ในแต่ละส่วนของภาพแตกต่างกัน มีสภาพแสงไม่สม่ำเสมอทั้งทั้งภาพ การแบ่งส่วนภาพทำให้แต่ละส่วนมีสภาพแสงที่สม่ำเสมอขึ้น เป็นผลให้ความถูกต้องในการประมวลผลดีขึ้น และการแบ่งภาพเป็นส่วนย่อยเป็นการลดขนาดของข้อมูลลงทำให้การประมวลผลทำได้เร็วมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 24 ภาพต้นฉบับขนาด 1280x960 พิกเซล



ภาพที่ 25 ภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ ส่วนที่ 1 ขนาด 640x480 พิกเซล

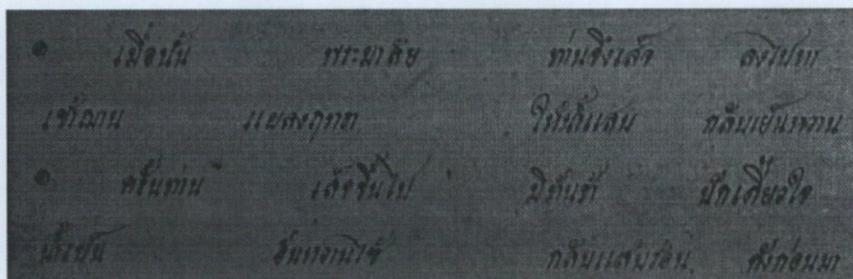


ภาพที่ 26 ภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ ส่วนที่ 2 ขนาด 640x480 พิกเซล

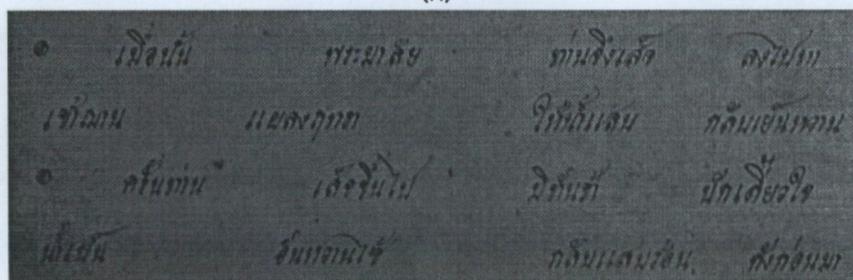
## ขั้นตอนที่ 2 การเลือกโหมดสี

เปรียบเทียบโหมดสีที่ให้ความคมชัดของภาพระหว่างโหมดสีแดง เขียว น้ำเงิน (RGB) และ โหมดประเภทของสีความอิ่มตัวของสี และความเข้มของสี (HSI)

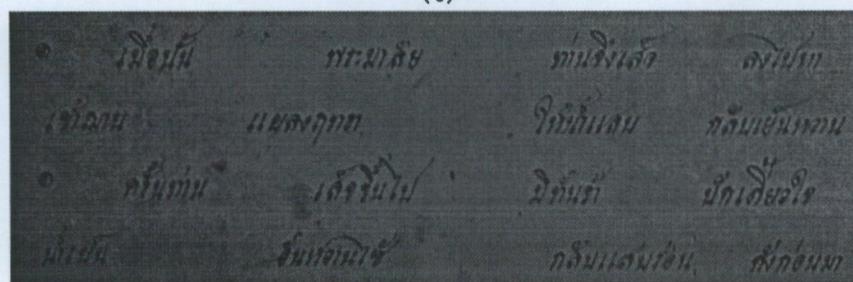
### 2.1 โหมดสีแดง เขียว น้ำเงิน (Red Green Blue: RGB)



(ก)



(ข)



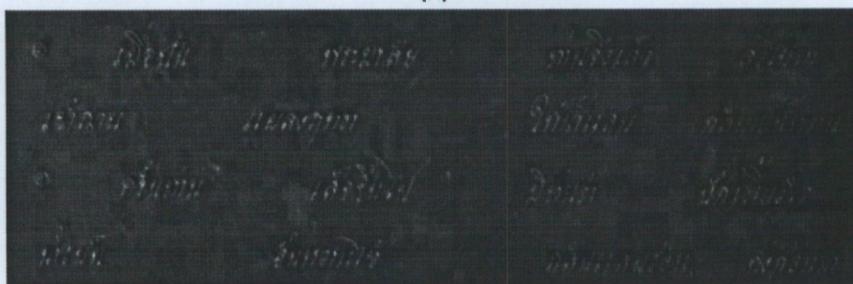
(ค)

ภาพที่ 27 ภาพในโหมดสี (ก) สีแดง (ข) สีเขียวและ (ค) สีน้ำเงิน

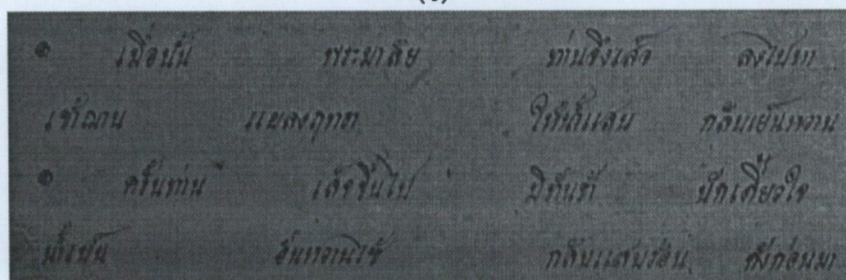
## 2.2 โหมดสีค่าประเภทของสีความอิ่มตัวของสี และ ความเข้มของสี (Hue Saturation Intensity: HSI)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 28 ภาพในโหมดสี (ก) ประเภทของสี (ข) ความอิ่มตัวของสีและ (ค) ความเข้มของสี

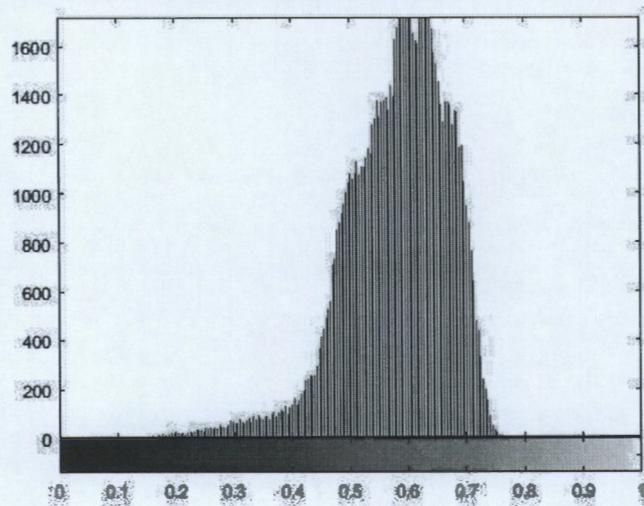
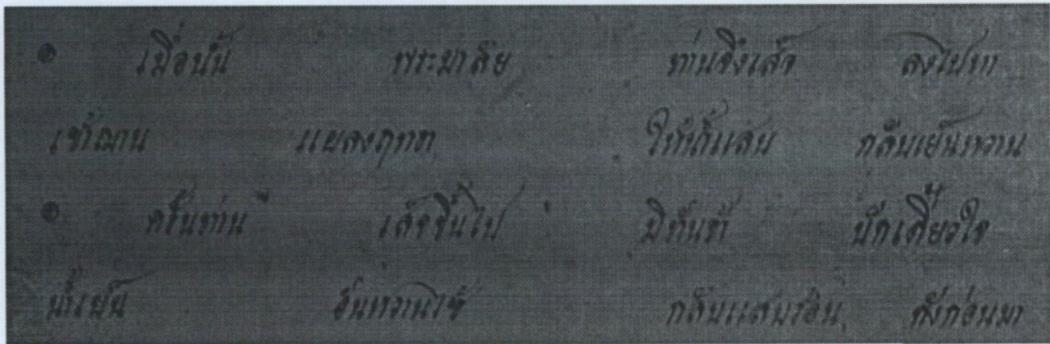
จากการทดลองพบว่าภาพในโหมดสีความเข้มของสี (Intensity) ตัวอักษรมีความชัดเจน และพื้นหลังมีความสว่างมากขึ้น สามารถนำมาใช้ในขั้นตอนต่อไป

### ขั้นตอนที่ 3 การปรับความคมชัดของภาพ

เนื่องจากภาพถ่ายที่ได้มามีความลบเลือนและไม่คมชัดสูงมากในการทดลองนี้จึงได้ทำขั้นตอนการปรับความคมชัดของภาพก่อนที่จะลดสัญญาณรบกวนเพื่อไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวนลดทอนรายละเอียดที่สำคัญของภาพออกไป

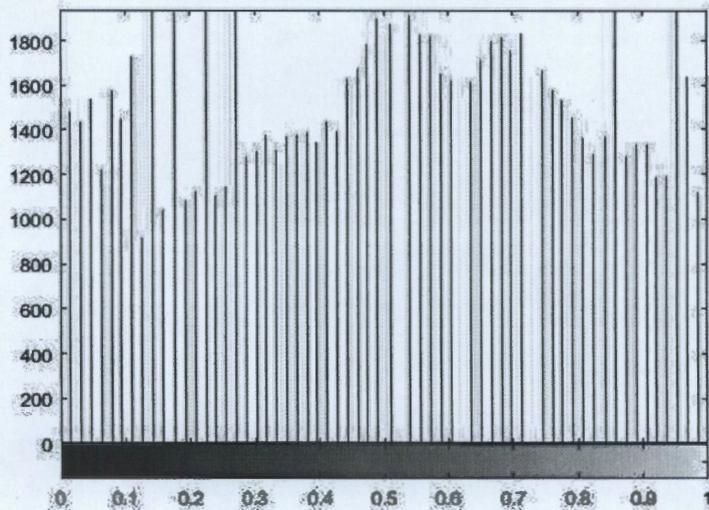
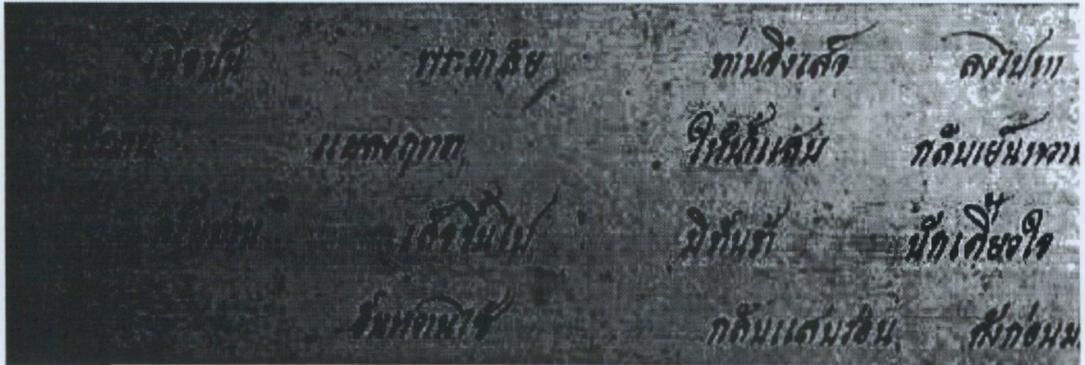
การปรับความคมชัดของภาพเป็นขั้นตอนในการเน้นวัตถุที่สนใจศึกษาทดลองด้วยการปรับความเข้มของแสงโดยใช้ภาพในโหมดสีความเข้มสีเป็นภาพตั้งต้นโดยเปรียบเทียบ 3 เทคนิควิธี คือ

1. ฮิสโทแกรมอีควอลไลเซชัน (Histogram Equalization: HE)
2. การปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอลไลเซชันแบบปรับได้ (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization: CLAHE)
3. การแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าความเข้มเทา (Gray-Level Transformation)



ภาพที่ 29 ภาพตั้งต้นในโหมดสีความเข้มสี (Intensity) และกราฟฮิสโทแกรม

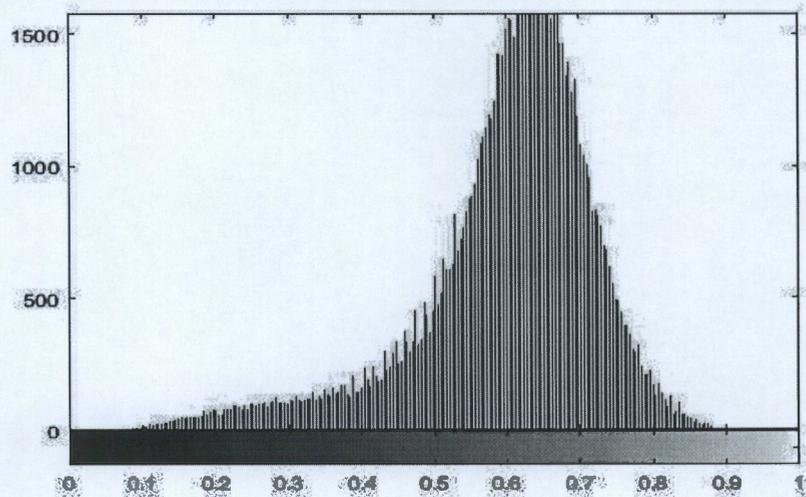
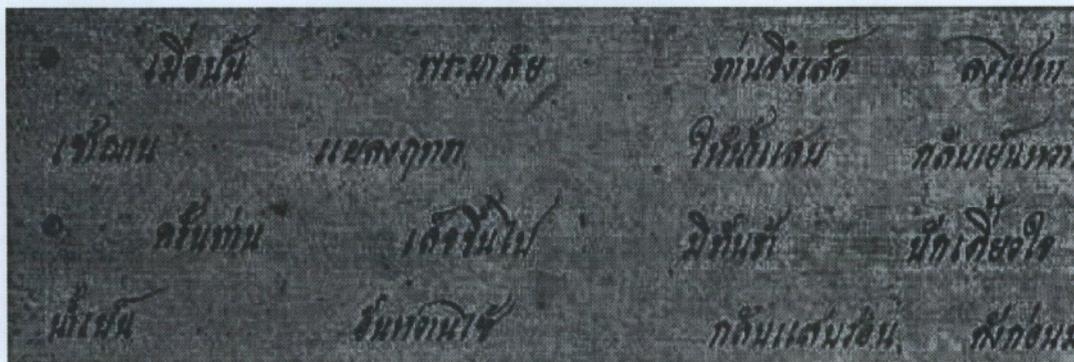
1. ฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน (Histogram Equalization: HE) เป็นการกระจายความเข้มแสง



