# การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง

# PRINTED THAI CHARACTER RECOGNITION BY USING SKELETON DIRECTION FOLLOWING


เพิ่มพล กุดจอมศรี

PHOEMPOL KUTCHOMSRI


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545


ISBN 974-324-059-4

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง

# PRINTED THAI CHARACTER RECOGNITION BY USING SKELETON DIRECTION FOLLOWING

T044100

เพิ่มพล กุดจอมศรี

PHOEMPOL KUTCHOMSRI

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 44100
วัน, เดือน, ปี 28 ต.ค. 2545

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2545

ISBN 974-324-059-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PRINTED THAI CHARACTER RECOGNITION BY USING SKELETON DIRECTION FOLLOWING

PHOEMPOL KUTCHOMSRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-324-059-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT 2002**

**SCHOOL OF GRADUTE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บัณฑิตวิทยาลัย**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง

PRINTED THAI CHARACTER RECOGNITION BY USING SKELETON DIRECTION FOLLOWING

**ชื่อนักศึกษา** พ.อ.ต.เพิ่มพล กุดจอมศรี

**รหัสประจำตัว** 41061026

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า

**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์** ผศ.ทรงชัย วีระทวีมาศ

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| รศ.ดร.ฟูศักดิ์ | ชีวสุวิทย์ | |
| รศ.เกษตร์ | ศิริสันติสัมฤทธิ์ | |
| ผศ.สักรียา | ชิตวงศ์ | |
| รศ.ดร.กิตติ | ไพฑูรย์วัฒนกิจ | |
| ผศ.ทรงชัย | วีระทวีมาศ | |

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** 20 กันยายน 2545 เวลา 10.30 น. เป็นต้นไป

**สถานที่สอบ** ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

**บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว**

**(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)**

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

**วันที่**.....๒๐.....**เดือน**.....กันยายน.....**พ.ศ**.....๒๕๔๕.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง

**ชื่อนักศึกษา** นายเพิ่มพล กุดจอมศรี

**รหัสประจำตัว** 41061026

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า

**พ.ศ.** 2545

**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์** ผศ.ทรงชัย วีระทวีมาศ

## บทคัดย่อ

เรามักจะพบเห็นตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยในรูปแบบและขนาดต่าง ๆ ในสิ่งพิมพ์ หรือเอกสารต่าง ๆ ทั่วไป ในการที่จะเก็บ คัดลอก ข้อความหรือบทความตัวอักษรภาษาไทยเหล่านั้น โดยอาศัยคอมพิวเตอร์มาเก็บข้อมูลโดยอัตโนมัตินั้น การรู้จำรูปแบบตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยจึงจำเป็นที่ต้องมีความสามารถในการวิเคราะห์ตัวอักษรในรูปแบบและขนาดต่าง ๆ กันได้

วิทยานิพนธ์ฉบับจึงนำเสนอวิธีการรู้จำรูปแบบภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยอีกวิธีการหนึ่ง โดยใช้การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร โดยภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยบนหน้ากระดาษเอกสารจะถูกตรวจกวาดภาพด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพ ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลภาพ PCX สองระดับ ผ่านเข้าสู่ขั้นตอนของการจัดเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษร หาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรและกำจัดส่วนเกิน แยกบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร และใช้จำนวนบล็อกของเส้นโครงร่างภาพในการแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ แล้วติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรในการจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียด พร้อมกับนำค่าเหล่านั้นมากำหนดรหัสแทนภาพตัวอักษร เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับรหัสแทนภาพตัวอักษรต้นแบบที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล เพื่อใช้วิเคราะห์ว่าเป็นภาพตัวอักษรตัวใด

จากการทดลองกับภาพตัวอักษรขนาด 14, 16 และ 18 พอยท์ ทั้งหมด 3 ฟอนต์ ได้แก่ Angsana UPC, BrowalliaUPC และ CordiaUPC ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตและเครื่องพิมพ์เลเซอร์อย่างละ 1 ชุด ๆ ละ 11,520 ตัว รวม 23,040 ตัว ทดสอบการรู้จำกับโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยเทอร์โบซีเวอร์ชั่น 3.00 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ซีพียู Pentium ความเร็ว 100 MHz. สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 92.65 วิเคราะห์ไม่ได้ร้อยละ 1.3 และวิเคราะห์ผิดพลาดร้อยละ 6.05 ที่ความเร็วในการวิเคราะห์ 0.24 วินาที/ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Printed Thai Character Recognition by Using Skeleton Direction Following |
| **Student** | Phoempol Kutchomsri |
| **Student ID.** | 41061026 |
| **Degree** | Master of Engineering |
| **Programme** | Electrical Engineering |
| **Year** | 2002 |
| **Thesis Advisor** | Asst.Prof. Songchai Weerathaweemas |

## ABSTRACT

In general printed matter or document, usually we see printed Thai characters in multi-font and some size. In order to store or copies these printed Thai character document or article based on computer for storing data automatically, thus, capability of analyzing characters in multi-fonts and sizes is necessary for the recognition of printed Thai character.

The study submitted to this thesis proposes one method of the system pattern recognition of printed Thai characters by using skeleton direction following of character. A printed Thai character document is scanned by scanner to form the PCX-format binary picture file. The scanned file is then sent to preprocessing procedure such as thinning, eliminating of redundant. The number of skeletons of picture is block decomposed. The quantity of the block and direction following of skeleton are used in rough sub-classification and in fine classification, respectively. Each of the classified character is taken for assigning a code. Each code of character obtained will be compared with the standard code to recognize the character.

The system has been tested with 3 fonts (AngsanaUPC, BrowalliaUPC and CordiaUPC) and 3 sizes (14, 16 and 18 point) taken from inkjet and laser printer by which total character of each set of 11,520 is 23,040. Experimental of pattern recognition by programming written by TURBO C++ Version 3.00 on Pentium at 100 Mhz show analyzing of that accurate rate is 92.65%, reject 1.3% and error 6.05% with an average time taken of 0.24 second per character.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เพราะได้รับคำแนะนำเป็นอย่างดีจาก ผศ.ทรงชัย วีระทวีมาศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาสละเวลาเพื่อให้คำปรึกษาแนวทางแก้ปัญหาต่าง ๆ ผู้วิจัยขอบกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อพันธ์ – แม่ทรัพย์ กุดจอมศรี คุณพ่อสน – แม่ยลพักต์ โพธิ์ขี และนาวาอากาศตรีอรุณชัย รอดภัย ที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณลักษณ์ขณา คุณนิคม คุณวัฒนศักดิ์ คุณงามพันธ์ คุณพงษ์ศักดิ์ คุณสมบูรณ์ เรือโททัศโนดม น้องสาวและเพื่อน ๆ สถานีวิทยุทหารอากาศ 021 บุรีรัมย์ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เพิ่มพล กุดจอมศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....1

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....2

1.4 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....2

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....4

1.6 เนื้อหาของงานวิจัย.....4

บทที่ 2 การจัดเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษรเพื่อการรู้จำ.....5

2.1 การจัดเก็บข้อมูลภาพตัวอักษร.....5

2.2 การกำจัดสัญญาณรบกวน.....6

2.3 การแยกตัวอักษรออกจากภาพประโยค.....8

2.4 การปรับขอบภาพตัวอักษรให้เรียบ.....14

2.5 การหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร.....15

2.6 การกำจัดส่วนเกิน.....20

บทที่ 3 การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง.....23

3.1 นิยาม.....23

3.2 การแยกบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร.....25

3.3 รหัสทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร.....27

3.4 จุดเริ่มต้นการติดตามทิศทาง.....28

3.5 การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร.....29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


บทที่ 4 การวิเคราะห์ภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย.....40

4.1 การแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ.....40

4.2 การจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียด.....40

4.3 การจำแนกตัวอักษรที่คล้ายกัน.....42

4.4 แผนผังโครงร่างต้นไม้ของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย.....48

4.5 การจัดเก็บรหัสตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูล.....52

4.6 การเปรียบเทียบรหัสแทนภาพตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้กับรหัสตัวอักษรต้นแบบ.....53

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....58

5.1 หลักเกณฑ์การทดลอง.....59

5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....60

5.3 ขั้นตอนการทดลอง.....60

5.4 ผลการทดลอง.....60

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....76

6.1 สรุปผลการวิจัย.....76

6.2 เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....78

6.3 ปัญหาที่เกิดขึ้น.....79

6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....79

เอกสารอ้างอิง.....80

ภาคผนวก.....82

ภาคผนวก ก. โครงสร้างแฟ้มข้อมูลภาพแบบ PCX.....82

ภาคผนวก ข. โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย.....86

ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....95

ประวัติผู้เขียน.....109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ขอบเขตมุมองศาของรหัสทิศทาง.....28

4.1 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มตัวอักษรอย่างหยาบตามจำนวนบล็อกของเส้นโครงร่างภาพ.....40

4.2 ตัวอย่างทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรฟอนต์ CrodiaUPC.....40

4.3 กลุ่มตัวอักษรที่มีลักษณะคล้ายกัน.....43

5.1 ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต.....61

5.2 สรุปผลการรู้จำเมื่อทดสอบกับภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต.....67

5.3 ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์.....68

5.4 สรุปผลการรู้จำเมื่อทดสอบกับภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์.....74

5.5 สรุปผลการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย.....75

6.1 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

1.1 ผังงานการรู้จำภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย.....3

1.2 โครงสร้างของระบบฮาร์ดแวร์การรู้จำภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย.....3

2.1 ผังงานการจัดเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยเพื่อการรู้จำ.....5

2.2 ลักษณะของเครื่องตรวจกวาดภาพแบบตั้งโต๊ะที่ใช้ในงานวิจัย.....6

2.3 ตัวอย่างภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ได้จากการตรวจกวาดภาพ.....6

2.4 (ก) หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพ (ข) ผังงานการกำจัดสัญญาณรบกวน.....7

2.5 (ก) ภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบจุดอิสระและรูภายใน (ข) ภาพที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว.....8

2.6 ลักษณะทิศทางการติดตามจุดภาพที่เป็นขอบภาพ.....8

2.7 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นในการตรวจกวาดรอบหน้าต่างเมื่อเจอจุดภาพแรก.....9

2.8 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นการตรวจสอบในการพิจารณาตำแหน่งขอบภาพถัดไป.....9

2.9 การตรวจกวาดภาพเพื่อหาพิกัดบนและพิกัดล่างแต่ละบรรทัด.....10

2.10 ช่องห่างระหว่างพยัญชนะกับสระบน สระล่างและช่องห่างระหว่างบรรทัด.....10

2.11 การตรวจกวาดภาพเพื่อหาจุดภาพตัวอักษรที่จะทำการแยก.....11

2.12 ภาพตัวอักษรที่ถูกติดตามขอบภาพและถูกแยกออกไป.....11

2.13 ผังงานการตรวจกวาดภาพและติดตามขอบภาพเพื่อแยกตัวอักษร.....12

2.14 ภาพตัวอักษร “ญ” และ “ฐ” เมื่อทำการแยกออกมา.....13

2.15 ส่วนภาพตัวอักษร “ญ” และ “ฐ” ที่ถูกเลือกไปวิเคราะห์และลบทิ้ง.....13

2.16 ตัวอย่างข้อมูลภาพตัวอักษรที่ส่งไปปรับขอบภาพให้เรียบ.....13

2.17 หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพที่แสดงลักษณะของขอบภาพที่ต้องลบจุดภาพของขอบภาพทิ้ง...14

2.18 หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพที่แสดงลักษณะของขอบภาพตัวอักษรที่ต้องเติมจุดภาพ.....14

2.19 (ก) ภาพตัวอักษรก่อนการปรับขอบภาพ (ข) ภาพตัวอักษรหลังการปรับขอบภาพ.....15

2.20 ภาพตัวอักษรที่ผ่านการปรับขอบภาพให้เรียบแล้ว.....15

2.21 ลำดับการตรวจกวาดภาพเพื่อหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร.....16

2.22 ลักษณะของจุดภาพที่มีกวามหนา 1 จุดภาพในแต่ละแบบ .....16

2.23 ลักษณะของสัญญาณรบกวนที่ไม่จัดว่ามีความหนาของจุดภาพเพียง 1 จุด .....17

2.24 ลักษณะของจุดภาพตามนิพจน์ของสมการ $N_e$ .....18

2.25 ตัวอย่างเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ฑ”, “ถ” และ “ต” .....18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


รูปที่ หน้า

2.26 ผังงานการหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร.....19

2.27 ผังงานการกำจัดส่วนเกินจากเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร.....20

2.28 (ก) ภาพที่ได้จากการทำบาง (ข) หาค่าโทโปโลยีทุกจุด (ค) หาตำแหน่งจุดปลาย (ง) ติดตามขอบภาพ (จ) ลบจุดปลายและจุดต่อถ้าน้อยกว่า K.....21

2.29 ตัวอย่างเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ฑ”, “ถ” และ “ต” ที่ผ่านการกำจัดส่วนเกินแล้ว.....22

3.1 ลักษณะของรันแนวนอน.....23

3.2 ตัวอย่างดีกรีของรันแนวนอน.....24

3.3 ลักษณะของรันเริ่มต้นบล็อก.....24

3.4 ลักษณะของรันสิ้นสุดบล็อก .....25

3.5 ผังงานการแยกบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร.....26

3.6 ตัวอย่างการตรวจกวาดภาพเพื่อแยกบล็อก (ก) เส้นโครงร่างภาพตัวอักษร (ข) – (ช) ลำดับการแยกบล็อกจากบล็อกแรกจนถึงบล็อกสุดท้าย และ (ซ) เมื่อการตรวจกวาดภาพถึงจุดภาพล่างขวาสุดแสดงว่าเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรได้ถูกแยกบล็อกจนหมด.....27

3.7 ตัวอย่างบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ผ”, “ถ” และ “บ”.....28

3.8 รหัสทิศทางหรือ D-code 8 ทิศทางของการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร .....28

3.9 จุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางที่บล็อก (ก) ดีกรี (1,0) และ (ข) ดีกรี (0,1).....29

3.10 จุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางที่บล็อกดีกรี (0,2).....30

3.11 จุดเริ่มต้นการติดตามทิศทางในกรณีไม่มีจุดปลาย.....30

3.12 ลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “บ”.....31

3.13 ลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “น”.....32

3.14 ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ข”.....33

3.15 ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ค”.....34

3.16 ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ฆ”.....35

3.17 ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ฌ”.....36

3.18 ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ท”.....37

3.19 ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “เ”.....38

3.20 ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ใ”.....39

4.1 ตัวอย่างการคำนวณทิศทางการหันของหัวตัวอักษรกรณีที่ 1 (ก) หัวหันซ้าย (ข) หัวหันขวา...44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.2 ตัวอย่างการคำนวณทิศทางการหันของหัวตัวอักษรกรณีที่ 2 (ก) หัวหันซ้าย (ข) หัวหันขวา...45

4.3 แสดงอัตราส่วนความสูงของบล็อกจุดปลายเริ่มต้นกับบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร.....46

4.4 รหัสทิศทางการเคลื่อนที่แตกต่างก่อนการลดรหัสของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร (ก) "ฎ" และ (ข) "ฎ".....47

4.5 การหาอัตราส่วนของตัวอักษรในการแยกภาพตัวอักษร "โ" กับ "ธ".....48

4.6 แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย .....49

4.7 แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรกลุ่ม C1.....50

4.8 แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรกลุ่ม C2.....51

4.9 แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรกลุ่ม C3.....51

4.10 แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรกลุ่ม C4.....52

4.11 (ก) ลักษณะการจัดเก็บรหัสตัวอักษรต้นแบบ (ข) การจัดเรียงรหัสตัวอักษรในฐานข้อมูล.....52

4.12 ขั้นตอนของการรู้จำภาพตัวอักษร "ถ".....54

4.13 ผังงานการเปรียบเทียบรหัสทิศทางภาพตัวอักษร "ถ" .....55

4.14 ผังงานการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร.....56

5.1 ตัวอย่างรูปแบบตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยแบบมีหัว.....58

5.2 ตัวอย่างรูปแบบตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยแบบหัวตัดหรือไม่มีหัวกลม.....58

6.1 (ก) ภาพตัวอักษรหมึกเลอะติดกัน (ข) ภาพตัวอักษรที่แสดงรอยหยักแตกต่างไม่ชัดเจน.....77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านสารสนเทศได้มีการพัฒนาเจริญขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการทำงานเกือบทุกสาขา อาทิเช่น งานทางด้านการจัดการเกี่ยวกับเอกสารต่าง ๆ นั้น จะก่อให้เกิดความสะดวก ในการจัดเก็บและการค้นหาเอกสารเหล่านั้นเป็นอย่างมาก แต่ถ้าหากมีความต้องการที่จะ เก็บ คัดลอก ข้อความหรือบทความต่าง ๆ จากหนังสือหรือแฟ้มเอกสารไว้ เพื่อนำมาประยุกต์ ดัดแปลง แก้ไข เพื่อใช้ประโยชน์แล้ว สามารถที่จะกระทำได้โดยการป้อนข้อมูลเหล่านั้น ผ่านทางแป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ หรือโดยการเก็บภาพข้อความเหล่านั้น ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลภาพที่ได้จากเครื่องตรวจกวาดภาพ (Scanner) ซึ่งการจัดเก็บข้อมูลภาพเหล่านั้น จะต้องใช้หน่วยความจำในการจัดเก็บจำนวนมาก และยังไม่สามารถที่จะนำแฟ้มข้อมูลภาพเหล่านั้นมาทำการปรับปรุง แก้ไข ในรูปแบบข้อความตัวอักษร (Text file) ได้ ส่วนการป้อนข้อมูลผ่านทางแป้นพิมพ์ (Keyboard) นั้น จะทำให้เสียเวลาในการปฏิบัติงานอันอาจมาจากความไม่ชำนาญของผู้ป้อนข้อมูล หรือจำนวนข้อมูลที่ต้องการป้อนนั้นมีจำนวนมาก จึงเป็นการเพิ่มงานหรือบุคลากรโดยไม่คุ้มค่า

จากปัญหาดังกล่าว เพื่อที่จะทำการลดเวลาในการป้อนข้อมูลผ่านทางแป้นพิมพ์ และลดจำนวนหน่วยความจำในการจัดเก็บลง รวมทั้งเพื่อให้สามารถที่จะนำมาทำการปรับปรุง แก้ไข เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างคอมพิวเตอร์และเครื่องตรวจกวาดภาพ ซึ่งในปัจจุบันนี้อุปกรณ์ทั้งสองมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง สำหรับที่จะนำมาจัดเก็บและวิเคราะห์ภาพตัวอักษรในการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย ทำให้ประหยัดเวลา ลดงานและบุคลากรลงได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

1.2.2 ศึกษาวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกตัวอักษรที่มีรูปแบบปกติ

1.2.3 จำแนกตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น ตัวอักษร “ผ, ฝ, พ, ฟ” หรือ “ค, ด” หรือ “ถ, ภ, ฤ” ได้

1.2.4 จัดเก็บตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้ ในรูปแบบของแฟ้มข้อความตัวอักษร พร้อมทั้งจัดเรียงในรูปแบบประโยคข้อความเดิมก่อนการวิเคราะห์การรู้จำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

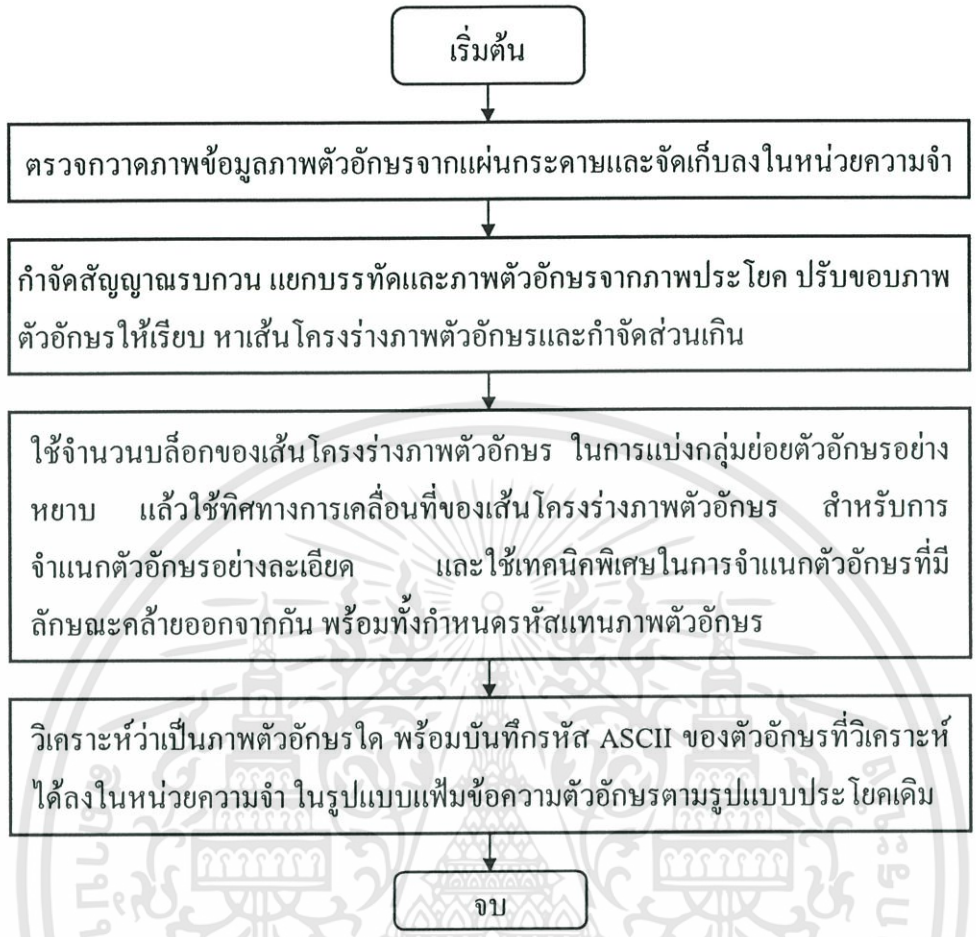
## 1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยทางด้านการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยนั้น ได้มีนักวิจัยหลายๆ ท่านที่ได้ทำการวิจัยเอาไว้ทั้งการรู้จำตัวเขียนและตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย ซึ่งแต่ละวิธีการก็มีข้อดีและข้อเสียต่างๆ กันไป อาทิ เช่น ผลงานวิจัยของ นายทวี เปรมรัตนชัย [1] งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการรู้จำอักขระตัวพิมพ์ภาษาไทยด้วยวิธีโครงร่างนิวรอลแบบแบคพรอบพาเกชั่น ซึ่งเป็นการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) 4 เลเยอร์ ซึ่งประกอบด้วย อินพุตเลเยอร์ ฮิดเดนเลเยอร์ ฮิดเดนเลเยอร์ และเอาท์พุตเลเยอร์ โดยกำหนดจำนวนโหนด 1,600, 230, 230 และ 87 ตามลำดับ ผลงานวิจัยของ นางสาวอัญชลี วานิชทวีวัฒน์ [2] เป็นการนำเสนอวิธีการจดจำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบจำลองเซลท์ออร์แกนไนซิ่งแมบซ์ ผลงานวิจัยของ นายอุกฤษณ์ มารัง [3] เป็นการนำเสนอวิธีจดจำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค ซึ่งทั้ง 3 งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นหลัก สามารถทำการรู้จำได้ดีแต่ต้องใช้เวลาในการฝึกสอนนาน การประมวลผลมีความซับซ้อน ยุ่งยากและต้องการหน่วยความจำจำนวนมาก และ [1-2] ได้ทำการทดสอบตัวอักษรรูปแบบและขนาดเดียว จึงไม่สามารถอ้างอิงผลการทดสอบกับตัวอักษรหลายรูปแบบและหลายขนาดได้ ผลงานวิจัยของ นายสม-หมาย บัวแย้มแสง [4] เป็นการนำเสนอการจดจำตัวพิมพ์อักษรไทยจากตารางโดยการวิเคราะห์โครงสร้างจากขอบตัวอักษร เป็นการวิเคราะห์โดยการติดตามรอยของขอบภาพตัวอักษรในทิศทางแตกต่างกัน 8 ทิศทางด้วยรหัสลูกโซ่ (Chain code) และแบ่งกลุ่มตัวอักษรด้วยจำนวนและตำแหน่งส่วนหัวตัวอักษร ภาพที่ใช้ในการทดสอบต้องใช้ความละเอียดสูงในการตรวจกวาดภาพ ทำให้ภาพตัวอักษรมีขนาดใหญ่ ถ้าขอบภาพไม่เรียบพอจะทำให้ทิศทางของรหัสลูกโซ่มากเกินไป และต้องการหน่วยความจำในการจัดเก็บจำนวนมาก

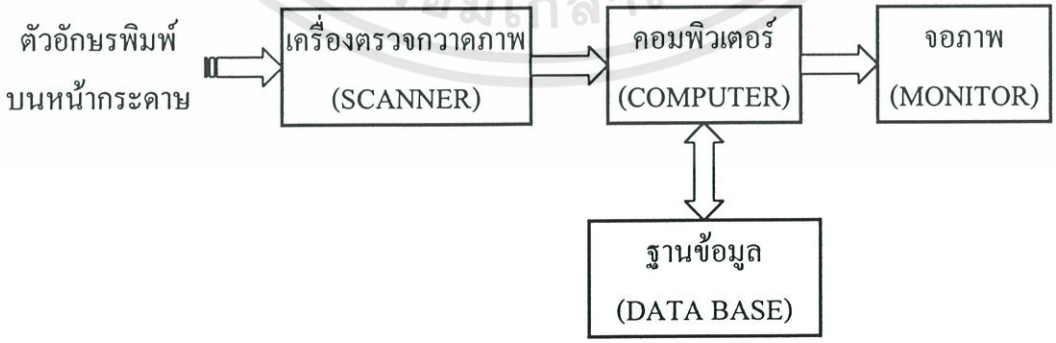
## 1.4 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับในงานวิจัยนี้ เป็นการนำเอาทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย มาทำการจำแนกวิเคราะห์รูปแบบของตัวอักษร โดยข้อมูลภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ได้จากเครื่องตรวจกวาดภาพ จะถูกนำมากำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น แยกบรรทัด แยกภาพตัวอักษรออกจากบรรทัดหรือภาพประโยค ปรับขอบภาพตัวอักษรให้เรียบ หาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรและกำจัดส่วนเกิน แล้วใช้จำนวนบล็อกของเส้นโครงร่างภาพ ในการแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ และใช้ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร ในการจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียด เพื่อนำมากำหนดรหัสแทนภาพตัวอักษร สำหรับใช้เปรียบเทียบกับรหัสตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูลที่ได้ผ่านการเรียนรู้มาแล้ว ในการวิเคราะห์ว่าเป็นภาพตัวอักษรภาษาไทยตัวใด แล้วจัดเก็บรหัส ASCII ของตัวอักษรนั้น ในรูปแบบของประโยคข้อความเดิม ดังผังงานในรูปที่ 1.1 และโครงสร้างของระบบทางด้านฮาร์ดแวร์แสดงได้ดังรูปที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 1.1** ผังงานการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง




**รูปที่ 1.2** โครงสร้างของระบบฮาร์ดแวร์การรู้จำภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 ใช้ตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่พิมพ์ด้วยวิธีการปกติเท่านั้น

1.5.2 ภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยบนหน้าเอกสาร จะต้องจัดเก็บด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพ ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลภาพตัวอักษรสองระดับนามสกุล PCX เท่านั้น

1.5.3 ใช้ตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยจำนวน 3 ฟอนต์ คือ AngsanaUPC, BrowalliaUPC และ CordiaUPC ฟอนต์ละ 3 ขนาด คือ ขนาด 14, 16 และ 18 พอยท์

1.5.4 กรณีที่ภาพตัวอักษรที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ โปรแกรมจะแสดงภาพตัวอักษรนั้น ให้ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกตัวอักษรโดยตรงผ่านทางแป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์

1.5.5 ผลการวิจัยในงานวิจัยนี้ ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ซีพียู Pentium ความเร็ว 100 MHz. แรม 16 Mbytes Hard disk 850 Mbytes และเครื่องตรวจกวาดภาพแบบตั้งโต๊ะยี่ห้อ Genius color page view pro

## 1.6 เนื้อหาของงานวิจัย

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีแนวความคิดและขอบเขตของงานวิจัย

บทที่ 2 การจัดเก็บข้อมูลภาพตัวอักษร การกำจัดสัญญาณรบกวน แยกบรรทัด แยกภาพตัวอักษรออกจากบรรทัดหรือภาพประโยค ปรับขอบภาพตัวอักษรให้เรียบ หาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร และกำจัดส่วนเกิน

บทที่ 3 นิยาม การแยกบล็อก รหัสทิศทาง จุดเริ่มต้นในการติดตามทิศทาง และการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

บทที่ 4 การวิเคราะห์ภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย การแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ การแบ่งตัวอักษรอย่างละเอียด การจำแนกตัวอักษรที่คล้ายกัน แผนผังโครงร่างต้นไม้ของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย การจัดเก็บรหัสตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูล และตัวอย่างการเปรียบเทียบรหัสแทนภาพตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้กับรหัสแทนภาพตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูล

บทที่ 5 หลักเกณฑ์การทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลอง

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ปัญหาที่เกิดขึ้น ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก. โครงสร้างของแฟ้มข้อมูลภาพแบบ PCX

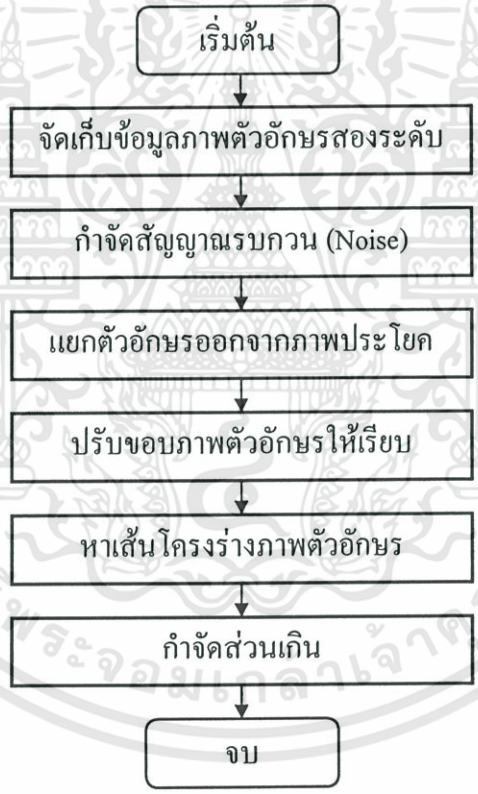
ภาคผนวก ข. โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# การจัดเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษรเพื่อการรู้จำ

ขั้นตอนของการจัดเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษรเพื่อการรู้จำนี้ เป็นการจัดเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษรเบื้องต้น ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์การรู้จำโดยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพ โดยตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่อยู่ในลักษณะของประโยคหรือบรรทัดหรือตัวอักษรเดี่ยว ๆ ที่อยู่บนหน้ากระดาษเอกสารหรือสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ จะถูกตรวจกวาดภาพด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพ กำจัดสัญญาณรบกวน แยกตัวอักษรออกจากภาพประโยค ปรับขอบภาพตัวอักษรให้เรียบ หาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรและกำจัดส่วนเกินดังผังงานในรูปที่ 2.1

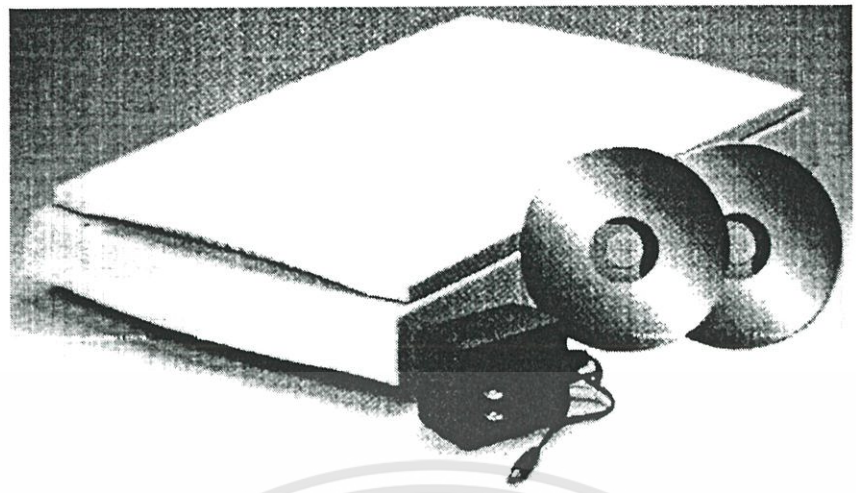



**รูปที่ 2.1** ผังงานการจัดเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยเพื่อการรู้จำ

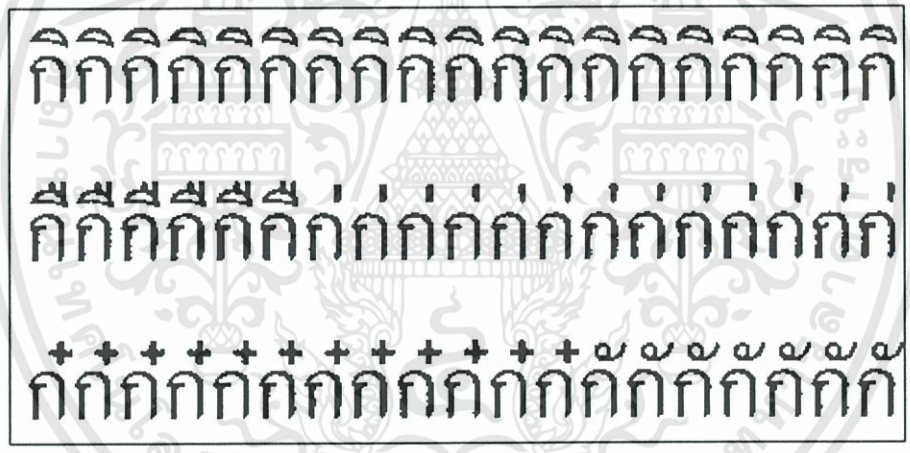
## 2.1 การจัดเก็บข้อมูลภาพตัวอักษร

ภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยบนหน้ากระดาษ จะถูกตรวจกวาดภาพด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพแบบตั้งโต๊ะยี่ห้อ Genius color page view pro ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะได้ข้อมูลภาพตัวอักษรสองระดับ (Binary Image) หรือภาพขาว-ดำ ดังตัวอย่างภาพตัวอักษรที่แสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.2** ลักษณะของเครื่องตรวจกวาดภาพแบบตั้งโต๊ะที่ใช้ในงานวิจัย



**รูปที่ 2.3** ตัวอย่างภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ได้จากการตรวจกวาดภาพ

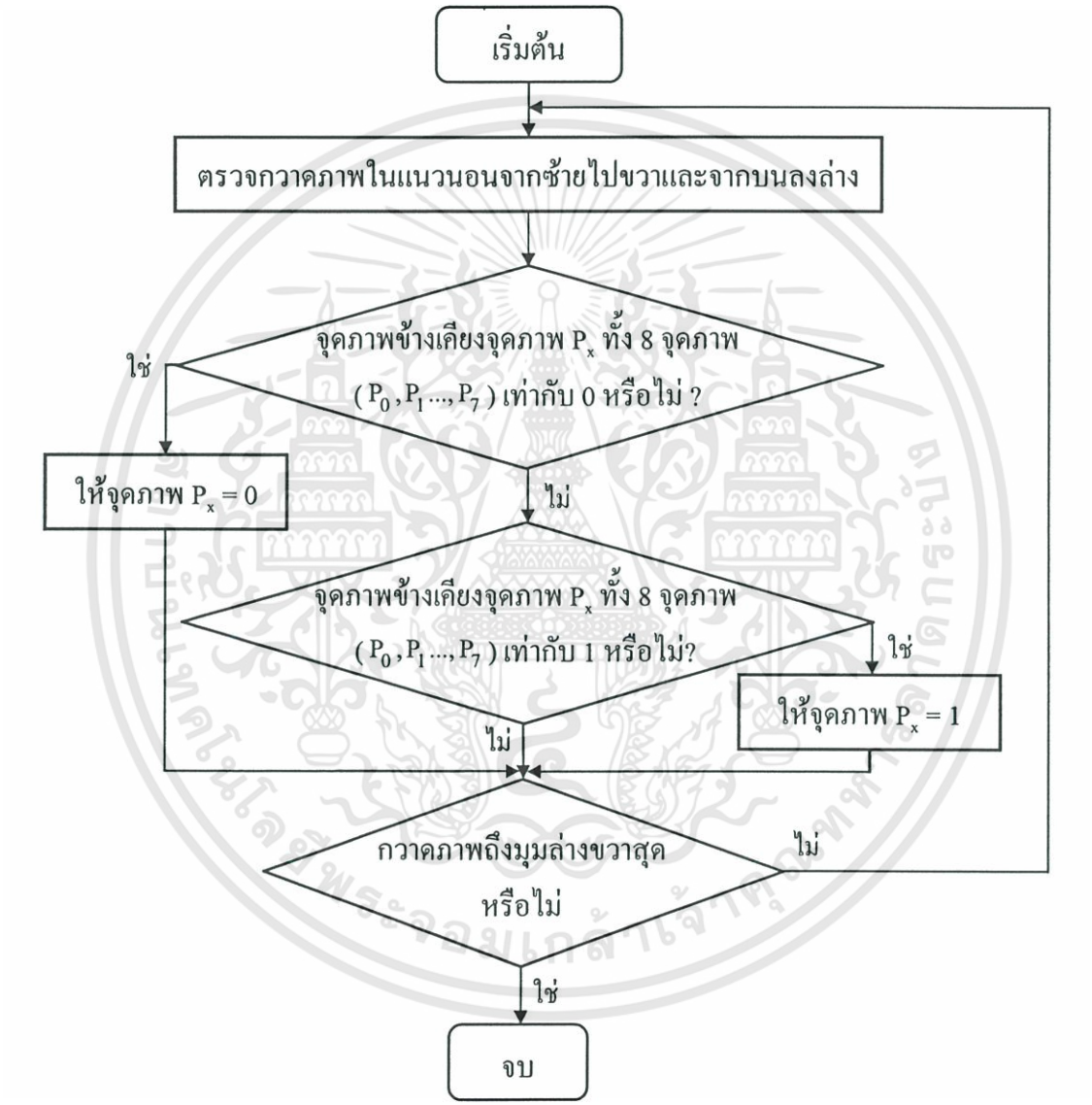
## 2.2 การกำจัดสัญญาณรบกวน [5]

ภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ได้จากการตรวจกวาดภาพ ของเครื่องตรวจกวาดภาพตามหัวข้อที่ 2.1 นั้น ภายในภาพยังคงมีสัญญาณรบกวนปะปนเข้ามาด้วยเสมอ โดยสัญญาณรบกวนที่ปรากฏในภาพนั้น จะเป็นสัญญาณรบกวนแบบจุดอิสระ (Isolate point) และรูภายใน (Isolate hold) ซึ่งในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะนี้ จะใช้หน้าต่างขนาด 3 x 3 จุดภาพ ดังรูปที่ 2.4 (ก) และมีขั้นตอนการทำงานดังผังงานในรูปที่ 2.4 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| $P_3$ | $P_2$ | $P_1$ |
| $P_4$ | $P_x$ | $P_0$ |
| $P_5$ | $P_6$ | $P_7$ |

(ก)

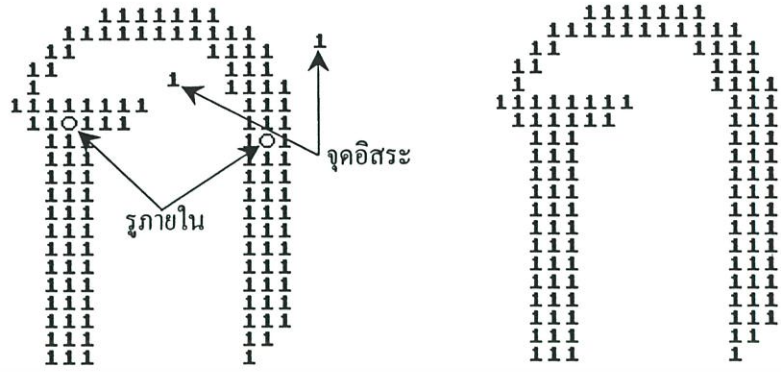



(ข)

**รูปที่ 2.4** (ก) หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพ (ข) ผังงานการกำจัดสัญญาณรบกวน

ผลที่ได้จากการกระทำตามผังงานในรูปที่ 2.4 (ข) จะทำให้สัญญาณรบกวนที่มีในภาพสองระดับดังรูปที่ 2.5 (ก) ถูกกำจัดออกไปดังรูปที่ 2.5 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(ก) (ข)

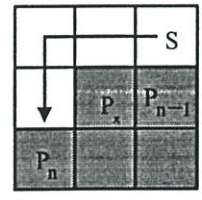
**รูปที่ 2.5** (ก) ภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบจุดอิสระและรูภายใน (ข) ภาพที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว

## 2.3 การแยกภาพตัวอักษรออกจากภาพประโยค [6]

การแยกภาพตัวอักษรภาษาไทยออกจากภาพประโยค เป็นขั้นตอนหลังจากกำจัดสัญญาณรบกวนภายในภาพเรียบร้อยแล้ว สืบเนื่องจากภาพตัวอักษรที่ได้จากเครื่องตรวจกวาดภาพที่อ่านเข้ามานั้น ยังคงอยู่ในลักษณะของกลุ่มภาพตัวอักษรที่เรียงต่อเนื่องกันเป็นประโยค แต่ในกระบวนการวิเคราะห์การรู้จำนั้น จะกระทำได้เพียงครั้งละหนึ่งภาพตัวอักษรเท่านั้น

### 2.3.1 การติดตามขอบภาพ (Contour Following) [7]

การติดตามขอบภาพตัวอักษรถูกนำมาใช้ เพื่อแยกหรือคัดลอกภาพตัวอักษรออกจากภาพของประโยคหรือบรรทัดของตัวอักษร โดยจะเริ่มตรวจกวาดภาพในแนวนอนจากมุมบนซ้ายไปยังมุมล่างขวา เมื่อพบจุดภาพก็จะติดตามขอบภาพในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เพื่อหาตำแหน่งขอบภาพต่อไป แล้วเปลี่ยนตำแหน่งที่พิจารณาไปที่จุดนั้น ๆ โดยใช้หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพในการพิจารณาดังรูปที่ 2.4 (ก) โดยตำแหน่งในการเริ่มต้นหาขอบภาพ เมื่อทำการตรวจกวาดภาพทางแนวนอนจากมุมบนซ้ายไปยังมุมล่างขวาและพบจุดภาพหรือ $P_x$ ในหน้าต่าง 3x3 แล้วให้ทำการตรวจสอบทวนเข็มนาฬิกาจนเจอจุดภาพดังรูปที่ 2.6 แสดงว่าจุดภาพนั้นเป็นตำแหน่งขอบภาพถัดไป และตำแหน่งเริ่มต้นหาขอบภาพถัดไปก็คือ $P_{\text{contour อดีต}}+1$ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8




**รูปที่ 2.6** ลักษณะทิศทางการติดตามจุดภาพที่เป็นขอบภาพ

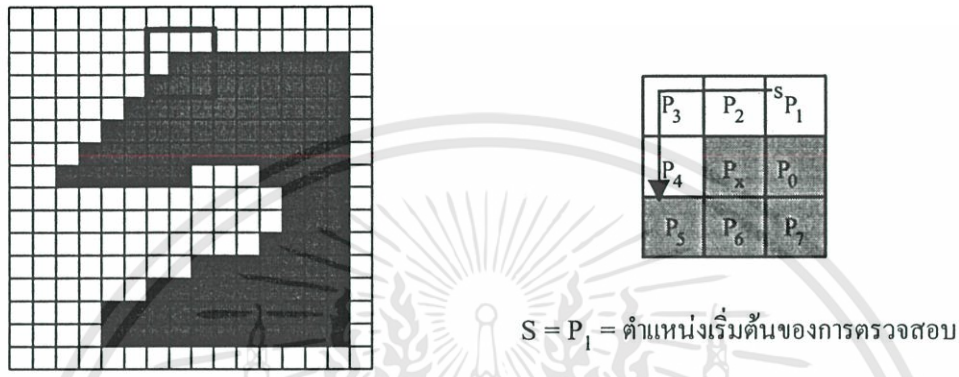
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $P_n$ -1 = ตำแหน่งขอบภาพที่ผ่านมา