ภาพที่ 30 ผลการปรับความคมชัดแบบฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน และกราฟฮิสโทแกรม

จากกราฟฮิสโทแกรมจะเห็นว่ามีการกระจายเส้นความถี่แบบสม่ำเสมอว่าภาพตั้งต้น กระจายการกระจุกตัวของกราฟในช่วง 0.5-0.7 ให้กระจายตั้งแต่ 0 - 1 ภาพส่วนที่มีความเข้มจะมีจำนวนพิกเซลที่มากขึ้น ภาพผลลัพธ์ที่ได้คือส่วนตัวอักษรมีความคมชัดมากขึ้นแต่ก็ทำให้ส่วนของพื้นหลังที่ไม่ต้องการคมชัดมากขึ้นด้วย พื้นหลังมีความไม่สม่ำเสมอของแสงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ยากในการแยกส่วนตัวอักษรกับพื้นหลังมากขึ้นด้วย

2. การปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอไลเซชันแบบปรับได้ (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization: CLAHE) เป็นการเฉลี่ยความเข้มของแสงแต่ละพิกเซลให้เท่ากัน

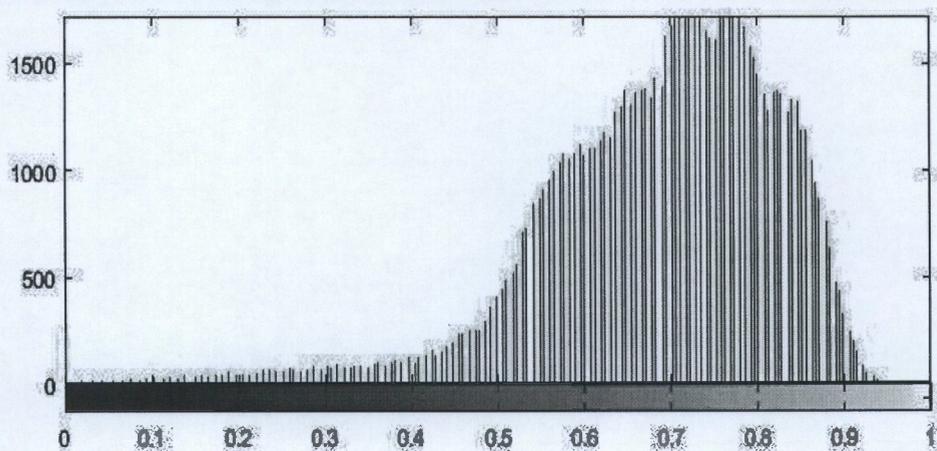
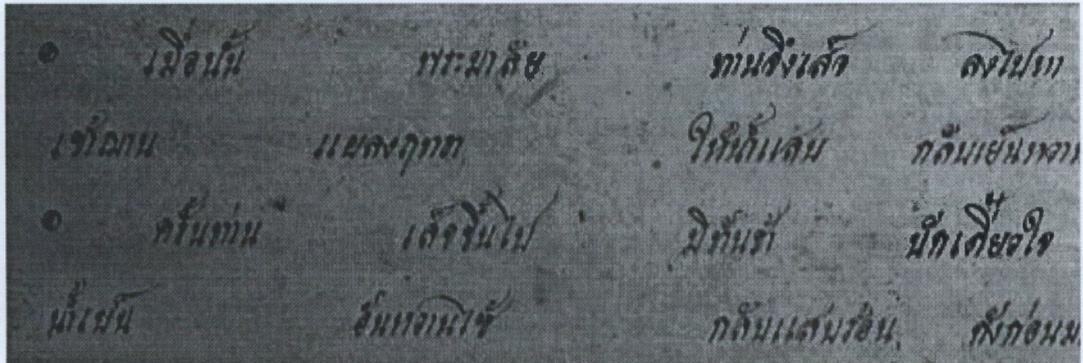


ภาพที่ 31 ผลการปรับความคมชัดแบบปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอไลเซชันแบบปรับได้ และกราฟฮิสโทแกรม

จากกราฟฮิสโทแกรมความเข้มของภาพยังกระจุกอยู่บริเวณช่วงกลาง แต่ช่วงจะกว้างกว่าของภาพตั้งต้น คืออยู่ในช่วง 0.5-0.8 ทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ ตัวอักษรชัดเจนขึ้น แต่ภาพพื้นหลังก็ชัดเจนขึ้นเช่นเดียวกัน สีของพื้นหลังมีความใกล้เคียงกับสีของตัวอักษร

3. การแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา (Gray-Level Transformation) เป็นเน้นความเข้มของแสงแต่ละพิกเซลให้มากกว่าเดิมเพื่อเน้นวัตถุที่สนใจเฉพาะจุด

ทำทดลองโดยการกำหนดค่าแบบกว้าง ๆ จากกราฟฮิสโทแกรมตั้งต้น ให้กระจายความเข้มจากช่วง 0.2-0.8 ขยายอยู่ในช่วง 0-1 และกำหนดค่าแกมมา ( $\gamma$ ) เท่ากับ 0.8



ภาพที่ 32 ผลการปรับความคมชัดแบบการแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าความเข้มเทา และกราฟฮิสโทแกรม

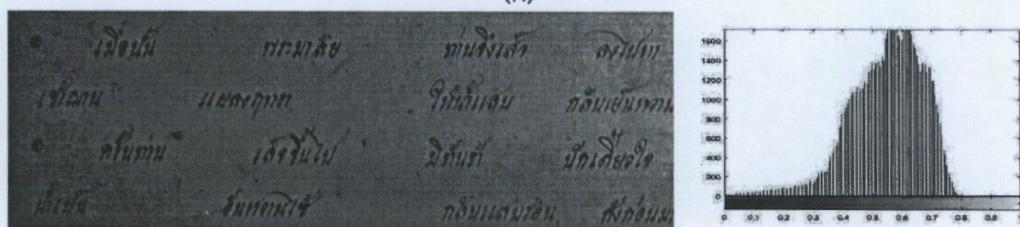
จากกราฟฮิสโทแกรมกราฟจะมีการกระจายตัวกว้างมากขึ้นในช่วง 0.5-0.9 ภาพผลลัพธ์ตัวอักษรชัดเจนมากยิ่งขึ้น แต่ก็ยังมีที่ใกล้เคียงกับสีพื้นหลัง

การทดลองปรับค่าช่วงความเข้มสี และ ค่าแกมมา แบบละเอียดเพื่อหาภาพผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยพิจารณาการปรับจากกราฟฮิสโทแกรมของภาพตั้งต้นและผลลัพธ์ที่ได้ ดังนี้

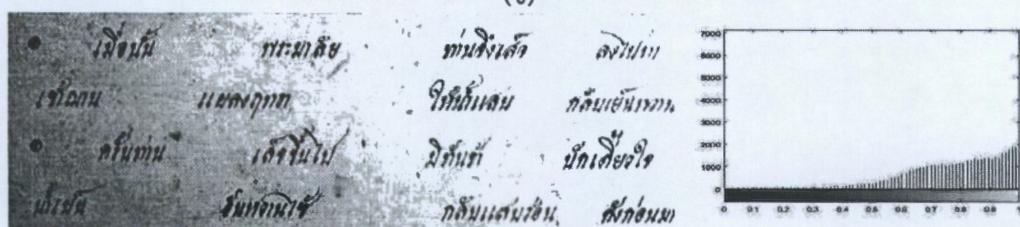
1. ช่วง 0.2-0.7 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.7
2. ช่วง 0.2-0.9 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.9
3. ช่วง 0.3-0.7 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.7
4. ช่วง 0.3-0.9 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.9



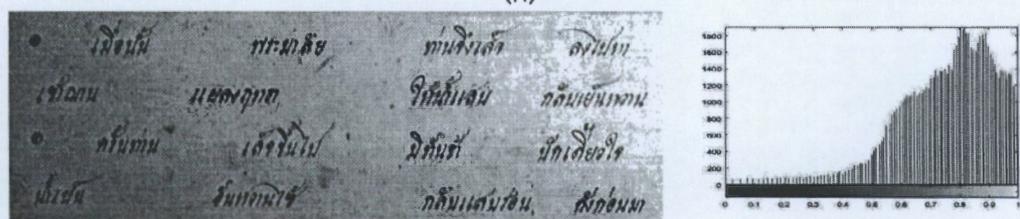
(ก)



(ข)



(ค)

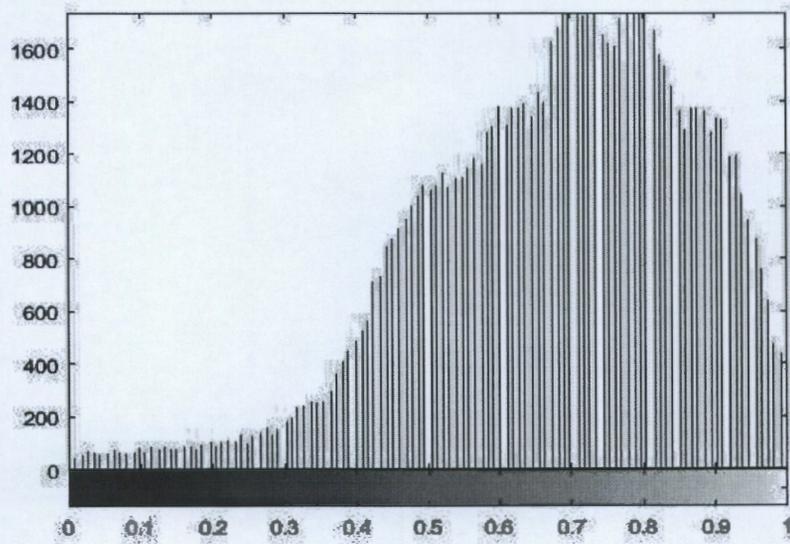
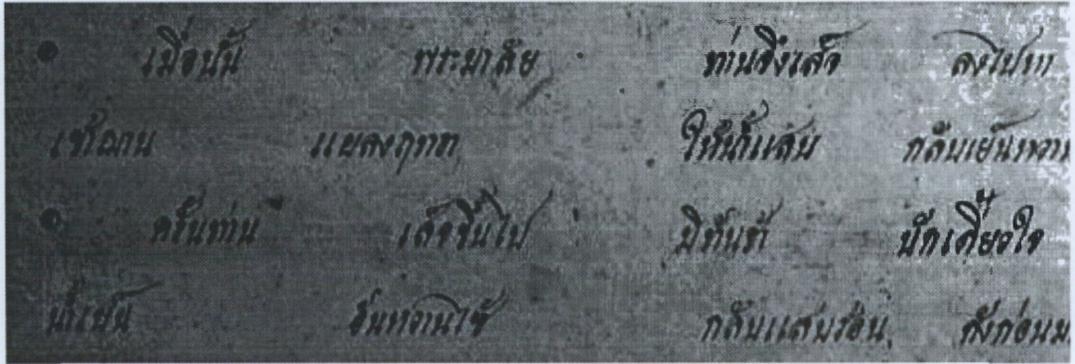


(ง)

- ภาพที่ 33 เปรียบเทียบผลการปรับความคมชัดแบบการแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าความเข้มเทา ที่ช่วงความเข้มสีและค่าแกมมาที่ต่างกัน พร้อมกราฟฮิสโทแกรม
- (ก) ช่วง 0.2-0.7 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.7
  - (ข) ช่วง 0.2-0.9 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.9
  - (ค) ช่วง 0.3-0.7 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.7
  - (ง) ช่วง 0.3-0.9 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.9

จากการทดลองพบว่าการใช้วิธีการแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าความเข้มเทา (Gray-Level Transformation) โดยกำหนดค่าความเข้มสีช่วง 0.2-0.8 ค่าแกมมาเท่ากับ 0.8 ให้ผลดีที่สุด

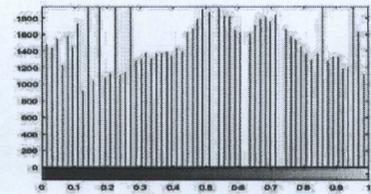
4. การยืดความคมชัด (Contrast Stretching) เป็นการขยายหรือยืดความเข้มสีโทนเทาให้อยู่ในช่วงที่กำหนด



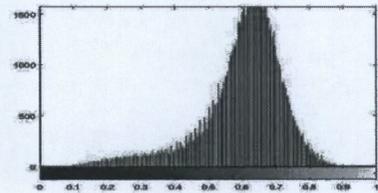
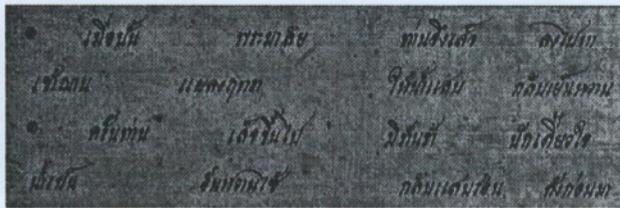
ภาพที่ 34 ผลการปรับความคมชัดแบบแปลงข้อมูลโดยใช้การยืดความคมชัด และกราฟฮิสโทแกรม

จากกราฟฮิสโทแกรมกราฟจะมีการกระจายตัวกว้างมากขึ้นตั้งแต่ 0-1 ภาพผลลัพธ์ตัวอักษรชัดเจนมากยิ่งขึ้น และมีสีค่อนข้างเข้มกว่าสีพื้นหลังอย่างชัดเจน

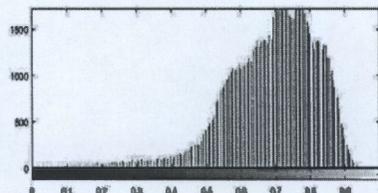
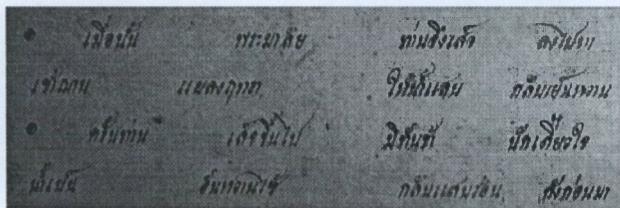
เปรียบเทียบผลการปรับความคมชัดทั้ง 4 วิธี



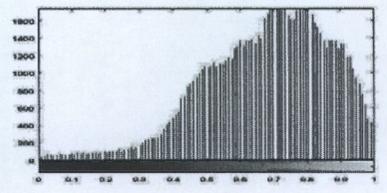
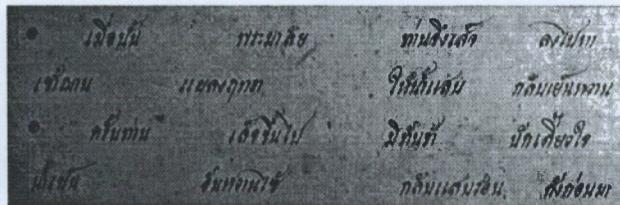
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

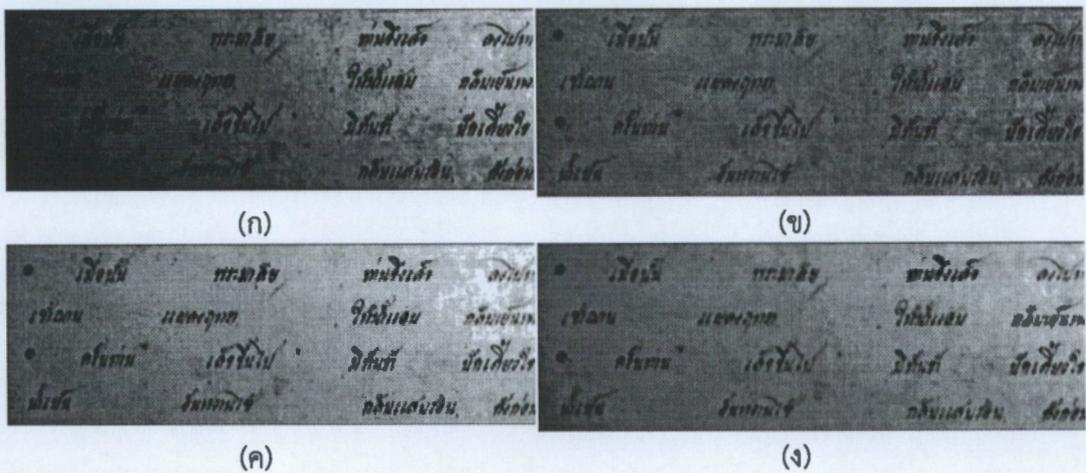
ภาพที่ 35 เปรียบเทียบผลการใช้เทคนิคการปรับความคมชัด 4 วิธี (ก) ฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน (ข) การปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอไลเซชันแบบปรับได้ (ค) การแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา (ง) การยึดความคมชัด

จากผลการทดลองพบว่าวิธีฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน และการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอไลเซชันแบบปรับได้นอกจากจะทำให้ตัวอักษรคมชัดขึ้น ยังทำให้ส่วนพื้นหลังและสัญญาณรบกวนชัดขึ้นอีกด้วย ส่วนวิธีการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทาและการยึดความคมชัด มีผลที่ได้ตัวอักษรที่ชัดเจนขึ้นในระดับที่ใกล้เคียงกัน กราฟฮิสโทแกรมมีการกระจายตัวมากอย่างสามารถแยกจากพื้นหลังได้ หากมองจากผลลัพธ์เทียบสองวิธีนี้ วิธีการยึดความคมชัดจะให้ผลดีมากกว่า แต่เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง จึงนำภาพผลลัพธ์จากทั้งสี่วิธีนี้ไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

#### ขั้นตอนที่ 4 การลดสัญญาณรบกวน

จากขั้นตอนการเพิ่มความคมชัดของภาพ ผลที่ได้นอกจากจะเพิ่มความคมชัดของตัวอักษรแล้ว ยังเพิ่มความคมชัดของสัญญาณรบกวนอีกด้วย ขั้นตอนนี้จึงเป็นการลดสัญญาณรบกวนดังกล่าวด้วยวิธี การลดสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในภาพด้วยการกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ย (Averaging Filter) และค่ามัธยฐาน (Median Filter) ซึ่งการใช้ตัวกรองทั้งสองแบบเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการลบสัญญาณรบกวนทั่วไปที่มีในภาพ เพื่อให้เหลือเฉพาะวัตถุที่สนใจในภาพ เป็นการลดปัญหาในการประมวลผลภาพในขั้นตอนต่อ ๆ ไป

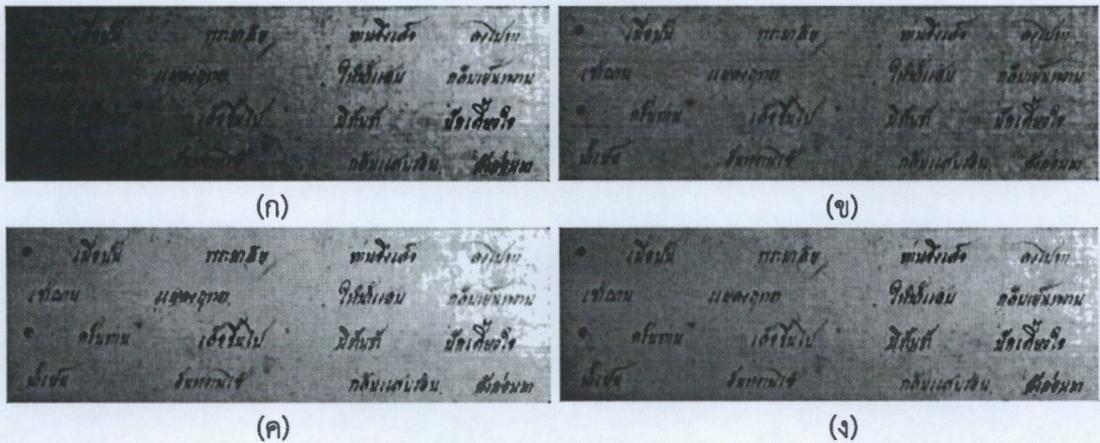
##### 4.1 การใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย (Averaging Filter)



ภาพที่ 36 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีใช้ค่าเฉลี่ย ด้วยมาส์คขนาด 3

- (ก) จากผลการทำฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน
- (ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอไลเซชันแบบปรับได้
- (ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา
- (ง) จากผลการยืดความคมชัด

#### 4.2 การใช้ตัวกรองแบบค่ามัธยฐาน (Median Filter)



ภาพที่ 37 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีใช้ค่ามัธยฐานด้วยมาสก์ขนาด 3

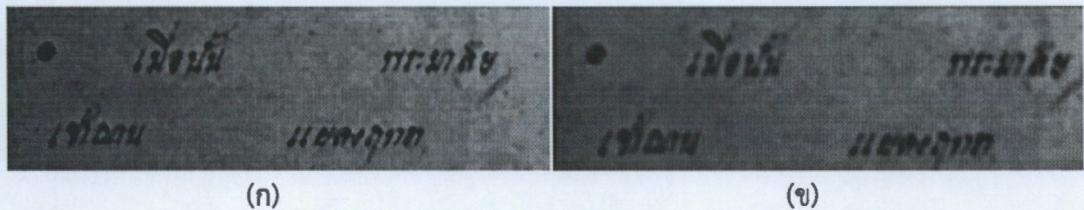
(ก) จากผลการทำอิซโทแกรมอีควอไลเซชัน

(ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าอิซโทแกรมอีควอไลเซชันแบบปรับได้

(ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา

(ง) จากผลการยึดความคมชัด

ภาพขยายผลการลดสัญญาณรบกวน



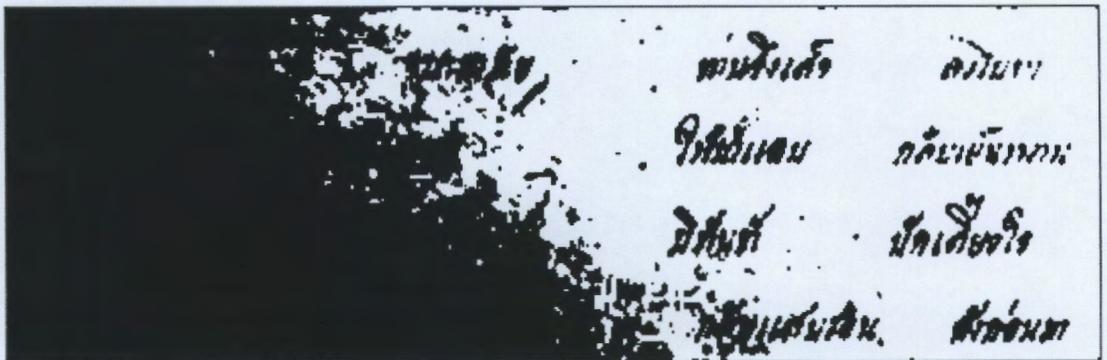
ภาพที่ 38 ภาพขยายการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีใช้ (ก) ค่าเฉลี่ยและ (ข) ค่ามัธยฐานจากผลการยึดความคมชัด

จากการทดลองพบว่า การลดสัญญาณรบกวนด้วยค่ามัธยฐาน ได้ผลลัพธ์ที่สามารถลดสัญญาณรบกวน พร้อมคงความชัดเจนของภาพไว้ได้มากกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย การทดลองใช้มาสก์เริ่มต้นขนาด 3 พบว่าทำให้ภาพมีความเบลอเพิ่มขึ้น หากจะทดลองโดยการเพิ่มค่ามาสก์จะยิ่งทำให้ภาพมีความเบลอมากขึ้น จึงกำหนดค่ามาสก์ที่ 3

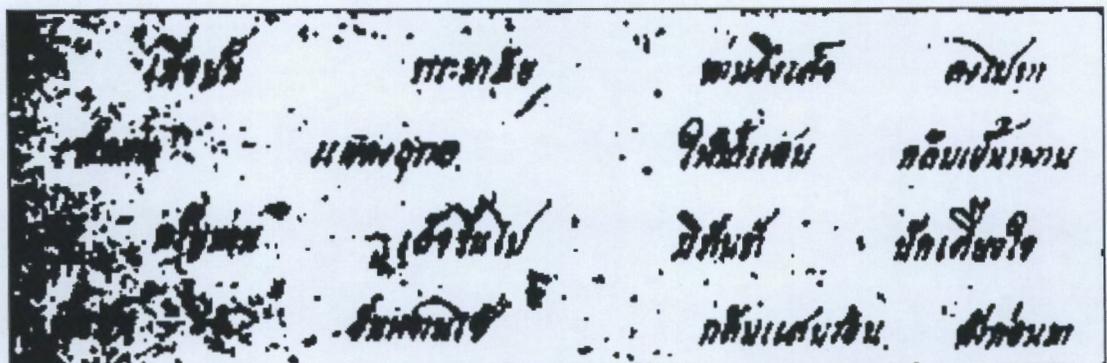
### ขั้นตอนที่ 5 การแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง

เป็นขั้นตอนที่ต้องการดึงตัวอักษรออกจากภาพพื้นหลัง การทดลองเปรียบเทียบเทคนิคการทำเทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ (Global Thresholding) และ การทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ (Adaptive Thresholding) โดยทำการทดลองกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับความคมชัด ทั้ง 4 วิธี และลดสัญญาณรบกวนด้วยค่ามัธยฐาน เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง

#### 5.1 การทำเทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ (Global Thresholding)



(ก)



(ข)

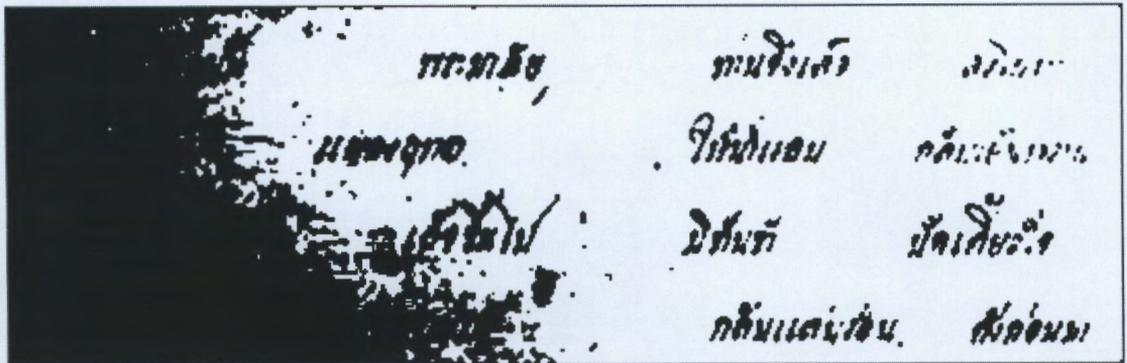
ภาพที่ 39 ผลการทำเทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ

(ก) จากผลการทำฮิสโทแกรมอ็ควอไลเซชัน

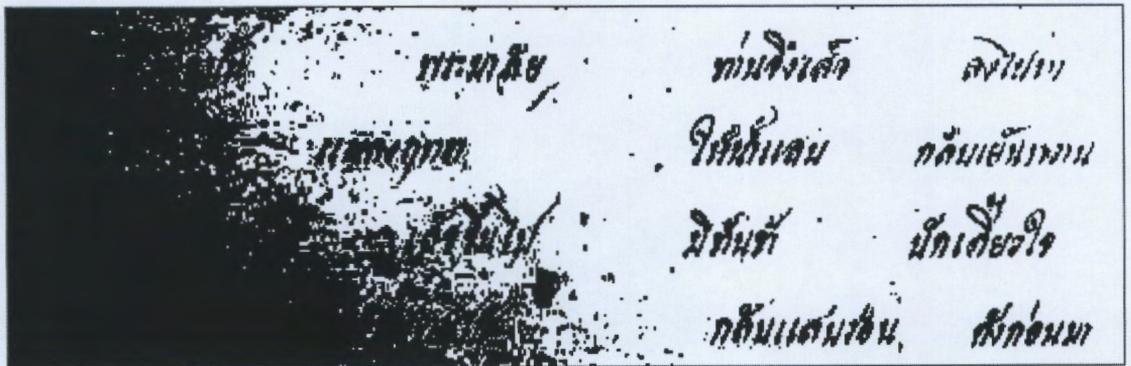
(ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอ็ควอไลเซชันแบบปรับได้

(ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา

(ง) จากผลการยืดความคมชัด



(ค)



(ง)

ภาพที่ 39 ผลการทำเทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ (ต่อ)

(ก) จากผลการทำฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน

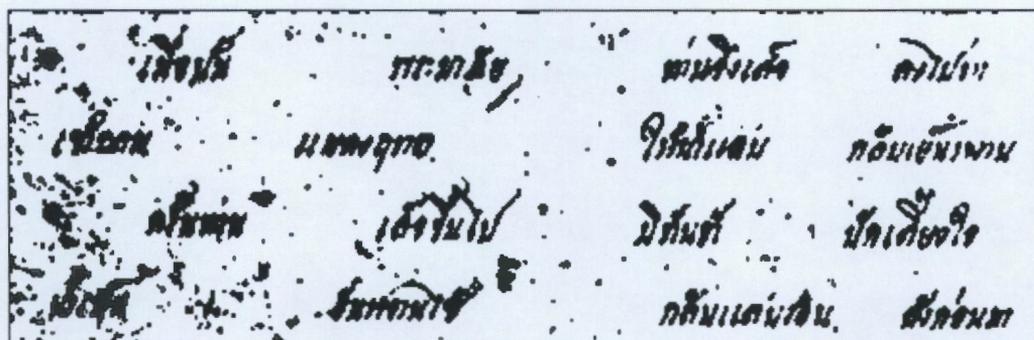
(ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอไลเซชันแบบปรับได้

(ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา

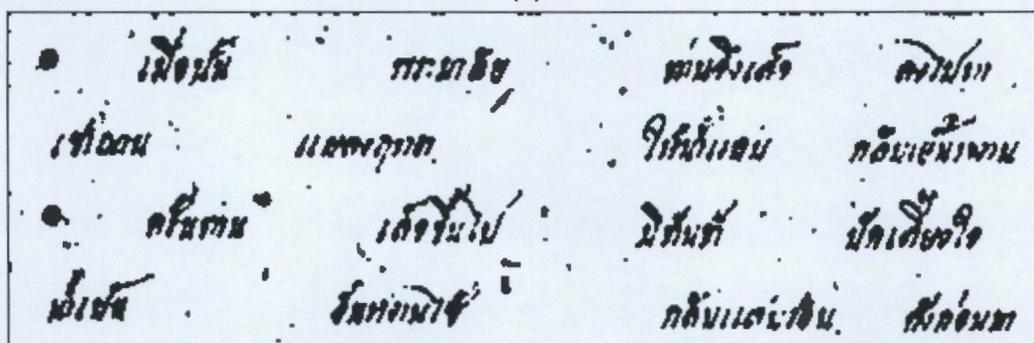
(ง) จากผลการยืดความคมชัด

จากภาพถ่ายตั้งต้นที่บริเวณด้านซ้ายของภาพมีความมืดมากกว่าบริเวณด้านขวา การใช้เทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ ทำให้บริเวณซ้ายของภาพซึ่งมีความมืดกลายเป็นสีดำทั้งพื้นหลังและตัวอักษร ในขณะที่บริเวณด้านขวาของภาพที่มีความสว่างกว่าสามารถแยกพื้นหลังและตัวอักษรได้บางส่วน

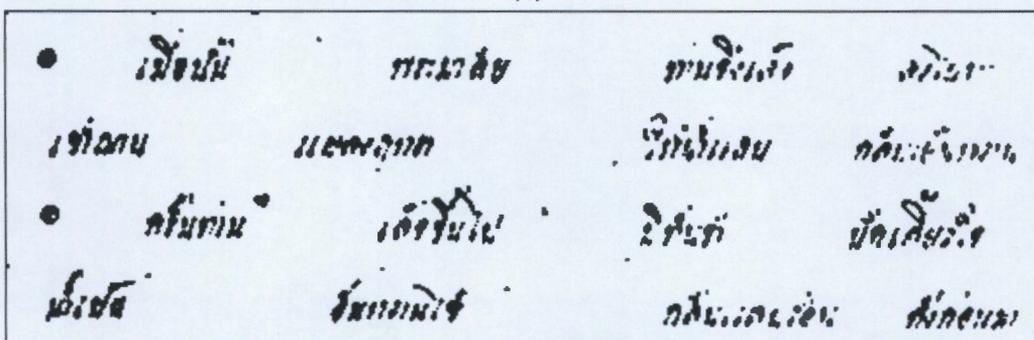
## 5.2 การทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ (Local/Adaptive Thresholding)



(ก)



(ข)



(ค)

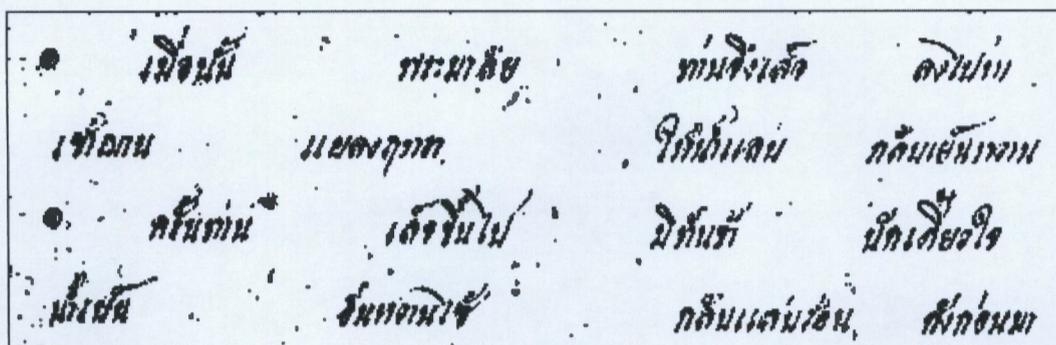
ภาพที่ 40 ผลการทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ

(ก) จากผลการทำฮิสโทแกรมฮิสโตแกรมโอทสู

(ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมฮิสโตแกรมโอทสูแบบปรับได้

(ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา

(ง) จากผลการยืดความคมชัด



(ง)

ภาพที่ 40 ผลการทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ (ต่อ)

- (ก) จากผลการทำฮิสโทแกรมอีควอไลเซชัน
- (ข) จากผลการปรับค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าฮิสโทแกรมอีควอไลเซชันแบบปรับได้
- (ค) จากผลการแปลงความเข้มโดยใช้ค่าความเข้มเทา
- (ง) จากผลการยืดความคมชัด

การทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพในส่วนภาพที่มีความมืด และความสว่างไม่เท่ากันสามารถแยกตัวอักษรและพื้นหลังได้ เนื่องจากการใช้ค่าเทรชโฮลด์ที่แตกต่างกันในการปรับความคมชัดแต่ละส่วนของภาพ

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่าถ้าภาพบริเวณที่มีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้า และพื้นหลังใกล้เคียงกันการทำเทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพจะไม่สามารถแยกตัวอักษรและพื้นหลังได้เลย ส่วนการทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพสามารถแยกได้ดีกว่า และจากการเปรียบเทียบภาพตั้งฉบับที่ได้จากการปรับความคมชัดทั้ง 4 วิธี หากเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ให้ลายเส้นตัวอักษรมีความสมบูรณ์ที่สุด การใช้ภาพต้นฉบับจากการปรับความคมชัดด้วยวิธีการยืดความคมชัดได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในขณะที่วิธีอื่น ๆ ลายเส้นตัวอักษรมีรอยขาดไม่สมบูรณ์ และยากต่อการจำแนก แต่ภาพผลลัพธ์ที่ได้ยังพบวัตถุที่ไม่ใช่ตัวอักษรถูกตรวจพบอีกจำนวนหนึ่ง และลายเส้นบางตัวอักษรมีความบางมาก จึงต้องเพิ่มความคมชัดและขจัดวัตถุที่ไม่ใช่ตัวอักษรออกในขั้นตอนต่อไป

## ขั้นตอนที่ 6 การเพิ่มความชัดเจนของตัวอักษร

ในขั้นตอนนี้จะลบวัตถุที่ไม่ใช่ตัวอักษร ทั้งวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าตัวอักษร และวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับตัวอักษรแต่ไม่ใช่ตัวอักษร และเพิ่มความคมชัดของตัวอักษร ด้วยการใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ (Morphology) โดยมีขั้นตอนดังนี้

### 6.1 การกลับค่าสี ภาพขาว-ดำและลบวัตถุขนาดเล็ก

ก่อนจะเพิ่มความชัดเจนของตัวอักษรจากภาพตั้งต้นตัวอักษรสีดำ และพื้นหลังสีขาว เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ที่ชัดเจนขึ้นจึงมีการกลับสีให้ตัวอักษรมีสีขาวและพื้นหลังมีสีดำ ลบวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าตัวอักษรและวัตถุบริเวณขอบภาพออกก่อน



ภาพที่ 41 การกลับค่าสีตัวอักษรสีขาว พื้นหลังสีดำ



ภาพที่ 42 การลบวัตถุขนาดเล็กกว่าตัวอักษร

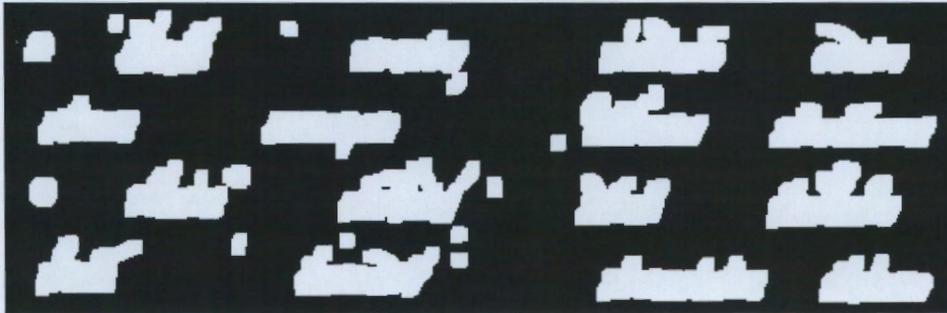
ผลการทดลอง ยังพบวัตถุที่ไม่ใช่ตัวอักษรเหลืออยู่แต่มีขนาดใหญ่ ซึ่งหากใช้วิธีการเพิ่มขนาดวัตถุที่ลบอีก จะทำให้ลบวัตถุเหล่านี้ได้ แต่ปัญหาที่พบคือสระเบางตัวจะหายไปด้วย