$P_x$ = ตำแหน่งขอบภาพที่กำลังพิจารณา

$P_n$ = ตำแหน่งขอบภาพต่อไป

S = ตำแหน่งเริ่มต้นหาขอบภาพ




**รูปที่ 2.7** แสดงตำแหน่งเริ่มต้นในการตรวจกวาดรอบหน้าต่างเมื่อเจอจุดภาพแรก

**รูปที่ 2.8** แสดงตำแหน่งเริ่มต้นการตรวจสอบในการพิจารณาตำแหน่งขอบภาพถัดไป

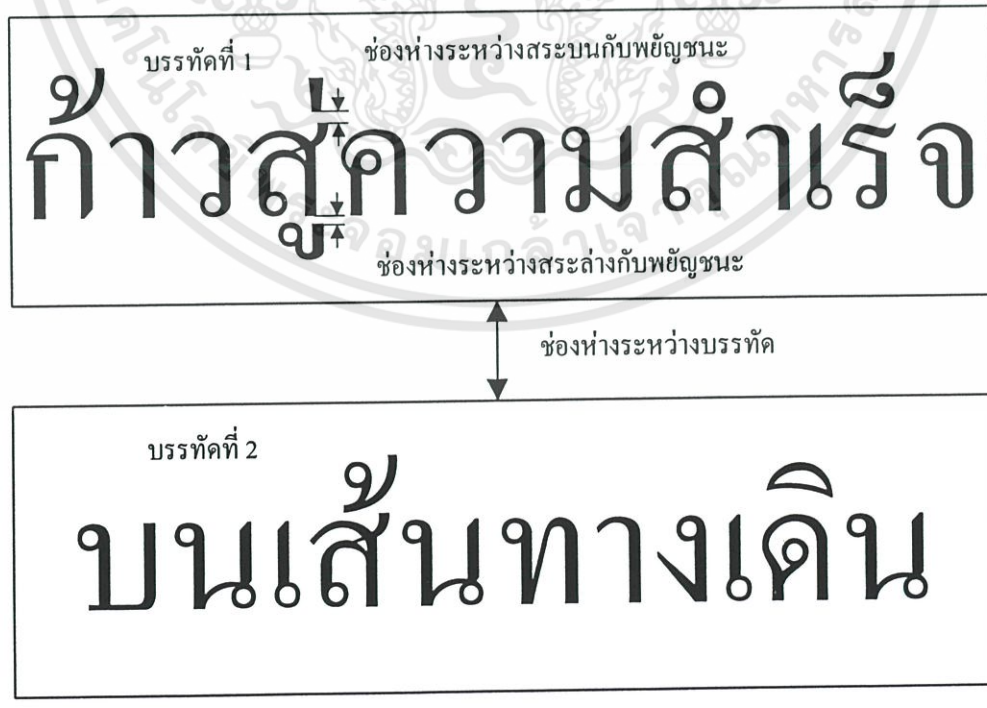
### 2.3.2 การตรวจกวาดภาพเพื่อแยกบรรทัด

ข้อมูลภาพที่อยู่ในหน่วยความจำจะถูกอ่านขึ้นมาที่ละจุดภาพ โดยจะทำการอ่านข้อมูลที่อยู่มุมบนซ้ายสุดจนถึงมุมล่างขวาสุด ในระหว่างการตรวจกวาดภาพ ถ้าพบจุดภาพก็แสดงว่าจุดนั้นคือพิกัดบนของบรรทัด จากนั้นทำการตรวจกวาดภาพไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะไม่พบจุดภาพเลย ในการตรวจกวาดภาพจากแนวนอนซ้ายไปขวา ก็จะได้จุดนั้นเป็นพิกัดล่างของบรรทัด ดังแสดงการตรวจกวาดภาพในรูปที่ 2.9 ซึ่งพิกัดบนและพิกัดล่างของบรรทัดนี้ จะใช้เป็นขอบเขตในการตรวจกวาดภาพเพื่อแยกภาพตัวอักษรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.9** การตรวจกวาดภาพเพื่อหาพิกัดบนและพิกัดล่างแต่ละบรรทัด

แต่ในกรณีการหาพิกัดล่างของบรรทัดนั้น จะต้องมีเงื่อนไขในการทดสอบระหว่างบรรทัดด้วย เนื่องจากประโยคภาษาไทยมีอักษรอยู่ใน 3 ระดับ คือ ระดับบน กลางและล่าง ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างบรรทัดกับช่องห่างระหว่างสระบนและสระล่าง ดังรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าอย่างคำว่า "สู่" วรรณยุกต์เอกและสระอูนั้นอยู่ไม่ติดกับพยัญชนะ แต่ช่องห่างระหว่างบรรทัด จะมากกว่าช่องห่างของสระบนและสระล่าง ดังนั้นจากเงื่อนไขนี้ จะนำมากำหนดในการตรวจกวาดภาพเพื่อหาพิกัดล่างของบรรทัด โดยถ้าตรวจกวาดภาพแล้วไม่เจอจุดภาพ ก็ให้ตรวจกวาดภาพลงต่อไป จนกว่าจะเจอจุดภาพแล้วพิจารณาดูช่องว่างระหว่างจุดภาพ มีค่ามากกว่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้ามากกว่าก็แสดงว่าเป็นภาพตัวอักษรบรรทัดใหม่ พิกัดล่างก็คือจุดแรกที่ไม่พบจุดภาพในแถวนั้น ถ้าน้อยกว่าก็แสดงว่าเป็นสระล่างของบรรทัดนั้น ก็ให้ทำการตรวจกวาดภาพต่อไป ถ้าไม่เจอจุดภาพแถวนั้นก็ให้จุดนั้นเป็นพิกัดล่างของบรรทัด




**รูปที่ 2.10** ช่องห่างระหว่างพยัญชนะ สระบน สระล่างและช่องห่างระหว่างบรรทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.3 การตรวจกวาดและติดตามขอบภาพเพื่อแยกตัวอักษร**

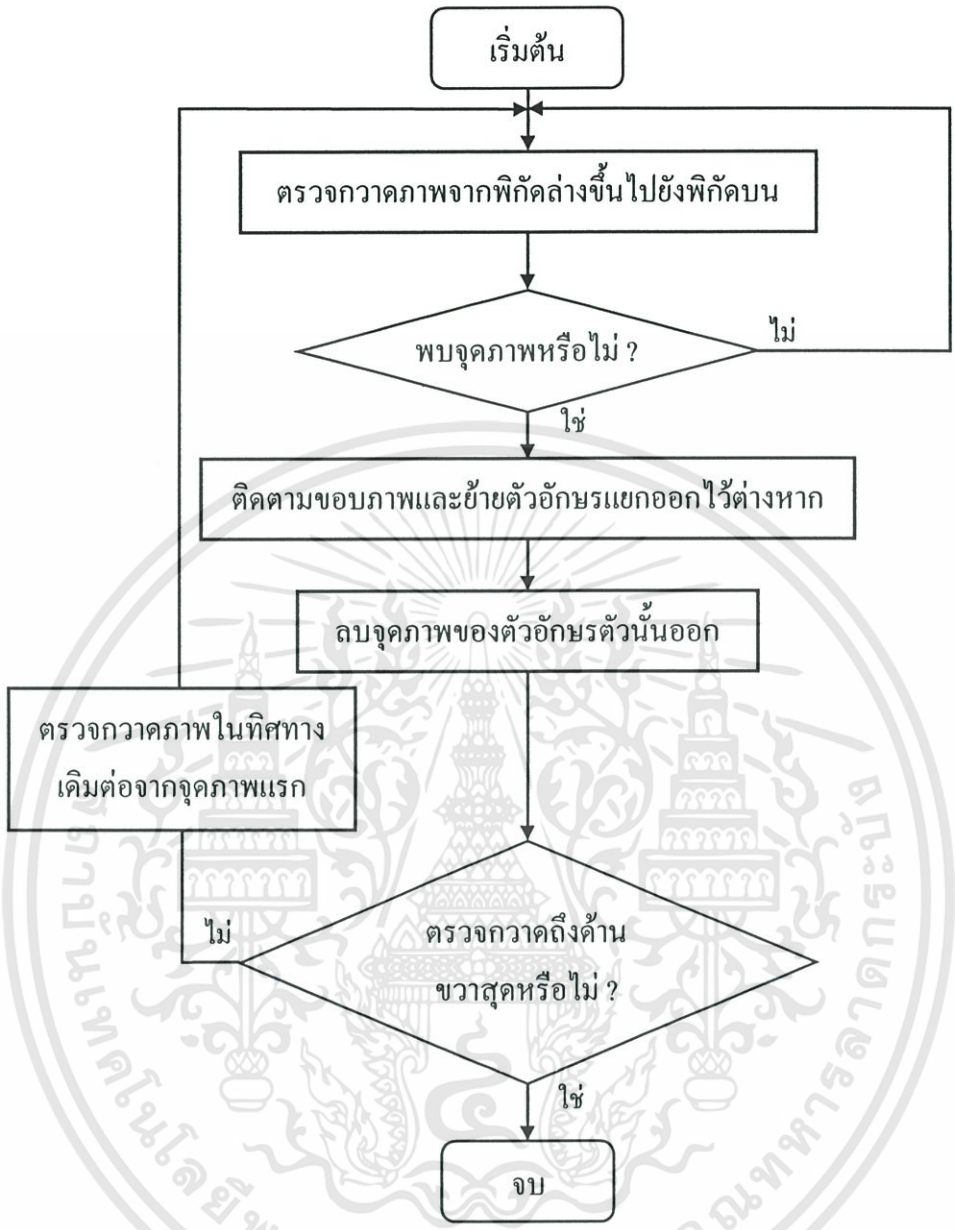
หลังจากที่ได้พิกัดบนและพิกัดล่างของบรรทัดแล้ว ต่อไปจะเป็นการตรวจกวาดและติดตามขอบภาพเพื่อแยกตัวอักษรออกจากบรรทัด ขั้นตอนแรกจะทำการการตรวจกวาดภาพโดยเริ่มจากซ้ายไปขวาดังรูปที่ 2.11 เมื่อพบจุดภาพของตัวอักษรแล้วก็ให้ติดตามขอบภาพเพื่อทำการบันทึกตำแหน่งจุดภาพทุกจุดภาพที่เป็นขอบภาพ จากนั้นทำการย้ายจุดภาพที่เป็นตัวอักษรแยกเก็บไว้ ส่วนจุดภาพตัวอักษรเดิมก็ให้ลบทิ้งทั้งหมด เพื่อที่จะไม่มีผลต่อการตรวจกวาดภาพครั้งต่อไป ดังรูปที่ 2.12

**รูปที่ 2.11** การตรวจกวาดภาพเพื่อหาจุดภาพตัวอักษรที่จะทำการแยก

**รูปที่ 2.12** ภาพตัวอักษรที่ถูกติดตามขอบภาพและถูกแยกออกไป

เมื่อทำการติดตามขอบภาพตัวอักษรตัวแรกและทำการแยกตัวอักษรรวมทั้งลบจุดภาพเดิมให้หมดแล้ว ภาพตัวอักษรที่ถูกแยกก็จะถูกส่งไปยังขั้นตอนต่อไปจนสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นภาพตัวอักษรใด แล้วก็จะกลับมาทำการตรวจกวาดภาพหาจุดภาพต่อไป แล้วกระทำเหมือนเดิมกับภาพตัวอักษรตัวแรกจนครบทุกตัวอักษรจนครบบรรทัด จากนั้นก็จะกลับไปทำการตรวจกวาดภาพเพื่อแยกบรรทัดอีก ทำเช่นนี้จนครบทั้งหมดข้อมูลภาพ รูปที่ 2.13 แสดงผังงานการตรวจกวาดแยกภาพตัวอักษร และจากการแยกตัวอักษรโดยวิธีการติดตามขอบภาพดังกล่าว จะก่อให้เกิดปัญหาขึ้นกับตัวอักษรที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น “ญ” และ “ฐ” ขึ้น เนื่องจากการแยกภาพตัวอักษร โดยการติดตามขอบภาพนั้น จะแยกเอาภาพตัวอักษรที่มีลักษณะต่อเนื่องไม่ขาดจากกันแยกออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

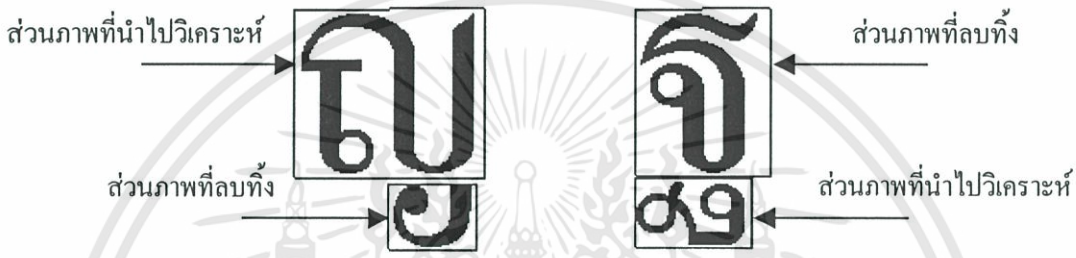



**รูปที่ 2.13** ผังงานการตรวจกวาดภาพและติดตามขอบภาพเพื่อแยกตัวอักษร

ดังนั้นเมื่อทำการแยกอักษร “ญ” ออกมาจะได้ข้อมูลภาพตัวอักษรดังรูปที่ 2.14 ทำให้แทนที่จะได้เป็นอักษร “ญ” เพียงตัวเดียวก็กลับได้ไม้หันอากาศด้วย ดังนั้นจึงต้องมีเงื่อนไขพิเศษสำหรับตัวอักษร “ญ” และ “ฐ” ซึ่งจากรูปที่ 2.14 จะพบว่าภาพตัวอักษร “ญ” และ “ฐ” จะถูกแบ่งแยกออกเป็น 2 ส่วน ดังนั้นจะเลือกเพียง 1 ส่วนภาพที่จะนำมาทำการวิเคราะห์และอีก 1 ส่วนภาพจะถูกลบจุดภาพทิ้งไป โดยในส่วนที่จะนำไปวิเคราะห์และส่วนที่จะต้องลบจุดภาพทิ้ง แสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 2.15

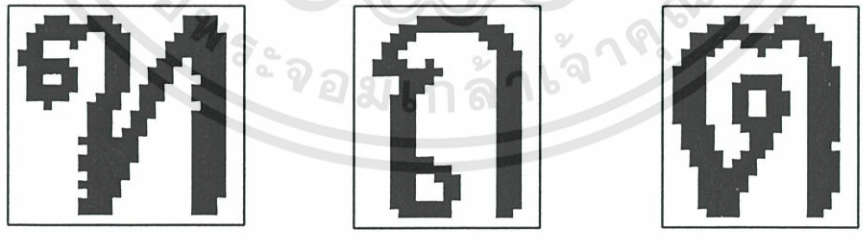
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.14** ภาพตัวอักษร “ญ” และ “ฐ” เมื่อทำการแยกออกมา




**รูปที่ 2.15** ส่วนภาพตัวอักษร “ญ” และ “ฐ” ที่ถูกเลือกไปวิเคราะห์และลบทิ้ง

หลังจากแยกข้อมูลภาพตัวอักษรแต่ละตัวออกจากภาพประโยคได้แล้ว ภาพตัวอักษรแต่ละตัวจะถูกส่งไปยังขั้นตอนของการปรับขอบภาพให้เรียบ โดยภาพที่ส่งไปจะเว้นขอบรอบภาพตัวอักษรด้านละ 1 จุดภาพ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.16



**รูปที่ 2.16** ตัวอย่างข้อมูลภาพตัวอักษรที่ส่งไปปรับขอบภาพให้เรียบ

จากการตรวจกวาดภาพด้วยวิธีการดังกล่าว ภาพตัวอักษรที่ถูกแยกออกไปนั้นจะถูกแยกออกไปตามลำดับของประโยค ดังนั้นการตรวจกวาดภาพด้วยวิธีนี้ ตัวอักษรที่ได้หลังการวิเคราะห์ยังคงจัดอยู่ในรูปแบบของประโยคข้อความเดิมก่อนการรู้จำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การปรับขอบภาพตัวอักษรให้เรียบ [8]

ภาพตัวอักษรที่ได้จากหัวข้อที่ 2.3 นั้น จะถูกนำมาทำการปรับขอบภาพตัวอักษรให้เรียบโดยใช้หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพ ดังรูปที่ 2.4 (ก) ตรวจกวาดไปบนภาพตัวอักษรแต่ละตัว เมื่อจุดภาพ P เป็นจุดภาพที่พิจารณา โดยลักษณะของขอบภาพตัวอักษรที่ต้องลบจุดภาพ P หรือให้ P เท่ากับ 0 แสดงได้ดังรูปที่ 2.17 และรูปที่ 2.18 ลักษณะของขอบภาพ P ที่ต้องเติมจุดภาพหรือให้ P เท่ากับ 1 รูปที่ 2.19 (ก) ภาพตัวอักษรก่อนการปรับขอบภาพและ (ข) ภาพตัวอักษรที่ผ่านการปรับขอบภาพ และรูปที่ 2.20 ภาพตัวอักษรจากรูปที่ 2.16 ที่ผ่านการปรับขอบภาพตัวอักษรให้เรียบแล้ว

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 |

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |

**รูปที่ 2.17** หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพที่แสดงลักษณะของขอบภาพที่ต้องลบจุดภาพของขอบภาพทิ้ง

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 |

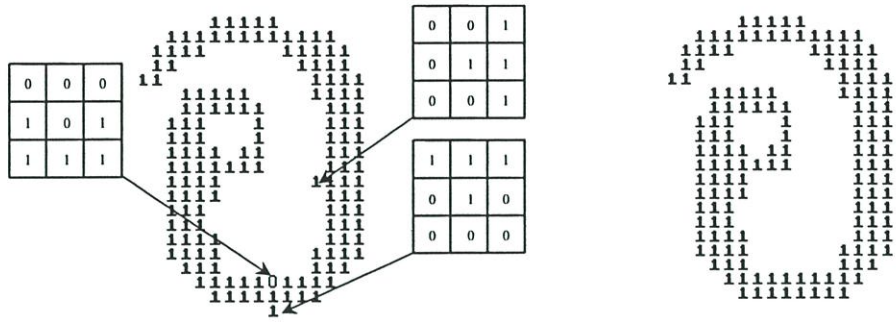
| | | |
|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

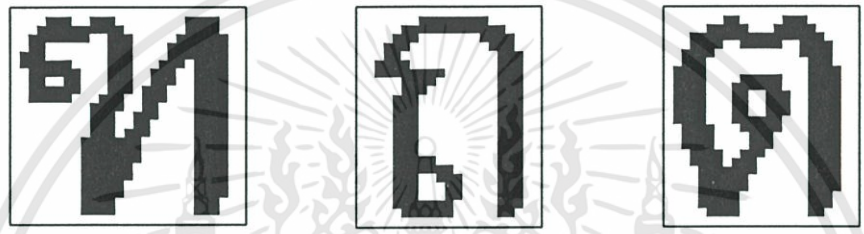
**รูปที่ 2.18** หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพที่แสดงลักษณะของขอบภาพตัวอักษรที่ต้องเติมจุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

**รูปที่ 2.19** (ก) ภาพตัวอักษรก่อนการปรับขอบภาพ (ข) ภาพตัวอักษรหลังการปรับขอบภาพ



**รูปที่ 2.20** ตัวอย่างภาพตัวอักษรที่ผ่านการปรับขอบภาพให้เรียบแล้ว

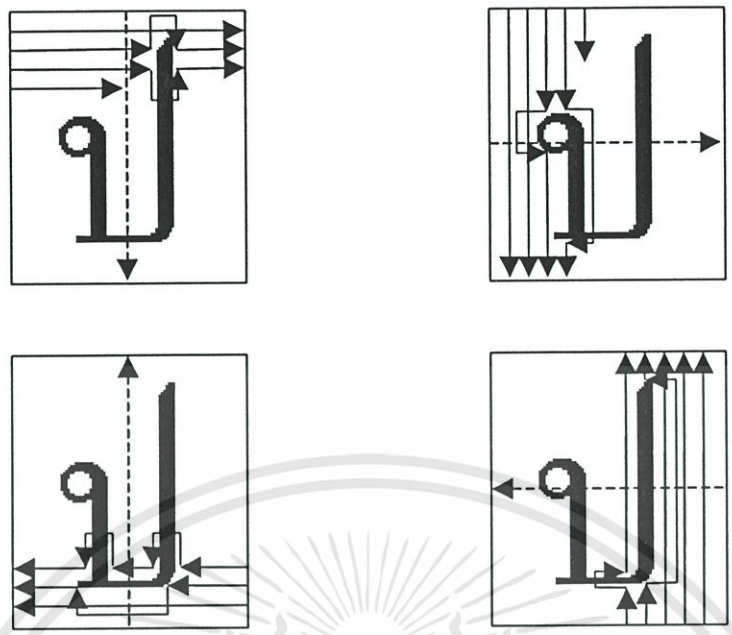
## 2.5. การหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร [9]

ภาพตัวอักษรที่ได้จากหัวข้อที่ 2.1-2.4 นั้น จะมีความหนาของภาพมากกว่า 1 จุดภาพ แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ เป็นการพิจารณาทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร ที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ และอยู่ในตำแหน่งที่สมมาตรกับภาพตัวอักษรเดิม ดังนั้นภาพตัวอักษรจะถูกนำมาทำให้บาง (Thinning) หรือหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร [9] ก่อน โดยใช้หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพ ดังรูปที่ 2.4 (ก) ตรวจกวาดไปบนภาพตัวอักษรแต่ละจุดภาพ แล้วใช้หลักการหาคุณสมบัติทางโทโปโลยีของจุดภาพ (Topological Properties) เพื่อแยกแยะว่าจุดภาพนั้นมีความหนาเพียง 1 จุดภาพหรือไม่ ถ้าไม่หรือมีความหนาเกิน 1 จุดภาพจะต้องลบจุดภาพนั้นออก หลังจากนั้นจึงเลื่อนไปยังจุดภาพใหม่ เมื่อได้ความหนา 1 จุดภาพแล้ว ต้องเก็บสถานะเอาไว้ด้วย เพื่อจะได้ไม่นำมาพิจารณาซ้ำอีกรอบ

### 2.5.1 การตรวจกวาดภาพ

การตรวจกวาดภาพแสดงได้ดังรูปที่ 2.21 ซึ่งจะแบ่งเป็น 4 รูปแบบ โดยการตรวจกวาดภาพจะกระทำเฉพาะส่วนที่เป็นเบื้องหลังภาพตัวอักษร (พื้นขาว) เมื่อพบเนื้อตัวอักษร (จุดดำ) จะพิจารณาว่าจุดนั้นมีความหนา 1 จุดภาพหรือไม่ (ตามหัวข้อ 2.5.2) ถ้าใช่ก็ลบจุดภาพนั้นออก จากนั้นก็กระโดดข้ามจุดดำ แล้วทำการตรวจกวาดภาพพื้นขาวต่อไปจนครบทั้งแถว และทำแถวถัดไปตามทิศทางของเส้นประและทำสลับกันทั้ง 4 รูปแบบ จนกว่าภาพจะมีความหนาเท่ากับ 1 จุดภาพ

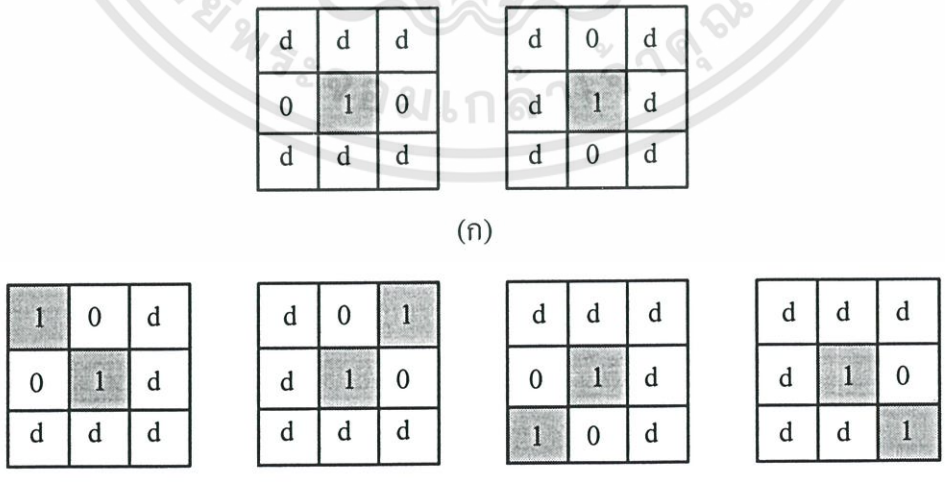
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.21** ลำดับการตรวจกวาดภาพเพื่อหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

### 2.5.2 การตรวจเช็คความหนาของจุดภาพ

การตรวจเช็คความหนาของจุดภาพเป็นกระบวนการที่กระทำต่อเนื่องจากการตรวจกวาดภาพ โดยภาพที่ผ่านการหาเส้นโครงร่างภาพแล้ว จะมีความหนาเพียง 1 จุดภาพเท่านั้น ดังนั้นจะต้องมีวิธีการตรวจเช็คที่จุดภาพเหล่านั้น ซึ่งจะนำเอาหลักการหาคุณสมบัติทางโทโปโลยีของจุดภาพมาใช้ประกอบการตรวจเช็ค โดยใช้หน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพดังที่แสดงในรูปที่ 2.22 เมื่อกำหนดให้แต่ละจุดภาพตัวอักษรแทนด้วยตัวแปรที่มีค่า 0 เป็นพื้นหลังและ 1 แทนจุดภาพที่เป็นเนื้อภาพ เมื่อ P คือจุดภาพที่พิจารณาหาความหนาของจุดภาพและ d หมายถึงค่าอะไรก็ได้ (0 หรือ 1)




**รูปที่ 2.22** ลักษณะของจุดภาพที่มีความหนา 1 จุดภาพในแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



จากรูปที่ 2.22 (ก) สรุปได้ว่าในกรณีที่มี 0 ทั้ง 2 ข้างของจุดภาพที่พิจารณาไม่ว่าจะเป็นด้านบนหรือด้านล่างซ้ายหรือล่างขวา จุดภาพนั้นจะมีความหนาเพียง 1 จุดภาพเท่านั้นดังสมการ (2.1)

$$N_s = (P_1 \mid P_5) \& (P_3 \mid P_7) \tag{2.1}$$

จากรูปที่ 2.22 (ข) จะพบว่ามุมทั้ง 4 มุมของหน้าต่างขนาด 3x3 นั้น ถ้ามุมใดมุมหนึ่งในสี่มุมมีค่าเป็น 1 และมีส่วนประกอบทั้งสองข้างเป็น 0 แสดงว่าจุดภาพที่พิจารณานั้นมีความหนาเพียง 1 จุดภาพดังสมการ (2.2) – (2.5)

$$N_0 = P_0 \,\&\, \overline{(P_7 \mid P_1)} \tag{2.2}$$

$$N_2 = P_2 \,\&\, \overline{(P_1 \mid P_3)} \tag{2.3}$$

$$N_4 = P_4 \,\&\, \overline{(P_3 \mid P_5)} \tag{2.4}$$

$$N_6 = P_6 \,\&\, \overline{(P_5 \mid P_7)} \tag{2.5}$$

เมื่อ $N_0$, $N_2$, $N_4$, $N_6$ เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการตรวจมุม $P_0$, $P_2$, $P_4$ และ $P_6$ ตามลำดับและ

| แทน โอเปอร์เรเตอร์ลอจิก OR

& แทน โอเปอร์เรเตอร์ลอจิก AND

— แทน โอเปอร์เรเตอร์ลอจิก NOT

จากสมการ (2.2) – (2.5) ถ้ามีสมการใดสมการหนึ่งให้ค่าสมการเป็น 1 แล้ว แสดงว่าจุดภาพที่พิจารณาจะมีความหนา 1 จุดภาพ และจากรูปที่ 2.22 (ก) จะมีบางกรณีที่มีลักษณะเกิดเป็นส่วนเกิน คือ มีลักษณะดังรูปที่ 2.23 จึงไม่สมควรจะจัดให้เป็นจุดภาพที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้สมการ (2.6) แยกส่วนเกินนี้ ออกจากกลุ่มของจุดภาพที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ และสมการ (2.6) สามารถแสดงภาพประกอบในแต่ละนิพจน์ของสมการได้ดังรูปที่ 2.24

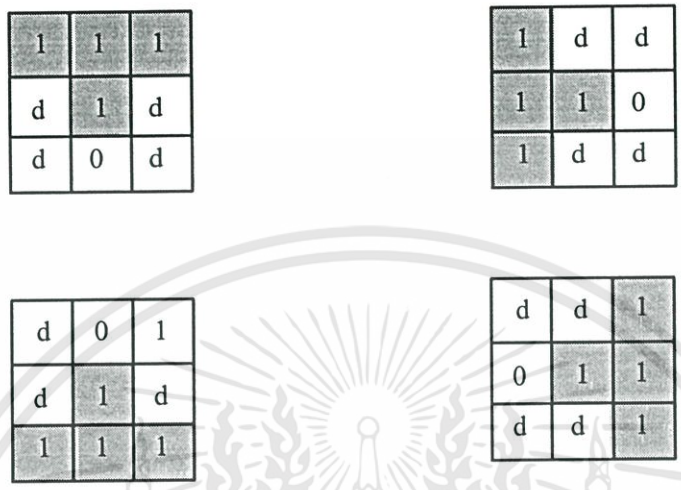
| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

**รูปที่ 2.23** ลักษณะของสัญญาณรบกวนที่ไม่จัดว่ามีความหนาของจุดภาพเพียง 1 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

44100

$$N_e = (P_0 \,\&\, P_1 \,\&\, P_2 \,\&\, \overline{P_5}) \,|\, (P_2 \,\&\, P_3 \,\&\, P_4 \,\&\, \overline{P_7}) \,|\, (P_4 \,\&\, P_5 \,\&\, P_6 \,\&\, \overline{P_1}) \,|\, (P_6 \,\&\, P_7 \,\&\, P_0 \,\&\, \overline{P_3}) \qquad (2.6)$$

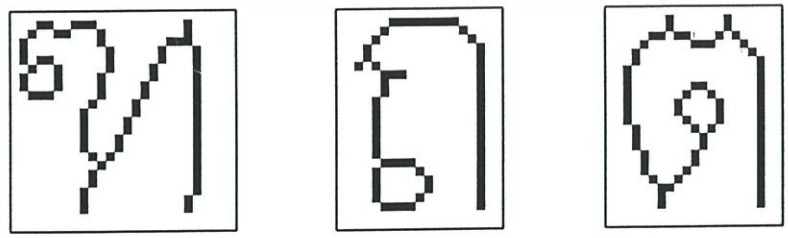



**รูปที่ 2.24** ลักษณะของจุดภาพตามนิพจน์ของสมการ $N_e$

จากสมการ (2.6) $N_e$ เป็นตัวบ่งบอกถึงความหนาของจุดภาพ ซึ่งถ้า $N_e = 0$ แสดงว่าจุดภาพที่พิจารณามีความหนาของจุดภาพ 1 จุดภาพ ไม่ใช่สัญญาณรบกวน ดังนั้นสามารถที่จะเขียนเงื่อนไขการตัดสินใจการพิจารณาได้ดังสมการ (2.7)

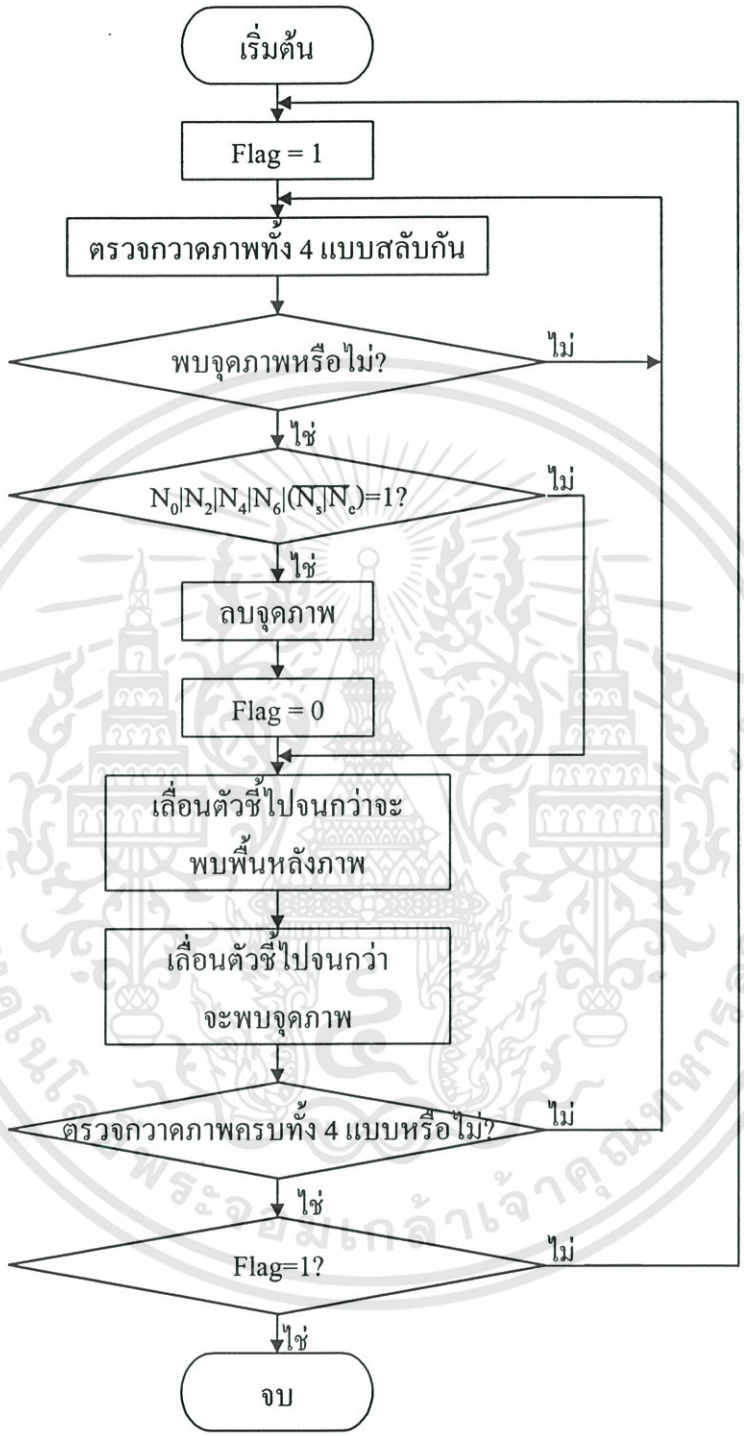
$$N_0 \,|\, N_2 \,|\, N_4 \,|\, N_6 \,|\, \overline{(N_s \,|\, N_e)} = 1 \qquad (2.7)$$

จากเทคนิคของการตรวจกวาดภาพและการตรวจเช็คหาความหนาของจุดภาพที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จากรูปที่ 2.20 สามารถหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรได้ดังรูปที่ 2.25 และสามารถแสดงผังงานการหาเส้นโครงร่างได้ดังรูปที่ 2.26



**รูปที่ 2.25** ตัวอย่างเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ฑ”, “ถ” และ “ต”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

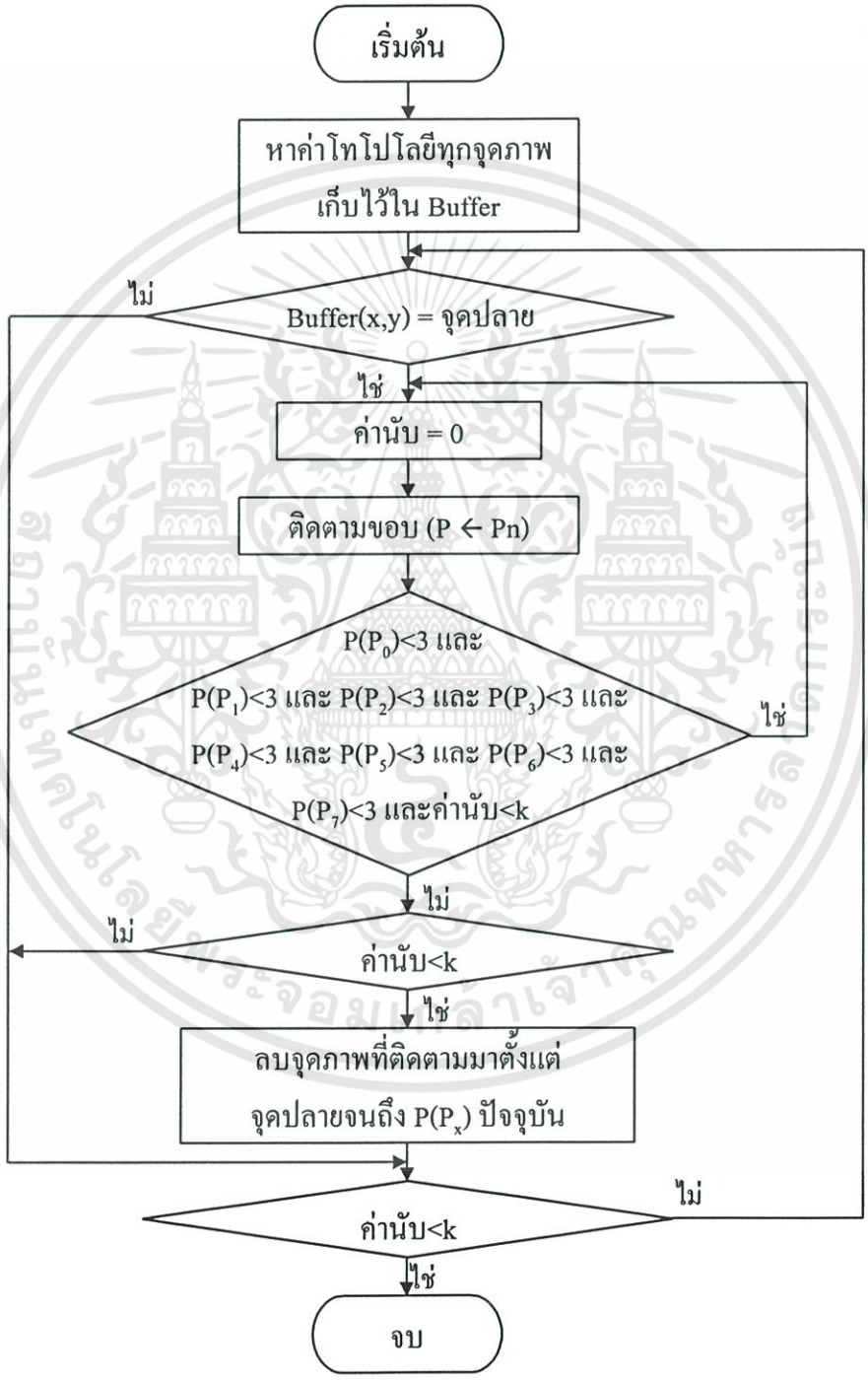



**รูปที่ 2.26** ผังงานการหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การกำจัดส่วนเกิน [10]

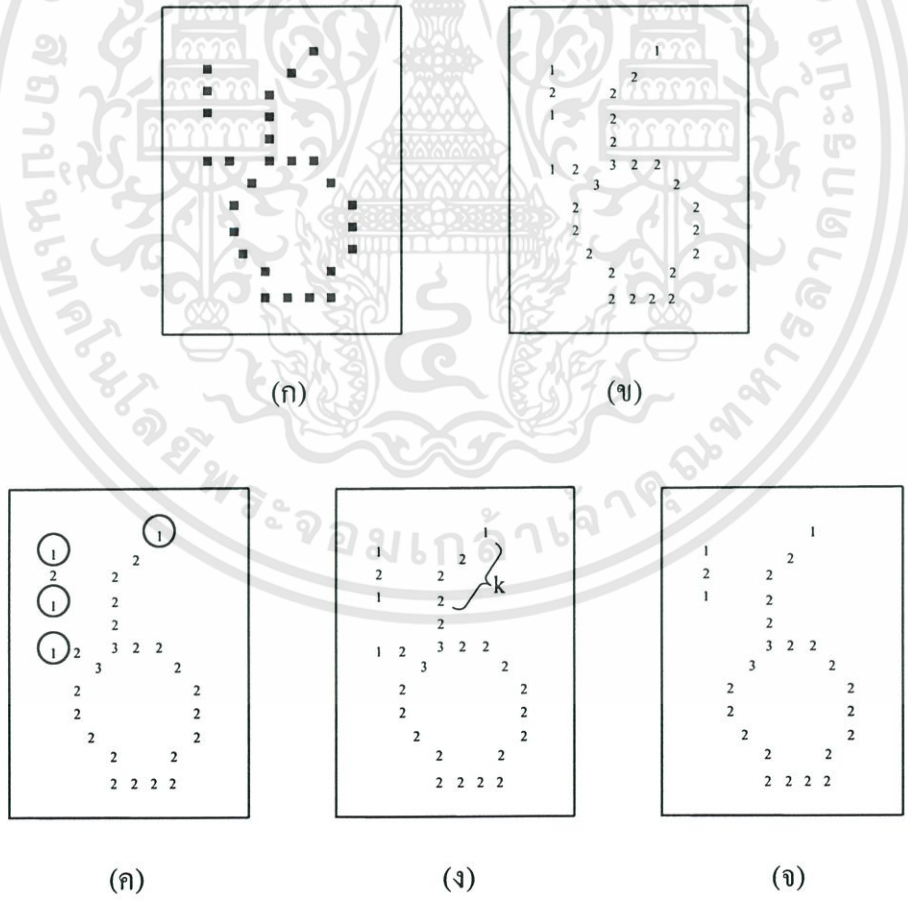
ภาพตัวอักษรที่ผ่านการทำให้บางแล้วจะเหลือเฉพาะเส้นโครงร่างภาพ รวมทั้งส่วนเกินที่ไม่ต้องการด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการกำจัดส่วนเกินที่มีอยู่ในเส้นโครงร่างภาพ ด้วยการหาคุณสมบัติทางโทโปโลยีของจุดภาพ จากนั้นใช้วิธีการติดตามขอบภาพในการกำจัดส่วนเกิน




**รูปที่ 2.27** ผังงานการกำจัดส่วนเกินจากเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

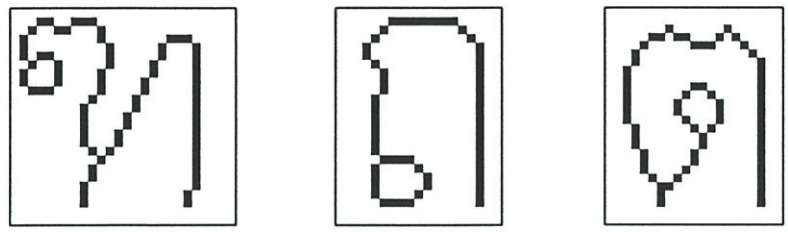
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.27 แสดงผังงานขั้นตอนการทำงานของการกำจัดส่วนเกิน จากรูปที่ 2.28 (ก) เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรจะถูกนำมาหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีของภาพ (1 = จุดปลาย, 2 = จุดต่อ, 3 = จุดแยก, 4 = จุดตัด, 5 = จุดโดดเดี่ยว, 6 = จุดภายใน) ทุกจุดภาพดังรูปที่ 2.28 (ข) จากนั้นตรวจกวาดภาพหาจุดปลายของเส้นโครงร่าง (หมายเลข 1) ดังรูปที่ 2.28 (ค) เมื่อพบก็จะติดตามขอบภาพ [7] พร้อมทั้งขณะติดตามขอบภาพจะนับจำนวนจุดภาพแล้วตรวจสอบว่าเกินจำนวน k จุด (ค่าจำนวนจุดภาพที่กำหนดให้เป็นส่วนเกิน โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้เท่ากับ 0.3 ของความสูงหรือความกว้างตัวอักษรที่มากที่สุด) หรือไม่ ถ้าใช่แสดงว่าเส้นโครงร่างจากจุดปลายนี้ไม่ใช่ส่วนเกินดังรูปที่ 2.28 (ง) แต่ถ้ายังไม่เกิน k จุด แล้วพบว่าส่วนประกอบรอบ $P(P_x)$ ไม่น้อยกว่า 3 (คือไม่ใช่จุดปลายและจุดต่อ) แสดงว่าจากจุดปลายนี้คือส่วนเกินให้ลบเส้นโครงร่างนี้ทิ้ง จากนั้นกลับไปตรวจกวาดภาพในตำแหน่งถัดไปจากจุดปลายที่พบครั้งก่อนเพื่อหาจุดปลายใหม่ ทำเช่นนี้จนกว่าจะหมดข้อมูลภาพ ซึ่งผลลัพธ์หลังทำการประมวลผลเสร็จแสดงได้ดังรูปที่ 2.28 (จ) และรูปที่ 2.29 แสดงตัวอย่างเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ฑ”, “ถ” และ “ด” ที่หาได้ตามรูปที่ 2.25 ที่ผ่านการกำจัดส่วนเกินแล้ว




**รูปที่ 2.28** (ก) ภาพที่ได้จากการทำบาง (ข) หาค่าโทโปโลยีทุกจุด (ค) หาตำแหน่งจุดปลาย (ง) ติดตามขอบภาพ (จ) ลบจุดปลายและจุดต่อถ้าน้อยกว่า k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.29** ตัวอย่างเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ฑ”, “ถ” และ “ต” ที่ผ่านการกำจัดส่วนเกินแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