## 6.2 การลบลักษณะใกล้เคียงกับตัวอักษรแต่ไม่ใช่ตัวอักษร

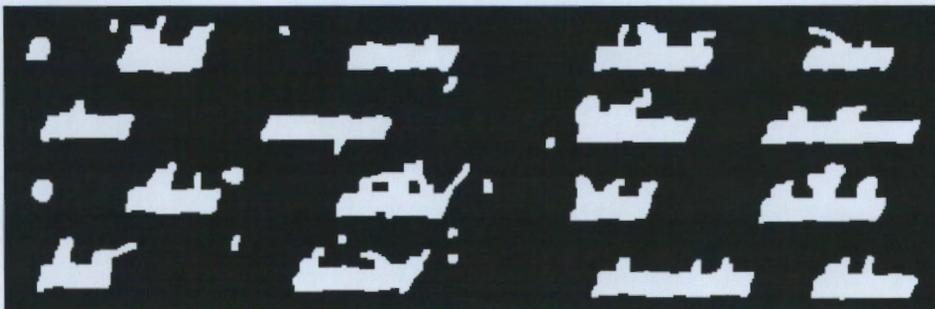
ใช้วิธีการขยายเส้นตัวอักษรให้คำติดกันเป็นพื้นที่ใหญ่ เพื่อให้บริเวณสระกับพยัญชนะติดกัน แล้วพิจารณาลบลักษณะอื่น ๆ ออก การขยายเส้นตัวอักษรในครั้งแรกมีผลให้วัตถุที่ไม่ใช่ตัวอักษรติดกับบริเวณตัวอักษร จึงต้องมีการลบขอบภาพออกอีกครั้งหนึ่งเพื่อแยกวัตถุที่เป็นตัวอักษร และไม่ใช่ตัวอักษรออกจากกัน



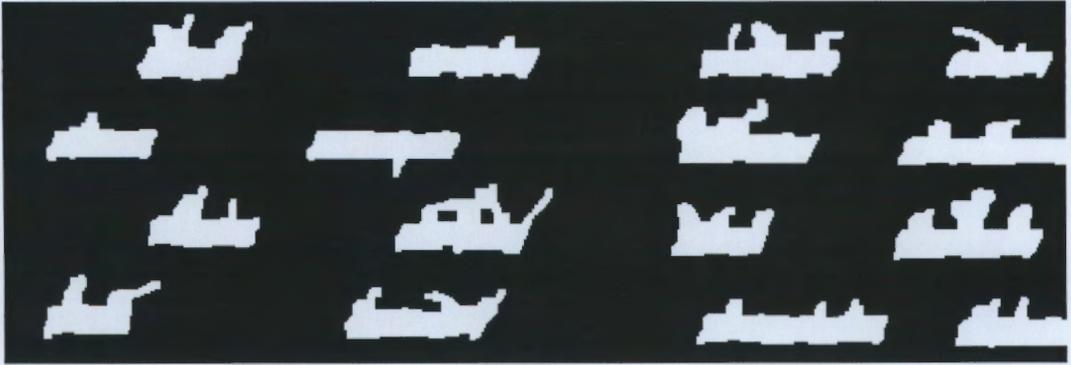
ภาพที่ 43 การเพิ่มขอบลายเส้นตัวอักษรด้วยมาสก์แบบโตมอนขนาด 1



ภาพที่ 44 การเพิ่มขอบลายเส้นตัวอักษรด้วยมาสก์แบบโตมอนขนาด 7



ภาพที่ 45 การลดขอบลายเส้นตัวอักษรด้วยมาสก์แบบโตมอนขนาด 3



ภาพที่ 46 การลบพื้นที่ที่ไม่ใช่ตัวอักษร

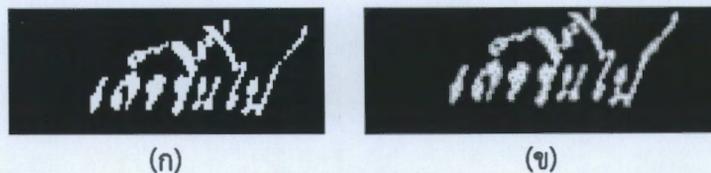
นำส่วนภาพพื้นหลังเฉพาะสีดำที่ไม่ใช่ตัวอักษรไปรวมกับภาพผลลัพธ์ที่ได้ก่อนหน้านี้ เพื่อให้ได้ภาพตัวอักษรที่ไม่มีวัตถุที่ไม่ใช่ตัวอักษร

### 6.3 เพิ่มความหนาเส้นตัวอักษร

ผลลัพธ์ตัวอักษรที่แยกออกมาได้นั้นมีตัวอักษรบางส่วนของที่ลายเส้นจางหรือขาดหายไปบางส่วน เนื่องจากอาจถูกพิจารณาออกในขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวน หรือมีความเข้มสีที่ใกล้เคียงกับภาพพื้นหลังมาก ขั้นตอนนี้จึงเป็นการเพิ่มความหนาให้ตัวอักษรมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยทดลองด้วยการเพิ่มขอบด้วยมาสก์รูปโดม่อน ขนาด 1 การเพิ่มขนาดมาสก์ให้มากขึ้นจะทำให้ตัวอักษรหนามากขึ้น แต่มีผลให้การอ่านทำได้ยากมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 47 การเพิ่มความหนาให้ตัวอักษร

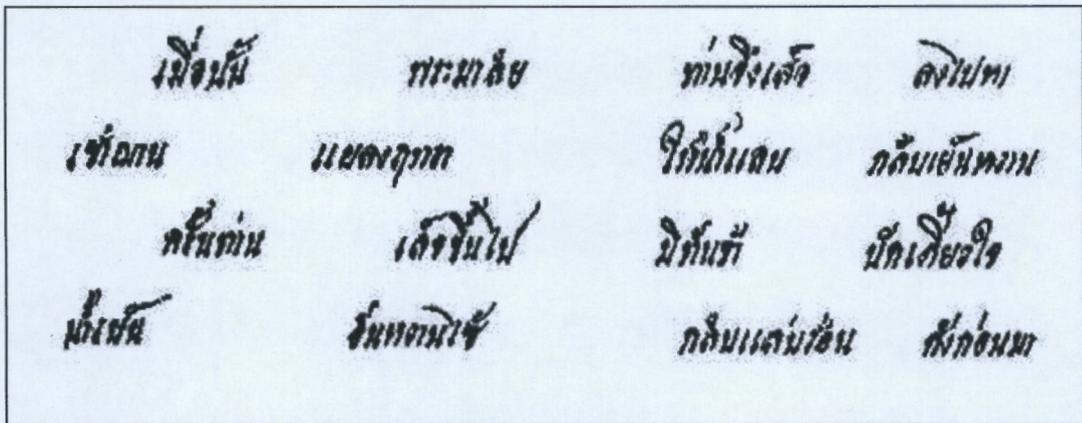


ภาพที่ 48 ขยายส่วนของภาพเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อน และหลังเพิ่มความหนาให้ตัวอักษร

## 6.4 หาขอบตัวอักษรและกลับคำสีตัวอักษร



ภาพที่ 49 การหาขอบตัวอักษร



ภาพที่ 50 การกลับคำสีภาพตัวอักษรสีดำ พื้นหลังสีขาว

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยในบทที่ 3 สรุปผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1. **ขั้นตอนการอ่านภาพ** การแบ่งภาพเป็นสองส่วน จะให้ผลที่ดีกว่าการใช้ภาพเดียวตั้งแต่ต้น
2. **ขั้นตอนการเลือกโหมดสี** โหมดสีที่เหมาะสม เห็นตัวอักษรได้ชัดเจนจากพื้นหลังคือโหมดค่าความเข้มสี (Intensity)
3. **ขั้นตอนการปรับแต่งความคมชัดของภาพ** เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากกับเอกสารประวัติศาสตร์ที่เสื่อมสภาพตามกาลเวลา และไม่มีการจัดสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาที่ถูกต้อง การปรับแต่งความชัดที่ดีจะนำไปสู่การแยกตัวอักษรจากพื้นหลังที่ดี จากการทดลองพบว่า เนื่องจากสภาพทางกายภาพของหนังสือโบราณมีลักษณะโค้งงอ และมีด้านยาวมากกว่าด้านกว้างมาก ในการถ่ายภาพการจัดแสงหรือกำหนดบริเวณคมชัดทำได้ยาก ทำให้ได้ภาพถ่ายที่มีแสงไม่สม่ำเสมอ สภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอนี้ส่งผลให้การปรับแต่งความคมชัดเพื่อแยกส่วนตัวอักษรออกจากพื้นหลัง อีกทั้งลายเส้นตัวอักษรในภาพต้นฉบับค่อนข้างบาง วิธีที่ดีที่สุดคือ การยืดความคมชัด (Contrast Stretching)
4. **ขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวน** วิธีที่ดีที่สุดคือ การใช้ตัวกรองแบบมัธยฐาน (Median filtering) ซึ่งเป็นการลดสัญญาณรบกวนขนาดเล็ก
5. **ขั้นตอนการแยกส่วนตัวอักษรและพื้นหลัง** การทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะส่วนของภาพ (Local/Adaptive Thresholding) สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังในภาพถ่ายที่มีสีและความสว่างของพื้นหลังไม่สม่ำเสมอได้
6. **ขั้นตอนการเพิ่มความคมชัดของตัวอักษร** ใช้วิธีเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ (Morphology) โดยหลังจากที่ลดสัญญาณรบกวนขนาดเล็กแล้ว ยังพบกลุ่มของพิกเซลที่ไม่ใช่ตัวอักษรหลงเหลืออยู่ จึงได้ทดลองลบวัตถุที่อยู่นอกไปด้วย จากการทดลองพบว่า กลุ่มของพิกเซลที่ไม่ใช่ตัวอักษรจะไม่ขนาดไม่เกิน 7 พิกเซล อีกทั้งลายเส้นตัวอักษรในภาพต้นฉบับค่อนข้างบาง ในขั้นตอนของการลดสัญญาณรบกวน นอกจากจะช่วยลดสัญญาณรบกวนแล้วยังส่งผลให้เกิดการตัดทอนลายเส้นให้ลดความคมชัดลงไปอีกจึงมีการเพิ่มขอบภาพเพื่อให้ลายเส้นตัวอักษรคมชัดมากขึ้น

ผลการทดลองที่ได้ถูกนำไปตรวจสอบความถูกต้องกับผู้เชี่ยวชาญด้านการประมวลผลภาพ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญญฤทธิ์ อุทยานนวาระ อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คอมพิวเตอร์และการสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และผู้เชี่ยวชาญด้านคัมภีร์โบราณ พระครูวิมลธรรมสิทธิ์ (พระอาจารย์แดง) เจ้าอาวาสวัดช่องลม นาเกลือ จังหวัดชลบุรี โดยใช้วิธีการวัดประสิทธิภาพเชิงคุณภาพ ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการแยกตัวอักษรจากพื้นหลังภาพถ่ายโบราณที่ไม่ผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพ และผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพ

เทคนิค	จำนวนภาพที่แยกตัวอักษร กับพื้นหลังได้	จำนวนภาพที่แยกตัวอักษร กับพื้นหลังไม่ได้
ไม่ผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพ	0	50
ผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพ	45	5

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการแยกตัวอักษรจากพื้นหลังภาพถ่ายโบราณด้วยการทำเทรซโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ กับการทำเทรซโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ

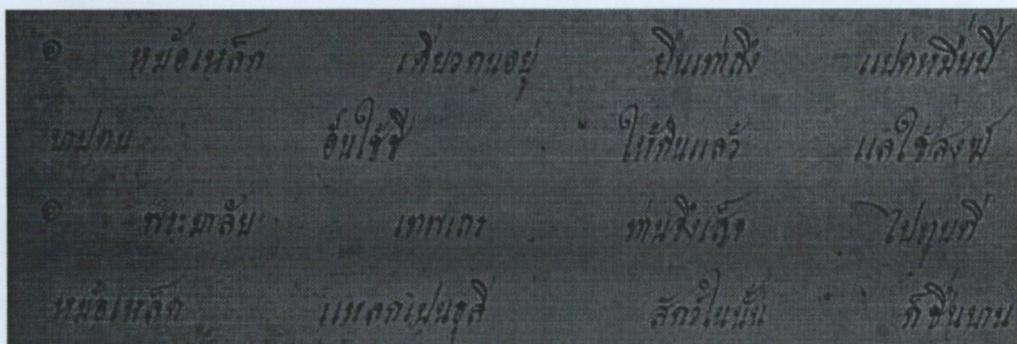
เทคนิค	จำนวนภาพที่แยกตัว อักษรกับพื้นหลังได้	จำนวนภาพที่แยกตัวอักษร กับพื้นหลังไม่ได้
การทำเทรซโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ	4	46
การทำเทรซโฮลด์แบบปรับตามความ เข้มเฉพาะที่ของภาพ	45	5

จากภาพถ่ายจำนวน 50 ภาพ การทำเทรซโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ มีภาพที่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังได้อย่างสมบูรณ์ จำนวน 5 ภาพ คิดเป็น 10% และแยกได้ไม่สมบูรณ์ จำนวน 45 ภาพ คิดเป็น 90%

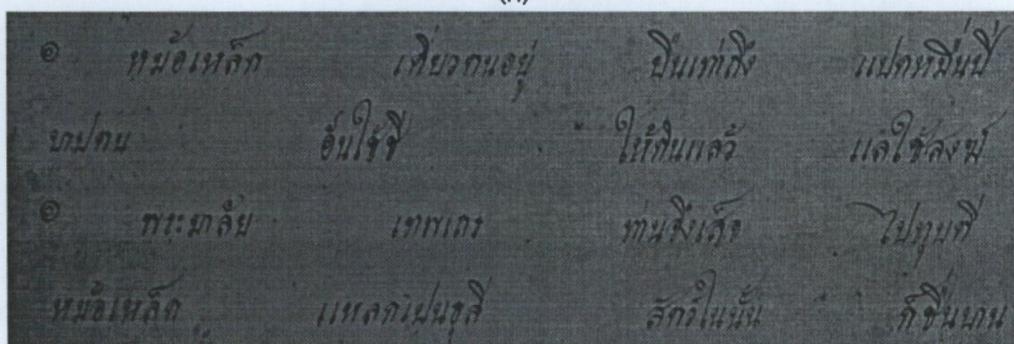
การทำเทรซโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ มีภาพที่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังได้อย่างสมบูรณ์ จำนวน 45 ภาพ คิดเป็น 90% และแยกได้ไม่สมบูรณ์ จำนวน 5 ภาพ คิดเป็น 10%

ภาพถ่ายที่ไม่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังได้อย่างสมบูรณ์เกิดจากภาพถ่ายต้นฉบับมีแสงที่ไม่สม่ำเสมอสูงมาก สีของตัวอักษรมีความใกล้เคียงกับสีของพื้นหลังมาก ทำให้ในขั้นตอนการแยก ตัวอักษรถูกพิจารณาเป็นพื้นหลังไปด้วย ตัวอักษรมีลายเส้นที่บางมาก หรือขาดหายไปเลยจะถูกพิจารณาให้เป็นสัญญาณรบกวนซึ่งจะถูกลบไปในขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวน ตัวอย่างภาพถ่ายที่

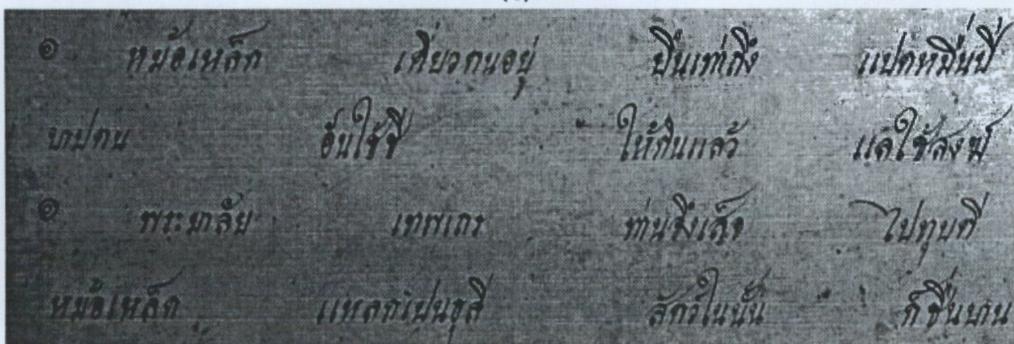
สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังได้ และ แยกไม่ได้ แสดงในภาพที่ 51 และ ภาพที่ 52 ตามลำดับ (ผลการทดลองทั้งหมด แสดงไว้ในภาคผนวก ก.)



(ก)

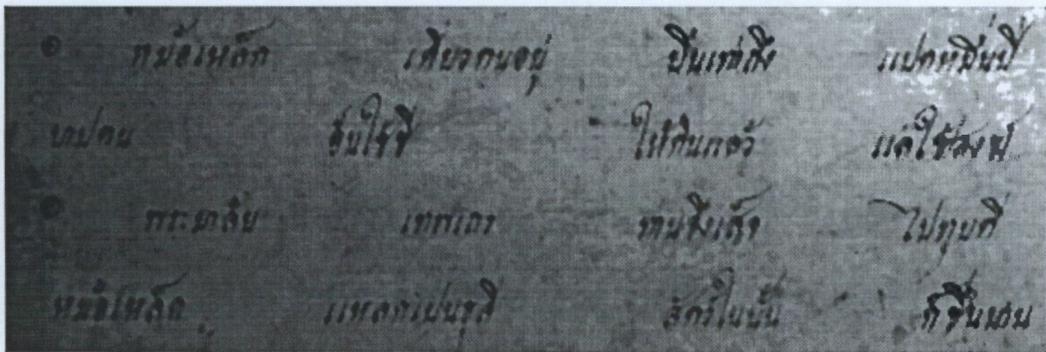


(ข)



(ค)

ภาพที่ 51 ภาพถ่ายที่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพโหมดความเข้มสี (ค) ปรับความคมชัด (ง) ลดสัญญาณรบกวน (จ) แยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ฉ) เพิ่มความคมชัดของตัวอักษร



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 51 ภาพถ่ายที่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ต่อ) (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพโหมด  
 ความเข้มสี (ค) ปรับความคมชัด (ง) ลดสัญญาณรบกวน (จ) แยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง  
 (ฉ) เพิ่มความคมชัดของตัวอักษร

พื้แก	ทรรมาสัย	ยัง อยู่ นั้น	สิ้นของ องค์ มา
๑. เป้าคนรัก	สิ่งชั่วใจ	ทรรมาสัย	นักมารล้น
๑. พื้มีเป้าหนึ่ง	ลำขากนักทน	เป็นเหยื่อแรงกา	ผู้เล็กหรือผู้ม
๑. เนื้อนั้นหมกสัน	พื้แกโคมเนตา	ใจลับเห็นวาเอา	วังคทงเสียแจ

(ก)

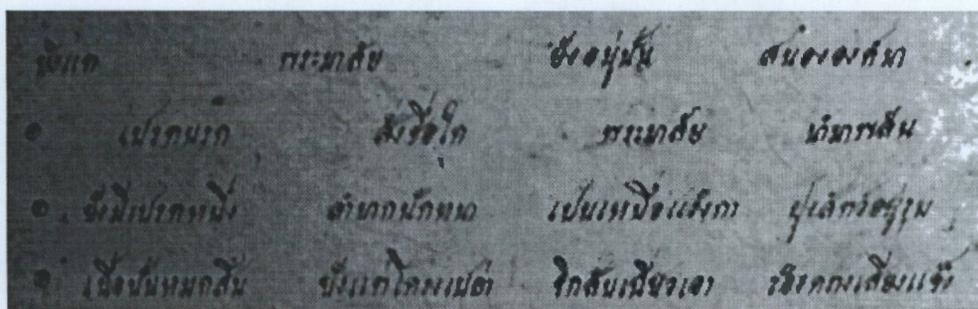
พื้แก	ทรรมาสัย	ยัง อยู่ นั้น	สิ้นของ องค์ มา
๑. เป้าคนรัก	สิ่งชั่วใจ	ทรรมาสัย	นักมารล้น
๑. พื้มีเป้าหนึ่ง	ลำขากนักทน	เป็นเหยื่อแรงกา	ผู้เล็กหรือผู้ม
๑. เนื้อนั้นหมกสัน	พื้แกโคมเนตา	ใจลับเห็นวาเอา	วังคทงเสียแจ

(ข)

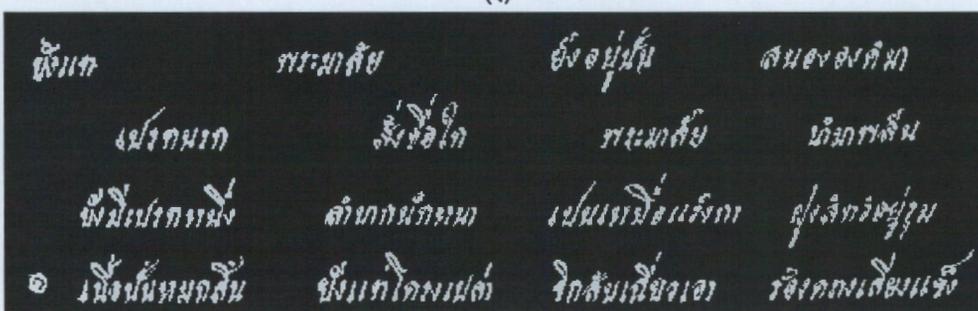
พื้แก	ทรรมาสัย	ยัง อยู่ นั้น	สิ้นของ องค์ มา
๑. เป้าคนรัก	สิ่งชั่วใจ	ทรรมาสัย	นักมารล้น
๑. พื้มีเป้าหนึ่ง	ลำขากนักทน	เป็นเหยื่อแรงกา	ผู้เล็กหรือผู้ม
๑. เนื้อนั้นหมกสัน	พื้แกโคมเนตา	ใจลับเห็นวาเอา	วังคทงเสียแจ

(ค)

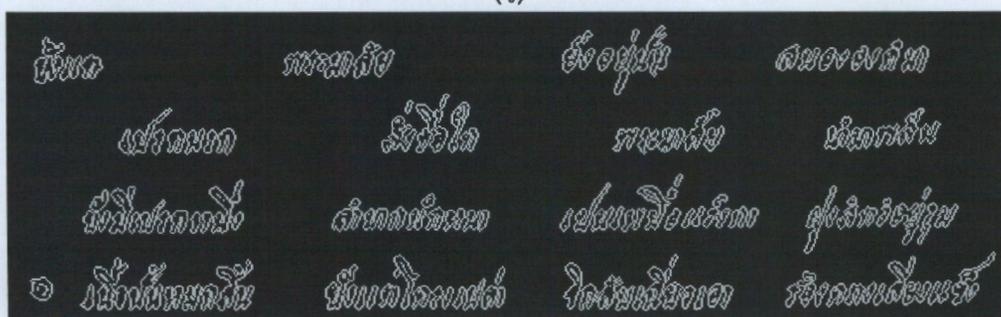
ภาพที่ 52 ภาพถ่ายที่ไม่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพโหมดความเข้มสี (ค) ปรับความคมชัด (ง) ลดสัญญาณรบกวน (จ) แยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ฉ) เพิ่มความคมชัดของตัวอักษร



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 52 ภาพถ่ายที่ไม่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง (ต่อ) (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพโหมด  
 ความเข้มสี (ค) ปรับความคมชัด (ง) ลดสัญญาณรบกวน (จ) แยกตัวอักษรออกจากพื้นหลัง  
 (ฉ) เพิ่มความคมชัดของตัวอักษร



ภาพที่ 53 ภาพขยายบริเวณที่ไม่สามารถแยกตัวอักษรได้ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพแยกพื้นหลัง

ตัวอักษรที่ขาดหายไปนั้น เมื่อดูจากภาพต้นฉบับ พบว่าเป็นลายเส้นที่เป็นทางตัวอักษร หรือ พยัญชนะ ที่มีความบาง ทำให้ลายเส้นนั้นกลืนหายไปกับภาพพื้นหลัง และกรณีที่มีรอยหมึกหรือสิ่งสกปรกอยู่ในบริเวณเดียวกับตัวอักษร รอยหมึกนั้นจะถูกพิจารณารวมเป็นตัวอักษร ทำให้ไม่สามารถอ่านข้อความนั้นได้

## บทที่ 5

### สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### สรุป

คัมภีร์ไบเบิลนั้นถือเป็นเอกสารโบราณมรดกทางวัฒนธรรมของชาติที่มีคุณค่าทั้งทางด้านประวัติศาสตร์ เป็นเอกสารชั้นต้นในศึกษาด้านประวัติศาสตร์ของสังคมสมัยก่อน มีเนื้อหาเกี่ยวกับพุทธศาสนา ตำรายา ตำราโหราศาสตร์ แสดงให้เห็นถึงวัฒนธรรม อารยธรรม และภูมิปัญญาของคนในชาติ ข้อความในเอกสารถูกจาร (จารึก) ลงในไบเบิลซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติ สามารถเสื่อมสลายได้ตามกาลเวลา หรืออาจถูกทำลายด้วยสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ฝุ่นหรือแมลง ตัวอักษรที่จารไว้จะลบเลือนหายไป หากไม่มีการจัดเตรียม หรือเก็บรักษาที่ถูกรวิธี การคัดลอกข้อความต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ โดยเฉพาะ อีกทั้งการอ่านเพื่อศึกษาข้อมูลปฐมภูมิเหล่านี้จะทำได้ยากยิ่งขึ้น หากไม่สามารถอ่านตัวอักษรได้อย่างชัดเจน การเก็บรักษาเอกสารในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่นการทำสำเนาด้วยกล้องดิจิทัล เป็นวิธีการหนึ่งในการช่วยอนุรักษ์ข้อมูลเหล่านี้ไว้ได้ แต่หากเอกสารต้นฉบับถูกทำลายหรือเสื่อมสภาพไปแล้ว การเก็บรักษาด้วยการทำสำเนาอย่างเดียว ยังไม่เพียงพอต่อการศึกษาเอกสารโบราณเหล่านี้