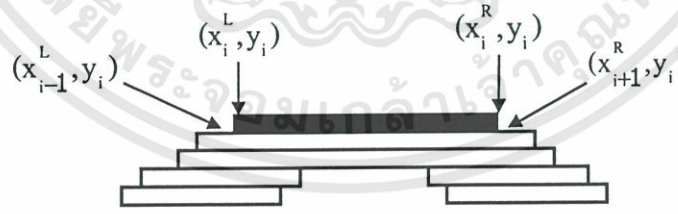
# บทที่ 3
# การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง

ข้อมูลภาพตัวอักษรบนหน้ากระดาษเอกสาร ที่ถูกตรวจกวาดภาพด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพ แยกบรรทัด แยกภาพตัวอักษรออกจากภาพประโยค หาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรและกำจัดส่วนเกินแล้วนั้น จะได้ข้อมูลภาพตัวอักษรที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ หรือเหลือเฉพาะเส้นโครงร่างภาพ ที่สมมาตรกับภาพตัวอักษรเดิมดังแสดงในรูปที่ 2.29 จากนั้นข้อมูลเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรจะถูกนำมาทำการวิเคราะห์หารหัสแทนภาพตัวอักษร ด้วยการแยกบล็อกเส้นโครงร่างภาพ กำหนดจุดเริ่มต้นการติดตามทิศทาง และติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพ เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับรหัสแทนภาพตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูล ในการหา ASCII Code ของตัวอักษรนั้น ๆ [11]

## 3.1 นิยาม (Definition) [12]

### 3.1.1 รันแนวนอน (Horizontal run)

รันแนวนอนเป็นการกำหนดช่วงของจุดภาพในแนวนอนที่ต่อเนื่อง จากจุดภาพเริ่มต้นรัน (Starting run) ที่ตำแหน่งจุดภาพซ้ายสุด $(x_i^L, y_i)$ ไปยังจุดภาพปลายรัน (Terminating run) ที่ตำแหน่งจุดภาพขวาสุด $(x_i^R, y_i)$ และในตำแหน่ง $(x_{i-1}^L, y_i)$ และ $(x_{i+1}^R, y_i)$ ไม่เป็นจุดภาพดังรูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยรันอันดับที่ k [13] เมื่อ $(j, b_k, e_k)$ หาได้ตามสมการ (3.1) - (3.3)




**รูปที่ 3.1** ลักษณะของรันแนวนอน

$$b_k = i \quad \text{เมื่อ} \quad f(i-1, j) = 0 \quad \text{และ} \quad f(i, j) = 1 \tag{3.1}$$

$$e_k = i \quad \text{เมื่อ} \quad f(i, j) = 1 \quad \text{และ} \quad f(i+1, j) = 0 \tag{3.2}$$

$$f(i, j) = 1 \quad \text{สำหรับ} \quad b_k \le j \le e_k \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $f$ = ภาพสองระดับ (Binary image)

$i$ = คอลัมน์ (Column)

$j$ = แถว (Row)

$b_k$ = จุดเริ่มต้นรัน (Starting run)

$e_k$ = จุดปลายรัน (Terminating run)

### 3.1.2 ดีกรี (Degree)

ดีกรีเป็นการแสดงถึงจำนวนของรันที่ติดกับรัน $r_i$ ใด ๆ ทางด้านบนหรือดีกรีบน (Up degree: $N_u$) และทางด้านล่างหรือดีกรีล่าง (Down degree: $N_d$) เช่น จากรูปที่ 3.2 รัน $r_a$ ไม่มีรันติดต่อด้านบนแต่มีรันติดต่อด้านล่าง 1 รัน ดังนั้นรัน $r_a$ จึงมีดีกรีเท่ากับ (0,1) หรือ $dr_a$ (0,1) ในขณะเดียวกันรัน $r_b$ , $r_c$ และ $r_d$ จะมีดีกรี (1,2), (1,0) และ (1,1) ตามลำดับ และดีกรีของบล็อกก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับดีกรีของรัน คือ เป็นการแสดงถึงจำนวนบล็อกที่ติดต่อกับบล็อก $B_i$ ใด ๆ ทางด้านล่างและด้านบนของบล็อก

**รูปที่ 3.2** ตัวอย่างดีกรีของรันแนวนอน

### 3.1.3 บล็อก (Block)

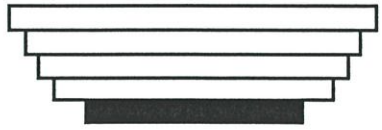
บล็อกเป็นการรวมกลุ่มของรันที่ติดกันเข้าด้วยกัน โดยทุกรันที่อยู่ภายในบล็อกจะมีดีกรีบนหรือรันติดต่อด้านบนและดีกรีล่างหรือรันติดต่อด้านล่างเท่ากับ 1 เท่านั้น ยกเว้นรันเริ่มต้น (Starting run) และรันสิ้นสุด (Terminating run) บล็อก โดยรันเริ่มต้นบล็อกจะเป็นรันที่มีดีกรีบนเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 3.3 (ก) หรือรันที่มีดีกรีบนมากกว่า 1 ดังรูปที่ 3.3 (ข)

(ก) (ข)

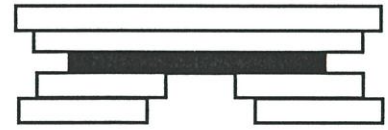
**รูปที่ 3.3** ลักษณะของรันเริ่มต้นบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

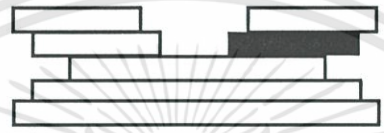
ส่วนรันสิ้นสุดบล็อกนั้น จะเป็นรันที่มีรันดีกรีล่างเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 3.4 (ก) หรือรันที่มีดีกรีล่างมากกว่า 1 ดังรูปที่ 3.4 (ข) หรือรันที่มีรันติดต่อด้านล่างมีดีกรีบนมากกว่า 1 ดังรูปที่ 3.4 (ค)



(ก)



(ข)



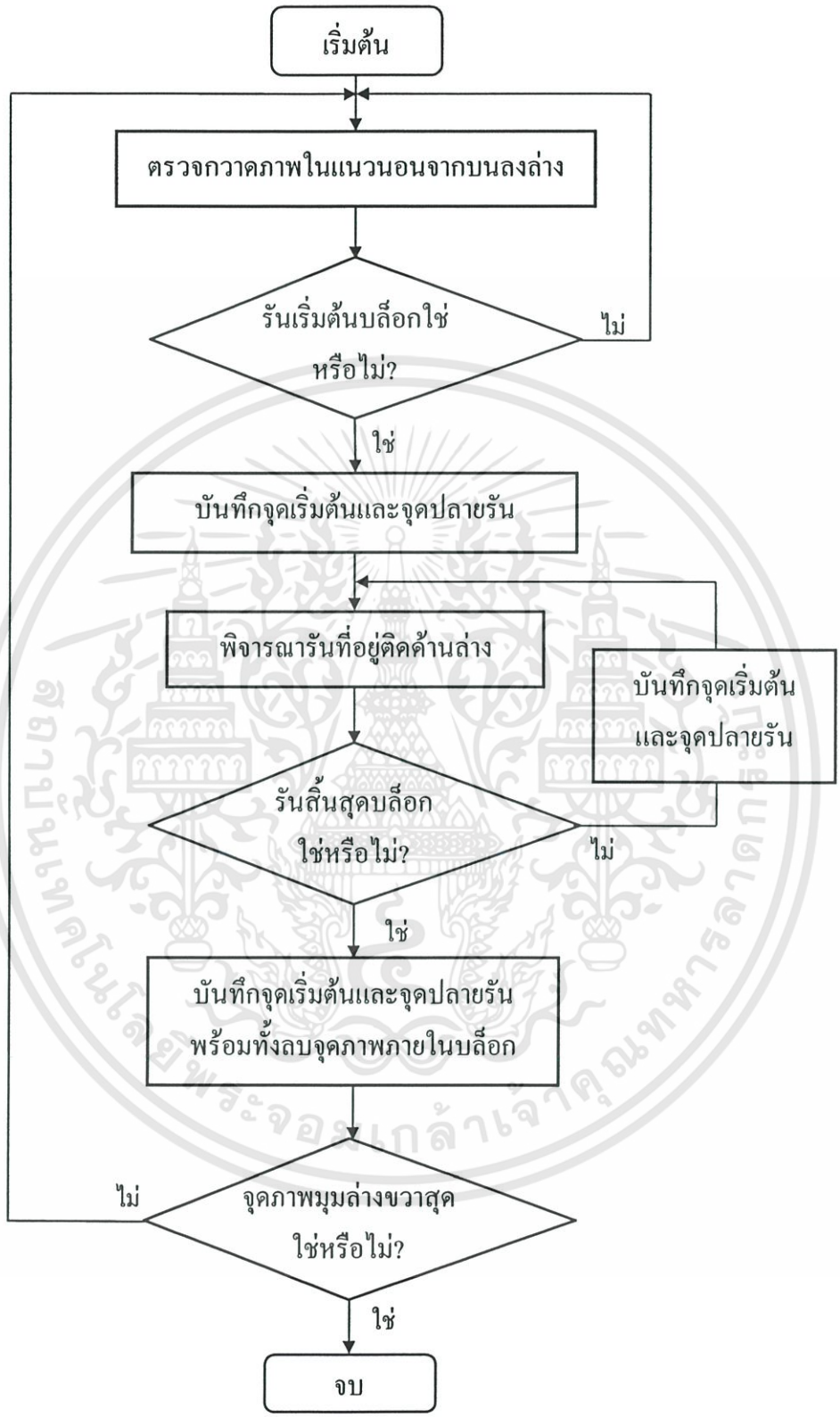
(ค)

**รูปที่ 3.4** ลักษณะของรันสิ้นสุดบล็อก

## 3.2 การแยกบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

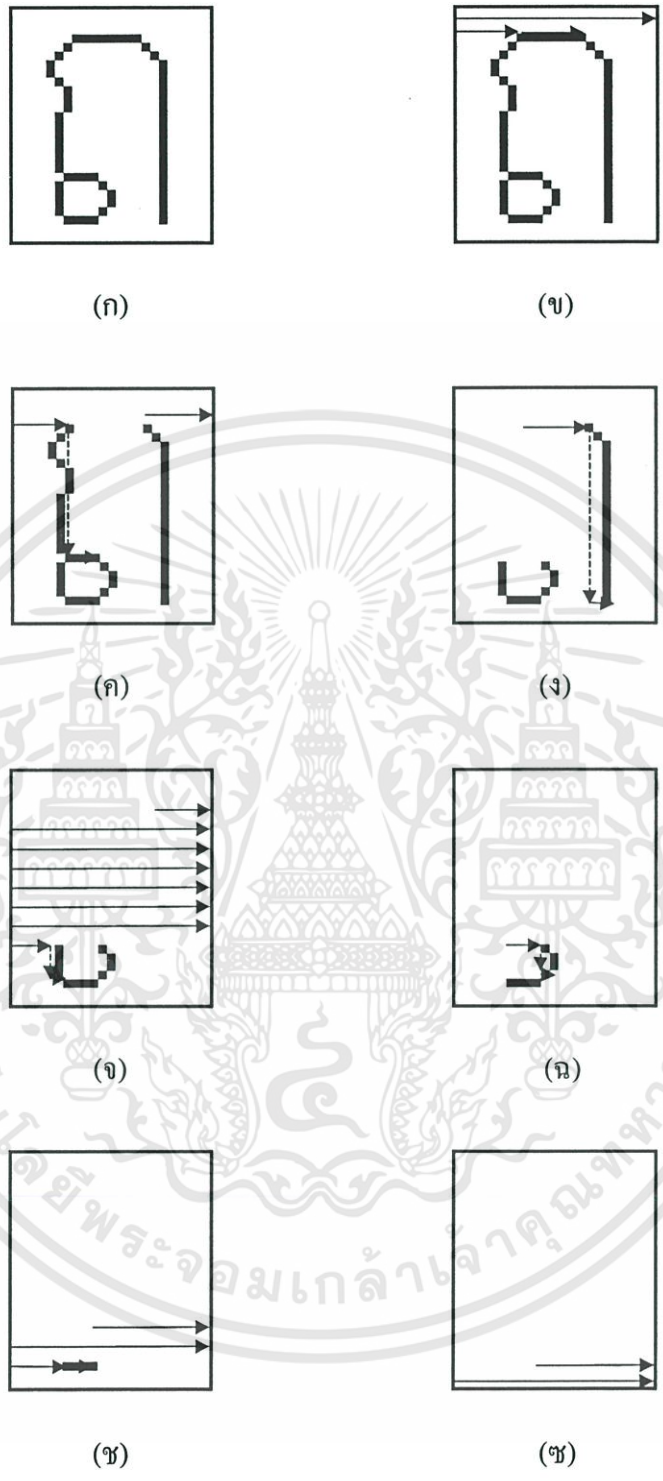
เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรแต่ละตัวที่นำมาพิจารณาจะถูกแบ่งแยกออกเป็นส่วนภาพย่อยที่เรียกว่า บล็อก (Block) ด้วยคุณสมบัติการแยกสาขาของรันแนวนอนตามหัวข้อที่ 3.1.3 โดยเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรจะถูกตรวจกวาดภาพจากจุดภาพด้านซ้ายสุดไปยังจุดภาพด้านขวาสุด และจากมุมบนซ้ายสุดไปยังมุมล่างขวาสุดของภาพเพื่อหารันเริ่มต้นบล็อกดังรูปที่ 3.3 และเมื่อพบก็จะบันทึกจุดภาพเริ่มต้นและจุดภาพปลายรัน จากนั้นตรวจสอบรันที่อยู่ถัดไปทางด้านล่างว่าใช่รันสิ้นสุดบล็อกดังรูปที่ 3.4 หรือไม่ ? ถ้าไม่ใช่รันสิ้นสุดบล็อก บันทึกจุดเริ่มต้นและจุดปลายรัน แล้วเลื่อนรันที่จะพิจารณาตรวจสอบเป็นรันถัดไปด้านล่างเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบรันสิ้นสุดบล็อก ถ้าใช่รันสิ้นสุดบล็อก บันทึกจุดเริ่มต้นและจุดปลายรัน พร้อมลบจุดภาพของบล็อกเพื่อที่จะไม่ให้เกิดการตรวจสอบบล็อกซ้ำ แล้วเริ่มต้นการตรวจกวาดภาพใหม่ ในตำแหน่งภาพถัดไปจากจุดปลายของรันเริ่มต้นบล็อกของบล็อกที่ผ่านมา เพื่อหารันเริ่มต้นบล็อกในการแยกบล็อกใหม่ และจะสิ้นสุดการแยกบล็อก ก็ต่อเมื่อการตรวจกวาดภาพได้กระทำมาถึงมุมล่างขวาสุดของภาพ ซึ่งนั้นเป็นการแสดงว่าภาพได้ถูกแบ่งแยกบล็อกจนหมดแล้ว รูปที่ 3.5 แสดงผังงานขั้นตอนของการแยกบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการตรวจกวาดภาพเพื่อแยกบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ถ” และรูปที่ 3.7 แสดงบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ผ”, “ถ” และ “บ” ตามลำดับค้นพบในการแยกบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



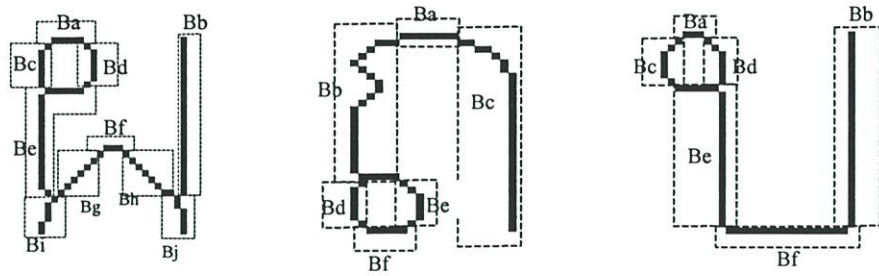

**รูปที่ 3.5** ผังงานการแยกบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.6** ตัวอย่างการตรวจกวาดภาพเพื่อแยกบล็อก (ก) เส้นโครงร่างภาพตัวอักษร (ข) – (ช) ลำดับการแยกบล็อกจากบล็อกแรกจนถึงบล็อกสุดท้าย และ (ซ) เมื่อการตรวจกวาดภาพถึงจุดภาพล่างขวาสุดแสดงว่าเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรได้ถูกแยกบล็อกจนหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

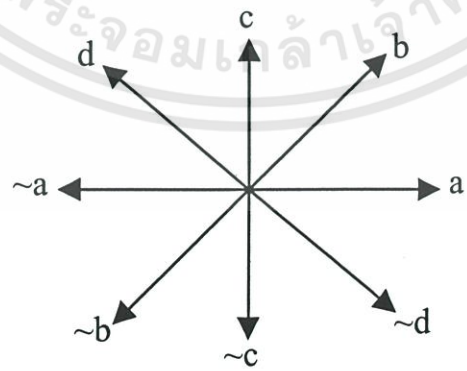



**รูปที่ 3.7** ตัวอย่างบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ผ”, “ถ” และ “บ”

จากรูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ผ”, “ถ” และ “บ” เมื่อเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ผ” ประกอบด้วย 10 บล็อก คือ บล็อก Ba มีบล็อกดีกรี (0,2), Bb มีบล็อกดีกรี (0,1), Bc มีบล็อกดีกรี (1,1), Bd มีบล็อกดีกรี (1,1), Be มีบล็อกดีกรี (2,1), Bf มีบล็อกดีกรี (0,2), Bg มีบล็อกดีกรี (1,1), Bh มีบล็อกดีกรี (1,1), Bi มีบล็อกดีกรี (2,0) และบล็อก Bj มีบล็อกดีกรี (2,0) เส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ถ” ประกอบด้วย 6 บล็อก คือ บล็อก Ba-Bf และเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “บ” ประกอบด้วย 6 บล็อก คือ บล็อก Ba-Bf ตามลำดับการแยกบล็อกเช่นกัน

## 3.3 รหัสทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร ที่เคลื่อนที่ผ่านในแต่ละบล็อก จะถูกพิจารณาแทนด้วยรหัสทิศทาง 8 ทิศทางหรือเรียกว่า D-Code 8 ทิศทางดังรูปที่ 3.8 โดยมีขอบเขตมุมองศาของแต่ละทิศทางดังแสดงในตารางที่ 3.1




**รูปที่ 3.8** รหัสทิศทางหรือ D-code 8 ทิศทางของการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

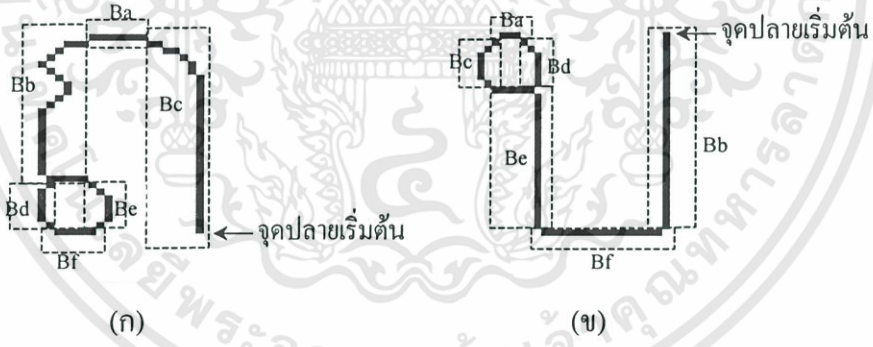
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.1** ขอบเขตมุมองศาของรหัสทิศทาง

| รหัสทิศทาง | ขอบเขตของมุมองศา ($\theta$) |
|---|---|
| a | $337.5 < \theta \leq 22.5$ |
| b | $22.5 < \theta \leq 67.5$ |
| c | $67.5 < \theta \leq 112.5$ |
| d | $112.5 < \theta \leq 157.5$ |
| ~a | $157.5 < \theta \leq 205.5$ |
| ~b | $205.5 < \theta \leq 247.5$ |
| ~c | $247.5 < \theta \leq 292.5$ |
| ~d | $292.5 < \theta \leq 337.5$ |

## 3.4 จุดเริ่มต้นการติดตามทิศทาง

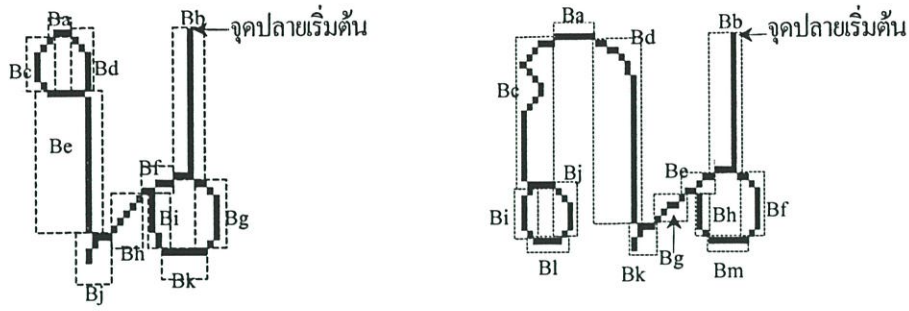
เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรแต่ละตัว จะถูกนำมากำหนดจุดเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพ โดยใช้จุดปลายของบล็อกแรกที่มีดีกรี (1,0) เช่น ตัวอักษร “ก, ถ, ภ, า” หรือใช้จุดปลายของบล็อกแรกที่มีดีกรี (0,1) เช่น ตัวอักษร “ข, บ, ม, ย” เป็นจุดปลายเริ่มต้นดังรูปที่ 3.9




**รูปที่ 3.9** จุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางที่บล็อก (ก) ดีกรี (1,0) และ (ข) ดีกรี (0,1)

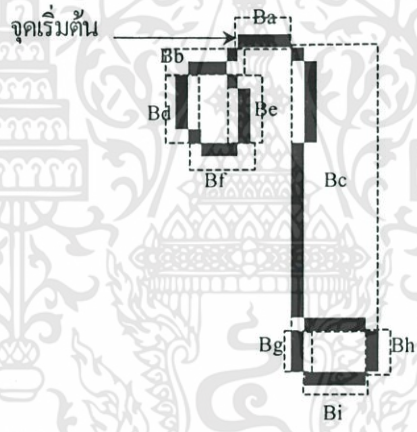
จากรูปที่ 3.9 เส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ถ” และ “บ” ที่ประกอบด้วยบล็อก Ba, Bb, Bc, Bd, Be และ Bf มีจุดปลายที่บล็อก Bc และ Bb ซึ่งมีบล็อกดีกรี (1,0) และ (0,1) ตามลำดับ เป็นจุดเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง และในกรณีที่เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรไม่มีจุดปลายจากบล็อกดีกรี (1,0) และ (0,1) จะเลือกจุดปลายแรกจากบล็อกดีกรี (0,2) หรือ (2,0) แทนดังรูปที่ 3.10 เมื่อเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “น” และ “ณ” ไม่มีจุดปลายจากบล็อกดีกรี (0,1) และ (1,0) จึงเลือกจุดปลายจากบล็อกดีกรี (0,2) ที่บล็อก Bb แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.10** จุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางที่บล็อกดีกรี (0,2)

ในการกำหนดจุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีตัวอักษรบางตัวที่ไม่มีจุดปลาย เช่น เส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ใ” จะกำหนดจุดเริ่มต้นการติดตามทิศทาง ที่จุดเริ่มต้นรันแรกของบล็อกแรกที่ค้นพบในการแยกบล็อก หรือจุดเริ่มต้นของรันแรกบล็อก Ba ดังรูปที่ 3.11 แทน




**รูปที่ 3.11** จุดเริ่มต้นการติดตามทิศทางในกรณีไม่มีจุดปลาย

## 3.5. การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร เป็นการติดตามการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพ จากบล็อกหนึ่งไปยังอีกบล็อกหนึ่ง โดยมีจุดปลายเริ่มต้นตามหัวข้อที่ 3.3 และเคลื่อนที่ไปยังบล็อกที่อยู่ติดต่อด้านล่างหรือด้านบน ในลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกาไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งกลับมายังตำแหน่งจุดเริ่มต้นเดิมโดยมีกฎการเคลื่อนที่ดังนี้

<u>กฎข้อที่ 1</u> การเคลื่อนที่ผ่านบล็อกจากรันเริ่มต้นบล็อกไปยังรันสิ้นสุดบล็อก หรือจากรันสิ้นสุดบล็อกไปยังรันเริ่มต้นบล็อกนั้น กำหนดให้จำนวนครั้งของการเคลื่อนที่ผ่านเท่ากับ 1 ครั้ง

<u>กฎข้อที่ 2</u> การเคลื่อนที่ผ่านบล็อกที่ผ่านเพียงรันเริ่มต้นบล็อก หรือรันสิ้นสุดบล็อกเพียงอย่างเดียวนั้น กำหนดให้จำนวนครั้งของการเคลื่อนที่ผ่านเท่ากับ ½ ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากจำนวนครั้งของการเคลื่อนที่ผ่านในแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร สามารถนำมากำหนดทิศทางการเคลื่อนที่และหัวตัวอักษรได้โดยอาศัยคุณสมบัติดังต่อไปนี้

<u>คุณสมบัติที่ 1</u> บล็อกที่เคลื่อนที่ผ่านเพียง ½ ครั้ง แสดงว่าบล็อกดังกล่าวมีจุดแยกของเส้นโครงร่างภาพภายในบล็อก ซึ่งอาจจะเป็นจุดแยกหัวตัวอักษรหรือจุดแยกที่เกิดจากจุดปลายอื่นตัดผ่าน

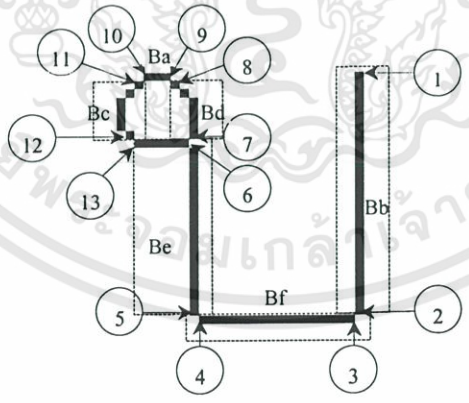
<u>คุณสมบัติที่ 2</u> บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมทั้งหมดเท่ากับ 1 ครั้ง แสดงว่าบล็อกดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มบล็อกเส้นโครงร่างหัวตัวอักษร

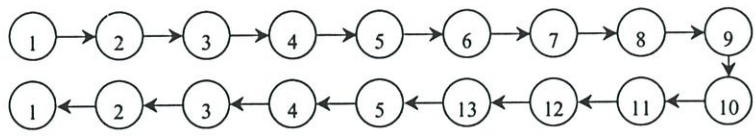
<u>คุณสมบัติที่ 3</u> บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมทั้งหมดเท่ากับ $1\frac{1}{2}$ ครั้ง แสดงว่าบล็อกดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มบล็อกเส้นโครงร่างหัวตัวอักษรที่มีจุดแยกหัวตัวอักษรอยู่ภายในด้วย และจะเกิดจากบล็อกที่มีดีกรี (1,2) และ (2,1) เท่านั้น จะถูกพิจารณาเป็นบล็อกหัวตัวอักษร ส่วนจุดแยกหัวตัวอักษรที่อยู่ภายใน จะถูกนำไปใช้ในการพิจารณาจำแนกตัวอักษรกลุ่มคล้าย

<u>คุณสมบัติที่ 4</u> บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมทั้งหมดตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป จะถูกนำมาพิจารณาทิศทางการเคลื่อนที่ โดยมีมุมองศา $\theta = \tan^{-1} m$ เมื่อ m คือ ความชันของเส้นโครงร่างภายในบล็อก จากจุดผ่านเข้าบล็อกไปยังจุดผ่านออกจากบล็อก และแทนค่ามุม $\theta$ ด้วยรหัสทิศทางดังตารางที่ 3.1

<u>คุณสมบัติที่ 5</u> บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่าน 1 ครั้งติดต่อกัน 2 ครั้ง แสดงว่าบล็อกดังกล่าวมีจุดปลายอยู่ภายในบล็อก

จากเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรในรูปที่ 3.9 และ 3.10 สามารถแสดงตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “บ” และ “น” ได้ดังต่อไปนี้




**รูปที่ 3.12** ลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “บ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 สามารถเขียนลำดับการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างผ่านแต่ละบล็อกและหารหัสทิศทางได้ดังนี้

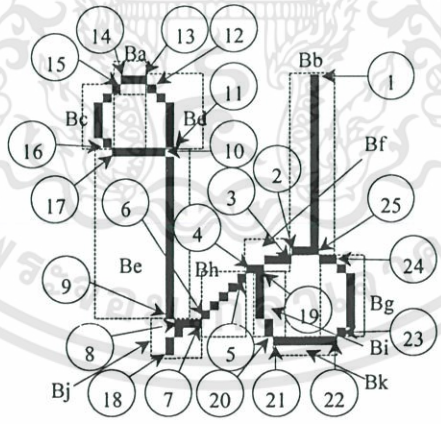
$$\text{Block Following} = Bb \rightarrow Bf \rightarrow Be \rightarrow Bd \rightarrow Ba \rightarrow Bc \rightarrow Be \rightarrow Bf \rightarrow Bb \quad (3.4)$$

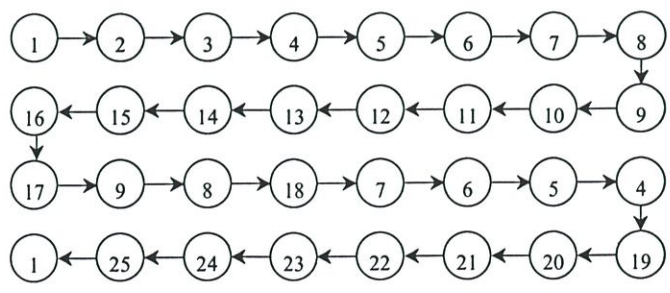
$$= 2Bb \rightarrow 2Bf \rightarrow 2Be \rightarrow \underbrace{Bd \rightarrow Ba \rightarrow Bc}_{\text{(หัวตัวอักษร)}} \quad (3.5)$$

$$= \theta_{Bb} \rightarrow \theta_{Bf} \rightarrow \theta_{Be} \rightarrow H1 \quad (3.6)$$

$$\text{D-Code “ป”} = (\sim c) \rightarrow (\sim a) \rightarrow c \rightarrow H1 \quad (3.7)$$

จากสมการ (3.4) แสดงลำดับการเคลื่อนที่ผ่านในแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ป” เมื่อ “→” แทนการเชื่อมต่อทิศทาง โดยมีจุดเริ่มต้นที่จุดปลายของบล็อก Bb ซึ่งมีบล็อกดีกรี (0,1) ผ่านไปยังบล็อก Bf, Be, Bd, Ba, Bc และวกกลับมายังบล็อก Be, Bf และ Bb ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นอีกครั้ง สมการ (3.5) แสดงจำนวนครั้งรวมที่เคลื่อนที่ผ่านในแต่ละบล็อก ซึ่งบล็อก Bd, Ba และ Bc เป็นกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษร โดยมีบล็อก Be ซึ่งมีจำนวนครั้งรวมของการเคลื่อนที่ผ่านเท่ากับ 2 และเป็นบล็อกติดต่อกับกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษรเป็นบล็อกจุดแยกหัวตัวอักษรที่มีทิศทางเคลื่อนที่ขึ้นหรือทิศทาง c เข้าหาหัวตัวอักษร H1 สมการ (3.6) มุมองศาการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อก และสมการ (3.7) แทนมุมองศาการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกด้วยรหัสทิศทางหรือ D-Code 8 ทิศทาง




**รูปที่ 3.13** ลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “น”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Following = Bb→Bf→Bh→½Bj→Be→Bd→Ba→Bc→Be→Bj→Bj→Bh→
½Bf→Bi→Bk→Bg→Bb (3.8)

= 2Bb→1½Bf→2Bh→2½Bj→2Be→Bd→Ba→Bc→Bi→Bk→Bg (3.9)
(หัวตัวอักษร)
(หัวตัวอักษร)

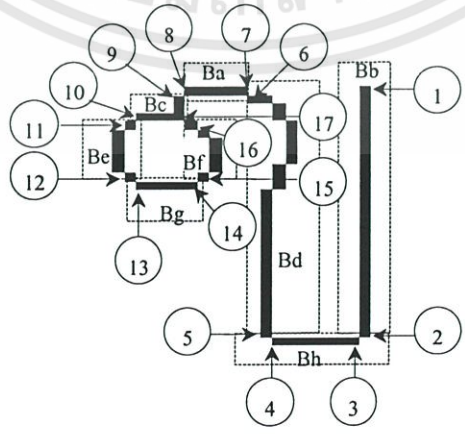
$= \theta_{Bb} \rightarrow H1 \rightarrow \theta_{Bh} \rightarrow \theta_{Bj} \rightarrow \theta_{Be} \rightarrow H2$ (3.10)

D-Code "น" = (~c)→H1→ (~b)→ (~a)→c→H2 (3.11)

จากสมการ (3.8) แสดงลำดับการเคลื่อนที่ผ่านในแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "น" โดยมีจุดเริ่มต้นที่จุดปลายของบล็อก Bb ซึ่งมีบล็อกดีกรี (0,2) ผ่านไปยังบล็อก Bf, Bh, Bj, Be, Bd, Ba, Bc, Be, Bj, Bh, Bi, Bf, Bk, Bg และวกกลับมายังบล็อก Bb ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นอีกครั้ง สมการ (3.9) แสดงจำนวนครั้งรวมที่เคลื่อนที่ผ่านในแต่ละบล็อก ซึ่งบล็อก Bd, Ba และ Bc เป็นกลุ่มบล็อกของหัวตัวอักษร H2 โดยมีบล็อก Be ซึ่งมีจำนวนครั้งรวมของการเคลื่อนที่ผ่านเท่ากับ 2 และเป็นบล็อกติดต่อกับกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษรเป็นบล็อกจุดแยกหัวตัวอักษรที่มีทิศทางเคลื่อนที่ขึ้นหรือทิศทาง c เข้าหาหัวตัวอักษร H2 และบล็อก Bi, Bk และ Bg เป็นกลุ่มบล็อกของหัวตัวอักษร H1 โดยมีบล็อก Bf ซึ่งมีจำนวนครั้งรวมของการเคลื่อนที่ผ่านเท่ากับ 1½ และติดต่อกับกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษรเป็นบล็อกจุดแยกหัวตัวอักษร

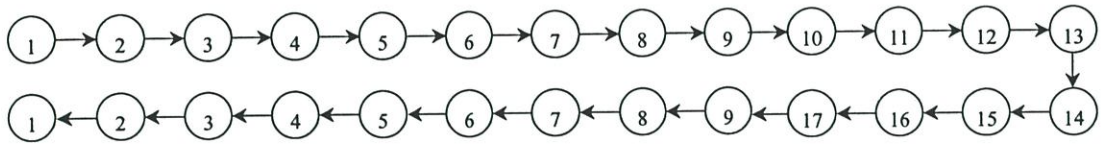
จากการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถแสดงตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร โดยใช้จุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางที่จุดปลายแรกของบล็อกดีกรี (0,1), (1,0), (0,2) และในกรณีที่เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรไม่มีจุดปลายเริ่มต้นได้ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ข"




**รูปที่ 3.14** ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ข"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.14** ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ข” (ต่อ)

$$\text{Block Following} = Bb \rightarrow Bh \rightarrow Bd \rightarrow Ba \rightarrow Bc \rightarrow Be \rightarrow Bg \rightarrow Bf \rightarrow Bc \rightarrow Ba \rightarrow Bd \rightarrow Bh \rightarrow Bb$$

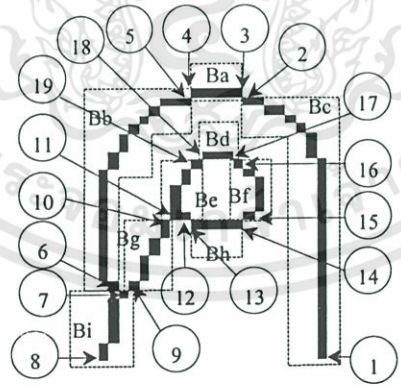
$$= 2Bb \rightarrow 2Bh \rightarrow 2Bd \rightarrow 2Ba \rightarrow 2Bc \rightarrow \underbrace{Be \rightarrow Bg \rightarrow Bf}_{\text{(หัวตัวอักษร)}}$$

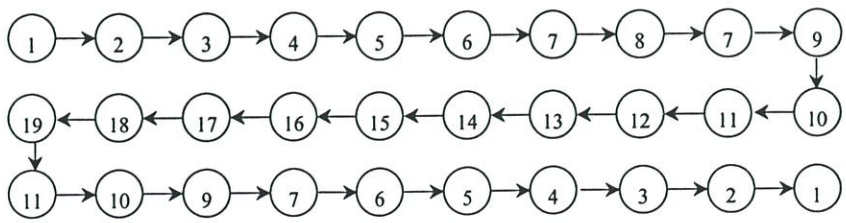
$$= \theta_{Bb} \rightarrow \theta_{Bh} \rightarrow \theta_{Bd} \rightarrow \theta_{Ba} \rightarrow H1$$

$$\text{D-Code “ข”} = (\sim c) \rightarrow (\sim a) \rightarrow c \rightarrow (\sim a) \rightarrow (\sim b) \rightarrow H1$$

รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ข” ที่ประกอบด้วย 8 บล็อก คือ บล็อก Ba-Bh โดยมีจุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างที่บล็อก Bb ซึ่งมีบล็อกดีกรี (0,1) บล็อก Be, Bg และ Bf เป็นกลุ่มบล็อกส่วนประกอบหัวตัวอักษร โดยมีจุดแยกหัวตัวอักษรที่บล็อก Bc ซึ่งเป็นบล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมเท่ากับ 2 ครั้ง และเป็นบล็อกติดต่อกับกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษรที่มีทิศทางเคลื่อนที่ลงเข้าหาหัวตัวอักษร H1

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ค”




**รูปที่ 3.15** ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ค”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Following = Bc→Ba→Bb→Bi→Bi→Bg→$1\frac{1}{2}$Be→Bh→Bf→Bd→Be→Bg→$1\frac{1}{2}$Bi→Bb→Ba→Bc

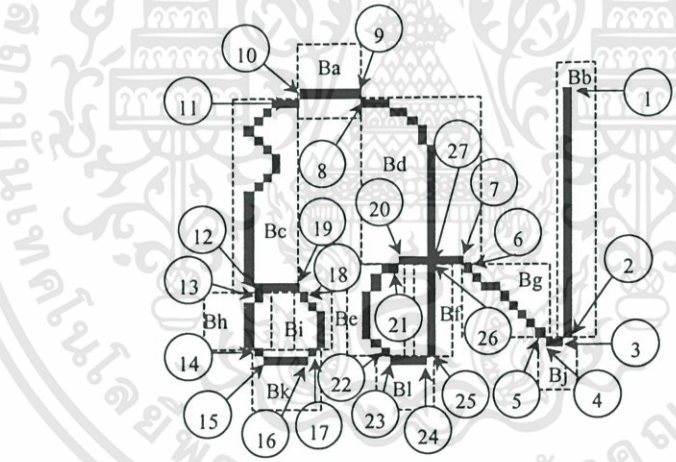
= 2Bc→2Ba→2Bb→$2\frac{1}{2}$Bi→2Bg→$1\frac{1}{2}$Be→Bh→Bf→Bd
(หัวตัวอักษร)

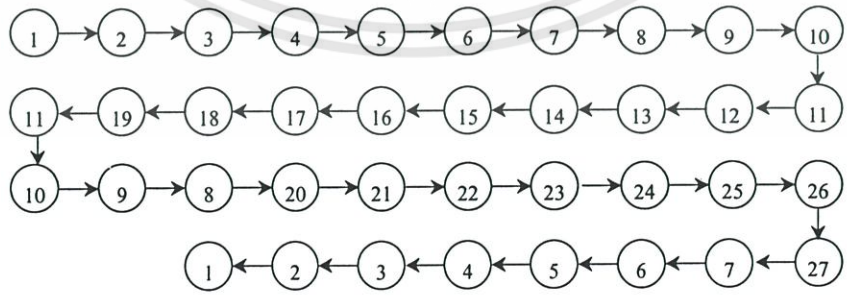
$= \theta_{Bc} \rightarrow \theta_{Ba} \rightarrow \theta_{Bb} \rightarrow \theta_{Bi} \rightarrow \theta_{Bg} \rightarrow H1$

D-Code "ค" = c→ (~a) → (~c) → (~a) →b→H1

รูปที่ 3.15 แสดงการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ค" ที่ประกอบด้วย 9 บล็อกคือ บล็อก Ba-Bi โดยมีจุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างที่บล็อก Bc มีบล็อกดีกรี (1,0) และมีบล็อก Bh, Bf, Bd เป็นกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษร H1 โดยมีบล็อก Be เป็นบล็อกจุดแยกหัวตัวอักษร ซึ่งเป็นบล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมเท่ากับ $1\frac{1}{2}$ ครั้ง เป็นบล็อกติดต่อกับกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษร

ตัวอย่างที่ 3 ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ฆ"



**รูปที่ 3.16** ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ฆ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Following = Bb→Bj→Bg→Bd→Ba→Bc→Bh→Bk→Bi→Bc→Ba→Bd→Be→Bl→Bf→½Bd→Bg→Bj→Bb

= 2Bb→2Bj→2Bg→2½Bd→2Ba→2Bc→Bh→Bk→Bi→Be→Bl→Bf

(หัวตัวอักษร)

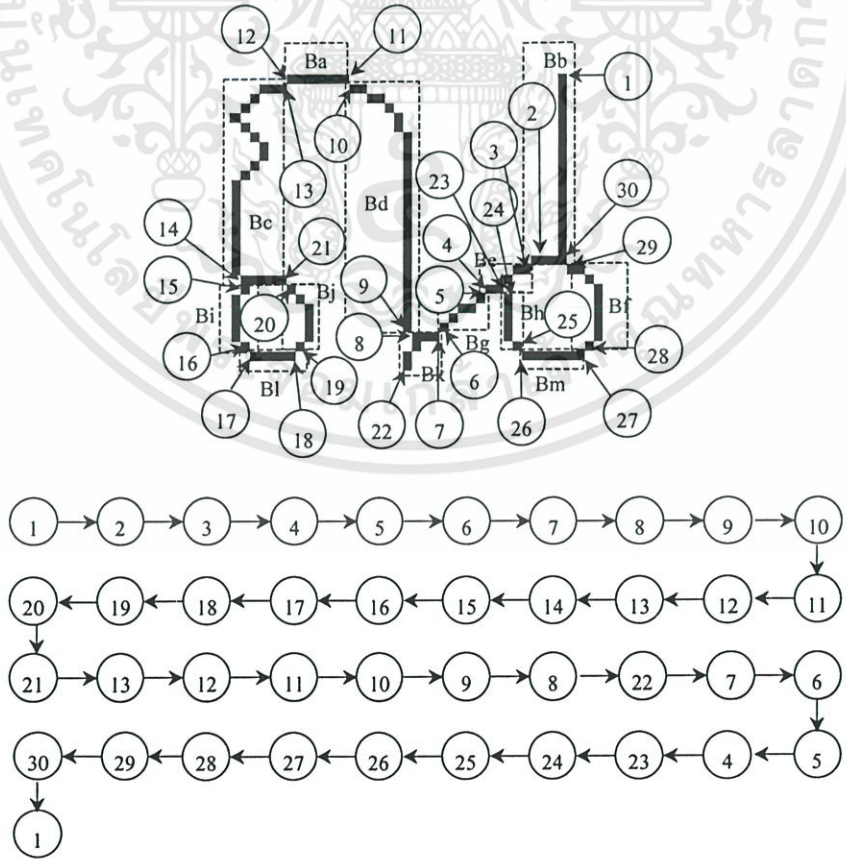
(หัวตัวอักษร)

$= \theta_{Bb} \rightarrow \theta_{Bj} \rightarrow \theta_{Bg} \rightarrow H1 \rightarrow \theta_{Bd} \rightarrow \theta_{Ba} \rightarrow \theta_{Bc} \rightarrow H2$

D-Code "ฌ" = (~c)→(~a)→d→H1→c→(~a)→(~c)→H2

รูปที่ 3.16 แสดงตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ฌ" ที่ประกอบด้วย 12 บล็อก คือ บล็อก Ba-Bl โดยมีจุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างที่บล็อก Bb มีบล็อกดีกรี (0,1) และมีบล็อก Be, Bl, Bf เป็นกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษร H1 โดยมีบล็อก Bd เป็นบล็อกจุดแยกหัวตัวอักษร H1 ซึ่งเป็นบล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมเท่ากับ 2½ ครั้ง และบล็อก Bh, Bk, Bi เป็นกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษร H2 โดยมีบล็อก Bc เป็นบล็อกจุดแยกหัวตัวอักษร H2 และแสดงทิศทางการเคลื่อนที่เข้าหาหัวตัวอักษร