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อการอนุรักษ์คุณภาพภาพถ่ายคัมภีร์ไบเบิลโดยนำภาพต้นฉบับมาปรับปรุงคุณภาพ และแยกตัวอักษรออกจากภาพพื้นหลัง การแยกตัวอักษรถือเป็นกระบวนการตั้งต้นที่สำคัญของการรู้จำตัวอักษร ภาพถ่ายไบเบิลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพถ่ายไบเบิลของวัดทองทั่ว จ.จันทบุรี ที่เก็บรวบรวมโดยสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา จำนวน 50 ภาพ เป็นเอกสารโบราณที่ชำรุดตามสภาพการเก็บรักษา และกาลเวลา ทั้งยังมีฝุ่นหรือรอยคราบต่าง ๆ จำนวนมาก อีกทั้งในขั้นตอนการถ่ายภาพของสำนักหอสมุด ไม่ได้มีการจัดสภาพแสงเป็นพิเศษ ทำให้ภาพที่ได้มามีสภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอ และมีจุดสัญญาณรบกวน ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากการอ่านภาพดิจิทัลต้นฉบับ แล้วทำการแบ่งส่วนภาพออกเป็นสองส่วนเพื่อลดปัญหาสภาพแสงที่ไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งเป็นการลดขนาดของข้อมูลทำให้การประมวลผลเร็วยิ่งขึ้น จากนั้นเลือกโหมดสีที่เหมาะสม โหมดสีที่ตัวอักษรมีความชัดเจนแยกออกมาจากพื้นหลังมากที่สุดคือโหมดสีความเข้มของสี (Intensity) ขั้นตอนการปรับความคมชัดใช้วิธีการยืดความคมชัด (Contrast Stretching) และขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวนด้วยค่ามัธยฐานให้ผลดีที่สุด การแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังใช้วิธีการทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่ของภาพ (Local/Adaptive Thresholding) และขั้นตอนการเพิ่มความคมชัดของตัวอักษร ใช้วิธีเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงร่างของภาพ (Morphology) ผลการทดลองที่ได้นำไปตรวจสอบความถูกต้องกับผู้เชี่ยวชาญด้านการประมวลผลภาพ และคัมภีร์ไบเบิล พบว่าผลการแยกตัวอักษรจากพื้นหลังภาพถ่ายไบเบิลที่ไม่ผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพ ไม่สามารถแยกตัวอักษรได้เลยแต่หากผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพ แล้วสามารถแยกตัวอักษรได้ถูกต้องถึง 90% และเมื่อเปรียบเทียบผลการแยกตัวอักษรจากพื้นหลังภาพถ่ายไบเบิลด้วยการทำเทรชโฮลด์แบบค่าเดียวทั้งภาพ กับการทำเทรชโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่

พบว่าการทำเทรซโฮลด์แบบปรับตามความเข้มเฉพาะที่สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังได้อย่างสมบูรณ์ จำนวน 45 ภาพ คิดเป็นความถูกต้อง 90%

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ภาพถ่ายที่ถ่ายในสภาพที่ไม่ได้จัดแสงเป็นพิเศษ และเอกสารต้นฉบับที่เสื่อมสภาพตามกาลเวลา ขั้นตอนที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้สามารถแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังได้ ตัวอักษรที่แยกออกมาสามารถนำมาใช้ในคัดลอก สำเนา การอ่านเพื่อถอดความ วิเคราะห์ข้อความ หรือปริวรรตอักษรได้สะดวกมากยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้ต่อในการประมวลผลค่าการรู้จำตัวอักษรได้ เป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์คัมภีร์โบราณ ถ่ายทอดภูมิปัญญาตะวันออกให้คงอยู่ได้อย่างกว้างขวางและใช้ได้ในระยะยาวเอื้อต่อการศึกษาค้นคว้าภูมิปัญญาตะวันออกในรูปแบบดิจิทัล อีกทั้งยังช่วยสงวนรักษาเอกสารข้อมูลที่เป็นภูมิปัญญาของชาติไว้ได้

### อภิปรายผล

ในการอนุรักษ์เอกสารโบราณ การทำสำเนาเป็นดิจิทัลไฟล์ เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยอนุรักษ์เอกสารเหล่านี้ได้ แต่หากจะต่อยอดเพิ่มเติมนอกเหนือจากการเก็บรักษาไว้แต่เพียงอย่างเดียว การนำมาศึกษา อ่านเอาความหรือแปลความ ถือเป็นการเรียนรู้สิ่งที่บรรพบุรุษได้สืบทอดต่อมา การทำสำเนาแล้วเก็บแต่เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ ด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ทำให้สามารถคัดแยกตัวอักษรที่จารลงใบลานเหล่านี้ออกมาเพื่อศึกษา รู้จำตัวอักษร เป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับเอกสารโบราณ ช่วยให้คนรุ่นหลังที่ไม่มี ความชำนาญด้านอักษรใบลานโดยเฉพาะสามารถเรียนรู้ และคัดลอกข้อความที่จารไว้ได้ ซึ่งนับวันผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้จะลดน้อยลงไปเรื่อย ๆ

จากผลการวิจัยพบว่า ภาพดิจิทัลต้นฉบับที่ได้มา ในขั้นตอนการถ่ายภาพไม่มีการจัดแสงที่เหมาะสม หรือต้นฉบับเอกสารมีลักษณะทางกายภาพที่ชำรุดมาก สีของพื้นหลังใบลานและสีของตัวอักษรพร่าเลือน หรือหมองคล้ำตามกาลเวลา จะเป็นปัญหาอย่างมากในขั้นตอนการแยกตัวอักษรกับพื้นหลัง ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นมีผลต่อการทำงานอย่างมากการเลือกโหมดสีที่เหมาะสม การปรับความคมชัดของภาพ และการลดสัญญาณรบกวน เป็นขั้นตอนที่ช่วยให้ภาพถ่ายต้นฉบับมีความชัดเจนมากขึ้นก่อนการแยกตัวอักษรในเอกสารโบราณที่ตัวอักษรจางไปตามกาลเวลา หรือการจารที่ใช้ น้ำหนักมือไม่เท่ากัน ผู้ที่ทำการจารใบลานในแต่ละผูกนั้นก็มียลายเส้น ลายมือที่แตกต่างกัน ในขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวน นอกจากจะช่วยลดสัญญาณรบกวนแล้วอาจจะทำให้ลายเส้นอักษรบางจนถึงขาดหายไปเลย แต่ในขณะเดียวกันในขั้นตอนการปรับความคมชัดของภาพ นอกจากจะทำให้ลายเส้นอักษรชัดขึ้นแล้ว ยังทำให้ภาพพื้นหลังและสัญญาณรบกวนที่เหลืออยู่ชัดขึ้นอีกด้วย ซึ่งมีผลต่อการแยกตัวอักษร ดังนั้นการเลือกค่าพารามิเตอร์ในเทคนิคต่าง ๆ มีความจำเป็นต้องเลือกใช้อย่างระมัดระวัง และค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะต้องปรับให้มีความเหมาะสมแตกต่างกัน หากขนาดของภาพต้นฉบับแตกต่างกับภาพที่ใช้ในการทดลองนี้มาก ๆ การถ่ายภาพคัมภีร์ใบลานที่ไม่ได้มีการจัดแสงเป็นพิเศษ หรือตามพื้นที่ชนบทที่มีการเก็บรักษาคัมภีร์ใบลานไว้ แต่ไม่มีกล้องหรืออุปกรณ์จัดแสงแบบทันสมัย การบันทึกภาพด้วยวิธีการง่าย ๆ เป็นหนทางหนึ่งในการอนุรักษ์แบบพื้นบ้าน การใช้เทคนิคการแยกตัวอักษรและพื้นหลังแบบการปรับตามความเข้มเฉพาะ

ส่วนของภาพที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถแยกตัวอักษรและพื้นหลังในภาพที่มีสภาพแสงไม่สม่ำเสมอได้

### ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อการอนุรักษ์คุณภาพภาพถ่ายคัมภีร์โบราณพบว่าสามารถแยกตัวอักษรจากพื้นหลังภาพถ่ายคัมภีร์โบราณได้ ทั้งภาพที่มีแสงสม่ำเสมอ และภาพที่มีแสงไม่สม่ำเสมอ ข้อเสนอแนะที่ควรดำเนินการ มีหัวข้อดังนี้

1. การจัดทำสำเนาภาพถ่ายคัมภีร์โบราณ หรือเอกสารโบราณที่มีคุณค่าทางวัฒนธรรม เป็นแบบดิจิทัล ควรมีการกำหนดมาตรฐานในการทำสำเนา ขั้นตอนการทำสำเนา การทำความสะอาดคัมภีร์โบราณ ก่อนการถ่ายภาพ ขนาดของภาพถ่าย ความละเอียดของภาพถ่าย ระยะการถ่ายภาพ การจัดวาง เอกสารต้นฉบับ มาตรฐานและการจัดเตรียมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ซึ่งมีความจำเป็นมากในการนำภาพถ่ายไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไปหากมีการกำหนดเป็นมาตรฐานไว้ ผู้ที่มีเอกสารโบราณในครอบครองจะสามารถจัดทำสำเนาในเบื้องต้นเองได้ จะยิ่งช่วยให้การอนุรักษ์คัมภีร์โบราณหรือเอกสารโบราณอื่น ๆ ทำได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2. ควรมีการจัดทำมาตรฐานการจัดทำทะเบียนโบราณแบบดิจิทัลควบคู่ไปกับไฟล์เอกสารดิจิทัลเพื่อให้สามารถทราบรายละเอียดข้อมูลโบราณได้อย่างครบถ้วน

3. ควรมีการกำหนดคลังแหล่งเก็บเอกสารโบราณในรูปแบบดิจิทัลเหล่านี้ ให้เป็นแหล่งข้อมูลกลางของชาติเพื่อให้ผู้สนใจศึกษาสามารถเข้าถึง และค้นคว้าแหล่งข้อมูลได้อย่างกว้างขวาง

4. ขั้นตอนการปรับแต่งความคมชัดยังมีปัญหาเกี่ยวกับเอกสารที่มีความชำรุดมาก ตัวอักษรพร่าเลือนและกลืนไปกับพื้นหลัง การเลือกใช้พารามิเตอร์ในเทคนิคต่าง ๆ อาจจะต้องมีการปรับให้เหมาะสมกับภาพถ่ายที่ได้มาจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ที่มีขนาดภาพที่แตกต่างกันด้วย หรืออาจจะทดลองโดยใช้เทคนิควิธีอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง

5. การทดลองนี้ทำการแยกตัวอักษรออกจากพื้นหลังเท่านั้น ยังสามารถทำการวิจัยต่อในการแยกกลุ่มของตัวอักษรเป็นอักษรเดี่ยว ๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไปที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากการจารตัวอักษรในโบราณ เป็นการใช้ลายมือเขียน ซึ่งลายเส้น น้ำหนักมือของผู้จารแต่ละคนก็แตกต่างกันไป อีกทั้งลักษณะตัวอักษรภาษาไทยที่ลายเส้นที่มีการหวัดหวากมาก จะทำให้ตัวอักษรชิดติดกัน ยากต่อการแยกตัวอักษรเป็นอย่างมากและหากเมื่อสามารถแยกตัวอักษรเดี่ยวได้แล้ว การใช้เทคนิคการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนเพื่อให้เกิดการแปลความอย่างอัตโนมัติ เป็นขั้นตอนที่ทำให้สามารถเรียนรู้ ถอดความได้ง่ายขึ้น ความยากของการรู้จำตัวอักษรบนคัมภีร์โบราณ คือตัวอักษรที่ใช้มีความหลากหลายตามยุคสมัย และพื้นที่ เช่น อักษรขอม อักษรลาว อักษรล้านนา อักษรไทยโบราณ อีกทั้งภาษาที่ใช้ก็มีความหลากหลาย เช่น ภาษาไทย ภาษาบาลี สันสกฤต เป็นต้น การทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จำตัวอักษรเหล่านี้ได้จะเป็นการเพิ่มคุณค่าการอนุรักษ์คัมภีร์โบราณ อีกทั้งการใช้เทคนิคกู้คืนภาพรวมด้วยจะช่วยให้การบูรณะภาพถ่ายที่มีความชำรุดมาก สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