ตัวอย่างที่ 4 ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ฌ"




**รูปที่ 3.17** ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ฌ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Following = Bb→Be→Bg→$\frac{1}{2}$Bk→Bd→Ba→Bc→Bi→Bl→Bj→Bc→Ba→Bd→Bk→Bk→

Bg→$\frac{1}{2}$Be→Bh→Bm→Bf→Bb

= 2Bb→1$\frac{1}{2}$Be→2Bg→2$\frac{1}{2}$Bk→2Bd→2Ba→2Bc→Bi→Bl→Bj→Bh→Bm→Bf

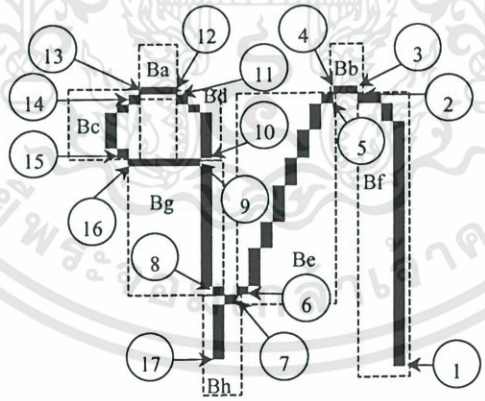
(หัวตัวอักษร) (หัวตัวอักษร)

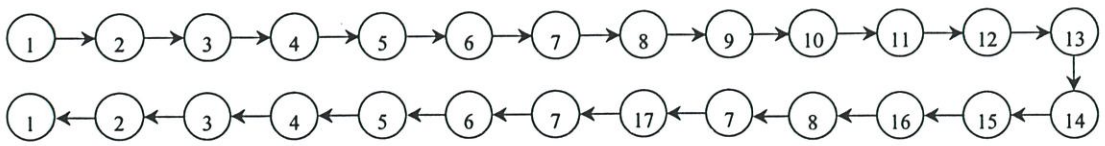
= $\theta_{Bb} \rightarrow H1 \rightarrow \theta_{Bg} \rightarrow \theta_{Bk} \rightarrow \theta_{Bd} \rightarrow \theta_{Ba} \rightarrow \theta_{Bc} \rightarrow H2$

D-Code "ณ" = (~c)→H1→ (~b)→ (~a)→c→ (~a)→ (~c)→H2

รูปที่ 3.17 แสดงตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ณ" ที่ประกอบด้วย 13 บล็อกคือ บล็อก Ba-Bm ซึ่งไม่มีจุดปลายจากบล็อกดีกรี (0,1) หรือ (1,0) จึงใช้จุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างที่บล็อก Bb ซึ่งมีบล็อกดีกรี (0,2) แทน และมีบล็อก Bh, Bm, Bf เป็นกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษร H1 โดยมีบล็อก Be ซึ่งมีจำนวนครั้งของการเคลื่อนที่ผ่าน 1$\frac{1}{2}$ ครั้ง เป็นบล็อกจุดแยกหัวตัวอักษร H1 มีบล็อก Bi, Bl, Bj เป็นกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษร H2 โดยมีบล็อก Bc ซึ่งเป็นบล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมเท่ากับ 2 ครั้ง และเป็นบลล็อกติดต่อกับกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษรเป็นบล็อกจุดแยกหัวตัวอักษร H2 ที่มีทิศทางลงเข้าหาหัวตัวอักษร

ตัวอย่างที่ 5 ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ท"




**รูปที่ 3.18** ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ท"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Following = Bf→Bb→Be→½Bh→Bg→Bd→Ba→Bc→Bg→Bh→Bh→Be→Bb→Bf

= 2Bf→2Bb→2Be→2½Bh→2Bg→Bd→Ba→Bc

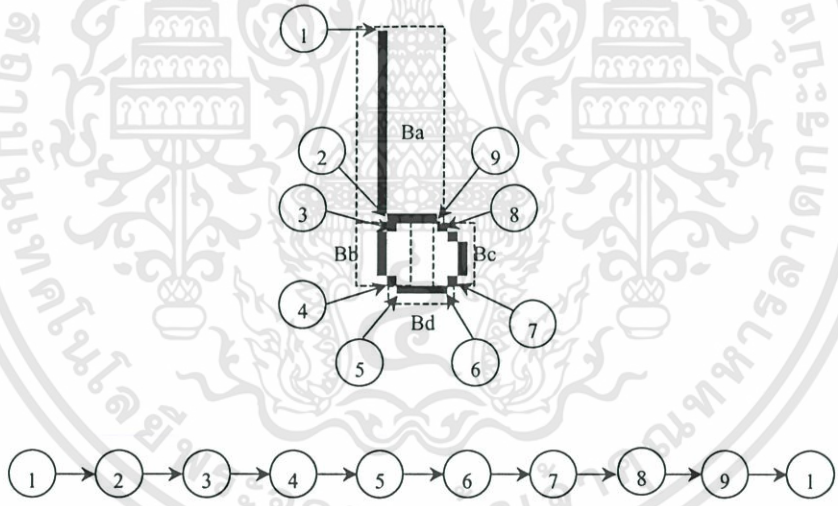
(หัวตัวอักษร)

$= \theta_{Bf} \rightarrow \theta_{Bb} \rightarrow \theta_{Be} \rightarrow \theta_{Bh} \rightarrow \theta_{Bg} \rightarrow H1$

D-Code "ท" = c→ (~a)→ (~b)→ (~a)→c→H1

รูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ท" ที่ประกอบด้วย 8 บล็อก คือ บล็อก Ba-Bh และมีจุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างที่บล็อก Bf ซึ่งมีบล็อกดีกรี (1,0) มีบล็อก Bd, Ba, Bc เป็นกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษร H1 โดยมีบล็อก Bg ซึ่งเป็นบล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมเท่ากับ 2 ครั้ง และเป็นบล็อกติดต่อกับกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษรเป็นบล็อกจุดแยกหัวตัวอักษร ที่มีทิศทางขึ้นเข้าหาหัวตัวอักษร

ตัวอย่างที่ 6 ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "เ"




**รูปที่ 3.19** ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "เ"

Block Following = Ba→Bb→Bd→Bc→Ba

= 2Ba→Bb→Bd→Bc

(หัวตัวอักษร)

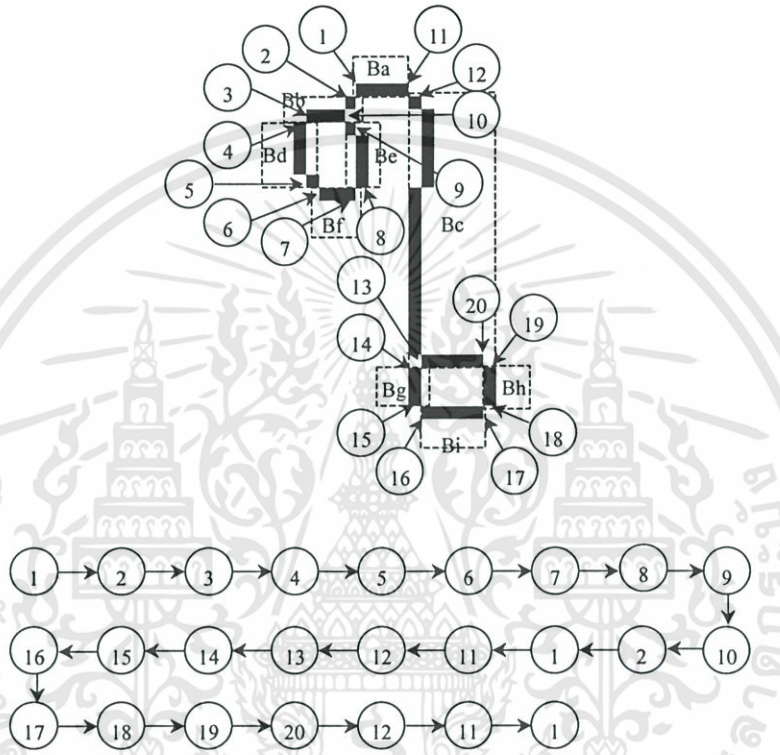
$= \theta_{Ba} \rightarrow H1$

D-Code "เ" = (~c)→H1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.19 แสดงตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ เ” ที่ประกอบด้วย 4 บล็อก คือ บล็อก Ba-Bd และมีจุดปลายเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างที่บล็อก Ba ซึ่งมีบล็อกดีกรี (0,2) โดยมีบล็อก Bc, Bd, Bb เป็นกลุ่มบล็อกหัวตัวอักษร

<u>ตัวอย่างที่ 7</u> ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ใ”




**รูปที่ 3.20** ตัวอย่างลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ใ”

Block Following = Bb→Bd→Bf→Be→Bb→Ba→Bc→Bg→Bi→Bh→Bc→Ba

= 2Bb→<u>Bd→Bf→Be</u>→2Ba→2Bc→<u>Bg→Bi→Bh</u>

(หัวตัวอักษร) (หัวตัวอักษร)

$= \theta_{Bb} \rightarrow H1 \rightarrow \theta_{Ba} \rightarrow \theta_{Bc} \rightarrow H2$

D-Code “ใ” = (~b)→H1→a→ (~c)→H2

= H1→b→a→ (~c)→H2

รูปที่ 3.19 แสดงตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ ใ” ที่ประกอบด้วย 9 บล็อก คือ บล็อก Ba-Bi และไม่มีจุดปลายเริ่มต้นในการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง จะใช้จุดเริ่มต้นที่จุดเริ่มต้นรันแรกของบล็อกแรกที่ค้นพบหรือจุดเริ่มต้นของรันแรกของบล็อก Ba เป็นจุดเริ่มต้นแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การวิเคราะห์ภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่หาได้จากกระบวนการทำภาพบางและกำจัดส่วนเกินแล้ว จะถูกนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของลักษณะโครงสร้าง เพื่อนำมากำหนดรหัสแทนภาพตัวอักษร ในการจำแนกภาพตัวอักษรแต่ละตัวในการรู้จำภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย [11] ดังต่อไปนี้

## 4.1 การแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ (Rough Classification)

เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรแต่ละตัวจะถูกนำมาจำแนกกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ ตามจำนวนบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม (Class) ใหญ่ ๆ ซึ่งแต่ละกลุ่มประกอบด้วยตัวอักษรภาษาไทยดังแสดงในตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบตามจำนวนบล็อกของเส้นโครงร่าง

| กลุ่มที่ (Class) | จำนวนบล็อก (nB) | ตัวอักษร (CrodiaUPC) |
|---|---|---|
| C1 | NB≤6 | ก ง ถ บ ป ภ ย ร ว ฤ า เ โ ิ ี ึ ี ่ ้ ๊ ั ์ ุ ู ำ |
| C2 | 6<nB≤9 | ข ค จ ญ ด ท ธ อ ไ ๆ ็ ื ื |
| C3 | 9<nB≤12 | ช ฐ ต น ผ ฝ พ ฟ ม ล ศ ห ๆ ็ ็ |
| C4 | NB>12 | ฆ ฉ ซ ฌ ฎ ฏ ฑ ฒ ณ ษ ส ฬ ฮ |

## 4.2 การแบ่งตัวอักษรอย่างละเอียด (Fine Classification)

จากการแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ ตามจำนวนบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรในตารางที่ 4.1 แล้วนั้น ตัวอักษรในแต่ละกลุ่มย่อยจะถูกนำมาจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ด้วยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรดังแสดงในตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างฟอนต์ CrodiaUPC

| กลุ่มที่ | ตัวอักษร | ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง (D-Code) | ตัวอักษรคล้าย |
|---|---|---|---|
| C1 | ก | c→a→ (~c) | |
| | ง | (~d) →a→c→H | |
| | ถ | c→ (~a) → (~c) →H | (ภ, ฤ)* |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างฟอนต์ CrodiaUPC (ต่อ)

| กลุ่มที่ | ตัวอักษร | ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง | ตัวอักษรคล้าย |
|---|---|---|---|
| C1 | บ | (~c)→ (~a)→c→H | (ป, ย)* |
| | ป | (~c)→ (~a)→c→H | (บ, ย)* |
| | ภ | c→ (~a)→ (~c→H | (ถ, ฤ)* |
| | ย | (~c)→ (~a)→c→H | (บ, ป)* |
| | ร | d→ (~a)→ (~c)→H | (ธ, โ)** |
| | ว | b→a→ (~c)→H | ใ** |
| | ฤ | c→ (~a)→ (~c)→H | (ถ, ภ)* |
| | เ | (~c)→H | กี* |
| | า | b→a→ (~c) | |
| | โ | d→ (~a)→ (~c)→H | (ธ, ร)** |
| | กิ | H | กำ* |
| | กี | (~c)→H | เ* |
| | ก่ | (~c) | ก้* |
| | ก้ | (~b)→(~a)→ c→ H | |
| | ก๋ | (~c) | ก่* |
| | กั | (~b)→ (~a)→ H | |
| | ก์ | (~b)→ H | |
| | กุ | c→H | |
| | กู | (~c)→ (~a)→c→H | (บ, ป, ย)* |
| | กำ | H | กิ* |
| C2 | ข | (~c)→ (~a)→c→ (~a)→ (~c)→H | ญ* |
| | ค | c→ (~a)→ (~c)→a→b→H | ด* |
| | จ | b→a→ (~c)→ (~a)→d→H | อ* |
| | ญ | (~c)→ (~a)→c→ (~a)→ (~c)→H | ข* |
| | ด | c→ (~a)→ (~c)→a→b→H | ค* |
| | ท | c→ (~a)→ (~b)→ (~a)→c→H | ฯ** |
| | ธ | d→ (~ a)→ (~c)→H | (โ, ร)** |
| | อ | b→a→ (~c)→ (~a)→d→H | จ* |
| | ไ | (~d)→a→b→a→ (~c)→H | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างฟอนต์ CrodiaUPC (ต่อ)

| กลุ่มที่ | ตัวอักษร | ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง | ตัวอักษรคล้าย |
|---|---|---|---|
| C2 | ใ | H→b→a→ (~c) →H | ว** |
| | ฯ | c→ (~a) → (~b) → (~a) →c→H | ท** |
| | กึ | H→H | |
| | กื | (~c) →H→ c | |
| C3 | ช | (~d) →H→d→ (~a) → (~b) →H | |
| | ฐ | (~b) →H→ (~d) →a→c→H | |
| | ต | c→ (~a) → (~b) → (~a) →d→ (~a) → (~c) →a→b→H | |
| | น | (~c) →H→ (~b) → (~a) →c→H | |
| | ผ | (~c) → (~a) →d→ (~a) → (~b) → (~a) →c→H | (ฝ, พ, ฟ)* |
| | ฝ | (~c) → (~a) →d→ (~a) → (~b) → (~a) →c→H | (ผ, พ, ฟ)* |
| | พ | (~c) → (~a) →d→ (~a) → (~b) → (~a) →c→H | (ผ, ฝ, ฟ)* |
| | ฟ | (~c) → (~a) →d→ (~a) → (~b) → (~a) →c→H | (ผ, ฝ, พ)* |
| | ม | (~c) → (~a) →d→H→c→H | |
| | ล | b→a→ (~c) → (~a) →d→ (~a) → (~c) →H | |
| | ศ | (~b) →H→ (~c) → (~c) | |
| | ห | c→H→ (~b) → (~a) →c→H | |
| | ๆ | c→ (~a) → (~b) → (~a) →d→ (~a) → (~b) →H | |
| | กั | (~b) → (~a) →d→ (~a) → (~b) → (~a) →d→ (~a) → (~c) → H | |
| | กิ | (~b) → a→b→ a → (~d) → H | |
| C4 | ฆ | (~c) → (~a) →d→H→c→ (~a) → (~b) → (~a) →d→ (~a) → c→H | ฒ** |
| | ฉ | b→a→ (~c) →H→ (~b) → (~a) →c→H | |
| | ซ | (~b) →H→d→ (~a) → (~b) → (~a) →d→ (~a) →c→H | |
| | ฌ | (~c) → (~a) →d→H→c→ (~a) → (~c) →H | |
| | ฎ | (~b) →H→ (~d) →a→c→ (~a) → (~c) →H | ฎ** |
| | ฏ | (~b) →H→ (~d) →a→b→a→c→ (~a) → (~c) →H | ฎ** |
| | ฑ | c→ (~a) → (~b) → (~a) →c→ (~a) → (~b) → (~a) →d→ (~a) → (~c) →H | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** ตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างฟอนต์ CrodiaUPC (ต่อ)

| กลุ่มที่ | ตัวอักษร | ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง | ตัวอักษรคล้าย |
|---|---|---|---|
| C4 | ฒ | (~c)→ (~a)→d→H→c→ (~a)→ (~b)→ (~a)→d→ (~a)→ (~c)→a→b→H | ฒ** |
| | ณ | (~c)→H→ (~b)→ (~a)→c→ (~a)→ (~c)→H | |
| | ษ | (~c)→ (~a)→H→ (~c)→ (~a)→c→H | |
| | ส | (~b)→H→d→ (~a)→ (~b)→ (~a)→ (~c)→H→ (~c) | |
| | ฬ | (~b)→H→ (~c)→ (~a)→d→ (~a)→ (~b)→ (~a)→c→H | |
| | ฮ | (~b)→H→ (~c)→(~a)→c→H | |

* กลุ่มคล้ายที่เกิดขึ้นทุกฟอนต์

** กลุ่มคล้ายที่เกิดขึ้นบางฟอนต์

## 4.3 การจำแนกตัวอักษรที่คล้ายกัน

เนื่องจากตัวอักษรภาษาไทยมีความแตกต่างกันถึง 3 ระดับ และมีความละเอียดอ่อน ในการลากเส้นเชื่อมต่อกันเป็นตัวอักษร ทำให้การแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรภาษาไทยด้วยจำนวนบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร และการจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียดด้วยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร ดังแสดงในตารางที่ 4.2 นั้น ยังมีตัวอักษรบางตัวในแต่ละกลุ่มย่อยมีทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มลักษณะการคล้ายของตัวอักษรได้ 2 กลุ่ม (Group) คือ กลุ่มคล้ายที่เกิดขึ้นทุกฟอนต์และกลุ่มคล้ายที่เกิดขึ้นบางฟอนต์ดังตารางที่ 4.3 จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการพิเศษเพิ่มขึ้นในการจำแนกตัวอักษรออกจากกลุ่มตัวอักษรคล้ายเหล่านั้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบการรู้จำ

**ตารางที่ 4.3** กลุ่มตัวอักษรที่มีลักษณะคล้ายกัน

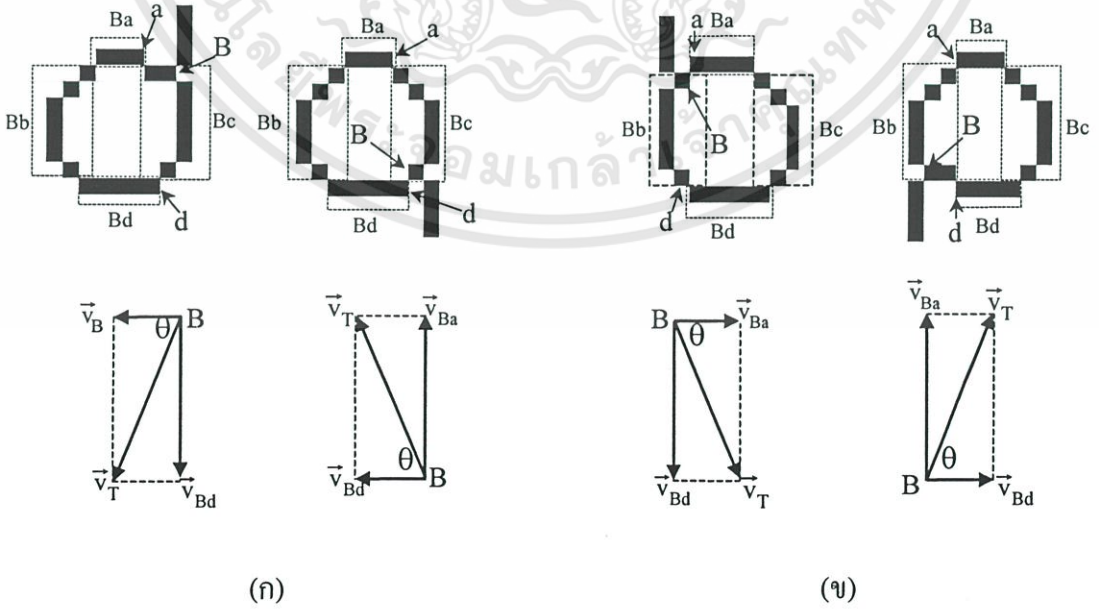
| กลุ่มคล้ายที่ | ลักษณะการคล้าย | กลุ่มย่อย | ตัวอักษรคล้าย |
|---|---|---|---|
| G1 | ทุกฟอนต์ | C1 | "ถ, ภ, ฤ" และ "บ, ป, ย, สระอู" และ "สระอิ, สระอำ" และ "สระอี, เ" และ "ไม้เอก, จัตวา" |
| | | C2 | "ข, ญ" และ "ค, ด" และ "จ, อ" |
| | | C3 | "ผ, ฝ, พ, ฟ" |
| G2 | บางฟอนต์ | C1-C2 | "ร, ธ, โ" และ "ว, ใ" |
| | | C2 | "ท, ฯ" |
| | | C4 | "ฆ,ฒ" และ "ฎ, ฏ" |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.3.1 การพิจารณาทิศทางหัวตัวอักษร (Direction of Head)**

การพิจารณาทิศทางหัวตัวอักษรจะถูกนำมาจำแนกตัวอักษรในกลุ่มคล้าย G1 และ G2 โดยในกลุ่มคล้าย G1 เป็นการแยกภาพตัวอักษร “ภ” ออกจาก “ถ, ฤ” และภาพตัวอักษร “ย” ออกจากภาพตัวอักษร “บ, ป, สระอู” ในกลุ่มย่อย C1 หรือแยกภาพตัวอักษร “ค” ออกจาก “ด” หรือแยกภาพตัวอักษร “จ” ออกจาก “อ”ในกลุ่มย่อย C2 หรือแยกภาพตัวอักษร “ผ, ฝ” ออกจาก “พ, ฟ” ในกลุ่มย่อย C3 เป็นต้นและในกลุ่มคล้าย G2 เป็นการแยกภาพตัวอักษร “ร” ออกจาก “ธ, โ” และแยกภาพตัวอักษร “ว” ออกจาก “ใ” เป็นต้น ซึ่งตัวอักษรกลุ่มคล้ายเหล่านี้ จะมีความแตกต่างกันเฉพาะในทิศทางการหันของหัวตัวอักษรเท่านั้น ดังนั้นในการที่จะแยกภาพตัวอักษรแต่ละตัวออกจากกลุ่มคล้ายเหล่านี้ได้นั้น จะต้องพิจารณาทิศทางของหัวตัวอักษรเป็นหลัก โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาหัวตัวอักษรใน 2 ทิศทาง คือ หัวหันซ้ายหรือหัวซ้าย (Left Head: Hl) ซึ่งได้แก่ ตัวอักษร “บ, ป, พ, ฟ, ร ,ด, ภ, ฦ, ว” และหัวหันขวาหรือหัวขวา (Right Head: Hr) ได้แก่ ตัวอักษร “ค, ถ, ธ, ผ, ฝ, ย, ฤ, โ, ใ” โดยจะเป็นการพิจารณาเวกเตอร์รวมที่จุดแยกหัวตัวอักษรไปยังบล็อกที่ติดต่อด้านบนหรือบล็อกดีกรีบนและบล็อกที่ติดต่อด้านล่างหรือบล็อกดีกรีล่างซึ่งแบ่งพิจารณาได้ 2 กรณี คือ

<u>กรณีที่ 1</u> เมื่อกลุ่มบล็อกเส้นโครงร่างหัวตัวอักษรมีบล็อกที่มีคุณสมบัติตามข้อ 3 ในหัวข้อที่ 3.5 จุดแยกจะเป็นจุดสิ้นสุดรันหรือเป็นจุดเริ่มต้นรัน ของรันเริ่มต้นบล็อกกรณีบล็อกดีกรี (2,1) หรือจุดแยกจะเป็นจุดสิ้นสุดรันหรือเป็นจุดเริ่มต้นรัน ของรันสิ้นสุดบล็อกกรณีบล็อกดีกรี (1,2) จากรูปที่ 4.1 เวกเตอร์จากจุดแยกหัวตัวอักษร (จุด B) ไปยังบล็อกที่เป็นส่วนประกอบของหัวตัวอักษรบล็อกดีกรีบนหรือบล็อกดีกรีล่างหรือจุด a และ d คือ $\vec{V}_{Ba}$ และ $\vec{V}_{Bd}$ ตามลำดับ

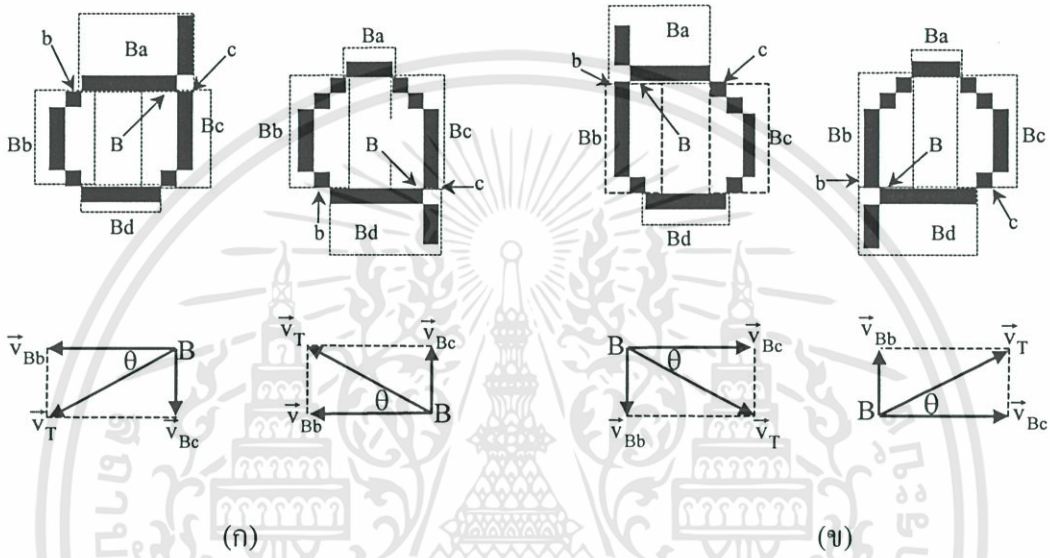



(ก) (ข)

**รูปที่ 4.1** ตัวอย่างการคำนวณทิศทางการหันของหัวตัวอักษรกรณีที่ 1 (ก) หัวหันซ้าย (ข) หัวหันขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 2</u> กลุ่มบล็อกเส้นโครงร่างหัวตัวอักษรไม่มีบล็อกที่มีคุณสมบัติตามข้อ 3 ในหัวข้อที่ 3.5 จุดแยกจะเป็นจุดเริ่มต้นรันหรือจุดสิ้นสุดรัน ของรันเริ่มต้นบล็อกกรณีทิศทางเคลื่อนที่ขึ้นเข้าหาหัวตัวอักษร หรือจุดแยกจะเป็นจุดเริ่มต้นรันหรือจุดสิ้นสุดรัน ของรันสิ้นสุดบล็อกกรณีทิศทางเคลื่อนที่ลงเข้าหาหัวตัวอักษรของบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร จากรูปที่ 4.2 เวกเตอร์จากจุดแยก (จุด B) ไปยังบล็อกที่เป็นส่วนประกอบของหัวตัวอักษรบล็อกดีกรีบนหรือบล็อกดีกรีล่าง หรือจุด b และ c คือ $\vec{V}_{Bb}$ และ $\vec{V}_{Bc}$ ตามลำดับ



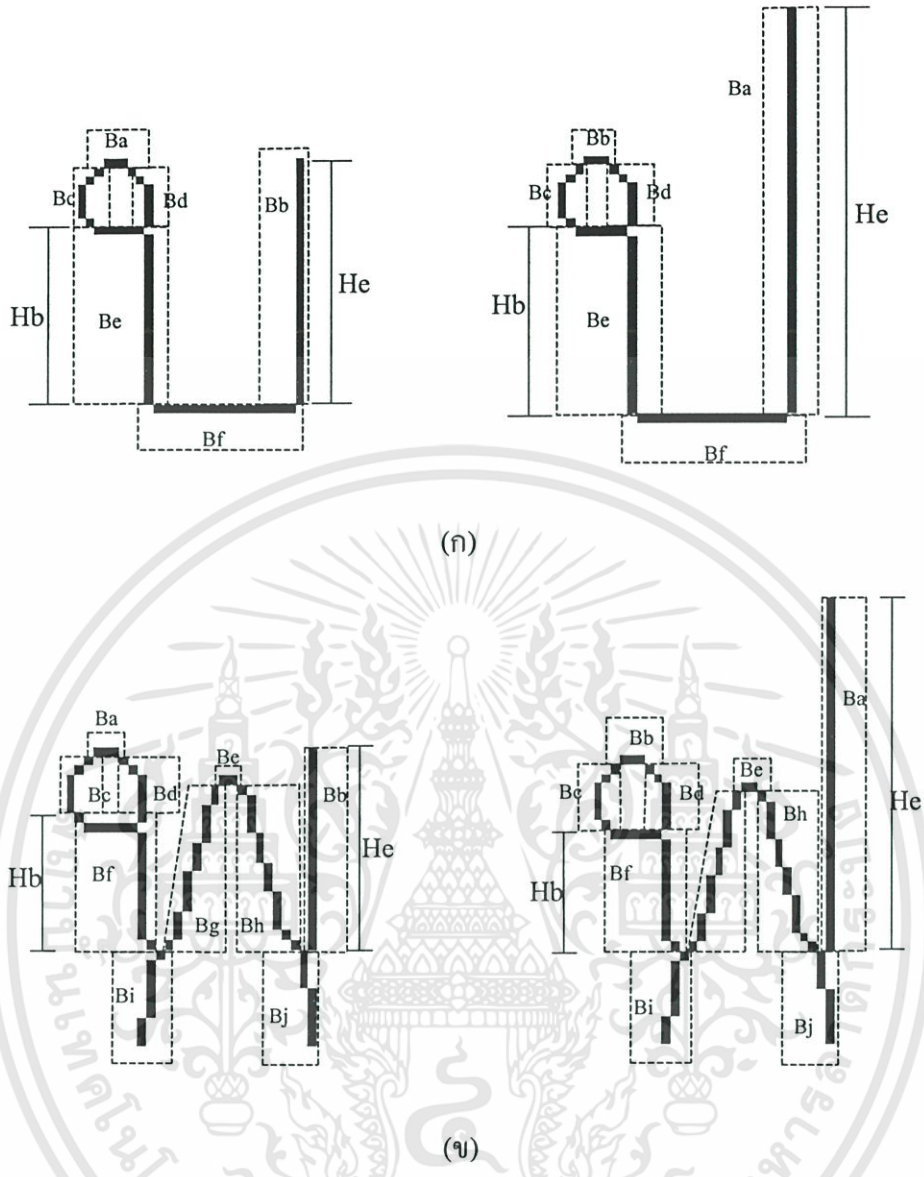

**รูปที่ 4.2** ตัวอย่างการคำนวณทิศทางการหันของหัวตัวอักษรกรณีที่ 2 (ก) หัวหันซ้าย (ข) หัวหันขวา

จากทั้ง 2 กรณี เวกเตอร์รวมหรือ $\vec{V}_T$ ที่หาได้จะมีทิศทาง $90<\theta<270$ สำหรับตัวอักษรหัวหันซ้ายดังรูปที่ 4.1 (ก) และ 4.2 (ก) และ $\vec{V}_T$ มีทิศทาง $90>\theta>270$ สำหรับตัวอักษรหัวหันขวาดังรูปที่ 4.1 (ข) และ 4.2 (ข)

### 4.3.2 การหาอัตราส่วนความสูงของบล็อก (Height Block Ratio)

การหาอัตราส่วนความสูงของบล็อกจะถูกนำมาใช้สำหรับจำแนกตัวอักษรกลุ่มคล้าย G1 เช่น แยกภาพตัวอักษร “บ” ออกจาก “ป” หรือแยกภาพตัวอักษร “พ” ออกจาก “ฟ” หรือแยกภาพตัวอักษร “ผ” ออกจาก “ฝ” หรือแยกภาพตัวอักษร “ถ” ออกจาก “ฤ” หรือแยกภาพตัวอักษร “ข” ออกจาก “ญ” และ “ฆ” ออกจาก “ฒ” ในกลุ่มคล้าย G2 เป็นต้น ซึ่งเป็นการหาอัตราส่วนความสูงของบล็อกจุดปลายเริ่มต้นกับบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร เป็นตัวกำหนดในการแยกตัวอักษรกลุ่มคล้ายทั้ง 2 กลุ่ม ดังรูปที่ 4.3 เมื่อ He คือ ความสูงของบล็อกจุดปลายเริ่มต้นและ Hb คือ ความสูงของบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.3** แสดงอัตราส่วนความสูงของบล็อกจุดปลายเริ่มต้นกับบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร

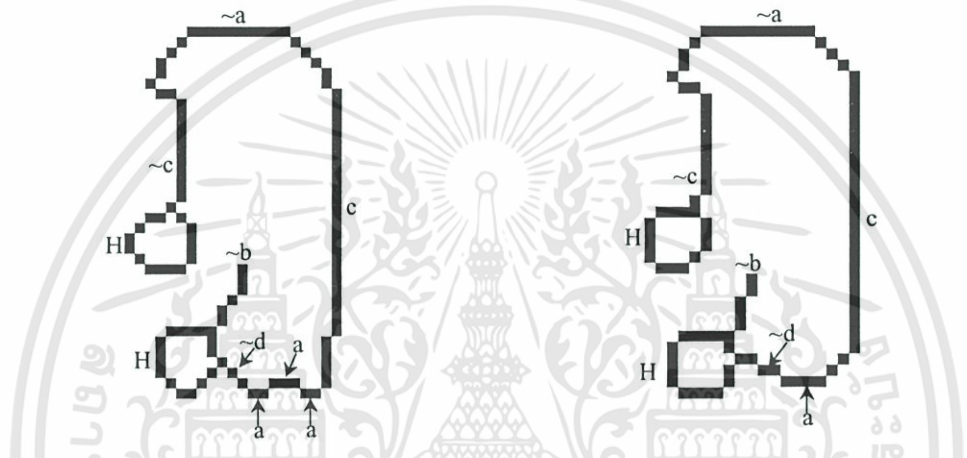
จากรูปที่ 4.3 (ก) แสดงการหาอัตราส่วนความสูงของบล็อกในการแยกภาพตัวอักษร “บ” และ “ป” ออกจากกัน โดยมีจุดปลายเริ่มต้นที่บล็อก Bb และ Ba ตามลำดับ และมีบล็อก Be เป็นบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร และรูปที่ 4.3 (ข) การแยกภาพตัวอักษร “พ” และ “ฟ” ออกจากกัน โดยมีจุดปลายเริ่มต้นที่บล็อก Bb และ Ba ตามลำดับ และบล็อก Bf เป็นบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษรเหมือนกัน

### 4.3.3 การพิจารณาจำนวนทิศทาง a ของการเคลื่อนที่ (a Direction)

การพิจารณาจำนวนทิศทาง a จะถูกนำมาใช้ในการแยกภาพตัวอักษรกลุ่มคล้าย G2 กลุ่มย่อย C4 คือ แยกภาพตัวอักษร “ฏ” ออกจาก “ฎ” บางฟอนต์ตัวอักษรที่มีรอยหยักแตกต่างที่ไม่ชัดเจน ซึ่งจะเป็นการพิจารณาทิศทางการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกก่อนการลดรหัสทิศทาง ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ (ก) แสดงเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ฎ” ที่มีทิศทางการเคลื่อนที่หรือรหัสทิศทาง D-Code ก่อนลดรหัสทิศทางเป็น (~b)+H+(~d)+a+a+a+c+(~a)+(~c)+H ซึ่งจะพบว่ามีรหัสทิศทาง a ที่ต่อเนื่องกันที่รอยหยักตัวอักษร “ฎ” 3 จำนวน แต่เมื่อลดรหัสทิศทางของภาพตัวอักษร “ฎ” แล้ว จะมีรหัสทิศทางการเคลื่อนที่เหมือนกับรหัสทิศทางของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ฎ” ในรูปที่ 4.4 (ข) คือ (~b)+H+(~d)+a+c+(~a)+(~c)+H ดังนั้นในการวิเคราะห์การรู้จำเมื่อผลของการวิเคราะห์ได้ตัวอักษร “ฎ” จะต้องตรวจสอบจำนวนทิศทางการเคลื่อนที่ a ก่อนการลดรหัสทิศทางอีกครั้งหนึ่ง ถ้ามีจำนวนมากกว่า 1 แสดงว่าเป็นภาพตัวอักษร “ฎ”

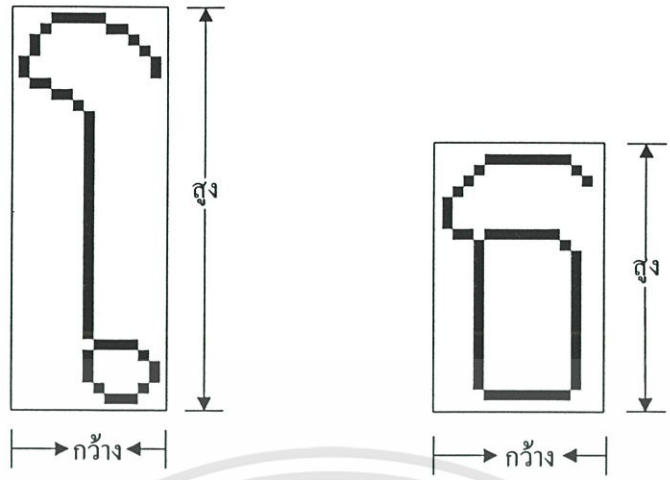



**รูปที่ 4.4** รหัสทิศทางการเคลื่อนที่แตกต่างก่อนการลดรหัสของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร (ก) “ฎ” และ (ข) “ฎ”

### 4.3.4 การพิจารณาอัตราส่วนของตัวอักษร (Character Ratio)

การพิจารณาอัตราส่วนของตัวอักษรเป็นการพิจารณาความสูงของตัวอักษรต่อความกว้างของตัวอักษร ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการจำแนกภาพตัวอักษร “โ” ออกจาก “ธ” ของบางฟอนต์ตัวอักษรดังรูปที่ 5.5 เมื่อทั้งสองตัวอักษรมีรหัสทิศทางการเคลื่อนที่เหมือนกันคือ d+(~a)+(~c)+H มีทิศทางการหันของหัวตัวอักษรหันซ้ายเหมือนกัน และมีอัตราส่วนความสูงของบล็อกเริ่มต้นกับบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษรไกล้เคียงกัน โดยในการพิจารณาอัตราส่วนของตัวอักษรนั้น ถ้าอัตราส่วนของตัวอักษรมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ($\geq 2$) แสดงว่าเป็นภาพตัวอักษร “โ” และถ้าน้อยกว่าแสดงว่าเป็นภาพตัวอักษร “ธ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




อัตราส่วนของตัวอักษร=สูง/กว้าง

**รูปที่ 4.5** การหาอัตราส่วนของตัวอักษรในการแยกภาพตัวอักษร “โ” กับ “ธ”

### 4.3.5 การพิจารณาระดับตัวอักษร (Character Level)

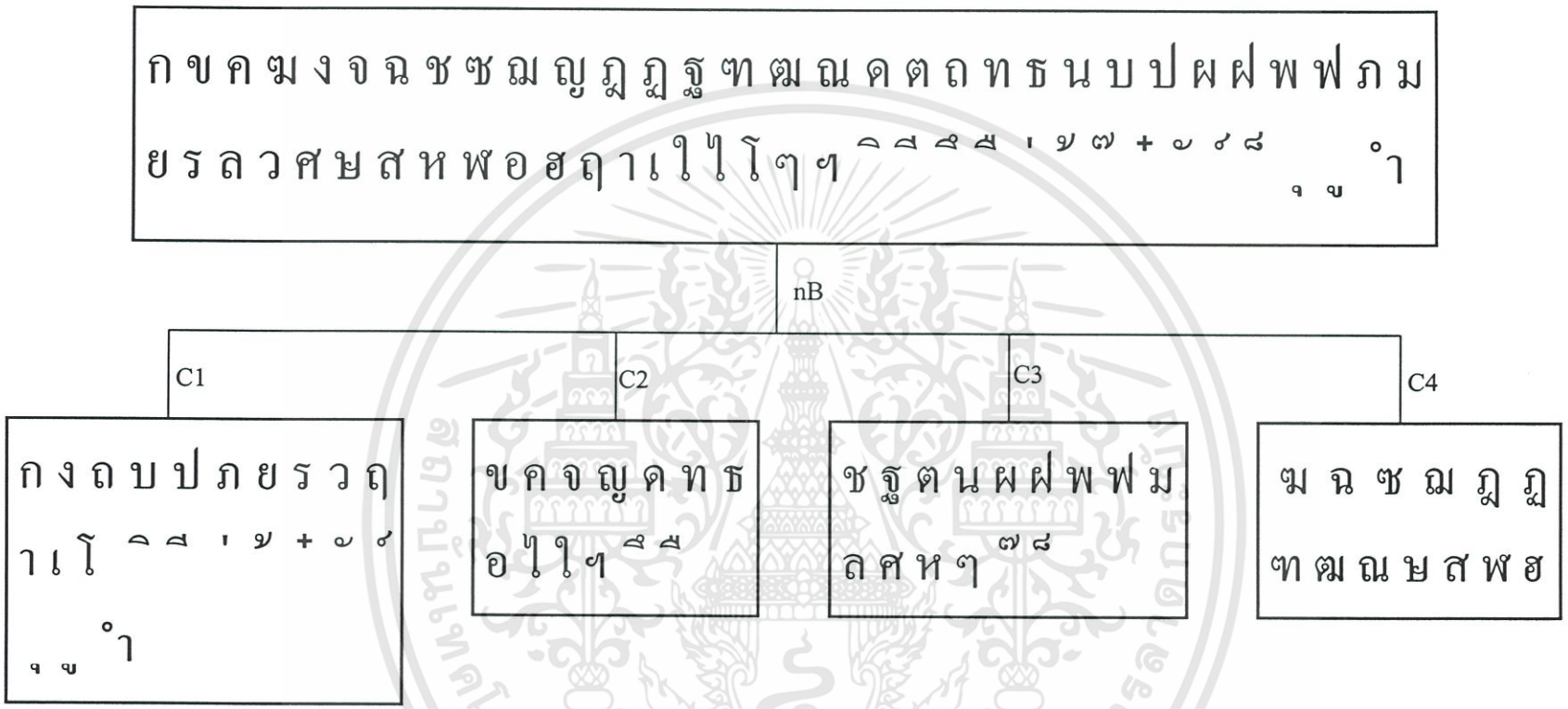
เนื่องจากตัวอักษรภาษาไทยมีอยู่ด้วยกัน 3 ระดับ คือ ระดับบน กลาง และล่างนั้น จะถูกนำมาพิจารณาในการจำแนกภาพตัวอักษรกลุ่มคล้าย “สระอู” ออกจากภาพตัวอักษร “บ, ป, ย” และแยกภาพตัวอักษร “เ” ออกจาก “สระอี” โดยใช้ตัวอักษรพยัญชนะระดับกลางที่วิเคราะห์ได้ก่อนหน้านั้น เป็นจุดพิจารณาระดับ

ส่วนการแยกภาพตัวอักษร “สระอิ” และ “สระอำ” นั้น จะพิจารณาพยัญชนะหรือสระระดับกลางตัวแรกที่ตามหลังมา ถ้าใช่สระ “า” แสดงว่าเป็น “สระอำ” ถ้าไม่ใช่ “า” แสดงว่าเป็น “สระอิ” ส่วน “ไม้เอก” กับ “จัตวา” จะใช้จำนวนจุดปลายในการจำแนก ถ้ามากกว่า 2 แสดงว่าเป็น “จัตวา”