- ฐานข้อมูลพิพิธภัณฑ์ในประเทศไทย ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน). (2558). *คัมภีร์ใบลาน และที่บใส่คัมภีร์ใบลาน*. เข้าถึงได้จาก [http://www.sac.or.th/databases/museumdatabase/review\\_inside\\_image\\_tags.php?keyword=คัมภีร์ใบลาน](http://www.sac.or.th/databases/museumdatabase/review_inside_image_tags.php?keyword=คัมภีร์ใบลาน)
- นิสาชล จำนงศรี. (2552). *พัฒนาเค้าร่างเมทาตาทาสำหรับการจัดการเอกสารใบลานที่อยู่ในรูปดิจิทัล*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทศึกษาศาสตร์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, บัณฑิตวิทยาลัย, สาขาวิชา สารสนเทศศาสตร์.
- พิเชช วยะยะสุน, พัฒนพงษ์ วันจันทิก, พนิดา ทรงรัมย์, พัฒนพงษ์ ชมพูวิเศษ, และนัฐธริยา เหล่าประชา. (2556). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเพิ่มคุณภาพภาพโครโมโซมชนิดจีแบนด์ แบบอัตโนมัติด้วยวิธีฮิสโตแกรมอิกวอไลเซชัน. *วารสารวิจัย มช.*, 18(2), 240-256.
- วิชัย กุลชาบาล. (2543). *การศึกษาเชิงวิเคราะห์คัมภีร์ใบลานในชลบุรี*. รายงานการวิจัย ภาควิชา ภาษาตะวันออก คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วันทนา กิตติศรีวรรณ (2547). *การบำรุงรักษาหนังสือใบลานและสมุดไทย*. ชลบุรี: สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วิศิษฐ์ ยุทธาภรณ์พินิจ. (2553). *การแยกตัวอักษรธรรมอีสานบนหนังสือใบลานด้วยกระบวนการประมวลผลภาพ*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- สินีนากู สมบูรณ์เอนก. (2555). การดิจิทัลเอกสารโบราณของสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : กรณีศึกษาคัมภีร์ใบลาน. *วารสารห้องสมุด*, 56, 20-32.
- สำนักหอสมุดแห่งชาติ. (2552). *คู่มือสำรวจ จัดทำ รวบรวมทรัพยากรสารสนเทศ เอกสารใบลาน ประเภทคัมภีร์ใบลานและหนังสือสมุดไทย*. กรุงเทพฯ: สำนักหอสมุดแห่งชาติ กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม.
- สำนักสื่อธรรมะ. (2556). *Blog: ยุคการจารึกคัมภีร์ใบลาน มรดกธรรมจากพุทธกาล*. เข้าถึงได้จาก [http://dhamma-media.blogspot.com/2018/01/blog-post\\_68.html](http://dhamma-media.blogspot.com/2018/01/blog-post_68.html)
- สำนักสื่อธรรมะ. (2559). *Blog: อนุรักษ์คัมภีร์ใบลานไทย รักษาไว้ให้แผ่นดิน*. เข้าถึงได้จาก [http://dhamma-media.blogspot.com/2017/08/blog-post\\_90.html](http://dhamma-media.blogspot.com/2017/08/blog-post_90.html)
- สำนักหอสมุดแห่งชาติ. (2552). *คู่มือการอนุรักษ์เอกสารต้นฉบับด้วยไมโครฟิล์ม*. กรุงเทพฯ: สำนักหอสมุดแห่งชาติ กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม.
- อัจฉรินทร์ กล่อมแสร้. (2555). *การสกัดคุณลักษณะภาพเพื่อการรู้จำตัวเขียนอักษรธรรมล้านนา*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Ankit Aggarwal, R.S. Chauhan & Kamaljeet Kaur. (2013). An Adaptive Image Enhancement Technique Preserving Brightness Level Using Gamma Correction. *Advance in Electronic and Electric Engineering*. 3(9), 1097-1108.

- Chamchong, R. & Chun Che F. (2012). Text Line Extraction Using Adaptive Partial Projection for Palm Leaf Manuscripts from Thailand. *Proceeding of International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*, 587-591.
- DSPStackExchange. (2011). *How do I reconstruct text from an image using only morphological operations?* Retrieved from <https://dsp.stackexchange.com/questions/945/how-do-i-reconstruct-text-from-an-image-using-only-morphological-operations>
- Garg, N.K., Kaur, L. & Jindal, M.K. (2010). A New Method for Line Segmentation of Handwritten Hindi Text. *Proceeding of Seventh International Conference on Information Technology*, 392-397.
- Ghosh Rituparna. (2012). Palm Leaf Manuscripts Conservation – A Study. *Global Research Methodology Journal*, 4(3).
- Gonzalez, R.C. & Woods R.E. (1992) Digital Image Processing, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley. 716.
- Ingole, K.R. & Shandilya, V.K. (2001). Image Restoration of Historical Manuscripts. *International Journal of Computer Science & Engineering Technology (IJCSSET)*. 2, 102-107.
- Koraputonline. (2017). *17 year Old Child of Koraput Documenting Books from History*. Retrieved from <https://www.trepup.com/koraputonline/post/712912>
- Lamba J.S. & Rajiv Kapoor. (2015). A Simple Technique for Contrast Stretching by the Addition, Subtraction & HE of Gray Levels in Digital Image. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. 6(5), 173-180.
- Mohamed Sageer T.K. & Dr. Francis A.T. (2014). Palm Leaves Manuscripts in Kerala and their Preservation: Factors Necessitating Digital Archiving. *Scientific and Research Publications*. 4(2). 1-5.
- Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 9(1), 62-66.
- Phattarachairawee S. & Ketcham M. (2017). An Algorithm Image Enhancement for Segmentation Palm-Leaf Manuscript. *Proceeding of International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)*, Chiang Mai. 378-382. doi: 10.1109/ICDAMT.2017.7904996
- Philippe Cattin. (2016). *Introduction to Signal and Image Processing*. Retrieved from <http://miac.unibas.ch/SIP/02-Fundamentals.html>
- Rajeev M., Prasad N.V.G. & Venkata Rao N. (2013). Palm Leaf Manuscript Document Enhancement by Combined Binarization and Normalization Method. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2(1), 1-8.

- Shi, Z. & Govindaraju, V. (2005). Historical Document Image Segmentation using Background Light Intensity Normalization. *Proceeding of International Conference on Document Recognition and Retrieval XII (DRR 2005)*, 167-174.
- Surinta, O. & Chamchong, R. (2008). Image Segmentation of Historical Handwriting from Palm Leaf Manuscript. In: Zhongzhi Shi, Mercier-Laurent E., Leake D. (eds) Intelligent Information Processing IV. IIP. *International Federation for Information Processing*, 288. (Boston: Springer), 182–189.
- Toufik S., Abderrahmane K. & Halima B. (2014). Text Extraction from Historical Document Images by the Combination of Several Thresholding Techniques. *Advances in Multimedia*. 2014, 1-10.
- Tutorialspoint. (2018). *Histogram Equalization*. Retrieved from [https://www.tutorialspoint.com/dip/histogram\\_equalization.htm](https://www.tutorialspoint.com/dip/histogram_equalization.htm)
- Udaya KumarD., SreeKumarG.V. & AthvankarU.A. (2009). Traditional Writing System in Sourthern India – Palm Leaf Manuscripts. *Design Thoughts*. 2-7
- Unesco. (2014). Memory of Asia Project to preserve palm-leaf manuscripts of Asia. Retrieved from <http://www.instituteofasianstudies.com/palmleaf.html>
- Xu Z., Liu X. & Ji N., editors. (2009). Fog Removal from Color Images using Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. *Proceeding of International Congress on Image and Signal Processing (CISP 09)*, 1-5.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**  
**ผลการทดลองภาพถ่ายคัมภีร์ไบเบิลานทั้งหมด**

ในส่วนนี้แสดงผลการทดลองภาพถ่ายคัมภีร์ไบเบิลานทั้งหมด 50 ภาพ แบ่งเป็น 45 ภาพ สามารถแยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้สมบูรณ์ และ 5 ภาพ ไม่สามารถแยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้สมบูรณ์

ลำดับที่	ภาพต้นฉบับ	ภาพที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลัง
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ภาพรวม: </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• </li> <li>• </li> <li>• </li> </ul>

ภาพที่ 54 ผลการทดลองภาพถ่ายคัมภีร์ไบเบิลานที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้สมบูรณ์

ลำดับที่	ภาพต้นฉบับ	ภาพที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลัง
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

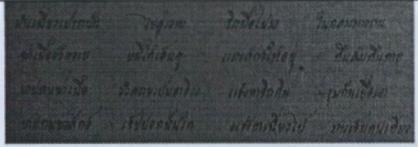
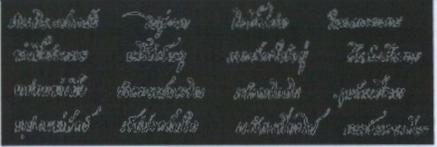
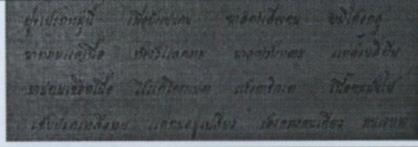
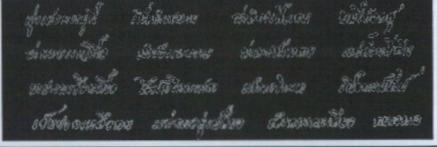
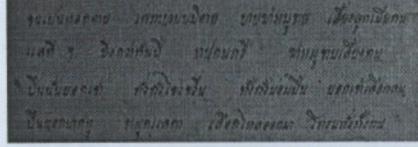
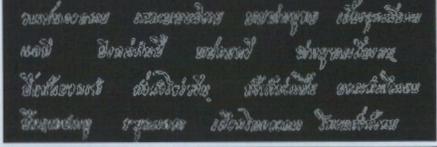
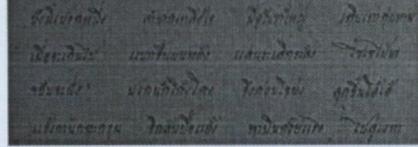
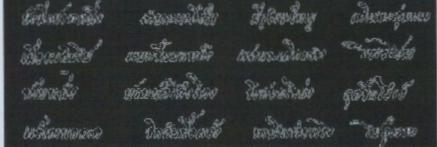
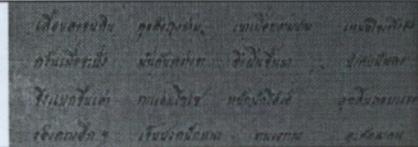
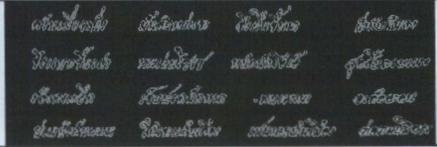
ภาพที่ 54 ผลการทดลองภาพถ่ายคัมภีร์ไบเบิลที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้สมบูรณ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพต้นฉบับ	ภาพที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลัง
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		

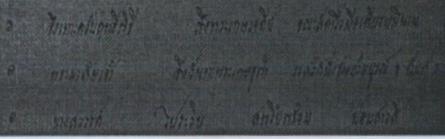
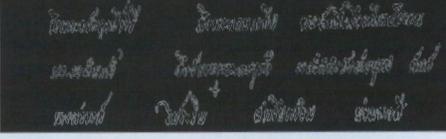
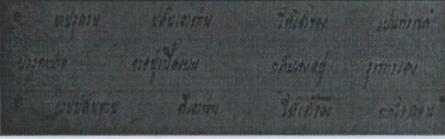
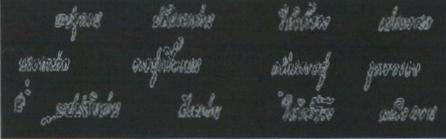
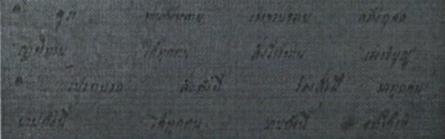
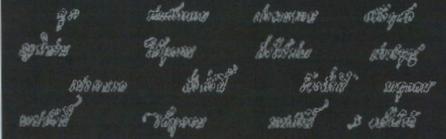
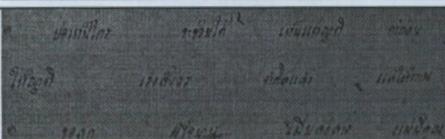
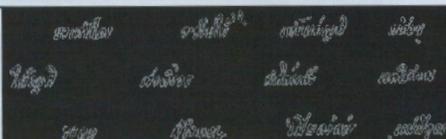
ภาพที่ 54 ผลการทดลองภาพถ่ายคัมภีร์ไบเบิลที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้สมบูรณ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพต้นฉบับ	ภาพที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลัง
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		

ภาพที่ 54 ผลการทดลองภาพถ่ายคัมภีร์โบราณที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้สมบูรณ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพต้นฉบับ	ภาพที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลัง
41		
42		
43		
44		
45		

ภาพที่ 54 ผลการทดลองภาพถ่ายด้วยกล้องวีโบลานที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้สมบูรณ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพต้นฉบับ	ภาพที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลัง
1		
2		
3		
4		
5		

ภาพที่ 55 ผลการทดลองภาพถ่ายด้วยกล้องเว็บแคมที่แยกตัวอักษรกับพื้นหลังได้ไม่สมบูรณ์

378710

ภาคผนวก ข

ผลผลิตจากงานวิจัย

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์และนำเสนอแบบปากเปล่าในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ  
(International Conference)

Akara Thammastitkul (2018). Enhancement and Segmentation Techniques for Palm-Leaf Manuscript Images. *Proceeding of International Conference on Recent Trends in Engineering and Technology (RTET)*, 1-4.