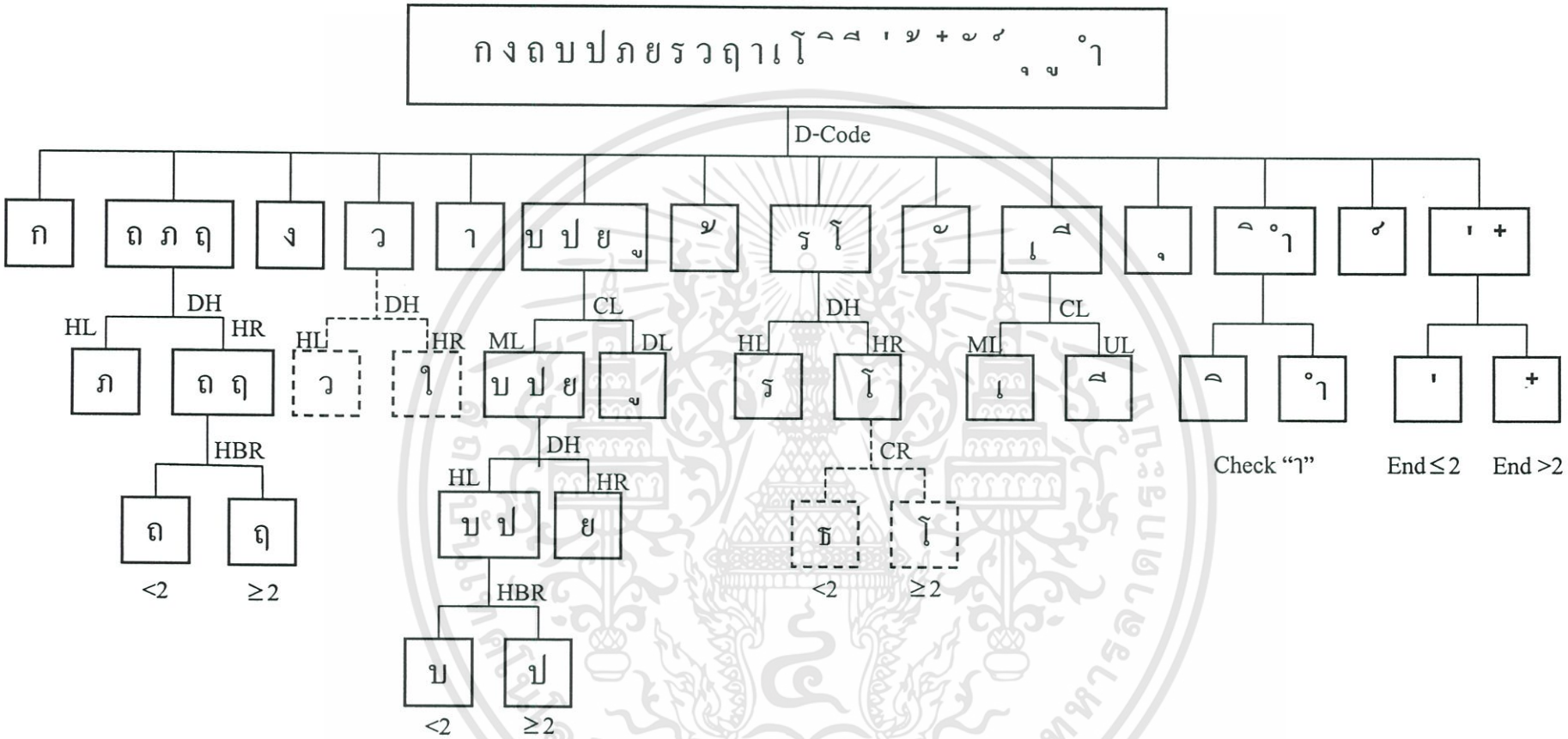
## 4.4 แผนผังโครงร่างต้นไม้ของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

จากการแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบตามจำนวนบล็อก การจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียดด้วยทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพ และการจำแนกตัวอักษรที่คล้ายกันด้วยวิธีการข้างต้นแล้วนั้น สามารถที่จะจำแนกตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยได้ โดยการทำแผนผังโครงร่างแบบต้นไม้ (Tree structure) ดังรูปที่ 4.6-4.10 เมื่อ เส้นปะ คือ ตัวอักษรกลุ่มคล้าย G2 และ DH แทนการพิจารณาทิศทางหัวตัวอักษร ที่มี HL แทนหัวหันซ้าย HR แทนหัวหันขวา HBR แทนการหาอัตราส่วนความสูงของบล็อกเริ่มต้นกับบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร NaD แทนจำนวนทิศทาง a ของการเคลื่อนที่ CR คือ การหาอัตราส่วนของตัวอักษรระหว่างความสูงและความกว้างของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร และ CL คือ ระดับตัวอักษร เมื่อ UL, ML และ DL คือ ระดับตัวอักษรบน กลาง และล่างตามลำดับ

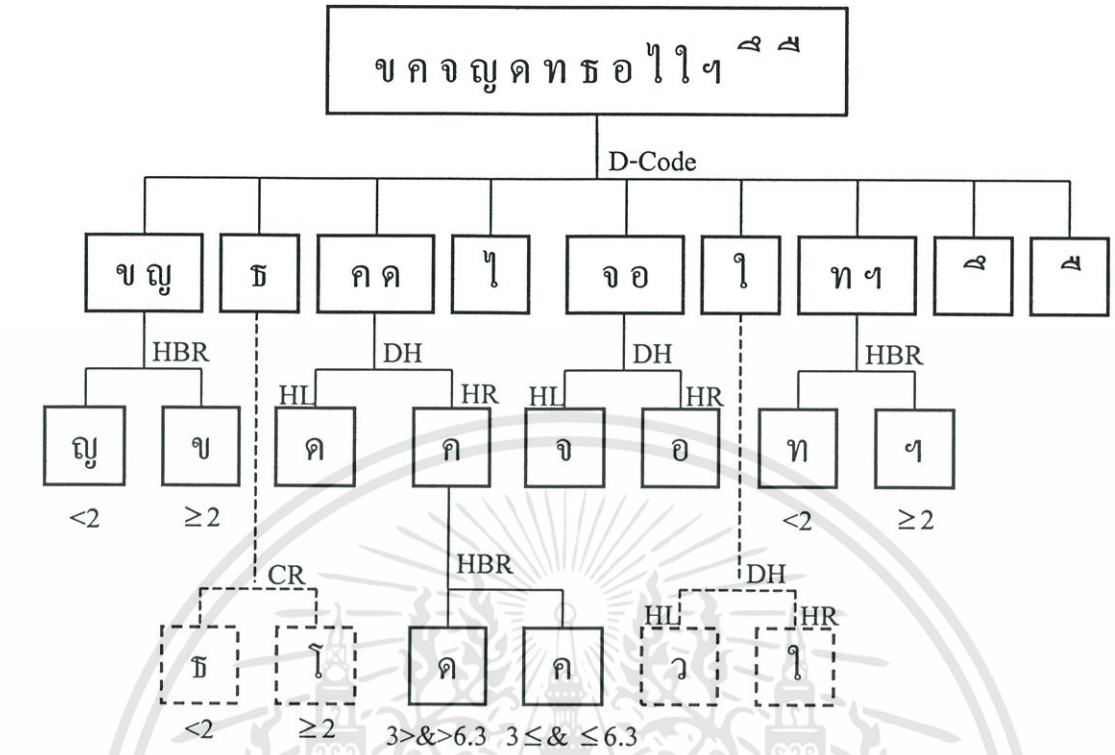
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



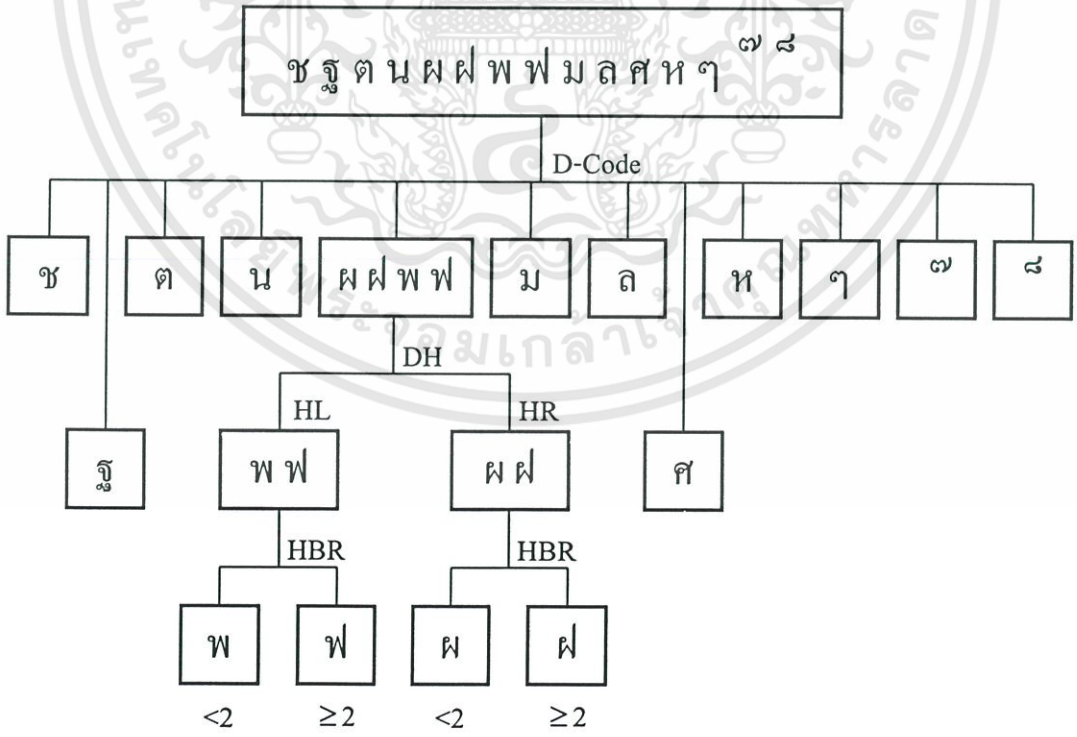

**รูปที่ 4.6** แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย




**รูปที่ 4.7** แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรกลุ่ม C1

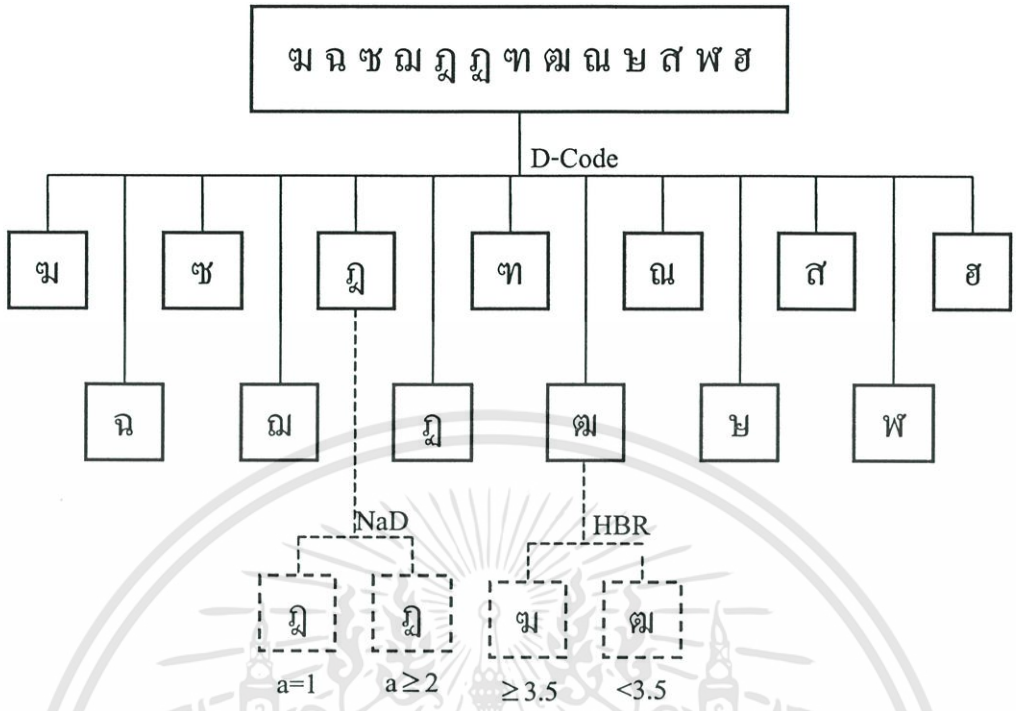



**รูปที่ 4.8** แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรกลุ่ม C2




**รูปที่ 4.9** แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรกลุ่ม C3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.10** แผนผังโครงร่างต้นไม้ตัวอักษรกลุ่ม C4

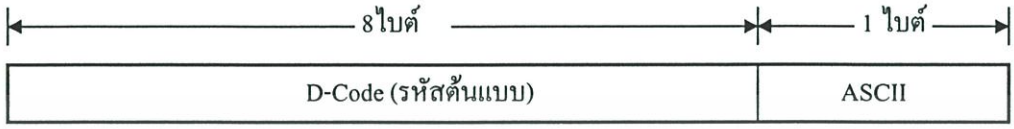
## 4.5 การจัดเก็บรหัสตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูล

โปรแกรมการรู้จำก่อนนำไปใช้งาน จะต้องผ่านการเรียนรู้จำตัวอักษรต้นแบบก่อน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบกับภาพตัวอักษรอื่นที่ป้อนเข้ามาเพื่อการรู้จำ โดยฐานข้อมูลตัวอักษรต้นแบบจะแบ่งเป็น 4 แฟ้มข้อมูล (File) ตามจำนวนการแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบด้วยจำนวนของบล็อกเส้นโครงร่าง และรหัสทิศทางแต่ละภาพตัวอักษรจะใช้หน่วยความจำในการจัดเก็บจำนวน 9 ไบต์ โดย 8 ไบต์แรก จะใช้จัดเก็บรหัสทิศทางหรือ D-Code (a, b, c, d, (~a), (~b), (~c), (~d) และ H) โดยใช้ทิศทางละ 4 บิต สามารถแสดงทิศทางได้สูงสุดจำนวน 16 ทิศทางรวมหัวตัวอักษรด้วย ซึ่งเพียงพอต่อจำนวนทิศทางสูงสุดของตัวอักษรภาษาไทย และไบต์สุดท้ายหรือไบต์ที่ 9 จะใช้เก็บ ASCII Code ของตัวอักษรนั้น ลักษณะของการจัดเก็บแสดงได้ ดังรูปที่ 4.11 (ก) และรหัสตัวอักษรตัวต่อไปก็จะถูกจัดเก็บเรียงต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.11(ข)

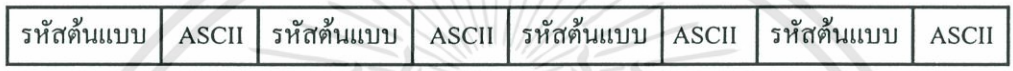
ในการจัดเก็บรหัสตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูลนั้น เมื่อโปรแกรมไม่สามารถที่จะทำการวิเคราะห์การรู้จำภาพตัวอักษรตัวใดได้ เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้จะปรากฏให้เห็นบนจอของคอมพิวเตอร์ จากนั้นผู้ใช้โปรแกรมจะต้องทำการตัดสินใจเลือกว่าเป็นเส้นโครงร่างของภาพตัวอักษรใด ด้วยการกดเลือกจากแป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ เมื่อผู้ใช้โปรแกรมป้อนค่าเข้าไป โปรแกรมก็จะเก็บรหัสที่วิเคราะห์ได้ 8 ไบต์ลงในฐานข้อมูลก่อน จากนั้นถึงจะเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัส ASCII Code ของตัวอักษรที่ป้อนเข้าไปเป็นไบต์ที่ 9 เป็นรหัสตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูลเพิ่มขึ้นต่อไป




(ก)



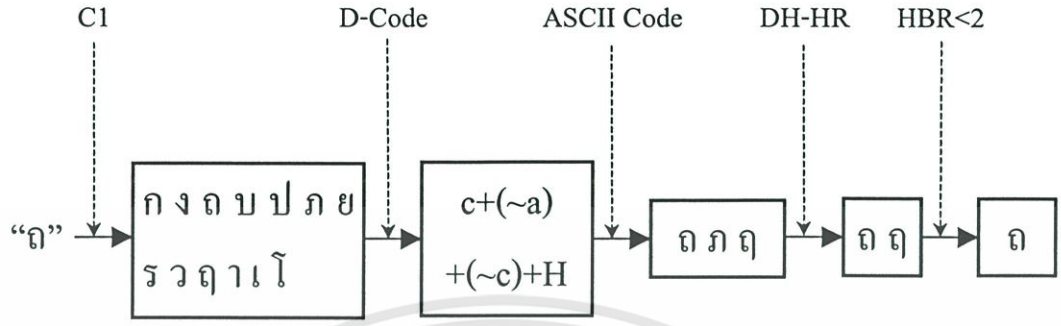

(ข)

**รูปที่ 4.11** (ก) ลักษณะการจัดเก็บรหัสตัวอักษรต้นแบบ (ข) การจัดเรียงรหัสตัวอักษรในฐานข้อมูล

## 4.6 การเปรียบเทียบรหัสแทนภาพตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้ กับรหัสแทนภาพตัวอักษรต้นแบบ

ในการเปรียบเทียบรหัสแทนภาพตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้ กับรหัสแทนภาพตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูลนั้น เมื่อภาพตัวอักษรผ่านกระบวนการจัดเตรียมข้อมูลภาพก่อนการรู้จำ เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรที่ได้จะถูกนำมาแยกบล็อกเพื่อกำหนดกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ และหาทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรที่ผ่านในแต่ละบล็อก จากนั้นจะค้นหารหัสตัวอักษรต้นแบบจากแฟ้มฐานข้อมูลตัวอักษรต้นแบบตามกลุ่มย่อยที่วิเคราะห์ได้ อ่านรหัสแทนภาพตัวอักษรต้นแบบในแฟ้มฐานข้อมูล 8 ไบต์แรกขึ้นมาเปรียบเทียบกับรหัสแทนภาพตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้ สำหรับเปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรตัวนั้น ถ้าเหมือนกันอ่านไบต์ที่ 9 ว่าเป็น ASCII Code ของตัวอักษรใด และถ้าเป็นตัวอักษรกลุ่มคล้ายก็ใช้เทคนิคพิเศษดังที่กล่าวมาในการจำแนกตัวอักษร พร้อมทั้งจัดเก็บ ASCII Code ของตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้ รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการรู้จำภาพตัวอักษร “ถ” และในรูปที่ 4.13 ผังงานการเปรียบเทียบรหัสแทนภาพตัวอักษร “ถ” กับรหัสแทนภาพตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูล และรูปที่ 4.14 แสดงผังงานการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

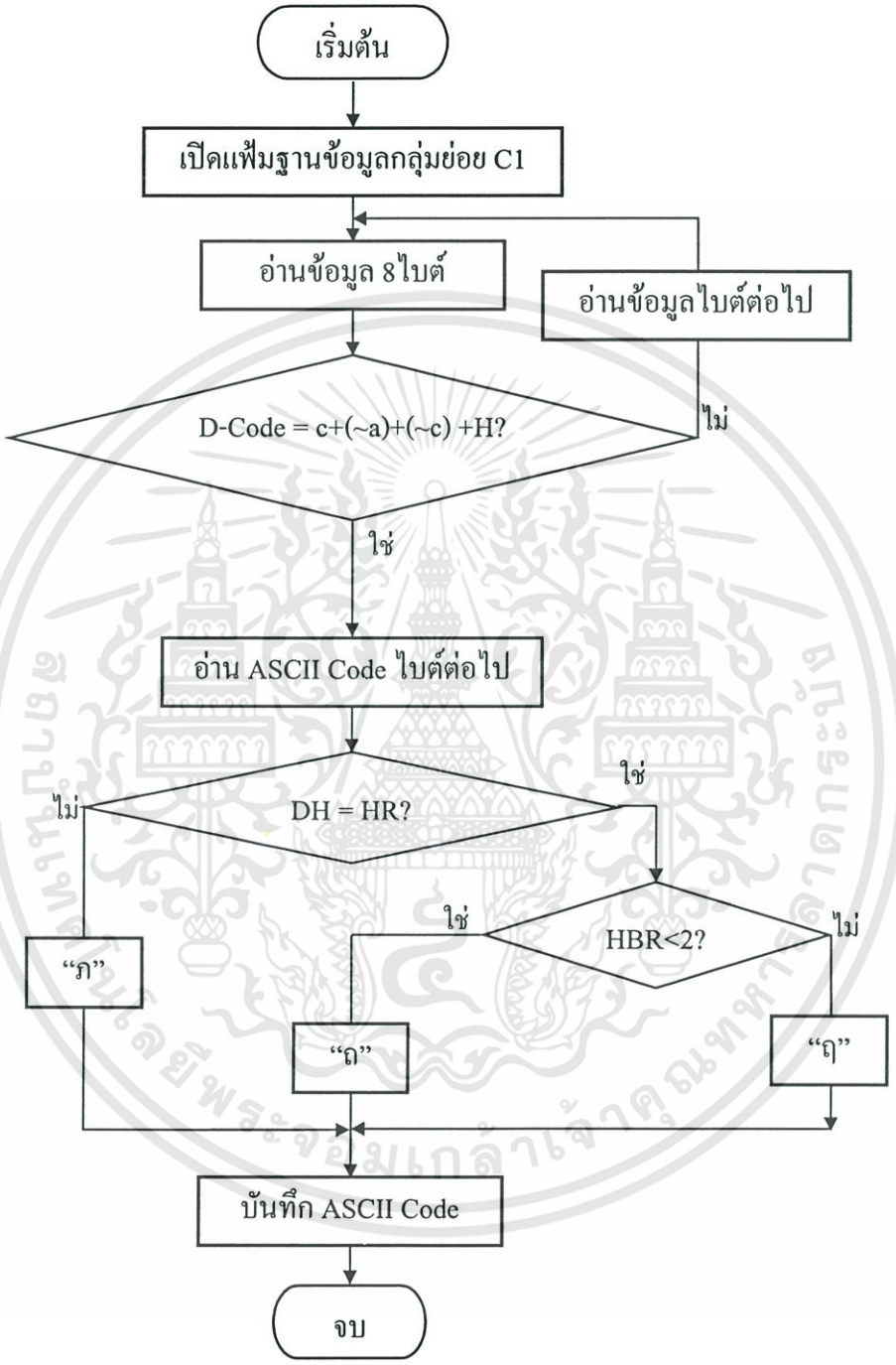
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.12** ขั้นตอนของการรู้จำภาพตัวอักษร “ถ”

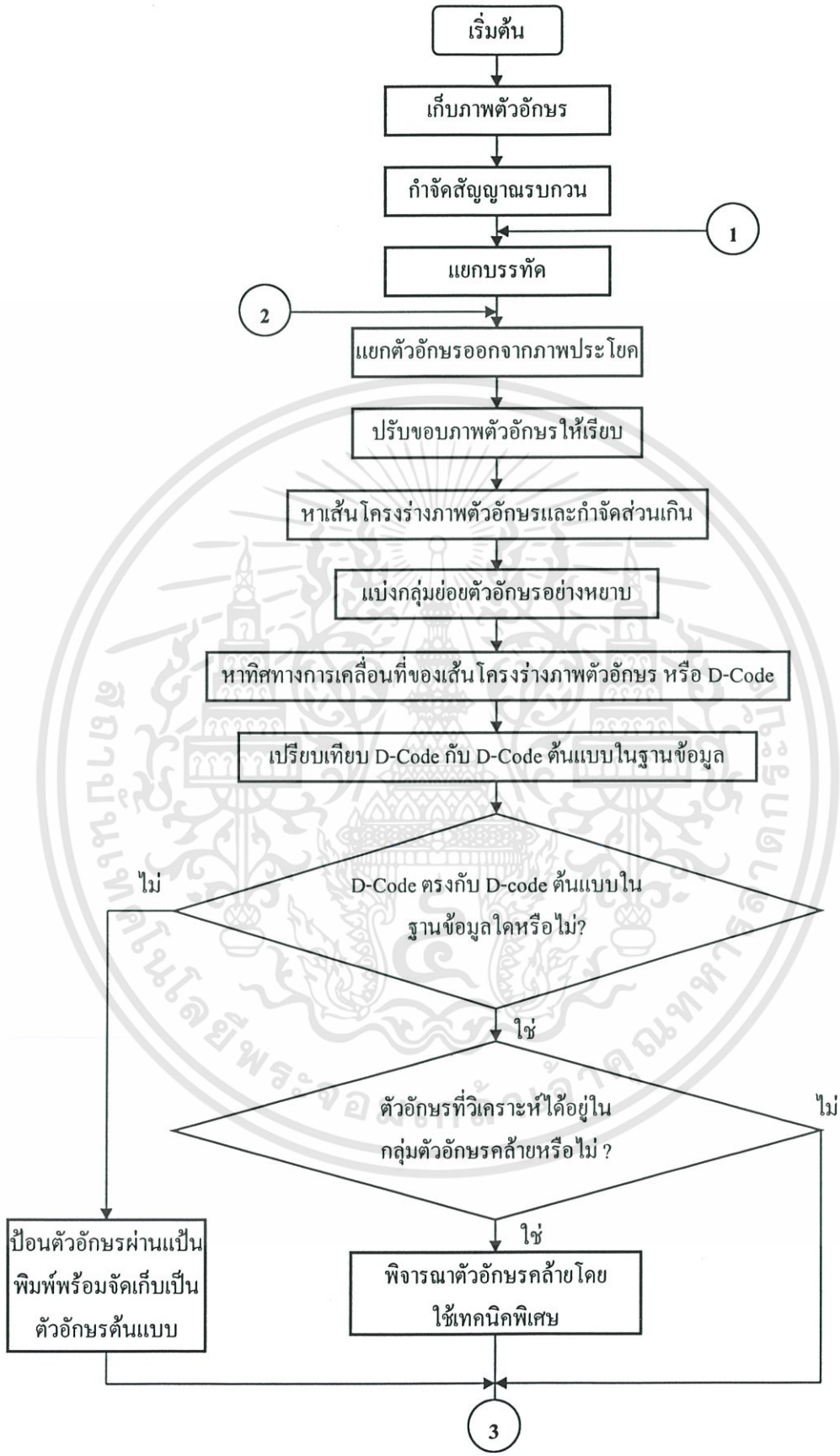
จากรูปที่ 4.12 แสดงขั้นตอนของการวิเคราะห์การรู้จำภาพตัวอักษร “ถ” โดยเมื่อภาพตัวอักษร “ถ” ผ่านกระบวนการจัดเตรียมข้อมูลภาพก่อนการรู้จำ ภาพตัวอักษร “ถ” จะเหลือเฉพาะเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ถ” จะถูกนำมาจำแนกกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบด้วยการแยกบล็อก และหาทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรที่ผ่านในแต่ละบล็อก ซึ่งเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ถ” สามารถที่จะแยกบล็อกได้ทั้งหมด 6 บล็อก อยู่ในกลุ่มย่อยที่ C1 ร่วมกันกับเส้นโครงร่างภาพของตัวอักษร “ก, ง, บ, ป, ภ, ย, ร, ว, ฤ, า, เ, โ” และมีรหัสทิศทางการเคลื่อนที่หรือว่า D-Code เป็น c+(~a)+(~c)+H ซึ่งจะเหมือนกันกับรหัสทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร “ถ, ภ,ฤ” ในกลุ่ม C1 ด้วยกัน ดังนั้นจะต้องใช้เทคนิคพิเศษในการจำแนกตัวอักษรกลุ่มคล้าย โดยการพิจารณาทิศทางหัวตัวอักษรก่อน ซึ่งจะพบว่าอยู่ในกลุ่มตัวอักษรหัวขวา คือ ตัวอักษร “ถ” และ “ฤ” จากนั้นพิจารณาอัตราส่วนความสูงของบล็อกจุดปลายเริ่มต้นกับบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษรเพื่อแยกภาพตัวอักษร “ถ” และ “ฤ” ซึ่งจะพบว่ามีค่าน้อยกว่า 2 ซึ่งได้แก่ ตัวอักษร “ถ” นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



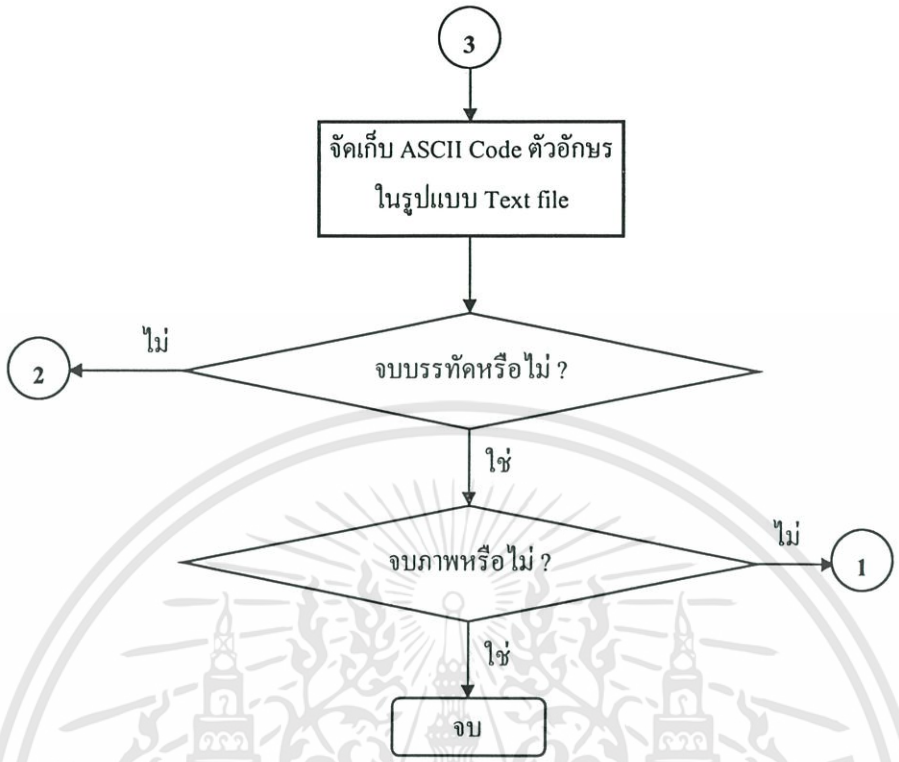

**รูปที่ 4.13** ผังงานการเปรียบเทียบรหัสทิศทางภาพตัวอักษร “ถ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.14** ผังงานการรู้จำภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.14** ผังงานการรู้จำภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

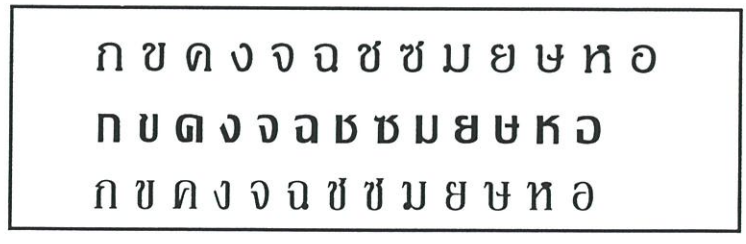
# การทดลองและผลการทดลอง

รูปแบบของตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปในปัจจุบันนี้ สามารถที่จะจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ [3] คือ

กลุ่มที่ 1 คือ แบบมีหัวกลมเป็นตัวอักษรที่แสดงเอกลักษณ์เฉพาะของภาษาไทย มีรูปแบบที่อ่านง่าย มีระเบียบ เช่น ตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ใช้ใน Microsoft word ฟอนต์ AngsanaUPC, BrowaniaUPC, CordiaUPC เป็นต้น เป็นรูปแบบที่ใช้สำหรับการสื่อสารที่เป็นทางการ เช่น หนังสือหรือเอกสารต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.1

**รูปที่ 5.1** ตัวอย่างรูปแบบตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยแบบมีหัว

กลุ่มที่ 2 แบบหัวตัดหรือไม่มีหัวกลม เป็นรูปแบบที่ลอกเลียนแบบการเขียนด้วยปากกาหัวตัดหรือปากกาปลายแบน ลักษณะของหัวตัวอักษรจึงคล้ายกับการตั้งมุมองศาปลายปากกาที่จับเขียน เช่น ตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่ใช้ใน Microsoft word ฟอนต์ JasmineUPC, LilyUPC, KodchiangUPC เป็นต้น มักใช้ขนาดใหญ่กว่าตัวอักษรปรกติ สำหรับงานที่เน้นหรือเรียกความสนใจดังแสดงในรูปที่ 5.2




**รูปที่ 5.2** ตัวอย่างรูปแบบตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยแบบหัวตัดหรือไม่มีหัวกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 3 แบบคัดลายมือหรือเรียกว่าเป็นตัวอาลักษณ์ เป็นรูปแบบตัวอักษรที่เลียนแบบการเขียนด้วยปากกาปลายแหลม มักมีความหนาบางของเส้นต่างกัน ใช้สำหรับงานที่ต้องการให้เกียรติและยกย่องเช่น ในปริญญาบัตรหรือบัตรเชิญ เป็นต้น

กลุ่มที่ 4 แบบประดิษฐ์ เป็นรูปแบบที่เกิดจากการเขียนอย่างอิสระไม่มีแบบแผน เพื่อดึงดูดความสนใจมักใช้เป็นหัวเรื่องหรือป้ายประกาศ

จากรูปแบบหรือฟอนต์ตัวอักษรพิมพ์ทั้ง 4 กลุ่ม ขนาดของตัวอักษรที่ใช้ในการพิมพ์ ในงานต่าง ๆ โดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ดังนี้

ขนาด 6-12 พอยต์ เป็นตัวอักษรขนาดเล็ก ที่ใช้สำหรับงานที่มีเนื้อที่จำกัดและมีข่าวสารมาก เช่น สลากยาหรือใช้บรรยายใต้ภาพของสิ่งพิมพ์ที่ใช้ตัวธรรมดาเรียงพิมพ์เนื้อเรื่อง

ขนาด 14-19.5 พอยต์ เป็นตัวธรรมดาที่ใช้เรียงพิมพ์เนื้อเรื่องสิ่งพิมพ์ทั้งหมด ที่ไม่ต้องการเน้นเป็นตัวพิมพ์ที่ใช้มากที่สุด สำหรับงานหนังสือทั่วไป ยกเว้น หนังสือสำหรับเด็กหรือคนแก่

ขนาด 24-32 พอยต์ เป็นตัวอักษรที่ใช้ สำหรับหนังสือเด็กหรือคนแก่ หรือการเน้นข้อความประกาศต่าง ๆ

ขนาด 40-70 พอยต์ เป็นตัวอักษรที่ใช้สำหรับ ประกาศ ใบปลิว หรือพาดหัวข่าวหนังสือพิมพ์เพื่อเรียกความสนใจ

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จึงเลือกทดลองกับตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่มีลักษณะรูปแบบหรือฟอนต์และขนาดที่เป็นทางการมีใช้โดยแพร่หลายนั้นคือ ตัวอักษรในกลุ่มที่ 1 หรือแบบมีหัวกลม ขนาด 14, 16 และ 18 พอยต์

## 5.1 หลักเกณฑ์การทดลอง

หลักเกณฑ์ในการทดลองมีผลอย่างมากต่อผลการทดลอง หรือประสิทธิภาพการรู้จำของระบบ เช่น หลักเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างสำหรับให้ระบบเรียนรู้และกลุ่มข้อมูลที่นำมาทดสอบ เมื่อนำมาป้อนให้ระบบทำงาน ปรากฏว่าในการทดลองนั้นไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร เนื่องจากตัวอักษรที่นำมาเรียนรู้นั้น มีผลกับระบบการรู้จำ ไม่ว่าจะเป็นฟอนต์ตัวอักษรที่แตกต่างกัน ขนาดที่แตกต่างกันเป็นส่วนหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถการรู้จำรูปแบบนั้น ๆ ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกข้อมูลที่จะใช้ในการสอนการเรียนรู้ของระบบให้เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูล ทำให้เป็นเรื่องที่หาข้อยุติค่อนข้างลำบาก ว่าการพัฒนาระบบการทดสอบ การป้อนข้อมูลใหม่เช่นนี้ ควรมีหลักเกณฑ์อย่างใด หรือรวมทั้งเรื่องของความยากง่ายของอินพุทด้วย เช่น มีการป้อนภาพตัวอักษรที่มีความคลุมเคลือในขณะที่ถ้าให้นำอินพุทนั้น มาให้มนุษย์อ่านเองก็ยังอาจเกิดความไม่แน่ใจหรืออาจอ่านผิดได้ เนื่องจากภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย ที่ปรากฏในสิ่งพิมพ์หรือเอกสารต่าง ๆ นั้น มีปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลาย อย่างไม่ว่าปัจจัยต่าง ๆ ในการพิมพ์ เช่น หมึกที่ใช้พิมพ์ สีของหมึกพิมพ์ กรรมวิธีหรือกระบวนการพิมพ์ สีและความละเอียดของเนื้อกระดาษ รูปแบบหรือขนาดของตัวอักษรพิมพ์ ตัวอักษรที่ติดหรือขาดจากกัน และประสิทธิภาพของเครื่องตรวจกวาดภาพ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถวิเคราะห์แยกแยะตัวอักษรภาษาไทยได้ จึงจำเป็นต้องจำกัดสภาพแวดล้อมหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ปัญหานั้นแคบลงและสามารถทดสอบได้ในทางปฏิบัติ

## 5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลต้นแบบที่ใช้ในการทดลองเป็นข้อมูลภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย ที่ได้จากโปรแกรม Microsoft word 97 จำนวน 3 ฟอนต์ ๆ ละ 3 ขนาด (14, 16 และ 18 พอยท์) คือ AngsanaUPC, BrowalliaUPC และ CordiaUPC และพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตและเครื่องพิมพ์เลเซอร์อย่างละ 2 ชุด แล้วทำการตรวจกวาดภาพแบบภาพสองระดับด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพรุ่น Genius color page view pro ที่ความละเอียดในการตรวจกวาดภาพ 300 จุดภาพทั้งแนวตั้งและแนวนอน และประมวลผลการรู้จำด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ซีพียู Pentium ความเร็ว 100 Mhz. หน่วยความจำ RAM 16 Mbytes และ Hard disk 850 Mbytes

## 5.3 ขั้นตอนการทดลอง

5.3.1 พิมพ์ตัวอักษรภาษาไทย ก-ฮ (ยกเว้น ฃ และ ฅ) ฤ, ฺ, เ, ไ, ใ, โ, ๆ, ฯ, กิ, กี, กึ, กื, ก่, ก้, ก๊, ก๋, กั, กี๋, ก์, กุ, กู และ กำ รวม 64 ตัวอักษรด้วยฟอนต์ AngsanaUPC, Browallia และ CordiaUPC ฟอนต์ละ 3 ขนาด คือ 14, 16 และ 18 พอยท์ ตัวอักษรละ 20 ตัวต่อเนื่องกันไปบนกระดาษสำหรับเครื่องถ่ายเอกสาร 80 แกรม ด้วยเครื่องพิมพ์อิงเจตและเครื่องพิมพ์เลเซอร์อย่างละ 2 ชุด

5.3.2 ตรวจกวาดภาพตัวอักษรบนหน้ากระดาษด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพทั้ง 4 ชุด

5.3.3 นำภาพตัวอักษรชุดแรกที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตและเลเซอร์ไปเรียนรู้การรู้จำเป็นตัวอักษรต้นแบบ แล้วนำภาพตัวอักษรชุดที่สองไปทดสอบการรู้จำพร้อมประเมินผล

## 5.4 ผลการทดลอง

จากการทดลองตามหัวข้อที่ 5.3 ซึ่งแบ่งภาพตัวอักษรที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 2 ชุด ๆ ละ 11,520 ตัว รวม 23,040 ตัว โดยชุดแรกใช้ภาพตัวที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตและชุดที่สองใช้ภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์นั้น ให้ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 5.1-5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ก | 14 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ข | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ค | 14 | 20 | | | 19 | 1 | | 18 | | 2 |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | 1 | | 19 | 1 | | 19 | 1 | |
| ฆ | 14 | 17 | | 3 | 12 | 8 | | 19 | | 1 |
| | 16 | 13 | | 7 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 19 | 1 | | 20 | | |
| ง | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| จ | 14 | 19 | 1 | | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 16 | 18 | 2 | | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฉ | 14 | 18 | 1 | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 19 | | 1 |
| ช | 14 | 15 | 4 | 1 | 20 | | | 12 | 8 | |
| | 16 | 19 | 1 | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 18 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| ซ | 14 | 17 | 2 | 1 | 10 | 10 | | 10 | 8 | 2 |
| | 16 | 19 | | 1 | 12 | 7 | 1 | 13 | 7 | |
| | 18 | 19 | | 1 | 11 | 8 | 1 | 14 | 4 | 2 |
| ฌ | 14 | 19 | | 1 | 19 | | 1 | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ญ | 14 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฎ | 14 | 10 | 9 | 1 | 16 | 3 | 1 | 17 | 3 | |
| | 16 | 13 | 7 | | 18 | 2 | | 20 | | |
| | 18 | 19 | 1 | | 17 | 3 | | 20 | | |
| ฏ | 14 | 16 | 2 | 2 | 8 | 12 | | 18 | 1 | 1 |
| | 16 | 15 | 5 | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 18 | 19 | 1 | | 9 | 8 | 3 | 19 | | 1 |
| ฐ | 14 | 18 | | 2 | 20 | | | 17 | 2 | 1 |
| | 16 | 19 | | 1 | 18 | | 2 | 16 | | 4 |
| | 18 | 20 | | | 17 | | 3 | 20 | | |
| ฑ | 14 | 18 | | 2 | 20 | | | 17 | | 3 |
| | 16 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 15 | 1 | 4 |
| ฒ | 14 | 18 | | 2 | 13 | 7 | | 19 | 1 | |
| | 16 | 11 | 7 | 2 | 15 | 5 | | 20 | | |
| | 18 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| ณ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| ด | 14 | 15 | 5 | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 10 | 10 | | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 18 | 20 | | | 18 | 2 | | 20 | | |
| ต | 14 | 15 | 3 | 2 | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 18 | 17 | | 3 | 20 | | | 19 | | 1 |
| ถ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ท | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| ธ | 14 | 16 | 3 | 1 | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 16 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 18 | | 2 | 20 | | |
| น | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| บ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ป | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 19 | | 1 | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| ผ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฝ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| พ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฟ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 19 | 1 | | 18 | 1 | 1 | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| ภ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ม | 14 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ย | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| ร | 14 | 20 | | | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| ล | 14 | 18 | | 2 | 18 | | 2 | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 19 | | 1 |
| ว | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 18 | | 2 |
| ศ | 14 | 19 | 1 | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 19 | 1 | | 19 | 1 | | 16 | 4 | |
| | 18 | 19 | 1 | | 16 | 4 | | 19 | 1 | |
| ษ | 14 | 19 | | 1 | 16 | | 4 | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 17 | 1 | 2 | 18 | | 2 |
| | 18 | 20 | | | 19 | | 1 | 17 | | 3 |
| ส | 14 | 17 | | 3 | 20 | | | 18 | | 2 |
| | 16 | 20 | | | 17 | | 3 | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| ห | 14 | 16 | | 4 | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| พ | 14 | 20 | | | 13 | 4 | 3 | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 18 | | 2 |
| | 18 | 20 | | | 16 | 4 | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| อ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฮ | 14 | 20 | | | 19 | | 1 | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 19 | | 1 | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฤ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 18 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| า | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 20 | | | 17 | 3 | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| เ | 14 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| โ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ไ | 14 | 20 | | | 19 | | 1 | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ใ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ๆ | 14 | 19 | | 1 | 20 | | | 17 | 3 | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 11 | 9 | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| ฯ | 14 | 20 | | | 19 | | 1 | 18 | | 2 |
| | 16 | 20 | | | 19 | | 1 | 19 | | 1 |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| กิ | 14 | 19 | 1 | | 19 | 1 | | 14 | 1 | 5 |
| | 16 | 13 | 7 | | 17 | 3 | | 14 | 6 | |
| | 18 | 17 | 3 | | 18 | 2 | | 16 | 4 | |
| กี | 14 | 14 | 6 | | 14 | 6 | | 19 | 1 | |
| | 16 | 18 | 2 | | 14 | 6 | | 14 | 5 | 1 |
| | 18 | 7 | 13 | | 16 | 4 | | 15 | 5 | |
| กึ | 14 | 13 | 7 | | 16 | 4 | | 15 | 4 | 1 |
| | 16 | 16 | 4 | | 18 | 2 | | 14 | 5 | 2 |
| | 18 | 16 | 4 | | 19 | 1 | | 17 | 3 | |
| กื | 14 | 4 | 15 | 1 | 1 | 19 | | 16 | 3 | 1 |
| | 16 | 7 | 13 | | 7 | 13 | | 11 | 5 | 4 |
| | 18 | 3 | 17 | | 7 | 12 | 1 | 16 | 4 | |
| กุ | 14 | 16 | 4 | | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 16 | 17 | 3 | | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 18 | 18 | 2 | | 20 | | | 19 | 1 | |
| กู้ | 14 | 15 | 5 | | 3 | 17 | | 7 | 12 | 1 |
| | 16 | 9 | 11 | | 2 | 18 | | 8 | 11 | |
| | 18 | 11 | 8 | 1 | 7 | 13 | | 15 | 5 | |
| กู๊ | 14 | 13 | 2 | 5 | 8 | 9 | 3 | 14 | 4 | 2 |
| | 16 | 16 | 5 | 1 | 5 | 8 | 7 | 19 | 1 | |
| | 18 | 17 | 3 | | 6 | 5 | 9 | 15 | 3 | 2 |
| กู๋ | 14 | 11 | 8 | 1 | 9 | 9 | 2 | 9 | 11 | 1 |
| | 16 | 11 | 9 | | 8 | 11 | 1 | 14 | 6 | |
| | 18 | 13 | 4 | 3 | 8 | 11 | 1 | 14 | 6 | |
| กั | 14 | 18 | 2 | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 18 | 2 | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| กั๋ | 14 | 4 | 16 | | 1 | 19 | | 13 | 7 | |
| | 16 | 14 | 6 | | 6 | 14 | | 12 | 8 | |
| | 18 | 4 | 16 | | 6 | 14 | | 11 | 9 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ก็ | 14 | 19 | 18 | 1 | 14 | 3 | 3 | 14 | 5 | 1 |
| | 16 | 14 | 5 | 1 | 12 | 6 | 2 | 16 | 4 | |
| | 18 | 16 | 4 | | 17 | 2 | 1 | 14 | 4 | 2 |
| กุ | 14 | 16 | 4 | | 20 | | | 13 | 7 | |
| | 16 | 20 | | | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 18 | 16 | 4 | | 20 | | | 19 | 1 | |
| กู | 14 | 17 | 2 | 1 | 20 | | | 13 | 7 | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| กำ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |

**ตารางที่ 5.2** สรุปผลการรู้จำเมื่อทดสอบกับภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต

| ฟอนต์ตัวอักษร | ขนาด (พอยท์) | จำนวน (ตัว) | เวลา (วินาที) | วิเคราะห์ได้ | | วิเคราะห์ผิดพลาด | | วิเคราะห์ไม่ได้ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ตัว | % | ตัว | % | ตัว | % |
| Angsana UPC | 14 | 1,280 | 289 | 1,116 | 87.2 | 124 | 9.7 | 40 | 3.1 |
| | 16 | 1,280 | 307 | 1,159 | 90.5 | 101 | 7.9 | 20 | 1.6 |
| | 18 | 1,280 | 358 | 1,179 | 92.1 | 87 | 6.8 | 14 | 1.1 |
| Browallia UPC | 14 | 1,280 | 276 | 1,123 | 87.8 | 136 | 10.6 | 21 | 1.6 |
| | 16 | 1,280 | 323 | 1,152 | 90.0 | 101 | 7.9 | 27 | 2.1 |
| | 18 | 1,280 | 368 | 1,163 | 90.9 | 95 | 7.4 | 22 | 1.7 |
| Cordia UPC | 14 | 1,280 | 299 | 1,155 | 90.2 | 96 | 7.5 | 29 | 2.3 |
| | 16 | 1,280 | 319 | 1,185 | 92.6 | 74 | 5.8 | 21 | 1.6 |
| | 18 | 1,280 | 359 | 1,205 | 94.1 | 55 | 4.3 | 20 | 1.6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.3** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ก | 14 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 18 | 2 | | 20 | | | 20 | | |
| ข | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ค | 14 | 20 | | | 18 | 2 | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 17 | 3 | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 12 | 8 | | 17 | 3 | |
| ฆ | 14 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ง | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| จ | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | 1 |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฉ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ช | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 14 | 6 | |
| | 18 | 16 | | 4 | 20 | | | 19 | 1 | |
| ซ | 14 | 17 | 2 | 1 | 15 | 5 | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 17 | 3 | | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 14 | 5 | 1 | 19 | | 1 |
| ฌ | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 16 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.3** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ญ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 17 | | 3 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฎ | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 13 | 7 | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | 1 | | 19 | 1 | | 20 | | |
| ฏ | 14 | 17 | 3 | | 17 | 3 | | 17 | 3 | |
| | 16 | 15 | 5 | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฐ | 14 | 18 | | 2 | 19 | | 1 | 18 | | 2 |
| | 16 | 17 | 1 | 2 | 18 | | 2 | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 19 | | 1 | 20 | | |
| ฑ | 14 | 18 | | 2 | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 19 | | 1 | 19 | | 1 |
| | 18 | 17 | | 3 | 20 | | | 20 | | |
| ฒ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ณ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| ด | 14 | 19 | 1 | | 13 | 7 | | 19 | 1 | |
| | 16 | 17 | 3 | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 19 | 1 | | 20 | | |
| ต | 14 | 20 | | | 18 | | 2 | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ถ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.3** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ท | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 19 | | 1 |
| ธ | 17 | 19 | | 1 | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 19 | 20 | | | 19 | | 1 | 20 | | |
| | 18 | 15 | 4 | 1 | 19 | | 1 | 20 | | |
| น | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| บ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ป | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ผ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฝ | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| พ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฟ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ภ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.3** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถู | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ม | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ย | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ร | 14 | 20 | | | 18 | 2 | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 19 | | 1 | 20 | | |
| ล | 14 | 18 | | 2 | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ว | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ศ | 14 | 20 | | | 18 | 2 | | 19 | 1 | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 18 | 2 | |
| | 18 | 20 | | | 19 | 1 | | 19 | 1 | |
| ษ | 14 | 20 | | | 17 | | 3 | 19 | | 1 |
| | 16 | 20 | | | 19 | | 1 | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 19 | | 1 | 18 | | 2 |
| ส | 14 | 18 | | 2 | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 18 | 19 | | 1 | 20 | | | 18 | | 2 |
| ห | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| พ | 14 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 17 | 3 | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.3** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| อ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฮ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 19 | | 1 | 19 | | 1 |
| ฤ | 14 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| า | 14 | 20 | | | 18 | 2 | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 19 | 1 | | 20 | | |
| เ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| โ | 14 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ไ | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | | 1 |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| ใ | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ๆ | 14 | 18 | 2 | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 19 | | 1 | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| ฯ | 14 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.3** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| กิ | 14 | 20 | | | 13 | 7 | | 19 | 1 | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 16 | 4 | |
| | 18 | 19 | 1 | | 18 | 2 | | 17 | 3 | |
| กี | 14 | 18 | 2 | | 20 | | | 16 | 4 | |
| | 16 | 16 | 4 | | 18 | 2 | | 18 | 2 | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 16 | 4 | |
| กึ | 14 | 20 | | | 16 | 4 | | 12 | 8 | |
| | 16 | 19 | 1 | | 17 | 3 | | 16 | 4 | |
| | 18 | 19 | 1 | | 18 | 2 | | 15 | 5 | |
| กื | 14 | 9 | 11 | | 11 | 9 | | 13 | 7 | |
| | 16 | 9 | 11 | | 10 | 10 | | 15 | 5 | |
| | 18 | 11 | 9 | | 5 | 15 | | 16 | 4 | |
| ก่ | 14 | 20 | | | 18 | 2 | | 20 | | |
| | 16 | 19 | 1 | | 20 | | | 18 | 2 | |
| | 18 | 19 | 1 | | 20 | | | 18 | 2 | |
| ก้ | 14 | 15 | 5 | | 9 | 11 | | 18 | 2 | |
| | 16 | 17 | 3 | | 11 | 9 | | 13 | 7 | |
| | 18 | 14 | 6 | | 12 | 8 | | 15 | 5 | |
| ก๊ | 14 | 17 | 2 | 1 | 9 | 4 | 7 | 6 | 14 | |
| | 16 | 17 | 2 | 1 | 16 | 3 | 1 | 16 | 3 | 1 |
| | 18 | 20 | | | 18 | 1 | 1 | 16 | 4 | |
| ก๋ | 14 | 12 | 8 | | 11 | 8 | 1 | 15 | 5 | |
| | 16 | 12 | 7 | 1 | 11 | 9 | | 10 | 7 | 3 |
| | 18 | 11 | 9 | | 12 | 7 | 1 | 16 | 4 | |
| กั | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 18 | 18 | 2 | | 19 | 1 | | 20 | | |
| กั์ | 14 | 8 | 11 | 1 | 6 | 14 | | 13 | 7 | |
| | 16 | 9 | 10 | 1 | 9 | 11 | | 16 | 4 | |
| | 18 | 10 | 10 | | 10 | 10 | | 17 | 3 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.3** ผลการทดลองเมื่อภาพตัวอักษรพิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (ต่อ)

| ตัวอักษร | ขนาด | AngsanaUPC | | | BrowalliaUPC | | | CordiaUPC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | ถูก | ผิด | ไม่ได้ |
| ก็ | 14 | 16 | 4 | | 16 | 4 | | 16 | 4 | |
| | 16 | 15 | 3 | 2 | 19 | 1 | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| กุ | 14 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 14 | 6 | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 13 | 7 | | 20 | | | 20 | | |
| กู | 14 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |
| กำ | 14 | 19 | 1 | | 20 | | | 20 | | |
| | 16 | 20 | | | 20 | | | 19 | 1 | |
| | 18 | 20 | | | 20 | | | 20 | | |

**ตารางที่ 5.4** สรุปผลการรู้จำเมื่อทดสอบกับภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์

| ฟอนต์ตัวอักษร | ขนาด (พอยท์) | จำนวน (ตัว) | เวลา (วินาที) | วิเคราะห์ได้ | | วิเคราะห์ผิดพลาด | | วิเคราะห์ไม่ได้ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ตัว | % | ตัว | % | ตัว | % |
| Angsana UPC | 14 | 1,280 | 243 | 1,210 | 94.5 | 54 | 4.2 | 16 | 1.3 |
| | 16 | 1,280 | 292 | 1,202 | 93.9 | 64 | 5 | 14 | 1.1 |
| | 18 | 1,280 | 355 | 1,214 | 94.8 | 54 | 4.2 | 12 | 1.0 |
| Browallia UPC | 14 | 1,280 | 244 | 1,183 | 92.4 | 83 | 6.5 | 14 | 1.1 |
| | 16 | 1,280 | 278 | 1,209 | 94.5 | 65 | 5.0 | 6 | 0.5 |
| | 18 | 1,280 | 344 | 1,209 | 94.5 | 64 | 5.0 | 7 | 0.5 |
| Cordia UPC | 14 | 1,280 | 235 | 1,215 | 95.0 | 62 | 4.8 | 3 | 0.2 |
| | 16 | 1,280 | 267 | 1,229 | 96.0 | 47 | 3.7 | 4 | 0.3 |
| | 18 | 1,280 | 330 | 1,232 | 96.2 | 40 | 3.0 | 8 | 0.6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.5** สรุปผลการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

| ชนิดของเครื่องพิมพ์ | จำนวน (ตัว) | เวลา (วินาที) | วิเคราะห์ได้ | | วิเคราะห์ผิดพลาด | | วิเคราะห์ไม่ได้ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ตัว | % | ตัว | % | ตัว | % |
| อิงเจต | 11,520 | 2,898 | 10,437 | 90.6 | 869 | 7.5 | 214 | 1.9 |
| เลเซอร์ | 11,520 | 2,588 | 10,903 | 94.7 | 533 | 4.6 | 84 | 0.7 |
| รวม | 23,040 | 5,486 | 21,340 | 185.3 | 1,402 | 12.1 | 298 | 2.6 |
| เฉลี่ย | | 0.238 | 10,670 | 92.65 | 701 | 6.05 | 149 | 1.3 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย โดยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง โดยตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยบนกระดาษหรือเอกสารต่าง ๆ จะถูกตรวจกวาดภาพด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพ และจัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อมูลภาพตัวอักษรสองระดับในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ จากนั้นภาพตัวอักษรที่ได้จะถูกนำไปกำจัดสัญญาณรบกวน แยกบรรทัด แยกภาพตัวอักษรออกจากภาพประโยค ปรับขอบภาพตัวอักษรให้เรียบ หาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรและกำจัดส่วนเกิน แยกตัวอักษรออกเป็นกลุ่มย่อยอย่างหยาบตามจำนวนบล็อกของตัวอักษร และจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียดด้วยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง แล้วนำมากำหนดรหัสแทนภาพตัวอักษร สำหรับเป็นข้อมูลในฐานข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบในการวิเคราะห์การรู้จำภาพตัวอักษร และเมื่อทำการวิเคราะห์ทราบแล้วว่าเป็นภาพของตัวอักษรใดตัวอักษรที่ได้จะถูกจัดเก็บ และจัดเรียงในรูปแบบประโยคเดิมในลักษณะของแฟ้มข้อความตัวอักษร

จากการทดลองกับภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยจำนวน 3 ฟอนต์ ๆ ละ 3 ขนาด ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตและเครื่องพิมพ์เลเซอร์อย่างละ 1 ชุด ๆ ละ 11,520 ตัว รวม 23,040 ตัว ด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยเทอร์โปรซีเวอร์ชั่น 3.00 บนคอมพิวเตอร์ซีพียู Pentium ความเร็ว 100 Mhz. สำหรับภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต สามารถวิเคราะห์การรู้จำได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 90.6 วิเคราะห์ผิดพลาดร้อยละ 7.5 และวิเคราะห์ไม่ได้ร้อยละ 1.9 ที่ความเร็วเฉลี่ย 0.25 วินาที/ตัว ส่วนภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์สามารถวิเคราะห์การรู้จำได้ถูกต้องร้อยละ 94.7 วิเคราะห์ผิดพลาดร้อยละ 4.6 และวิเคราะห์ไม่ได้ร้อยละ 0.7 ที่ความเร็วเฉลี่ย 0.23 วินาที/ตัว

## 6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองได้จำกัดสภาพแวดล้อมของปัญหาให้ปัญหาแคบลง เพื่อให้สามารถทดสอบได้ในทางปฏิบัติ โดยภาพตัวอักษรที่นำมาทดสอบการรู้จำนั้นพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตและเครื่องพิมพ์เลเซอร์ ทำให้คุณภาพของภาพตัวอักษรที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่สมบูรณ์ดีมาก ผลที่ได้จากการทดลองจึงเป็นที่น่าพอใจ โดยเฉพาะภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์นั้น จะให้ประสิทธิภาพในการรู้จำได้ดีกว่าภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต เนื่องจากคุณภาพของตัวอักษรที่มีความคมชัดมีขอบภาพที่เรียบ และจำนวนหมึกเลอะติดกันมีน้อย

ซึ่งปัญหาของหมึกเลอะติดกันภายในตัวอักษรดังรูปที่ 6.1 (ก) นี้ จะพบมากในภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตและสระเช่น สระอี สระอือ ไม้ตรี เป็นต้น เมื่อผ่านการหาเส้นโครงร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพมาแล้ว ทำให้เกิดรูปแบบตัวอักษรใหม่ ๆ ผิดจากตัวอักษรต้นแบบ เป็นผลให้เกิดการวิเคราะห์ผิดพลาดหรือไม่สามารถวิเคราะห์ได้ นอกจากนั้นภาพตัวอักษรที่มีส่วนขาดหายหรือไม่ครบสมบูรณ์ ก็เป็นสาเหตุหนึ่งของการวิเคราะห์ผิดพลาดหรือไม่สามารถวิเคราะห์การรู้จำได้เช่นกัน โดยภาพตัวอักษรตัวใดที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ โปรแกรมการรู้จำจะแสดงเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรนั้น ให้ผู้ใช้เลือกตัวอักษรแทนภาพเส้นโครงร่างตัวอักษรนั้นผ่านแป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งจัดเก็บเป็นรหัสตัวอักษรต้นแบบใหม่ในฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบครั้งต่อไป ทำให้ต้องเสียเวลาในการเลือกตัวอักษรจากแป้นพิมพ์ เป็นผลทำให้เวลาการประมวลผลการวิเคราะห์การรู้จำของภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต (มีภาพตัวอักษรที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้มากกว่าภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์) ยาวนานกว่าตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์

(ก) (ข)

**รูปที่ 6.1** (ก) ภาพตัวอักษรหมึกเลอะติดกัน (ข) ภาพตัวอักษรที่แสดงรอยหยักแตกต่างที่ไม่ชัดเจน

นอกจากปัญหาหมึกเลอะติดกันภายในตัวอักษร และปัญหาจากภาพตัวอักษรที่มีส่วนขาดหายหรือไม่ครบสมบูรณ์แล้ว ปัญหาจากฟอนต์ตัวอักษร ก็มีผลต่อประสิทธิภาพการรู้จำ เช่น ภาพตัวอักษร “ซ” และ “ฎ” ที่พิมพ์จากฟอนต์ AngsanaUPC และ BrowalliaUPC นั้น จะแสดงรอยหยักที่แตกต่างไม่เด่นชัดกับภาพตัวอักษร “ช” และ “ฎ” เท่ากับภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากฟอนต์ CrodiaUPC ดังรูปที่ 6.1 (ข) หรือทิศทางการหันของหัวตัวอักษร “ค” และ “ค” หรือไม้หันอากาศและการันต์ที่ไม่ชัดเจน ก็เป็นสาเหตุอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์การรู้จำที่ผิดพลาด รวมทั้งเมื่อรหัสตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูลมากขึ้น ทำให้รหัสของตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้บางตัวไปซ้ำกับรหัสตัวอักษรตัวอื่น ก็เป็นผลให้เกิดการวิเคราะห์ผิดพลาดขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อฐานข้อมูลตัวอักษรต้นแบบมีขนาดใหญ่ขึ้น ภาพตัวอักษรที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้จะมีจำนวนที่น้อยลง

สำหรับเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพตัวอักษรแต่ละตัวนั้นจะใช้เวลาที่ไม่แน่นอน นอกจากจะขึ้นอยู่กับจำนวนของภาพตัวอักษรที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ดังที่กล่าวมาแล้ว ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษรเพื่อการรู้จำ การจำแนกตัวอักษรเพื่อหารหัสแทนภาพตัวอักษร รวมทั้งฟอนต์และขนาดของตัวอักษร คุณภาพของภาพตัวอักษร และตำแหน่งของรหัสตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูลก็เป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อความเร็วในการวิเคราะห์เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการดำเนินการศึกษาการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย ด้วยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรนี้ ให้ผลที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมาพอสรุปได้ดังตารางที่ 6.1

**ตารางที่ 6.1** เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| หัวข้อการเปรียบเทียบ | งานวิจัย [1] | งานวิจัย [3] | งานวิจัย [4] | งานวิจัยที่ทำ |
|---|---|---|---|---|
| 1. หลักการทั่วไป | A | B | C | D |
| 2. ลักษณะของอักษร | ตัวพิมพ์ | ตัวพิมพ์ | ตัวพิมพ์ | ตัวพิมพ์ |
| 3. วิธีการแยกอักษร | ไม่กล่าว | อิสโตแกรม | ไม่กล่าว | ติดตามขอบภาพ |
| 4. ฟอนต์และขนาดของอักษร | 1 ฟอนต์ 1 ขนาด | 4 ฟอนต์ 4 ขนาด | 5 ฟอนต์ 2 ขนาด | 3 ฟอนต์ 3 ขนาด 2 ชุด |
| 5. จำนวนอักษร (ตัว) | 87 | 10,360 | 4,200 | 23,040 |
| 6. ความถูกต้อง (%) | 98 | 92 | 94.26 | 92.65 |
| 7. เวลา (วินาที/ตัว) | 13 วัน | 0.44 | ไม่กล่าว | 0.24 |

เมื่อ A: โครงร่างนิวรอลแบบแบคพรอบพาเกชั่น
B: เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค
C: การวิเคราะห์โครงสร้างจากขอบตัวอักษร
D: การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง

จากตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรู้จำภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย โดยงานวิจัย A และ B เป็นการรู้ตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยนำเอาหลักการของโครงข่ายประสาทเทียมมาทำการวิเคราะห์การรู้จำ ส่วนงานวิจัย C เป็นการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยการวิเคราะห์การรู้จำด้วยการหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอักษร แล้วนำไปสร้างเป็นตารางไว้ เพื่อเปรียบเทียบกับภาพตัวอักษรอินพุทที่ป้อนเข้ามาทดสอบ เช่นเดียวกับงานวิจัยที่นำเสนอนี้ โดยทั้ง 3 งานวิจัย ทำการทดสอบกับภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์เท่านั้น และมีตัวอักษรต้นแบบเพียงชุดเดียว แต่เพิ่มจำนวนด้วยการตรวจกวาดภาพหลายครั้งแทน ซึ่งแตกต่างกับตัวอักษรที่ทดสอบในงานวิจัยนี้ ที่มีทั้งตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์และอิงเจต โดยพิมพ์เท่ากับจำนวนตัวอักษรที่ใช้ทดสอบและตรวจกวาดภาพตัวอักษรเพียงครั้งเดียว จึงให้ความหลากหลายมากกว่า นอกจากนั้นในงานวิจัย A ยังเป็นการทดสอบกับภาพตัวอักษรรูปแบบและขนาดเดียว จึงไม่สามารถอ้างอิงผลการทดสอบกับตัวอักษรหลายรูปแบบและหลายขนาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.3 ปัญหาที่เกิดขึ้น

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ ปัญหาส่วนใหญ่มาจากคุณภาพของภาพตัวอักษรที่นำมาทดสอบมากกว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการรู้จำ เช่น คุณภาพของหมึกพิมพ์ คุณภาพของกระดาษที่ใช้พิมพ์ ชนิดของเครื่องพิมพ์ กรรมวิธีในการพิมพ์ อายุหรือระยะเวลาของการพิมพ์ ความชัดเจนหรือความสม่ำเสมอของหมึกพิมพ์บนแผ่นกระดาษ เช่น บางส่วนหมึกพิมพ์เข้มชัดเจน บางส่วนหมึกพิมพ์จางไม่ชัดเจน ประสิทธิภาพและความละเอียดของเครื่องตรวจกวาดภาพ ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นองค์ประกอบที่ทำให้ได้ภาพตัวอักษรที่ไม่สมบูรณ์ ปัญหาของหมึกเลอะติดกันภายในตัวอักษร หรือภาพตัวอักษรขาดจากกันอันเกิดจากการจางหรือลบเลือนของหมึกพิมพ์ ทำให้ภาพตัวอักษรนั้นไม่สามารถวิเคราะห์การรู้จำได้หรือวิเคราะห์การรู้จำได้ผิดพลาด

ในการทดลองได้นำภาพตัวอักษรฟอนต์และขนาดที่แตกต่างกันถึง 18 ชุด ทำให้การจัดแยกกลุ่มของภาพตัวอักษรอย่างหยาบ ด้วยจำนวนบล็อกตามวิธีการในบทที่ 4 นั้น มีบางตัวอักษรของบางฟอนต์เข้าไปปะปนอยู่กับกลุ่มตัวอักษรอื่น ที่ไม่ใช่กลุ่มของตัวอักษรเหล่านั้น ทำให้เกิดการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ และจะพบว่าตัวอักษรในกลุ่มย่อยที่ 4 เช่นตัวอักษร “ฆ, ช, ฎ, ฏ, ฑ, ษ, และ ส” ซึ่งมีทิศทางการเคลื่อนที่มาก ทำให้รหัสทิศทางของตัวอักษรต้นแบบที่ผ่านการเรียนรู้ในฐานข้อมูลไม่เพียงพอ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งให้โปรแกรมไม่สามารถวิเคราะห์การรู้จำได้จำนวนมาก นอกจากนั้นฟอนต์ของตัวอักษรและภาพตัวอักษรที่มีขนาดเล็กเช่นภาพของสระก็มีผลต่อการวิเคราะห์การรู้จำได้ผิดพลาดด้วยเช่นกัน

## 6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยตามวิธีการที่นำเสนอนี้ สามารถใช้ได้กับตัวอักษรหลายรูปแบบและหลายขนาด โดยการเพิ่มฟอนต์และขนาดตัวอักษรต้นแบบให้มากขึ้น จึงสามารถที่จะนำไปใช้งานได้จริงและมีลักษณะเด่น คือ ภาพตัวอักษรตัวใดที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ จะปรากฏภาพตัวอักษรให้ผู้ใช้ตัดสินใจเองได้ว่าคือภาพตัวอักษรอะไร พร้อมกับจัดเก็บบันทึกรหัสภาพตัวอักษรที่ไม่ทราบนั้นไว้ในฐานข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ในครั้งต่อไป และเนื่องจากภาพตัวอักษรที่นำมาทำการวิเคราะห์มีขนาดแตกต่างกัน ทำให้ทิศทางที่ได้ของภาพ ตัวอักษรขนาดเล็กแสดงทิศทางที่ไม่ชัดเจน ดังนั้นหากนำวิธีการนี้ไปพัฒนาต่อ อาจจะทำการปรับภาพตัวอักษรให้มีขนาดมาตรฐานก่อนการหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร และในส่วนของการแบ่งกลุ่มและการจำแนกตัวอักษรกลุ่มคล้ายอาจจะเพิ่มคุณสมบัติอย่างอื่นเพิ่มเข้าไปเพื่อให้รหัสตัวอักษรที่ได้มีความแตกต่างกันมากขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้การรู้จำมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นน่าจะนำไปพัฒนาทดลองใช้กับตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยหรือตัวอักษรภาษาอังกฤษด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


1. ทวี เปรมรัตนชัย, "การรู้จำอักษรพิมพ์ภาษาไทยด้วยวิธีโครงข่ายนิวรอนแบบแบคพรอบพาเกชั่น" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประจำปีการศึกษา 2538.
2. อัญชลี วานิชทวีวัฒน์, "การจดจำอักขระภาษาไทยตัวพิมพ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเซลท์ออร์แกนไนซิ่งแมปซ์" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประจำปีการศึกษา 2540.
3. อุกฤษณ์ มารัง , "การรู้จำอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เจนเนติก-นิวรอลเน็ตเวิร์ค" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประจำปีการศึกษา 2544.
4. สมหมาย บัวแย้มแสง, "การจดจำตัวพิมพ์อักษรภาษาไทยจากตารางโดยการวิเคราะห์โครงสร้างจากขอบตัวอักษร" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประจำปีการศึกษา 2543.
5. สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์, "การจดจำอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการพิจารณาหัวของตัวอักษร" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประจำปีการศึกษา 2531.
6. อนุชิต จารุวนารัตน์, สุรสิทธิ์ ราตรี และ ชม กิ้มปาน, "การแยกภาพตัวอักษรภาษาไทยออกจากภาพประโยค" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 24-25 พฤษภาคม 2530.
7. กิตติ ไฟฑูรย์วัฒนกิจ และ ทรงชัย วีระทวีมาศ, "อัลกอริทึมในการทำให้วัตถุในภาพบางอย่างรวดเร็ว" การประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรม ประจำปี 2534, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พ.ศ.2534.
8. พิศิษฏ์ โภคารัตน์กุล และ ชม กิ้มปาน, "การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการหารหัสควอไซโทโปโลยี" การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 19 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 7-8 พ.ย.2539.
9. ทรงชัย วีระทีมาศ และ ชัยณรงค์ คล้ายมณี, "การปรับปรุงอัลกอริทึมในการทำให้วัตถุบางอย่างรวดเร็ว" การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ ชลบุรี พ.ศ. 2538.
10. ทรงชัย วีระทีมาศ, "การปรับปรุงวิธีการกำจัดส่วนเกิน" การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ ชลบุรี พ.ศ. 2538.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. นิคม เสาวดี, เพิ่มพล กุดจอมศรี และ ทรงชัย วีระทวีมาศ, "การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง" วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 19 ฉบับที่ 1, มีนาคม 2545.
12. เพิ่มพล กุดจอมศรี และ ทรงชัย วีระทวีมาศ, "การหาเส้นโครงร่างภาพสองระดับโดยการแบ่งส่วนภาพ" การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 22-23 พ.ย.2544.
13. Kuo-Chin Fan, Den-Fong and Ming-Gang Wen, " Skeletonization of binary images with nonuniform width via block decomposition and contour vector matching" Pattern Recognition, Vol.31 (7), 1998, Pp.823-838.
14. สุรสิทธิ์ ราตรี และ ชม กิ้มปาน, "การจดจำรูปแบบตัวอักษรพิมพ์อักษรภาษาไทยโดยใช้คุณสมบัติเรขาคณิตของอักษร" วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 8 ฉบับที่ 1, มิถุนายน 2529.
15. สุรสิทธิ์ ราตรี, "การรู้จำตัวพิมพ์อักษรภาษาไทยโดยวิธีค้นหาลักษณะโครงสร้างของลายเส้น" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประจำปีการศึกษา 2533.
16. นรินทร์ ทัศนลีลพร และ สมศักดิ์ รัตนฤขัตร, "การรู้จำรูปแบบอักษรพิมพ์ภาษาไทย" ปริญญานิพนธ์บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, ประจำปีการศึกษา 2539.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
# โครงสร้างแฟ้มข้อมูล PCX

ข้อมูลภาพตัวอักษรที่ได้จากการตรวจกวาดภาพของเครื่องตรวจกวาดภาพ จะถูกจัดเก็บไว้ในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของเครื่องตรวจกวาดภาพ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ข้อมูลภาพตัวอักษรจะถูกจัดเก็บในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลภาพ PCX ซึ่งเป็นการจัดเก็บแบบบีบอัดข้อมูล จึงมีความต้องการหน่วยความจำในการจัดเก็บน้อย เป็นการประหยัดหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในการนำกลับมาใช้งาน (Restore) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาคุณลักษณะของแฟ้มข้อมูล โดยแฟ้มข้อมูลภาพ PCX นี้จะมีหัวแฟ้มข้อมูล (Header File) จำนวน 128 ไบต์ ดังแสดงในตารางที่ ก. 1

**ตารางที่ ก. 1** หัวแฟ้มข้อมูลภาพ PCX

| ไบต์ที่ | ขนาด (ไบต์) | ชื่อข้อมูล | รายละเอียด |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | Password | ค่า "0AH"=แฟ้มข้อมูล PCX |
| 1 | 1 | Version | เก็บค่า Version ของ PC Paintbrush<br>0 = Version 2.5<br>2 = Version 2.8 with palette<br>3 = Version 2.8 without palette<br>5 = Version 3.0 |
| 2 | 1 | Encoding | ค่า = 1 |
| 3 | 1 | Bit Per Pixel | จำนวน Bit ที่ใช้แสดง 1 Pixel จาก 1 Plane<br>1 = EGA, VGA, HERC<br>4 = CGA |
| 4 | 8 | Windows Dimension | ค่าจำนวนจริง 4 ค่า (ค่าละ 2 ไบต์) ให้ค่ามุมบนซ้ายและมุมล่างขวาของภาพมีค่าเท่ากับ X1, Y1, X2, Y2 |
| 12 | 2 | Horizontal Resolution | ความละเอียดของการแสดงภาพในแนวนอนเมื่อ 640 = EGA,VGA<br>320 = EGA<br>720 = HERC |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก. 1** หัวแฟ้มข้อมูล PCX (ต่อ)

| ไบต์ที่ | ขนาด (ไบต์) | ชื่อข้อมูล | รายละเอียด |
|---|---|---|---|
| 14 | 2 | Vertical Resolution | ความละเอียดของการแสดงภาพในแนวตั้ง<br>480 = VGA<br>350 = EGA<br>200 = CGA<br>348 = HERC |
| 16 | 48 | Color Map | ข้อมูล Color Palette |
| 64 | 1 | Reserved | |
| 65 | 1 | No.of Plane | จำนวน Planes ที่ใช้ในการแสดงภาพ |
| 66 | 2 | Bytes Per Line | จำนวน Bytes ต่อการตรวจกวาดภาพ 1 บรรทัด |
| 68 | 2 | Palette in fo | How to interpret the palette |
| 70 | 8 | Maximum X Value | Special for fractal file |
| 78 | 8 | Minimum X Value | Special for fractal file |
| 86 | 8 | Maximum Y Value | Special for fractal file |
| 94 | 8 | Minimum Y Value | Special for fractal file |
| 102 | 8 | P Value | Special for fractal file |
| 110 | 8 | Q Value | Special for fractal file |
| 118 | 10 | Not Used | |

หมายเหตุ ข้อมูลในไบต์ที่ 70-127 ใช้เฉพาะ Fractal Programming

## ก.1 Color Map

ข้อมูล Color Map ถูกใช้ในการแทนค่าเป็น Palette Register 16 ตัว โดยที่ Palette Register 1 ตัว ของระบบแสดงผล EGA จะบรรจุข้อมูล 6 บิตเท่านั้น โดยแต่ละ 2 บิตจะแทนสีหลักคือ แดง, เขียว, น้ำเงิน ดังรูปที่ ก. 2 และรูปที่ ก. 3 แสดง Palette Register เมื่อตัวอักษรตัวใหญ่จะแทนความเข้มของสี 75 % ตัวอักษรตัวเล็กแทนความเข้มของสี 25 % แต่ละสีหลักจะมี 4 ระดับของการแสดงสี คือ 0%, 25 %, 75%, 100% เช่น ค่า Register เป็น “00100001” หมายถึง แสดงสีแดงที่มีความเข้ม 75% และแสดงสีน้ำเงินที่มีความเข้ม 25 % ค่า Register เป็น “00100101” หมายถึง แสดงสีแดงที่มีความเข้ม 100% และแสดงสีน้ำเงินที่มีความเข้ม 25% ค่า Register เป็น “00000000” หมายถึง ไม่แสดงสีใดเลยเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก. 2** แสดงตำแหน่งไบต์ในการเก็บสี จำนวน 3 ไบต์ คือ สีแดง, เขียว, น้ำเงิน

| ไบต์ที่ | Palette | ไบต์ที่ | Palette |
|---|---|---|---|
| 16,17,18 | 0 | 40,41,42 | 8 |
| 19,20,21 | 1 | 43,44,45 | 9 |
| 22,23,24 | 2 | 46,47,48 | 10 |
| 25,26,27 | 3 | 49,50,51 | 11 |
| 28,29,30 | 4 | 52,53,54 | 12 |
| 31,32,33 | 5 | 55,56,57 | 13 |
| 34,35,36 | 6 | 58,59,60 | 14 |
| 37,38,39 | 7 | 61,62,63 | 15 |

**ตารางที่ ก. 3** Palette Register

| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | R | G | B | r | g | b |
| x | x | 75% | 75% | 75% | 25% | 25% | 25% |

## ก.2 ที่มาของ Color Map

Color Map ในหัวแฟ้มข้อมูลประกอบด้วยข้อมูล 16 ชุด ๆ ละ 3 ไบต์ โดยไบต์ที่ 1 ของแต่ละชุดจำนวน 3 ไบต์ย่อยนั้น ๆ เป็นค่าสำหรับแทนสีแดงโดยถูกนำมาสร้างเป็นเลข 4 จำนวน ตั้งแต่ 0-3 (00,01,10,11) และตัวเลขนี้จะต้องคูณกับ 85 เพื่อจะทำการเก็บลงในส่วนของหัวไฟล์ ในกรณีเดียวกันสีเขียวคือไบต์ที่ 2 และสีน้ำเงินคือไบต์ที่ 3 วิธีการนี้จะถูกทำซ้ำ ๆ กัน 16 รอบ เพื่อจะได้ค่าของสีแดง เขียว น้ำเงิน จนครบ 16 ชุด

## ก.3 การแทนความหมายของ Palette

ถ้าสมมติ Palette Register มีค่า "xx100001" (ใน Palette ใด 0-15) แล้ว

- บิตที่ 5,2 → แดง → "10" = 2
- บิตที่ 4,1 → เขียว → "00" = 0
- บิตที่ 3,0 → น้ำเงิน → "01" = 1

ดังนั้นค่าที่จะเก็บใน Color Map ของ Palette ใด ๆ (0-15) จะต้องคูณด้วย 85 ก่อน ดังนั้น ไบต์ที่เก็บสีแดงเท่ากับ 170 สีเขียวเท่ากับ 0 และสีน้ำเงินเท่ากับ 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.4 พื้นฐานการอ่านข้อมูลเก็บลงในแฟ้มข้อมูล

ภาพที่อ่านจะถูกอ่านตามแนวของจอภาพในแนวนอนจากซ้ายไปขวาเริ่มที่ Pixel ตำแหน่งบนซ้ายไปทางขวาจนสุดภาพ แล้วจึงอ่านในแถวถัดไปโดยใน EGA, VGA ซึ่งมีหน่วยความจำหลาย ๆ Plane ดังนั้นใน 1 แถว จะอ่านข้อมูลในทุก Plane เริ่มที่ Plane 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับจนครบ แล้วจึงอ่านแถวถัดไปจนหมดภาพที่ต้องการเก็บ

## ก.5 การเข้ารหัสแฟ้มข้อมูล PCX

แฟ้มข้อมูล PCX มีวิธีการเข้ารหัสที่เรียกว่า "Run-Length Encoding" ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการลดขนาดแฟ้มข้อมูล คือ ถ้าไบต์ใด ๆ มีค่าไม่เหมือนกับไบต์อื่น ๆ และ 2 บิตบนไม่เท่ากับ "11" ไบต์นั้นจะถูกเก็บลงในแฟ้มข้อมูลเลย ส่วนกรณีอื่นนั้นจะมีตัวนับ คอยนับว่าเหมือนกันกี่ไบต์ แต่ต้องไม่เกิน 63 ถ้าเกินให้นำค่าที่นับได้ไป OR กับ "C0h" แล้วเก็บค่าตัวนับนั้นลงในแฟ้มข้อมูลแล้วตามด้วยค่าของไบต์นั้น ๆ จากนั้นจึงเริ่มนับ 1 ใหม่ต่อไป ถ้าในกรณีของไบต์เดียวที่มีค่าบิตบนเป็น "11" ให้เขียนตัวนับเท่ากับ "C1h" ลงไปในแฟ้มข้อมูลและตามด้วยค่าไบต์นั้น ดังแสดงในตารางที่ ก. 4

**ตารางที่ ก. 4** การเข้ารหัสของแฟ้มข้อมูล PCX

| เงื่อนไข | การกระทำ |
|---|---|
| ค่าที่เหมือนกับไบต์อื่น | นับ Counter+1 |
| ค่า < "C0h" ไม่เหมือนไบต์อื่น | เก็บลงแฟ้มข้อมูลเลย |
| ค่า > "C0h" ไม่เหมือนไบต์อื่น | เก็บ "C1h" ลงในแฟ้มข้อมูลตามด้วยค่าไบต์นั้น |
| Counter>63 | Counter = 1 เก็บค่า "FFh" แล้วค่าไบต์นั้น |

## ก.6 การถอดรหัสแฟ้มข้อมูล PCX

ในการถอดรหัสของแฟ้มข้อมูลก็จะกระทำตรงกันข้ามกับวิธีการเข้ารหัส คือ อ่านข้อมูลมา 1 ไบต์ แล้วทำการตรวจสอบดูว่ามากกว่า "C0h" หรือไม่ (ค่า 2 บิตบนเป็น "11") ถ้าใช่ ค่าที่ได้จะเป็นค่าของตัวนับ ซึ่งเมื่อ XOR กับ "C0h" จะได้ค่าจริงที่น้อยกว่า 63 ออกมา และไบต์ต่อไปจะเป็นค่าของไบต์ (Value) แล้วทำการขยายข้อมูลออกมาตามจำนวนตัวนับนั้น ๆ แล้วนำไปเก็บในหน่วยความจำ ถ้าค่าไบต์ที่อ่านออกมาน้อยกว่า "C0h" จะทำการเก็บข้อมูลไบต์นั้นตัวเดียวลงในหน่วยความจำได้เลย โดยไม่ต้องขยายข้อมูล และกระทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนจบแฟ้มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

# โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยในวิทยานิพนธ์นี้ เขียนด้วยเทอร์โบซีเวอร์ชั่น 3.00 (Turbo C++ Version 3.00) สามารถใช้ได้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยโปรแกรมนี้จะรับข้อมูลภาพตัวอักษรที่ได้จากการตรวจกวาดภาพที่มีนามสกุล PCX เท่านั้น แต่ถ้าเป็นนามสกุลอื่น เช่น JPG, GIF, BMP ก็อาจใช้โปรแกรมที่สามารถ Convert ภาพนามสกุลอื่นให้เป็นนามสกุล PCX ก่อน โดยข้อมูลภาพตัวอักษรที่จัดเก็บในแผ่นดิสก์หรือฮาร์ดดิสก์ จะถูกนำมาวิเคราะห์การรู้จำและจัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อความ (Text File) ที่มีชื่อเดียวกันกับแฟ้มข้อมูลภาพแต่นามสกุล TXT

## ข.1 คุณสมบัติเฉพาะของโปรแกรม

1. อ่านแฟ้มข้อมูลภาพนามสกุล PCX เท่านั้น
2. แสดงภาพข้อมูลตัวอักษรปรากฏบนจอภาพ พร้อมทั้งสามารถบังคับเลื่อนขึ้น-ลงและซ้าย-ขวาได้ โดยใช้เมาส์หรือคีย์ลูกศร
3. โปรแกรมสามารถแยกภาพตัวอักษร ออกจากภาพประโยคข้อความ ที่ประกอบด้วยภาพตัวอักษรหลายบรรทัดได้
4. ภาพตัวอักษรจะถูกทำให้บางเหลือเพียงเส้นโครงร่างภาพ หรือภาพตัวอักษรที่มีความหนาของลายเส้นเพียงเส้นเดียว ในตำแหน่งที่สมมาตรกับภาพตัวอักษรเดิมก่อนทำการวิเคราะห์
5. วิเคราะห์ภาพตัวอักษร โดยใช้จำนวนบล็อกของเส้นโครงร่างภาพในการแบ่งกลุ่มย่อย และใช้ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรในการจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียด
6. ตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้แต่ละตัว จะปรากฏให้เห็นเป็นประโยคข้อความเดิมเหมือนก่อนการวิเคราะห์
7. ภาพตัวอักษรที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ จะแสดงเส้นโครงร่าภาพตัวอักษรให้ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกตัวอักษรจากแป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์
8. ตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้จะถูกจัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อมูลตัวอักษร

## ข.2 โปรแกรมและแฟ้มข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย ที่ใช้ในขบวนการวิเคราะห์ภาพตัวอักษรนี้ ประกอบด้วย

1. โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย ที่ประกอบด้วยแฟ้มข้อมูล THAIOCR.EXE ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นโปรแกรมหลักสำหรับการวิเคราะห์ภาพตัวอักษร และ CODE1.DAT – CODE4.DAT เป็นฐานฐานข้อมูลเก็บรหัสแทนภาพตัวอักษรต้นแบบ

2. แฟ้มข้อมูลภาพตัวอักษรที่ได้จากเครื่องตรวจกวาดภาพนามสกุล PCX เช่น CHAR.PCX หรือ AngsanaUPC.PCX เป็นต้น

3. แฟ้มข้อมูลที่เก็บ Font ตัวอักษรภาษาไทย เพื่อให้โปรแกรมสามารถแสดงผลตัวอักษรภาษาไทยในโหมดกราฟฟิคได้ จึงจำเป็นที่จะต้องมีแฟ้มข้อมูลที่เก็บ Font ภาษาไทย โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ Font ภาษาไทยของจุฬา คือ Normal.Fon

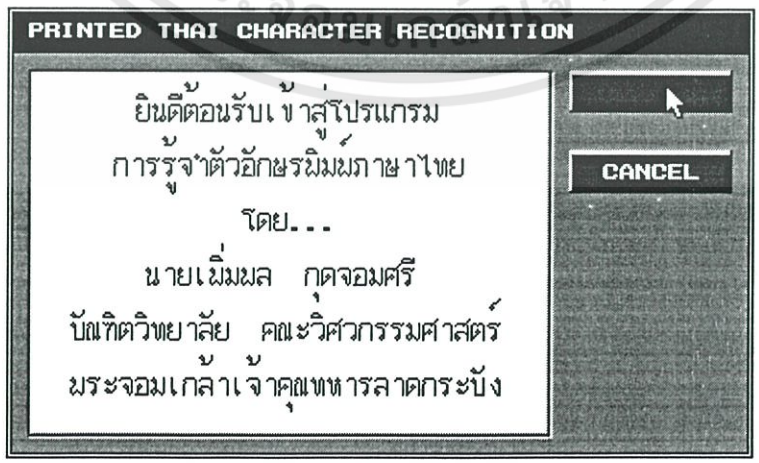
## ข.3 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบ

1. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Micro Computer)
2. จอภาพ (Monitor)
3. เครื่องตรวจกวาดภาพ (Image Scanner)
4. เมาส์ (Mouse)
5. โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย (Printed Thai Character Recognition)

## ข.4 การใช้งานโปรแกรม

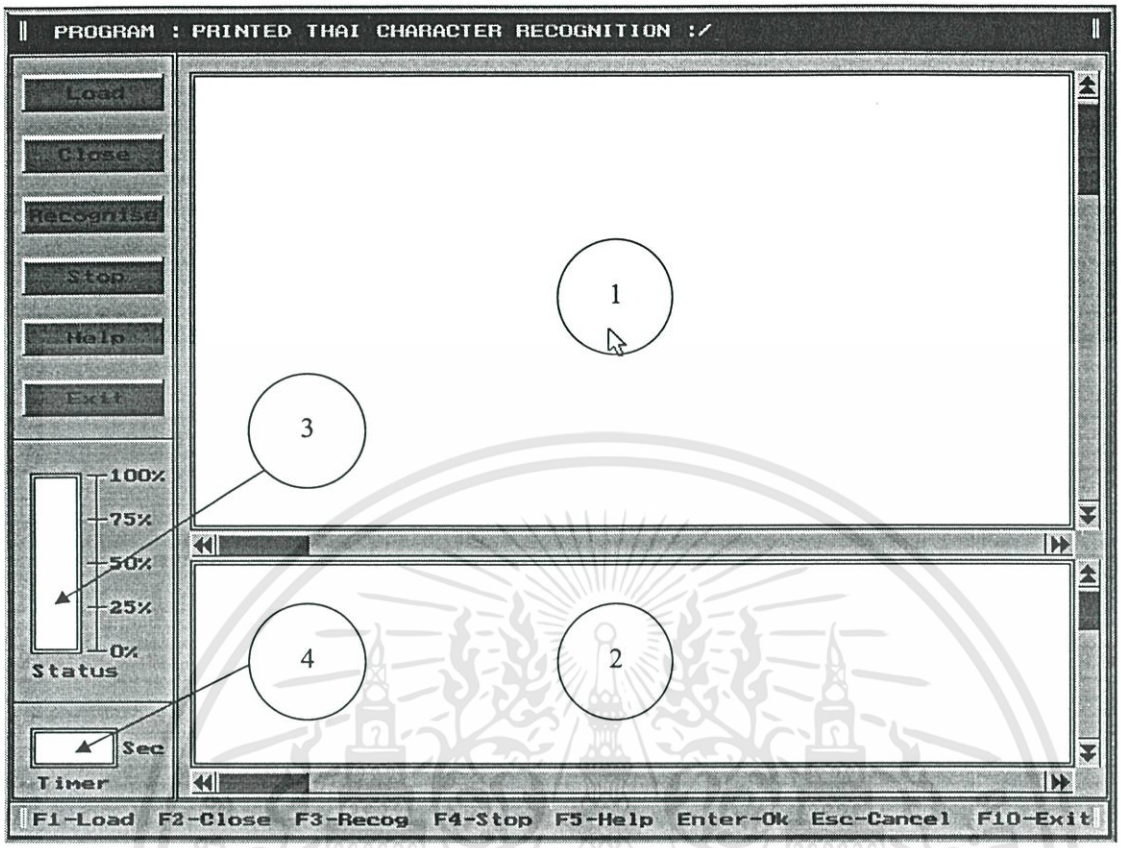
### ข.4.1 การเข้าสู่โปรแกรม

เมื่อทำการ RUN โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย ที่ระบบปฏิบัติการดอสและพิมพ์ A:\> THAIOCR พร้อมทั้งกดคีย์ ENTER จะปรากฏเมนูการเข้าสู่โปรแกรมการใช้งานดังแสดงในรูปที่ ข.1 เมื่อเลือกเข้าสู่โปรแกรมการรู้จำด้วยการกดปุ่ม OK จะแสดงหน้าจอโปรแกรมการใช้งานหลักดังรูปที่ ข.2




**รูปที่ ข.1** แสดงเมนูการเลือกเข้าสู่โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



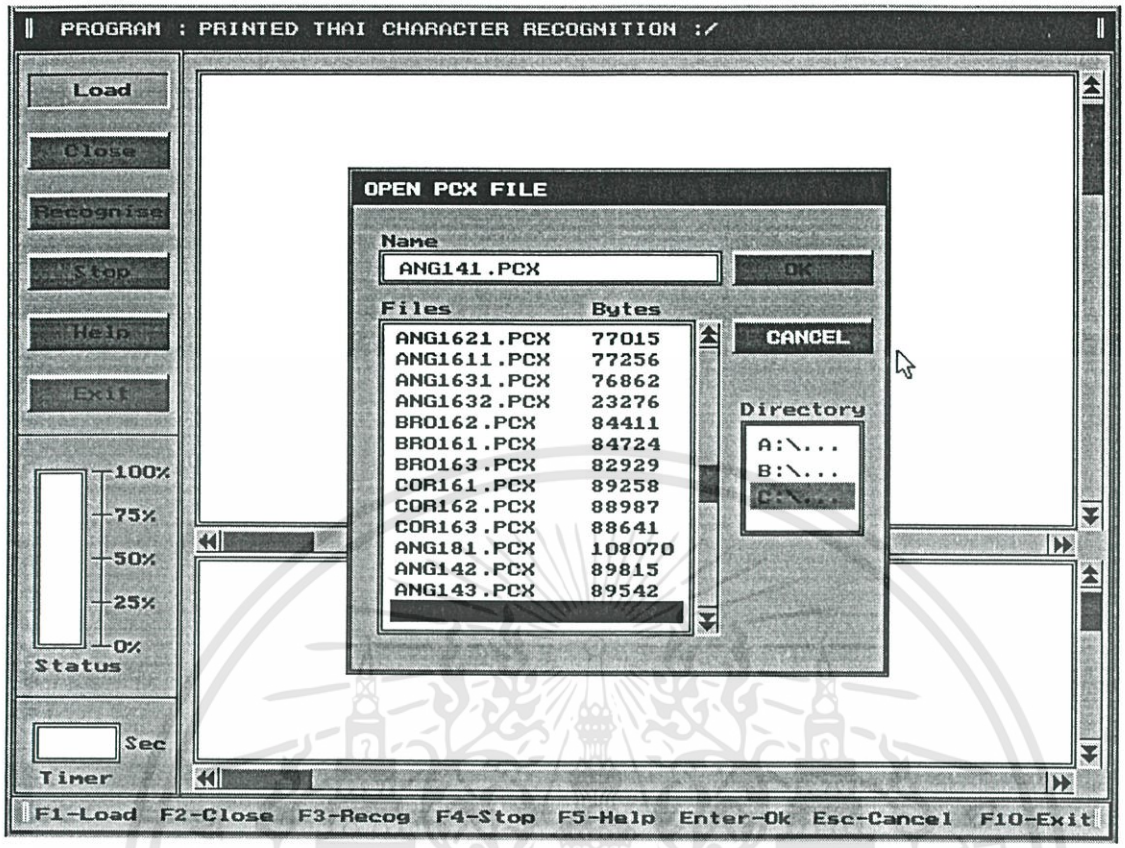

**รูปที่ ข.2** หน้าจอหลักของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

จากรูปที่ ข.2 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย เมื่อพื้นที่ 1 เป็นพื้นที่ใช้แสดงภาพตัวอักษรสองระดับที่มีนามสกุล PCX พื้นที่ 2 ใช้เป็นพื้นที่แสดงตัวอักษรภาษาไทยที่วิเคราะห์ได้จากการรู้จำภาพตัวอักษรในพื้นที่ 1 ส่วนพื้นที่ 3 และ 4 นั้น จะแสดงสภาวะการทำงาน (Status bar) และตัวจับเวลา (Timer) ในการประมวลผลการรู้จำของโปรแกรม

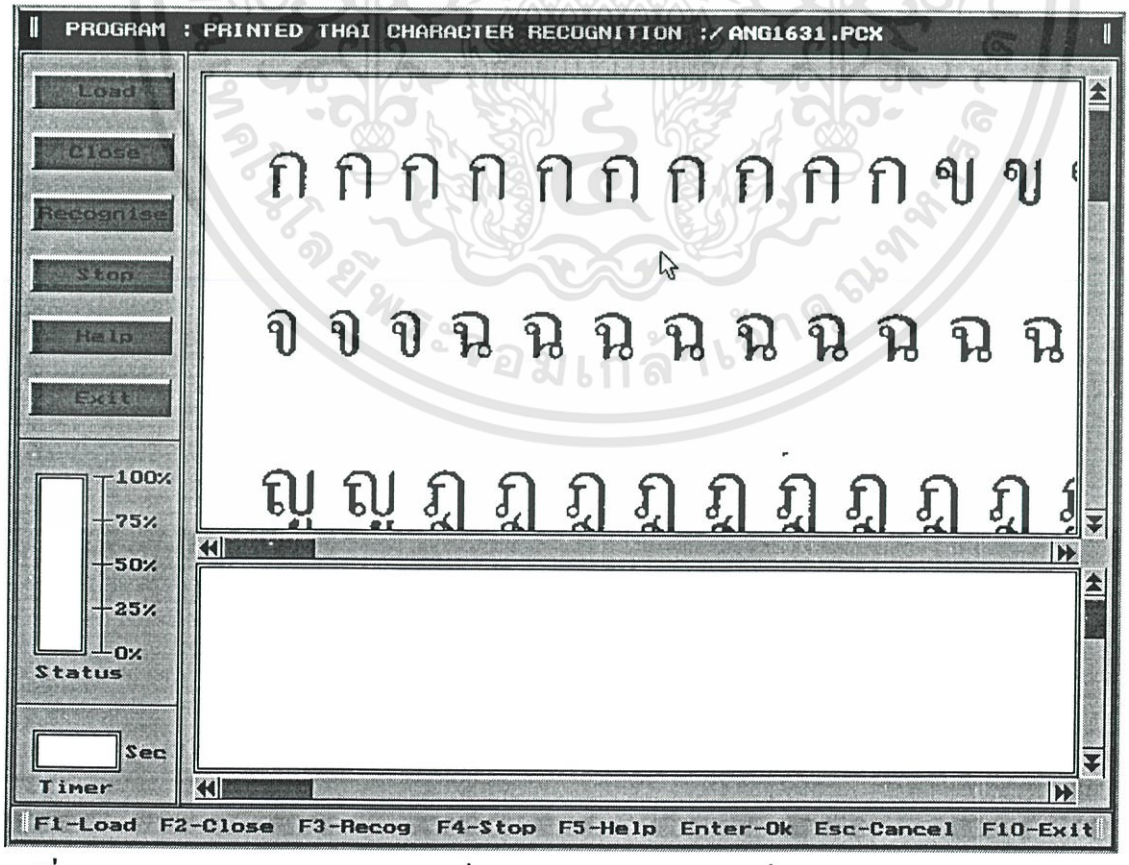
### ข.4.2 การเปิดแฟ้มข้อมูลภาพตัวอักษร PCX

ในการเปิดแฟ้มข้อมูลภาพตัวอักษร PCX นั้น สามารถกระทำได้โดยการคลิกเมาส์ยังปุ่ม Load หรือกดปุ่ม F1 จะปรากฏรายละเอียด คือ ชื่อและขนาดของแฟ้มข้อมูลภาพตัวอักษร PCX ที่อยู่ใน Path นั้น ๆ ดังรูปที่ ข.3 โดยสามารถเลือกแฟ้มข้อมูลภาพตัวอักษรได้ด้วยการใช้คีย์ลูกศร หรือใช้เมาส์ในการเลื่อนแถบสีเลือกแฟ้มข้อมูลภาพตัวอักษร PCX ที่ต้องการเปิด และกดปุ่ม Enter หรือใช้เมาส์คลิกที่ปุ่ม OK เมื่อได้ภาพตัวอักษรที่ต้องการ หลังจากนั้นจะปรากฏภาพตัวอักษรจากแฟ้มข้อมูลที่เลือกแสดงในพื้นที่ส่วนแสดงภาพ PCX สองระดับดังรูปที่ ข.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ข.3** เมนูสำหรับการเลือกแฟ้มข้อมูลภาพ PCX สองระดับ

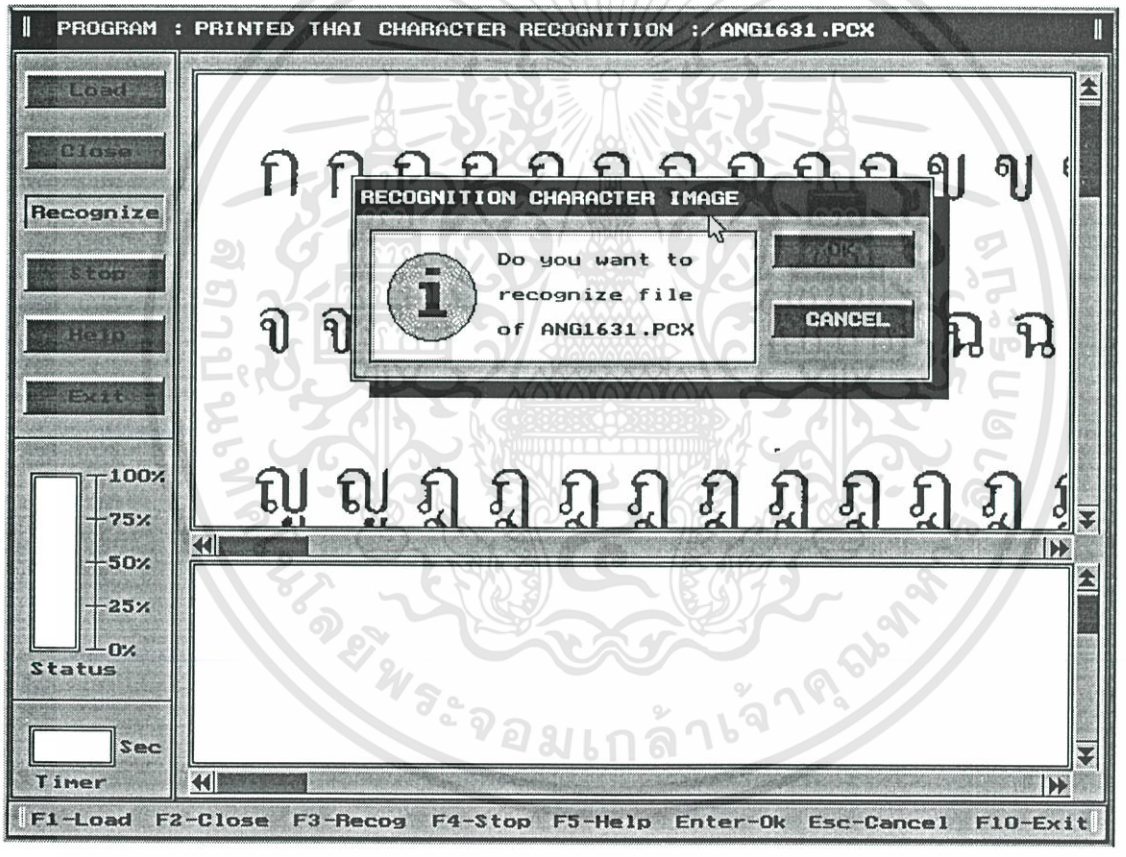



**รูปที่ ข.4** แสดงภาพตัวอักษรสองระดับที่เลือกจากแฟ้มข้อมูลภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์การรู้จำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ข.4.3 การวิเคราะห์ภาพตัวอักษร**

หลังจากโปรแกรมแสดงภาพตัวอักษรจากแฟ้มข้อมูลภาพตัวอักษรที่เลือกดังรูปที่ ข.4 แล้ว หากต้องการที่จะวิเคราะห์การรู้จำภาพตัวอักษร สามารถทำได้โดยการคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Recognize หรือกด F3 โดยโปรแกรมจะถามเพื่อยืนยันการแปลงภาพเป็นตัวอักษรอีกครั้งหนึ่งดังรูปที่ ข.5 ถ้าตกลงคลิกเมาส์ที่ปุ่ม OK หรือ กด Enter โปรแกรมก็จะเข้าสู่กระบวนการรู้จำภาพตัวอักษร โดยจะทำการวิเคราะห์ภาพตัวอักษรที่ละตัว และตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้จะปรากฏบนจอภาพในตำแหน่งที่ 2 ตามรูปที่ ข.2 ให้เห็น พร้อมทั้งจัดเก็บ ASCII Code ของตัวอักษรที่วิเคราะห์ได้ ดังรูปที่ ข.6 แต่ถ้าไม่ต้องการเข้าสู่กระบวนการรู้จำภาพตัวอักษรก็คลิกเมาส์ที่ปุ่ม CANCEL หรือ กด Esc พร้อมทั้งสามารถคลิกที่ปุ่ม Close หรือกด F2 เพื่อปิดการแสดงภาพนั้น ๆ ต่อไป

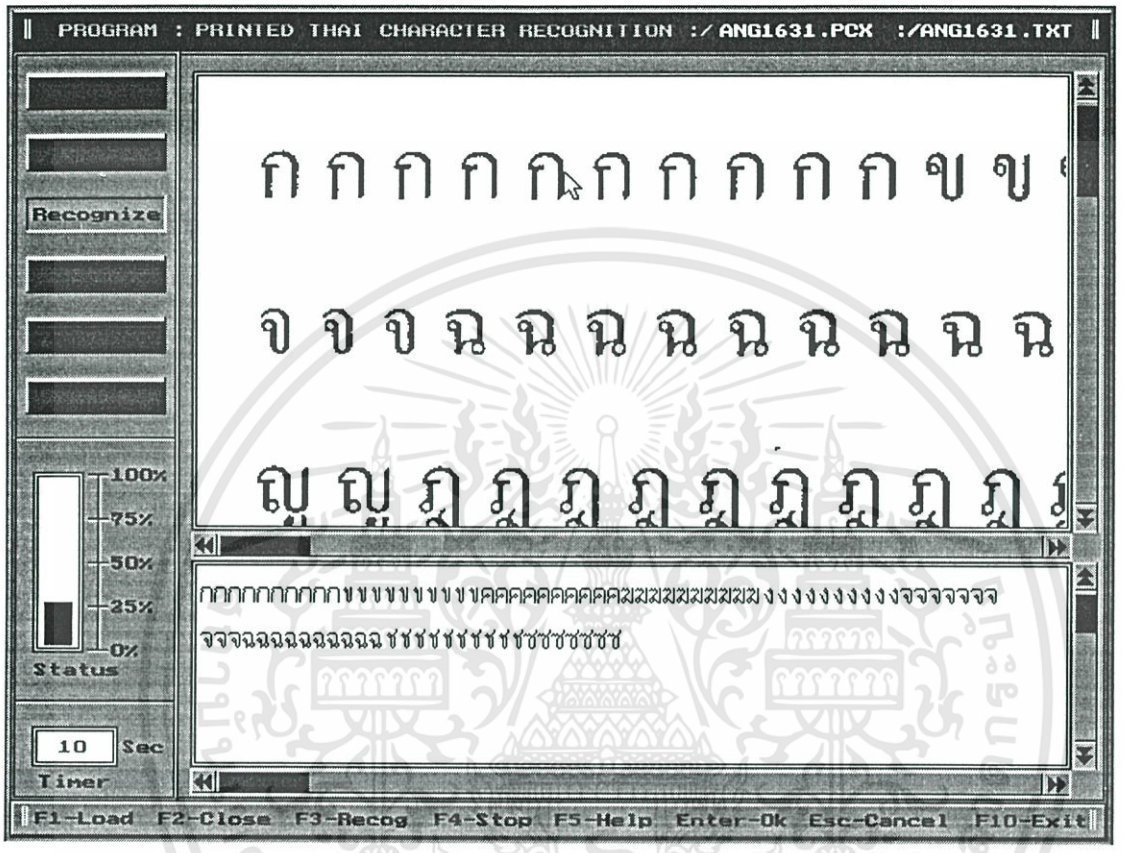



**รูปที่ ข.5** โปรแกรมถามยืนยันการแปลงภาพเป็นตัวอักษร

ในขณะที่โปรแกรมการรู้จำกำลังวิเคราะห์ภาพตัวอักษรอยู่นั้น ถ้าภาพตัวอักษรใดที่โปรแกรมไม่สามารถวิเคราะห์ได้ หรือไม่มีรหัสแทนภาพตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูล โปรแกรมจะแสดงเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรนั้น เพื่อให้ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกตัวอักษรตามเส้นโครงร่างภาพที่แสดงนั้นด้วยตนเองผ่านแป้นพิมพ์หรือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ภายใน 5 วินาที โดยเมื่อเลือกตัวอักษรที่ต้องการและกดปุ่ม Enter แล้ว โปรแกรมจะบันทึกตัวอักษรนั้นลงในแฟ้มข้อความตัวอักษร พร้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งจัดเก็บรหัสแทนภาพตัวอักษรเป็นรหัสต้นแบบ เพิ่มลงในฐานข้อมูลเพื่อการรู้จำต่อไปดังแสดงในรูปที่ ข.7 แต่ถ้าหากภายใน 5 วินาที ไม่เลือกตัวอักษรใดๆ ผ่านแป้นพิมพ์ โปรแกรมจะเติมช่องว่างลงไปแทน พร้อมทั้งกลับไปพิจารณาภาพตัวอักษรตัวต่อไป

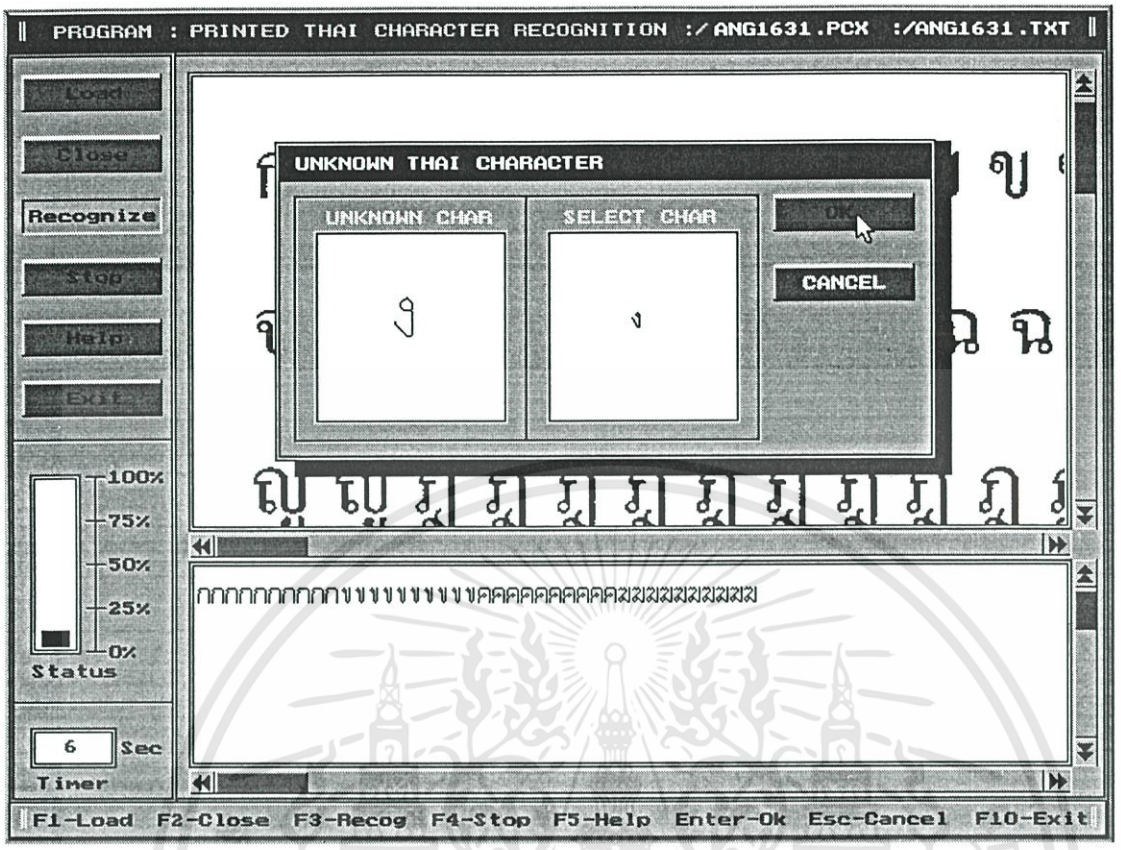



**รูปที่ ข.6** แสดงการทำงานของโปรแกรมการรู้จำ

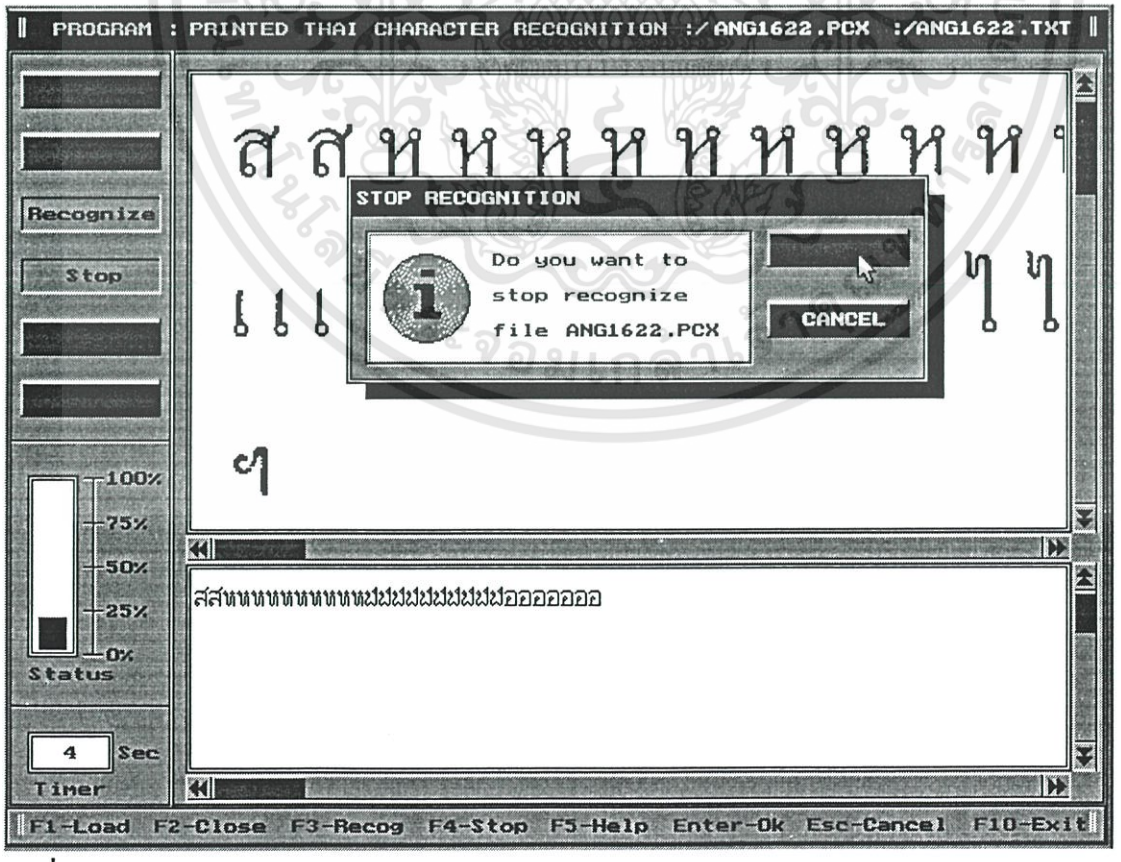
จากรูปที่ 6 แสดงสภาวะการทำงานของโปรแกรมการรู้จำ โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนของการกำจัดสัญญาณรบกวน แยกบรรทัด แยกภาพตัวอักษรออกจากภาพประโยค ปรับขอบภาพตัวอักษรให้เรียบ หาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร ติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง เปรียบเทียบรหัสทิศทางตัวอักษรกับรหัสภาพตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูล โดยมีแถบสภาวะ (status bar) แสดงเปอร์เซ็นการทำงานของการรู้จำ และมีตัวจับเวลา (Timer) จับเวลาการประมวลผลทั้งหมดในหน่วยเป็นวินาที

ในขณะที่โปรแกรมการรู้จำกำลังประมวลผลการรู้จำอยู่นั้น สามารถหยุดการประมวลผลชั่วคราวได้โดยการคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Stop หรือกด F4 โดยโปรแกรมจะถามยืนยันการหยุดการประมวลผล หรือจะให้โปรแกรมประมวลผลต่อดังแสดงในรูปที่ ข.8 โดยในการหยุดการประมวลผลชั่วคราวนี้ เวลาในการประมวลผลจะยังคงเดินต่อไป จนกว่าจะตกลงเลือกหยุดการประมวลผลถาวร โดยการคลิกเมาส์ที่ปุ่ม OK หรือกด Enter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



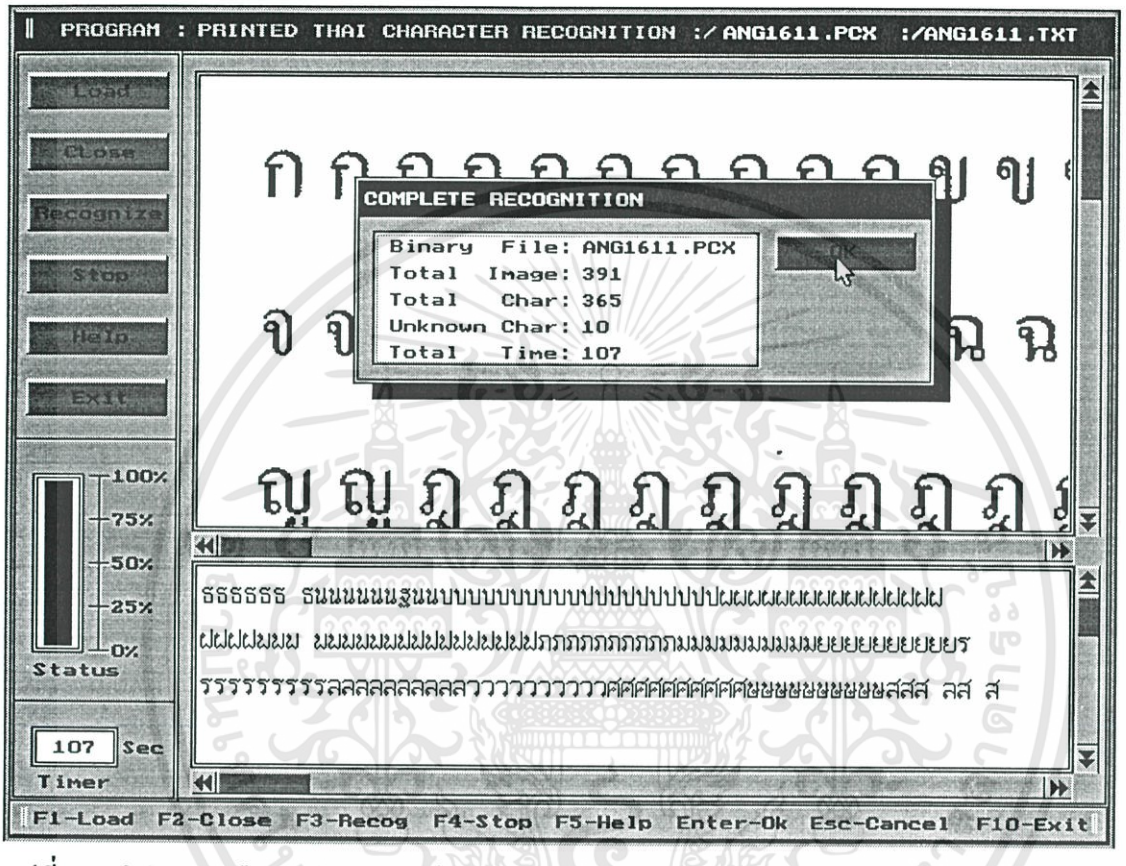

**รูปที่ ข.7** แสดงการเลือกตัวอักษรแทนภาพตัวอักษรที่โปรแกรมไม่สามารถวิเคราะห์ได้




**รูปที่ ข.8** โปรแกรมยืนยันการหยุดการรู้จำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโปรแกรมการรู้จำประมวลผลเสร็จสิ้นหรือแปลงภาพเป็นตัวอักษรจนจบภาพตัวอักษร แถบสภาวะ (Status bar) จะแสดงสภาวะครบหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นและตัวจับเวลาจะหยุดเวลา ซึ่งจะได้เวลาทั้งหมดของการประมวลผลภาพตัวอักษรภาพนั้นๆ พร้อมทั้งการยืนยันการจบการรู้จำของโปรแกรมดังรูปที่ ข.9




**รูปที่ ข.9** โปรแกรมยืนยันการจบการรู้จำภาพ

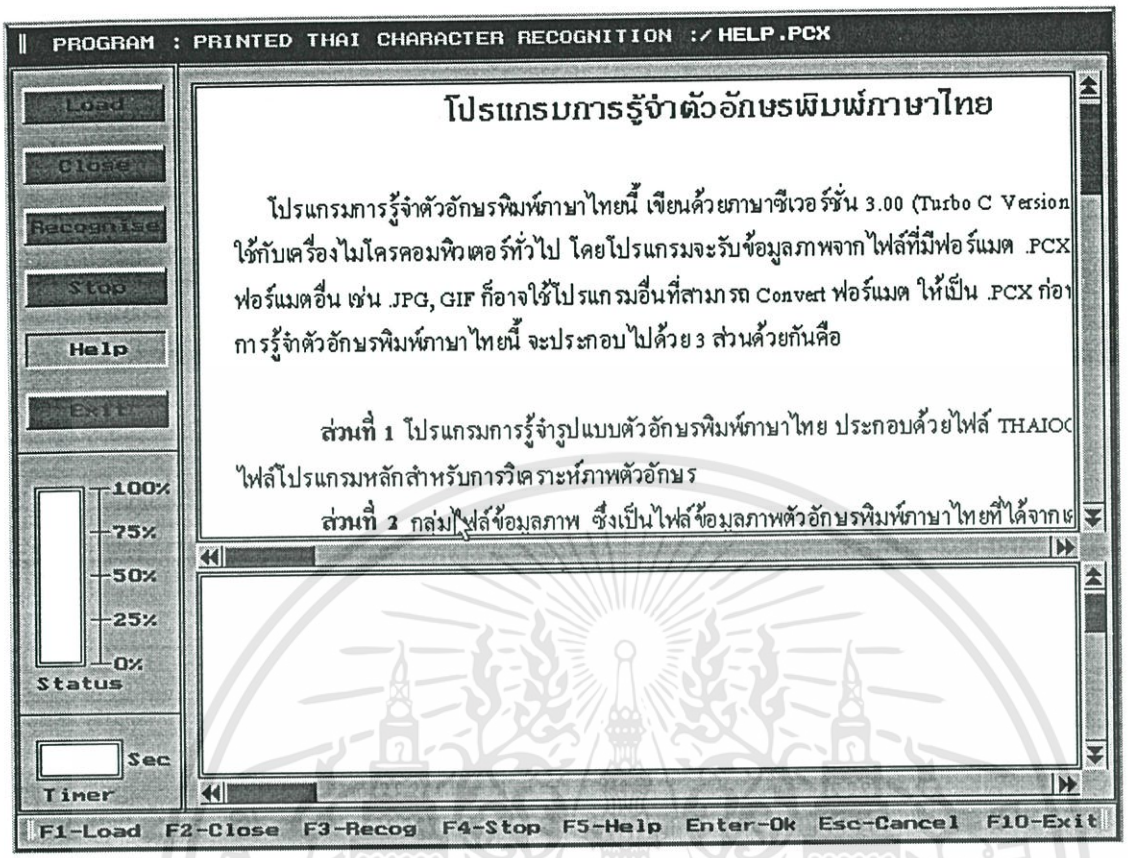
### ข.4.4 การเปิดอ่าน Help

เมื่อต้องการทราบรายละเอียดเกี่ยวกับปุ่มและคีย์การทำงานต่าง ๆ ของโปรแกรม ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม สามารถที่จะทราบข้อมูลเหล่านั้นได้ด้วยการเปิดแฟ้มข้อมูล Help ขึ้นมาอ่านรายละเอียดต่าง ๆ โดยการกดคีย์ F5 หรือใช้เมาส์คลิกที่ปุ่ม Help โปรแกรมจะแสดงแฟ้มข้อมูล Help บนจอภาพที่ตำแหน่งเดียวกันกับพื้นที่การแสดงภาพตัวอักษร PCX ดังแสดงในรูปที่ ข.10

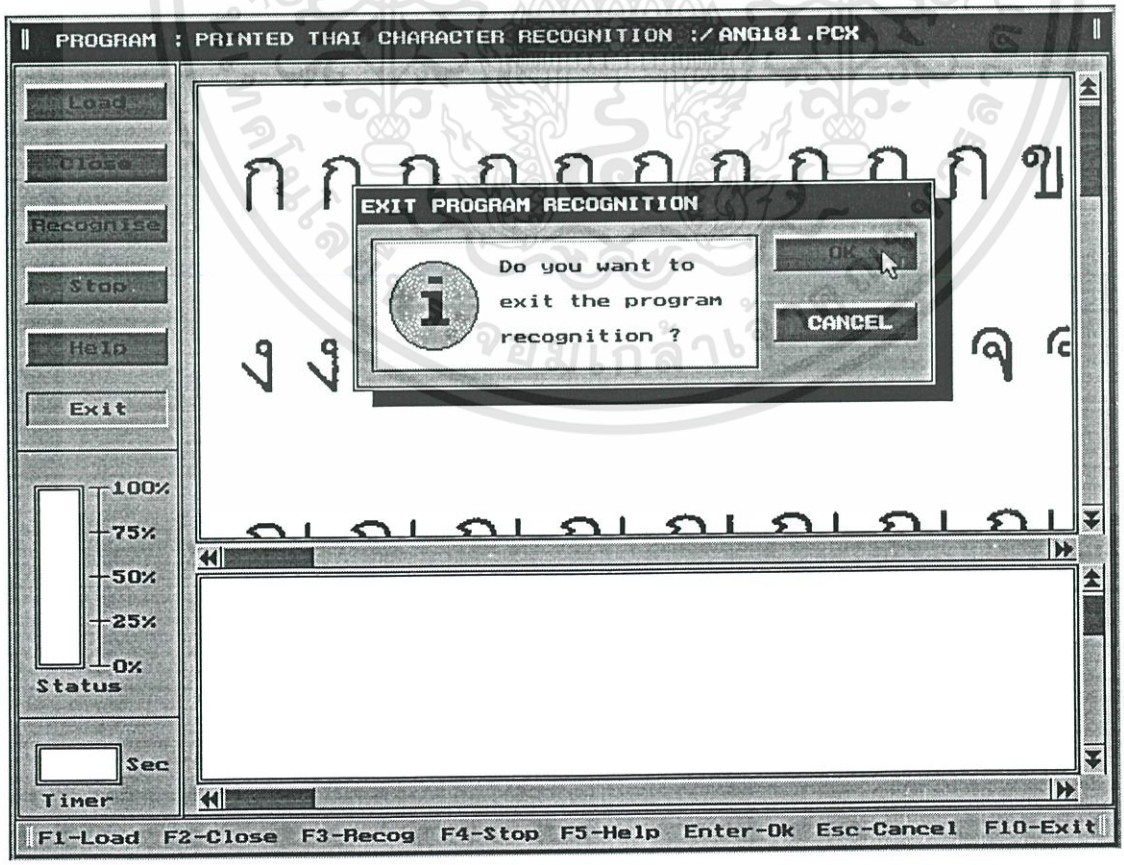
### ข.4.5 การออกจากโปรแกรมการรู้จำ

เมื่อต้องการจบการทำงานหรือออกจากโปรแกรมการรู้จำ สามารถกระทำได้โดยการคลิกปุ่ม Exit หรือกด F10 ซึ่งโปรแกรมจะถามตรวจสอบยืนยันเพื่อความแน่ใจอีกครั้งก่อนดังรูปที่ ข.11 ถ้าต้องการออกจากทำงานจริงก็คลิกเมาส์ที่ปุ่ม OK หรือหากต้องการทำงานต่อก็เลือกปุ่ม CANCEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ข.10** แสดงการเปิดแฟ้มข้อมูล Help เพื่ออ่านรายละเอียดต่าง ๆ ของโปรแกรม




**รูปที่ ข.11** โปรแกรมยืนยันการออกจากโปรแกรมการรู้จำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISSN 0125-1724

วิศวสาร ลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2545

1. ปรากฏการณ์ความต้านทานเชิงลบแบบควบคุมด้วยแรงดันในซิลิคอนไดโอดชนิด n-i-al injection gate 1
*ชลิดา จรรยหาญ สมเกียรติ ศุภเดช*

2. การสังเคราะห์ชั้นความนำไฟฟ้าจากฟิล์มเพชรชนิดอินทรินซิดด้วยวิธี H-termination 7
*พีระวุฒิ ชินวรรังสี วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง*

3. วงจรกำลังสองและวงจรถอดรากที่สองโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงต่ำ 13
*ชัยวัฒน์ สากุล กอบชัย เดชหาญ วิชัย แซ่ลี่*

4. วงจรทรานสคอนดักแตนซ์คลาสเอบีที่มีช่วงอินพุทแบบ เรล ทู เรล 19
*วิชัย แซ่ลี่ อิทธิพงศ์ ชัยสายัณห์*

5. วงจรกรองความถี่แบบนอตช์ที่มีแถบความถี่ศูนย์กลางหยุดที่ 60 Hz โดยใช้วงจรทรานส์คอนดักเตอร์ 25
*มนตรี คำเงิน กอบชัย เดชหาญ วิไลพร โอบอ้อม วิษณุ กอพยัคฆินทร์*

6. วงจรซีมอสออปแอมป์ที่มีค่าทรานส์คอนดักแตนซ์คงที่และมีช่วงอินพุทและเอาท์พุทปฏิบัติงานแบบ Rail – to Rail 30
*ชุมชล จิตรน้ำทรัพย์ กอบชัย เดชหาญ*

7. วงจร $g_m$ -C อินทิเกรเตอร์โดยอินพุทกระตุ้นที่ขา Bulk ของมอสทรานซิสเตอร์ 35
*มนตรี คำเงิน กอบชัย เดชหาญ ชยพล ต้นวงศ์วาล วิษณุ กอพยัคฆินทร์*

8. การคำนวณหาสนามการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปยากิแถวลำดับ 41
*กิตติพงศ์ เพชระบูรณิน จเร สุรวัฒน์ปัญญา*

9. การประมาณอัตราการตกของฝนด้วย Wind Profiler ในย่านความถี่ UHF 47
*กิติชัย วิเศษศิริ ชัยวัฒน์ สมบูรณ์ลาภ นิภา ลีลารุจิ ณรงค์ เหมกรณ์*

10. การปรับปรุง line code 2B1Q ในการเข้ารหัสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูล 53
*อภิชาติ เลิศศุภศาสตร์ กอบชัย เดชหาญ พิเชฐ ม่วงนวล*

11. การหาช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤตในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม 59
*ชายชาญ โพธิสาร สมชาติ จิรวิภากร ศุลี บรรจงจิตร*

12. การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกระแสอินรัชและฟอลต์ของหม้อแปลงด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย 65
*เกรียงไกร กิตติวราวุฒิ อานันทวัฒน์ คุณากร ศุลี บรรจงจิตร*

13. การวิเคราะห์บูสท์คอนเวอร์เตอร์ที่ป้อนด้วยแรงดันฟูลเวฟ 71
*ชนนวรรธน์ ห้าวหาญ วิริยะ พิเชฐจำเริญ*

14. การจำลองการควบคุมแรงบิดโดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 77
*องอาจ เกษภาษา กำพล ศิริจันทร์พงศ์ วิจิตร กิณเรศ*

15. การออกแบบและวิเคราะห์ 1 เฟส เดลต้าม็อดดูเลตพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ที่มีการคงค่าแรงดันเอาท์พุท 83
*คมสัน กลีบบัว วิจิตร กิณเรศ*

16. 3-เฟส พีดับบลิวเอ็ม เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ในเทอมคณิตศาสตร์และการแปลความหมายในทางปฏิบัติ 89
*วิโชค โห้ทองคำ วิริยะ พิเชฐจำเริญ*

17. ชุดเครื่องกลไฟฟ้าเพื่อใช้ทดแทนระบบนิวแมติก 95
*ประภาษ ไพรสุวรรณา สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์*

18. การพยากรณ์โดยเทคนิคการเฉลี่ยน้ำหนักของข้อมูลแต่ละค่าเท่า ๆ กันและเทคนิคการทำให้เรียบแบบเอกโพแนนเชียล 101
*นฤมล ซิ่งเถียรตระกูล สมชาติ จิรวิภากร*

19. การตรวจหาเลนด้วยการยืดและหดแม่แบบ 107
*เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ กมลฐิติ กุลสงศ์*

20. การรู้จำอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง 113
*นิคม เสาวดี เพิ่มพล กุดจอมศรี ทรงชัย วีระทวีมาศ*

21. การแบ่งงานแบบถ่วงน้ำหนักบนระบบประมวลผลขนาน PVM 119
*ทิวา จารณศรี บรรจง ปิยธำรง*

22. การบีบอัดข้อมูลของการเข้ารหัสแบบการสูญเสียต่ำที่มีความซับซ้อนต่ำ 125
*กอบชัย เดชหาญ สายน้ำฝน หอมจันทร์ นภัทร สระเอี่ยม อัครพล ตรีรัตน์*

23. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์บนเครือข่าย 131
*สุรชัย จันทร์ฉาย กอบชัย เดชหาญ สุจินต์ วัฒนพิทักษ์พงศ์*

24. การออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้คอมพิวเตอร์พกพาเชื่อมต่อเพื่อแสดงผลและสั่งการควบคุมระบบอุตสาหกรรม 137
*ทวีชัย ค่าศรี กอบชัย เดชหาญ สรรพสิทธิ์ ทองมี*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง

# Printed Thai Character Recognition by Using Skeleton Direction Following

นิคม เสาวดี เพิ่มพล กุดจอมศรี ทรงชัย วีระทวีมาศ
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**บทคัดย่อ**

บทความนี้เป็นการนำเสนอวิธีการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย ด้วยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร โดยตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยบนหน้ากระดาษเอกสาร จะถูกตรวจกวาดภาพด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพในรูปแบบแฟ้มข้อมูลภาพ PCX จากนั้นแยกภาพตัวอักษรออกจากภาพประโยค หาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรพร้อมทั้งกำจัดส่วนเกิน แล้วใช้จำนวนบล็อกของตัวอักษรในการแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ และใช้ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรในการจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียดสำหรับการวิเคราะห์ว่าเป็นภาพตัวอักษรใด

จากการทดลองกับภาพตัวอักษร 3 ฟอนต์ ๆ ละ 3 ขนาด จำนวน 3,960 ตัว สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องร้อยละ 94.47 วิเคราะห์ไม่ได้ร้อยละ 1.57 และวิเคราะห์ผิดพลาดร้อยละ 3.96 ที่ความเร็วในการวิเคราะห์เฉลี่ยประมาณตัวละ 0.36 วินาที ด้วยโปรแกรมที่เขียนด้วยเทอร์โบซีเวอร์ชั่น 3.00 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซีพียู AMD K6 ความเร็ว 233 MHz.

**Abstract**

This paper proposes the method of printed Thai character recognition by using skeleton direction following. The document is input into the computer by using a scanner in PCX picture format. Each character is separated, found skeleton and redundancy of elimination. Using the quantity of the block of skeleton in rough classification and direction following of skeleton in fine classification for recognition.

The system has been tested with 3 font and 3 size about 3,960-characters show accurate rate 94.47 %, reject 1.57 % and error 3.96 % with an average time taken of 0.36 second per character. Language used in pattern recognition is Turbo C++ version 3.00 on AMD K6 at 233 MHz.

## 1. บทนำ

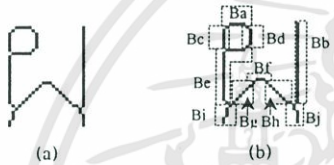
ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในลักษณะข้อมูลภาพ ให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลตัวอักษร ที่สามารถนำไปใช้กับโปรแกรมจัดการข้อความหรือประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ ได้นั้น ต้องอาศัยการประมวลผลภาพมาใช้กับการรู้จำ ซึ่งมีหลายวิธีและแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียต่าง ๆ กันไป ในบทความนี้จะเป็นการนำเสนอวิธีการรู้จำภาพตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยด้วยวิธีการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงร่างภาพ โดยประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษร การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพ การแบ่งกลุ่มตัวอักษร และการจัดเก็บรหัสแทนภาพตัวอักษรในฐานข้อมูล

## 2. การเตรียมข้อมูลภาพตัวอักษรเพื่อการรู้จำ

ภาพตัวอักษรสองระดับที่ได้จากการตรวจกวาดภาพ จะถูกแยกภาพตัวอักษรแต่ละตัวออกจากภาพประโยค [1] พร้อมทั้งกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นด้วยการกำหนดขนาดของสัญญาณรบกวนในระหว่างขั้นตอนของการแยกบรรทัด หาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร [2] และกำจัดส่วนเกิน [3] ซึ่งจะได้ตัวอย่างเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรดังรูปที่ 1 (a)




รูปที่ 1 (a) ตัวอย่างเส้นโครงร่างภาพ "ผ" ที่ได้จากการเตรียมข้อมูลภาพ (b) บล็อกเส้นโครงร่างภาพ "ผ"

## 3. การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง

### 3.1 การแยกบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรที่ได้จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนภาพย่อยที่เรียกว่าบล็อก (Block) [4] ด้วยคุณสมบัติการแยกสาขาของรันแนวนอน ซึ่งเป็นการกำหนดช่วงของจุดภาพในแนวนอนที่ต่อเนื่อง จากจุดเริ่มต้นรันที่ $(x_i^L, y_i)$ ไปยังจุดปลายรันที่ $(x_i^R, y_i)$ และในตำแหน่ง $(x_{i-1}^L, y_i)$, $(x_{i+1}^R, y_i)$ ไม่เป็นจุดภาพดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ลักษณะของรันแนวนอน

บล็อกเป็นการรวมกลุ่มของรันที่ติดกันเข้าด้วยกันโดยทุกรันที่อยู่ภายในบล็อกจะมีดีกรีบน (Up degree) หรือจำนวนรันที่ติดต่อด้านบนและดีกรีล่าง (Down degree) หรือจำนวนรันที่ติดต่อด้านล่างเท่ากับ 1 เท่านั้น ยกเว้นรันเริ่มต้นบล็อกที่มีดีกรีบนเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 3 (a) หรือมีดีกรีบนมากกว่า 1 ดังรูปที่ 3 (b) และรันสิ้นสุดบล็อกที่มีดีกรีล่างเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 4 (a) หรือมีดีกรีล่างมากกว่า 1 ดังรูปที่ 4 (b) หรือเป็นรันที่มีรันติดต่อด้านล่างมีดีกรีบนมากกว่า 1 ดังรูปที่ 4 (c)

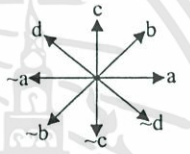
รูปที่ 3 ลักษณะของรันเริ่มต้นบล็อก

รูปที่ 4 ลักษณะของรันสิ้นสุดบล็อก

จากคุณลักษณะของบล็อกข้างต้น เส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ผ" ในรูปที่ 1 (a) สามารถแยกบล็อกได้ดังรูปที่ 1 (b)

### 3.2 รหัสทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร

ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรจะถูกแทนด้วยรหัสทิศทาง 8 ทิศทางหรือ D-Code ดังรูปที่ 5 โดยมีขอบเขตมุมองศาของแต่ละทิศทางดังตารางในรูปที่ 6



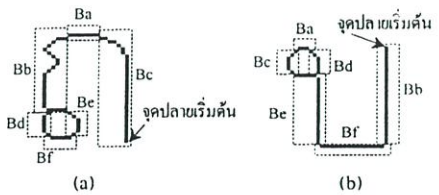

รูปที่ 5 รหัสทิศทางหรือ D-Code 8 ทิศทาง

| รหัสทิศทาง | ขอบเขตของมุมองศา ($\theta$) |
|---|---|
| a | $337.5 < \theta \leq 22.5$ |
| b | $22.5 < \theta \leq 67.5$ |
| c | $67.5 < \theta \leq 112.5$ |
| d | $112.5 < \theta \leq 157.5$ |
| ~a | $157.5 < \theta \leq 205.5$ |
| ~b | $205.5 < \theta \leq 247.5$ |
| ~c | $247.5 < \theta \leq 292.5$ |
| ~d | $292.5 < \theta \leq 337.5$ |

รูปที่ 6 ขอบเขตมุมองศาของรหัสทิศทาง

### 3.3 จุดเริ่มต้นการติดตามทิศทาง

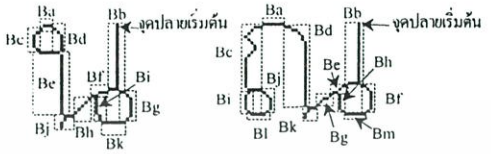
เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรแต่ละตัว จะถูกนำมากำหนดจุดเริ่มต้นการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพ โดยใช้จุดปลายของบล็อกแรกที่มีดีกรี (1,0) หรือ (0,1) เป็นจุดปลายเริ่มต้น ดังรูปที่ 7




รูปที่ 7 จุดปลายเริ่มต้นที่บล็อกดีกรี (a) (1,0) และ (b) (0,1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7 แสดงบล็อกเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "ถ" และ "บ" ที่มีจุดปลายที่บล็อก Bc และ Bb ซึ่งมีดีกรี (1,0) และ (0,1) ตามลำดับเป็นจุดเริ่มต้น และในกรณีที่ไม่มีจุดปลายจากบล็อกดีกรี (0,1) หรือ (1,0) จะเลือกจุดปลายแรกจากบล็อกดีกรี (2,0) หรือ (0,2) แทนดังรูปที่ 8




รูปที่ 8 จุดปลายเริ่มต้นจากบล็อกดีกรี (0,2) หรือ (2,0)

**3.4. การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพ**

การติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างเป็นการติดตามการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร จากบล็อกหนึ่งไปยังอีกบล็อกหนึ่ง โดยมีจุดปลายเริ่มต้นตามหัวข้อที่ 3.3 และเคลื่อนที่ไปยังบล็อกดีกรีล่างหรือบล็อกดีกรีบนในลักษณะหมุนตามเข็มนาฬิกาไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งกลับมายังตำแหน่งจุดเริ่มต้นเดิม โดยมีกฎการเคลื่อนที่ดังนี้

<u>กฎข้อที่ 1</u> การเคลื่อนที่ผ่านบล็อกจากรันเริ่มต้นบล็อกไปยังรันสิ้นสุดบล็อก หรือจากรันสิ้นสุดบล็อกไปยังรันเริ่มต้นบล็อกนั้น กำหนดให้จำนวนครั้งของการเคลื่อนที่ผ่านเท่ากับ 1 ครั้ง

<u>กฎข้อที่ 2</u> การเคลื่อนที่ผ่านบล็อกที่ผ่านเพียงรันเริ่มต้นบล็อกหรือรันสิ้นสุดบล็อกเพียงอย่างเดียวนั้น กำหนดให้จำนวนครั้งของการเคลื่อนที่ผ่านเท่ากับ ½ ครั้ง

จากจำนวนครั้งของการเคลื่อนที่ผ่านในแต่ละบล็อกของตัวอักษร สามารถนำมากำหนดทิศทางการเคลื่อนที่และหัวตัวอักษรได้โดยอาศัยคุณสมบัติดังต่อไปนี้

<u>คุณสมบัติที่ 1</u> บล็อกที่เคลื่อนที่ผ่านเพียง ½ ครั้ง แสดงว่าบล็อกดังกล่าวมีจุดแยกภายในบล็อก

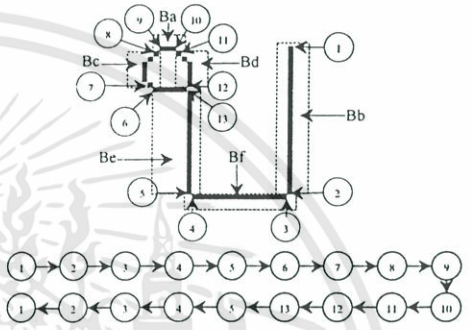
<u>คุณสมบัติที่ 2</u> บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมทั้งหมดเท่ากับ 1 ครั้ง แสดงว่าบล็อกดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มบล็อกเส้นโครงร่างหัวตัวอักษร

<u>คุณสมบัติที่ 3</u> บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมทั้งหมดเท่ากับ $1\frac{1}{2}$ ครั้ง แสดงว่าบล็อกดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มบล็อกเส้นโครงร่างหัวตัวอักษรที่มีจุดแยกหัวตัวอักษรอยู่ด้วย และจะเกิดจากบล็อกบล็อกดีกรี (1,2) และ (2,1)

<u>คุณสมบัติที่ 4</u> บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่านรวมทั้งหมดตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป จะถูกนำมาพิจารณาทิศทางการเคลื่อนที่โดยมีมุมองศา $\theta = \tan^{-1} m$ เมื่อ m คือ ความชันของเส้นโครงร่างภายในบล็อกจากจุดเข้าบล็อกไปยังจุดออกบล็อก และแทนค่ามุม $\theta$ ด้วยรหัสทิศทางดังตารางในรูปที่ 6

<u>คุณสมบัติที่ 5</u> บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ผ่าน 1 ครั้ง ติดต่อกัน 2 ครั้ง แสดงว่าบล็อกดังกล่าวมีจุดปลายอยู่ภายในบล็อก และจะพิจารณา 2 ทิศทาง ถ้าบล็อกดังกล่าวมีจุดแยกด้วย

รูปที่ 9 และ 10 แสดงตัวอย่างการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "บ" และ "น"



รูปที่ 9 ลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "บ"

จากรูปที่ 9 สามารถเขียนลำดับการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างผ่านบล็อกและรหัสทิศทางได้ดังนี้

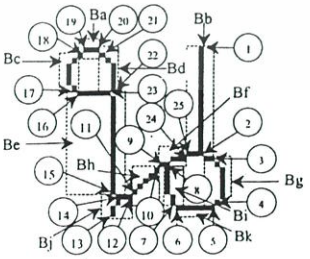
$$\text{Block Rotate} = Bb+Bf+Be+Bc+Ba+Bd+Be+Bf+Bb \quad (1)$$

$$= 2Bb+2Bf+2Be+\underline{Bc+Ba+Bd} \quad (2)$$

$$= \theta_{Bb} + \theta_{Bf} + \theta_{Be} + H \quad (3)$$

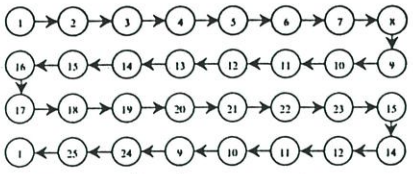
$$\text{D-Code "บ"} = (\sim c)+(\sim a)+c+H \quad (4)$$

จากสมการ (1) แสดงลำดับการเคลื่อนที่ผ่านในแต่ละบล็อก (2) จำนวนครั้งรวมที่เคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งบล็อก Bc, Ba และ Bd เข้าเงื่อนไขคุณสมบัติข้อที่ 2 เป็นกลุ่มบล็อกของหัวตัวอักษร (3) มุมองศาการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกและ (4) แทนมุมองศาการเคลื่อนที่ด้วยรหัสทิศทาง 8 ทิศทาง



รูปที่ 10 ลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "น"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 ลำดับการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละบล็อกของเส้นโครงร่างภาพตัวอักษร "น" (ต่อ)

$$\text{Block Rotate} = Bb+Bg+Bk+Bi+\tfrac{1}{2}Bf+Bh+Bj+Bj+Be+ Bc+Ba+Bd+Be+\tfrac{1}{2}Bj+Bh+Bf+Bb \quad (5)$$

$$= 2Bb+\underline{Bg+Bk+Bi+1\tfrac{1}{2}\,Bf}+2Bh+2\tfrac{1}{2}\,Bj+ Be+\underline{Bc+Ba+Bd} \quad (6)$$

$$= \theta_{Bb}+H1+\theta_{Bh}+\theta_{Bj}+\theta_{Be}+H2 \quad (7)$$

$$\text{D-Code "น"} = (\sim c)+H1+\underline{(\sim b)+(\sim b)}+\underline{c+c}+H2 \quad (8)$$

$$\text{(ลดรหัส)} = (\sim c)+H1+(\sim b)+c+H2 \quad (9)$$

จากสมการ (5) บล็อก Bj มีการเคลื่อนที่ผ่านติดต่อกัน 2 ครั้งและมีจุดแยกภายในบล็อกตรงตามคุณสมบัติข้อที่ 5 ดังนั้นจะได้ทิศทางการเคลื่อนที่ผ่านบล็อก Bj 2 ทิศทาง คือทิศทางจากจุด 12 ไป 13 หรือทิศทาง ~b และจากจุด 13 ไป 14 หรือทิศทาง c ส่วนบล็อก Bf ตรงตามคุณสมบัติข้อที่ 2 จะพิจารณาทิศทางรวมเป็นบล็อกเส้นโครงร่างหัวตัวอักษร H1 ส่วนจุดแยกที่อยู่ภายในบล็อกจะถูกนำไปใช้ในการจำแนกตัวอักษรคล้ายในหัวข้อที่ 4.3.1 และสมการ (9) เป็นการลดรหัสทิศทาง ~b และ c ที่เหมือนกันและต่อเนื่องกันที่ได้จากสมการ (8)

## 4. การแบ่งกลุ่มตัวอักษร

### 4.1 การแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ

เส้นโครงร่างภาพตัวอักษรจะถูกนำมาแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรตามจำนวนบล็อกของตัวอักษรดังตารางในรูปที่ 11

| กลุ่มที่ | จำนวนบล็อก (nB) | ตัวอักษร (Code in UPC) |
|---|---|---|
| C1 | NB<=6 | กงถธบปภยรวฤฦ |
| C2 | 6<nB<12 | ขคจชญดตทนผฝพฟมลอ |
| C3 | nB>=12 | ฆฉฌฒฏฐฑฬฒณศษสหฬฮ |

รูปที่ 11 การแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ

### 4.2 การจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียด

ตัวอักษรในแต่ละกลุ่มจะถูกนำมาจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียด ด้วยการติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่างตามหัวข้อที่ 3.4 ซึ่งแสดงดังตัวอย่างในตารางรูปที่ 12

| กลุ่มที่ | ตัวอักษร | รหัสทิศทาง |
|---|---|---|
| C1 | บ | (~c)+(~a)+c+H |
| C2 | ท | c+(~a)+(~b)+(~c)+c+H |
| C3 | ฌ | (~c)+H1+(~b)+(~c)+c+H2 |

รูปที่ 12 ตัวอย่างทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นโครงร่าง

### 4.3 การจำแนกตัวอักษรที่คล้ายกัน

จากการแบ่งกลุ่มตัวอักษรอย่างหยาบและการจำแนกตัวอักษรอย่างละเอียด ยังคงมีตัวอักษรบางกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายกันที่ไม่สามารถจำแนกได้ด้วยวิธีการดังกล่าวตามตารางในรูปที่ 13 ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้วิธีการพิเศษในการจำแนกตัวอักษรคล้ายเหล่านี้

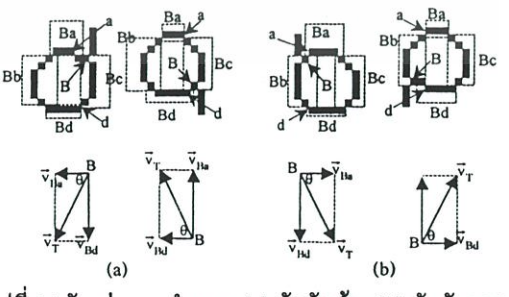
| กลุ่มที่ | ตัวอักษรคล้าย |
|---|---|
| C1 | "บ,ป,ษ" และ "ถ,ภ,ฤ,ฦ" |
| C2 | "ค,ด" และ "ผ,ฝ,พ,ฟ" |

รูปที่ 13 ตัวอักษรคล้ายในแต่ละกลุ่ม

#### 4.3.1 การพิจารณาทิศทางหัวตัวอักษร

การจำแนกตัวอักษร "ผ,ฝ" ออกจาก "พ,ฟ" หรือ "ค" ออกจาก "ด" หรือ "ษ" ออกจาก "บ,ป" หรือ "ภ,ฦ" ออกจาก "ถ,ฤ" จะเป็นการพิจารณาหัวตัวอักษรใน 2 ทิศทาง คือ หัวหันซ้าย ได้แก่ "บ,ป,พ,ฟ,ค,ภ,ฦ" และหัวหันขวา ได้แก่ "ด, ถ,ผ,ฝ,ฤ" โดยการพิจารณาเวกเตอร์รวมที่จุดแยกหัวตัวอักษรไปยังบล็อกดีกรีบนหรือบล็อกดีกรีล่างแบ่งได้ 2 กรณี คือ

<u>กรณีที่ 1</u> กลุ่มบล็อกเส้นโครงร่างหัวตัวอักษรมีบล็อกที่มีคุณสมบัติตามข้อ 3 จุดแยกจะเป็นจุดสิ้นสุดรันหรือเป็นจุดเริ่มต้นรัน บนรันเริ่มต้นบล็อกกรณีบล็อกดีกรี (2,1) หรือบนรันสิ้นสุดบล็อกกรณีบล็อกดีกรี (1,2) จากรูปที่ 14 เวกเตอร์จากจุดแยกหัวตัวอักษร (จุด B) ไปยังบล็อกที่เป็นส่วนประกอบของหัวตัวอักษรบล็อกดีกรีบนหรือบล็อกดีกรีล่างหรือจุด a และ d คือ $\vec{V}_{Ba}$ และ $\vec{V}_{Bd}$ ตามลำดับ

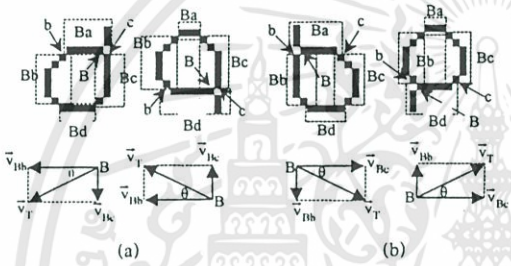


รูปที่ 14 ตัวอย่างการคำนวณ (a) หัวหันซ้าย (b) หัวหันขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 กลุ่มบล็อกเส้นโครงร่างหัวตัวอักษรไม่มีบล็อกที่มีคุณสมบัติตามข้อ 3 จุดแยกจะเป็นจุดเริ่มต้นรันหรือจุดสิ้นสุดรัน บนรันเริ่มต้นบล็อกกรณีทิศทางเคลื่อนที่ขึ้นเข้าหาหัวตัวอักษร หรือบนรันสิ้นสุดบล็อกกรณีทิศทางเคลื่อนที่ลงเข้าหาหัวตัวอักษรของบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร จากรูปที่ 15 เวกเตอร์จากจุดแยก (จุด B) ไปยังบล็อกที่เป็นส่วนประกอบของหัวตัวอักษรบล็อกดึกรีบนหรือบล็อกดึกรีล่าง หรือจุด b และ c คือ $\vec{V}_{Bb}$ และ $\vec{V}_{Bc}$ ตามลำดับ

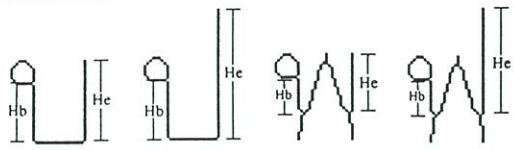
จากทั้ง 2 กรณี เวกเตอร์รวมหรือ $\vec{V}_T$ ที่หาได้จะมีทิศทาง $90 < \theta < 270$ สำหรับตัวอักษรหัวหันซ้ายดังรูปที่ 14 (a) และ 15 (a) และ $\vec{V}_T$ มีทิศทาง $90 > \theta > 270$ สำหรับตัวอักษรหัวหันขวาดังรูปที่ 14 (b) และ 15 (b)




รูปที่ 15 ตัวอย่างการคำนวณ (a) หัวหันซ้าย (b) หัวหันขวา

### 4.3.2 การหาอัตราส่วนความสูงของบล็อก

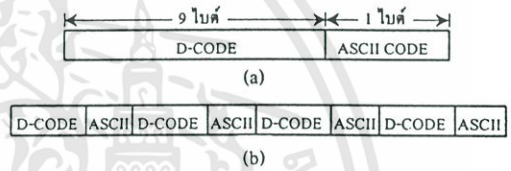
การหาอัตราส่วนความสูงของบล็อกจะถูกนำมาใช้สำหรับจำแนกตัวอักษร "บ" ออกจาก "ป" หรือ "พ" ออกจาก "ฟ" หรือ "ผ" ออกจาก "ฝ" หรือ "ถ" ออกจาก "ฤ" หรือ "ภ"ออกจาก "ฦ" โดยการหาอัตราส่วนความสูงของบล็อกจุดปลายเริ่มต้นกับบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร (จำนวนครั้งของการเคลื่อนที่ผ่านบล็อกเท่ากับ 2 ครั้ง) โดยกำหนดให้ถ้าอัตราส่วนความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 2 แสดงว่าเป็นกลุ่มตัวอักษร "ป,ฝ,ฟ,ฤ,ฦ" และถ้าต่ำกว่านั้น จะเป็นกลุ่มตัวอักษร "บ,ผ,พ,ถ,ภ" ดังรูปที่ 16 เมื่อ He คือ ความสูงของบล็อกจุดปลายเริ่มต้นและ Hb คือ ความสูงของบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร




รูปที่ 16 แสดงความสูงของบล็อกจุดปลายเริ่มต้นและบล็อกก่อนถึงหัวตัวอักษร

## 5. การจัดเก็บรหัสตัวอักษรต้นแบบในฐานข้อมูล

โปรแกรมการรู้จำก่อนนำไปใช้งาน จะต้องผ่านการเรียนรู้ตัวอักษรต้นแบบก่อน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบกับภาพตัวอักษรอื่นที่ป้อนเข้ามาทดสอบเพื่อการรู้จำ โดยฐานข้อมูลตัวอักษรต้นแบบจะแบ่งเป็น 3 แฟ้มข้อมูล (File) ตามจำนวนกลุ่มของการแบ่งกลุ่มย่อยตัวอักษรอย่างหยาบ เพื่อประหยัดเวลาในการค้นหา และใช้พื้นที่ในการจัดเก็บ 10 ไบต์ต่อตัวอักษร โดย 9 ไบต์แรกเป็นการจัดเก็บรหัสทิศทางหรือ D-Code รวมทั้งหัวตัวอักษร โดยจัดเก็บไบต์ละ 2 ทิศทางรวมทั้งหมด 18 ทิศทาง ซึ่งเพียงพอสำหรับตัวอักษรภาษาไทย ส่วนไบต์ที่ 10 จะใช้จัดเก็บ ASCII Code ตัวอักษรต้นแบบ ดังรูปที่ 17 (a) และรหัสต้นแบบจะจัดเรียงต่อเนื่องกันไปดังรูปที่ 17 (b)



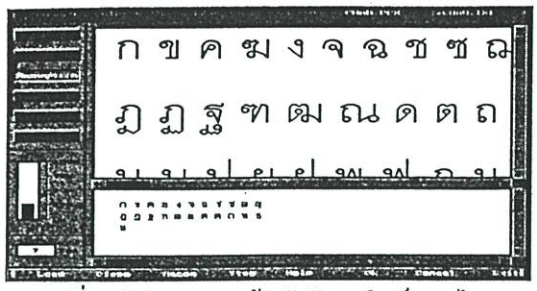

รูปที่ 17 ลักษณะการจัดเก็บฐานข้อมูลตัวอักษรต้นแบบ

## 6. การทดลองและผลการทดลอง

พิมพ์ตัวอักษรภาษาไทย ก-ฮ,ฤ,ฦ (ยกเว้น ฯ และ ๓) รวม 44 ตัวอักษร ๆ ละ 10 ตัว ด้วยฟอนต์ AngsanaUPC, BrowaliaUPC และ CordiaUPC ฟอนต์ละ 3 ขนาด (14, 16 และ 18 พอยท์) รวม 3,960 ตัว ด้วยโปรแกรม Microsoft Word 97 บนกระดาษสำหรับเครื่องถ่ายเอกสาร 80 แกรม ด้วยเครื่องพิมพ์อิงเจต Canon Bjc-210sp และเครื่องพิมพ์เลเซอร์ Canon LBP 800 อย่างละ 1 ชุด จากนั้นตรวจกวาดภาพตัวอักษรบนหน้ากระดาษ ด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพ Genius Color Page View Pro ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลภาพ PCX สองระดับ (Binary file) ที่ความละเอียดแนวตั้งและแนวนอน 300x300 จุดภาพ

นำข้อมูลภาพตัวอักษรทั้ง 2 ชุดไปทดสอบโปรแกรมการรู้จำที่เขียนด้วยเทอร์โบซีเวอร์ชั่น 3.0 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ซีพียู AMD K6 ความเร็ว 233 Mhz. ดังรูปที่ 18 โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยท์ เป็นตัวอักษรต้นแบบและผลการทดลองแสดงได้ดังตารางในรูปที่ 19 และ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 โปรแกรมการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทย

| ฟอนต์ตัวอักษร | จำนวน (ตัว) | ผลการวิเคราะห์ (ตัว) | | | เวลา (วินาที) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | |
| AngsanaUPC | 1,320 | 1,221 | 35 | 64 | 626 |
| BrowalliaUPC | 1,320 | 1,212 | 57 | 51 | 538 |
| CrodiaUPC | 1,320 | 1,213 | 49 | 58 | 631 |
| รวม | 3,960 | 3,646 | 141 | 173 | 1,795 |
| เฉลี่ย (%) | 100 | 92.07 | 3.56 | 4.37 | 0.45 |

รูปที่ 19 ผลการวิเคราะห์เมื่อพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต

| ฟอนต์ตัวอักษร | จำนวน (ตัว) | ผลการวิเคราะห์ (ตัว) | | | เวลา (วินาที) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ถูก | ผิด | ไม่ได้ | |
| AngsanaUPC | 1,320 | 1,247 | 49 | 24 | 494 |
| BrowalliaUPC | 1,320 | 1,240 | 63 | 17 | 420 |
| CrodiaUPC | 1,320 | 1,254 | 45 | 21 | 511 |
| รวม | 3,960 | 3,741 | 157 | 62 | 1,425 |
| เฉลี่ย (%) | 100 | 94.47 | 3.96 | 1.57 | 0.36 |

รูปที่ 20 ผลการวิเคราะห์เมื่อพิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์

## 7. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองได้จำกัดสภาพแวดล้อมเพื่อให้ปัญหาแคบลงและสามารถทดสอบได้ในทางปฏิบัติ โดยภาพตัวอักษรที่นำมาทดสอบพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตและเลเซอร์ทำให้คุณภาพตัวอักษรอยู่ในเกณฑ์ที่สมบูรณ์ดีมาก และทดสอบเฉพาะตัวอักษรพยัญชนะระดับกลาง จึงไม่มีปัญหาที่เกิดจากการติดหรือเหลื่อมล้ำกันระหว่างตัวอักษรในการแยกภาพตัวอักษรออกจากภาพประโยค ผลที่ได้จากการทดลองจึงเป็นที่น่าพอใจ โดยเฉพาะภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์นั้น จะให้ประสิทธิภาพในการรู้จำได้ดีกว่าภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต เนื่องจากคุณภาพตัวอักษรที่ดีกว่า สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้น ปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของภาพตัวอักษร เช่น หมึกเลอะติดกันภายในตัวอักษรดังรูปที่ 21 (a) ซึ่งจะพบมากในภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจต ทำให้เกิดรูปแบบตัวอักษรใหม่ ๆ ขึ้นเรื่อย ๆ เป็นผลให้มีภาพตัวอักษรที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้มากขึ้นด้วย โดยภาพตัวอักษรใดที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ โปรแกรมจะแสดงเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรนั้นให้ผู้ใช้เลือกตัวอักษรผ่านแป้นพิมพ์ พร้อมทั้งจัดเก็บเป็นรหัสตัวอักษรต้นแบบใหม่ในฐานข้อมูล จึงเป็นผลทำให้เวลาการประมวลผลของภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องอิงเจตยาวนานกว่าเครื่องพิมพ์เลเซอร์

(a) (b)

รูปที่ 21 (a) ภาพตัวอักษรหมึกเลอะติดกันภายใน (b) ภาพตัวอักษรที่แสดงรอยหยักแตกต่างไม่ชัดเจน

นอกจากนั้นปัญหาจากฟอนต์และขนาดตัวอักษรที่เล็ก เช่น ภาพตัวอักษร "ช" และ "ด" ที่พิมพ์จากฟอนต์ BrowalliaUPC หรือ CrodiaUPC ดังรูปที่ 21 (b) นั้น จะมีรอยหยักที่แสดงความแตกต่างไม่ชัดเจนกับ "ช" และ "ด" เท่ากับภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากฟอนต์ AngsanaUPC จึงเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์ที่ผิดพลาด และจากผลการทดลองจะพบว่าภาพตัวอักษรที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตนั้น มีผลของการวิเคราะห์ผิดพลาดน้อยกว่าเลเซอร์ เพราะกลุ่มภาพตัวอักษรที่วิเคราะห์ผิดพลาด ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์อิงเจตนั้นส่วนหนึ่งอยู่ในกลุ่มภาพตัวอักษรที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

## 8. เอกสารอ้างอิง

[1] อนุชิต จารุวนารัตน์, สุรสิทธิ์ ราตรี และ ชม กิ่มปาน, "การแยกภาพตัวอักษรภาษาไทยออกจากภาพประโยค" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า พ.ศ. 2530.

[2] ทรงชัย วีระทวีมาศและ ชัยณรงค์ คล้ายมณี, "การปรับปรุงอัลกอริทึมในการทำให้วัตถุในภาพบางอย่างรวดเร็ว" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า พ.ศ. 2538.

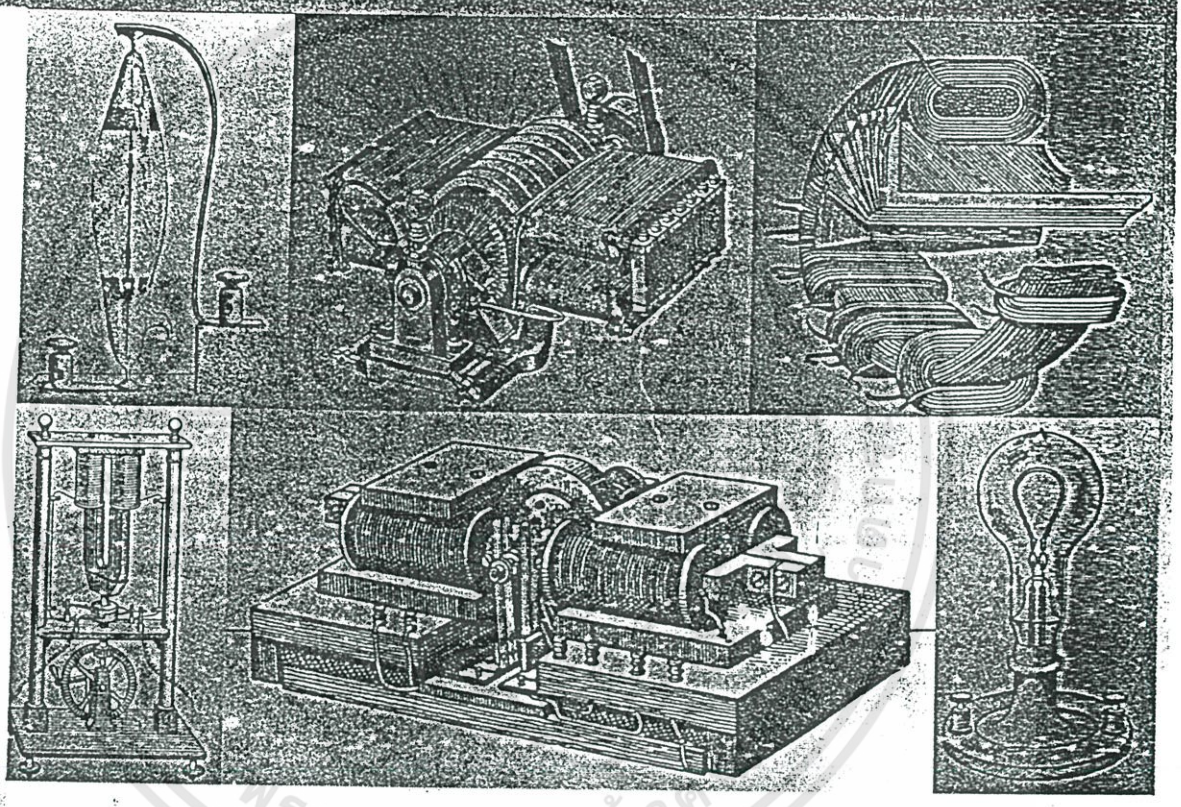
[3] ทรงชัย วีระทวีมาศ "การปรับปรุงวิธีการกำจัดส่วนเกิน" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า พ.ศ.2538.

[4] K.-C. Fan, D.-F. Chen and M.-G. Wen, "Skeleonization of binary images with nonuniform width via block decomposition and contour vector matching", Pattern Recognition, vol.31 (7), pp.823-838, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# รประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24

# th Electrical Engineering Conference (EECON-24)



EECON-24 KMITL

การสื่อสารแห่งประเทศไทย กสท. CAT

NECTEC

ge 2

าม
ลัง (PW)
นิกส์กำลัง (PE)
ดุมและการวัดคุม (CT)
เกี่ยวข้องกับ
ไฟฟ้า (GN)

ดำเนินการโดย **คณะวิศวกรรมศาสตร์**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

22-23 พฤศจิกายน 2544

โทร : 0-2739-2359 โทรสาร : 0-2326-9965
http://www.ladkrabang.com

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ฯทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การหาเส้นโครงร่างภาพสองระดับโดยการแบ่งส่วนภาพ

## Skeletonization of Binary Images by Segmentation

ทรงชัย วีระทวีมาศ เพิ่มพล กุลจอมศรี
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทร (02) 994-0355 E-mail: kwsongch@kmitl.ac.th

**บทคัดย่อ**

บทความนี้เป็นการนำเสนอวิธีการหาเส้นโครงร่างภาพสองระดับโดยการแบ่งส่วนภาพ โดยภาพที่พิจารณาจะถูกแบ่งแยกออกเป็นส่วนภาพย่อยๆ และเส้นโครงร่างภาพจะถูกสร้างขึ้นในแต่ละส่วนภาพย่อยเหล่านั้น เส้นโครงร่างภาพที่สมบูรณ์ จะเป็นการเชื่อมต่อเส้นโครงร่างภาพทั้งภายในและระหว่างแต่ละส่วนภาพย่อยเข้าด้วยกัน

จากการทดลองหาเส้นโครงร่างภาพตามวิธีการที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับวิธีการทำภาพบาง [2] ที่มีอยู่เดิม เส้นโครงร่างภาพที่ได้ดีกว่าทั้งคุณภาพและเวลาในการประมวลผล

**Abstract**

The skeleton of binary character image by segmentation, the considered binary image is first decomposed into several smaller segments and the skeleton is generated for each segment. The skeleton of the considered image is linking inside or between the skeleton of segment. The performance of the proposed algorithm is compared with existing algorithms. Experimental results confirm the superiority of proposed approach.

## 1. บทนำ

การหาเส้นโครงร่างภาพสองระดับโดยการแบ่งส่วนภาพ ตามบทความที่นำเสนอนี้ เป็นการพิจารณาภาพสองระดับที่มีความกว้างไม่เป็นรูปแบบ (nonuniform width) ในลักษณะส่วนของเส้นตรงในแนวนอนหรือรันแนวนอน (horizontal run) แทนการพิจารณาจุดภาพ (pixel) ของการทำภาพบาง (thinning) [1-2] เดิมที่มีอยู่ โดยในขั้นตอนแรกภาพที่พิจารณาจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนภาพย่อย (segment) ด้วยการพิจารณาการแยกสาขาของรันแนวนอน พร้อมทั้งเส้นขอบภาพ (contour) ของแต่ละส่วนภาพย่อยจะถูกสร้างขึ้นในเวลาเดียวกันด้วย เส้นขอบภาพที่หาได้ซึ่งยังอยู่ในรูปแบบของเส้นขอบภาพจะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์เส้นขอบ (contour vector) แล้วนำมาหาคู่เวกเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างเส้นโครงร่างเส้นขอบ ด้วยการเข้าคู่เวกเตอร์เส้นขอบ (matching contour vector) การปรับคู่เวกเตอร์เส้นขอบ (matching vector adjustment) หลังจากนั้นแต่ละคู่เวกเตอร์เส้นขอบจะถูกนำมาสร้างเส้นโครงร่างเส้นขอบ (contour skeleton generation) และเชื่อมต่อเส้นโครงร่างเส้นขอบ (skeleton linking) ทั้งภายในและระหว่างส่วนภาพย่อยเข้าด้วยกันในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อให้ได้เส้นโครงร่างภาพที่สมบูรณ์

จากการทดลองหาเส้นโครงร่างภาพตามวิธีการที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับวิธีการทำภาพบาง [2] ที่มีอยู่เดิม เส้นโครงร่างภาพที่ได้ ดีกว่าทั้งคุณภาพและเวลาในการประมวลผล

## 2. นิยาม (definitions)

### 2.1 รันแนวนอน (horizontal run : $r(x_i^L, x_i^R, y_i)$)

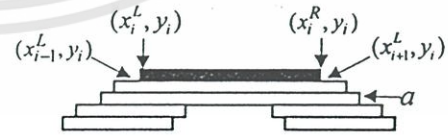
รันแนวนอนเป็นการกำหนดช่วงของจุดภาพในแนวนอนที่ต่อเนื่อง จากจุดเริ่มต้นที่ $(x_i^L, y_i)$ ไปยังจุดปลายที่ $(x_i^R, y_i)$ และในตำแหน่ง $(x_{i-1}^L, y_i)$ , $(x_{i+1}^L, y_i)$ ไม่เป็นจุดภาพ ดังรูปที่ 1 ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยรันอันดับที่ $k$ [3] เมื่อ $(j, b_k^*, e_k)$ หาได้ตามสมการ (1) - (3)

$$b_k = i \text{ เมื่อ } f(i-1, j) = 0 \text{ และ } f(i, j) = 1 \quad (1)$$

$$e_k = i \text{ เมื่อ } f(i, j) = 1 \text{ และ } f(i+1, j) = 0 \quad (2)$$

$$f(i, j) = 1 \text{ สำหรับ } b_k \le j \le e_k \quad (3)$$

เมื่อ $f$ คือภาพสองระดับ $i$ , $j$ , $b_k$ และ $e_k$ เป็นคอลัมน์ , แถว , จุดเริ่มต้นและจุดปลายของรันอันดับที่ $k$ ตามลำดับ




รูปที่ 1 ลักษณะของรันแนวนอน

### 2.2 ดีกรี (degree : $d_i(N_u, N_d)$)

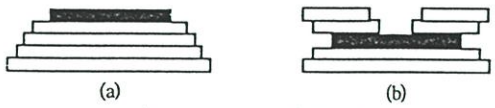
ดีกรีเป็นการแสดงถึง จำนวนของรันที่ติดกับรัน $r_i$ ใดๆ ทางด้านบนหรือดีกรีบน (up degree : $N_u$) และทางด้านล่างหรือดีกรีล่าง (down degree $N_d$) เช่น จากรูปที่ 1 รัน $a$ มีรันติดต่อด้านบน 1 รันและมีรันติดต่อด้านล่าง 2 รัน รัน $a$ จึงมีดีกรีเท่ากับ (1,2) หรือ $d_a(1,2)$



DS29
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

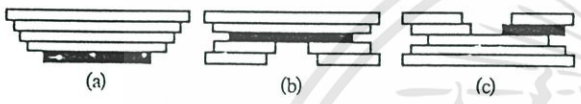
### 2.3 บล็อก (block : $b_i$ )

บล็อกเป็นการรวมกลุ่มของรันที่ติดกันเข้าด้วยกัน โดยทุกรันที่อยู่ภายในบล็อกจะมีดีกรีบนและดีกรีล่างเท่ากับ 1 เท่านั้น ยกเว้นรันเริ่มต้น (starting run) และรันสิ้นสุด (terminating run) บล็อก โดยรันเริ่มต้นบล็อกจะเป็นรันที่มีดีกรีบนเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 2 (a) หรือรันที่มีดีกรีบนมากกว่า 1 ดังรูปที่ 2 (b)




รูปที่ 2 ลักษณะของรันเริ่มต้นบล็อก

ส่วนรันสิ้นสุดบล็อกนั้น จะเป็นรันที่มีรันดีกรีล่างเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 3 (a) หรือรันที่มีดีกรีล่างมากกว่า 1 ดังรูปที่ 3 (b) หรือรันที่มีรันติดต่อด้านล่างที่มีรันติดต่อด้านบนมากกว่า 1 รันหรือดีกรีบนมากกว่า 1 ดังรูปที่ 3 (c)




รูปที่ 3 ลักษณะของรันสิ้นสุดบล็อก

### 2.4 เส้นขอบเสมือน (virtual contour)

เส้นขอบเสมือนคือเส้นขอบบล็อก ที่เกิดขึ้นตรงบริเวณรอยต่อระหว่าง 2 รันที่แบ่งแยก 2 บล็อกที่ติดกัน จากรูปที่ 2 (b) และ 3 (b) สามารถแสดงบริเวณที่เกิดเส้นขอบเสมือนได้ตามเส้นประในรูปที่ 4 (a) และ (b) ตามลำดับ โดยเส้นขอบเสมือนนี้ จะไม่มีผลต่อการสร้างเส้นโครงร่างภาพ แต่จะใช้เป็นข้อมูลในการเชื่อมต่อเส้นโครงร่างเส้นขอบระหว่างบล็อก

รูปที่ 4 เส้นขอบเสมือน

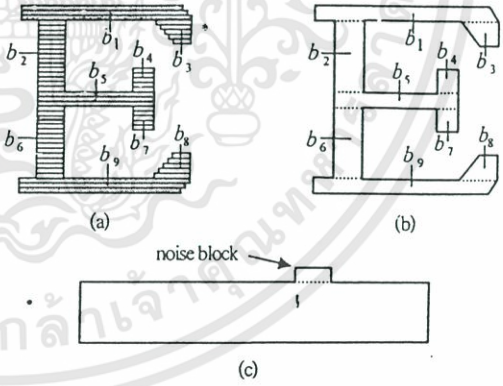
## 3. การหาเส้นโครงร่างภาพสองระโดยการแบ่งส่วนภาพ

การหาเส้นโครงร่างภาพตามวิธีการที่นำเสนอนี้ จะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ตามผังงาน (flow chart) ในรูปที่ 5

รูปที่ 5 การหาเส้นโครงร่างภาพสองระดับโดยการแบ่งส่วนภาพ

### 3.1 การแบ่งส่วนภาพ (image segmentation)

ภาพที่พิจารณาจะถูกแบ่งแยกออกเป็นส่วนภาพย่อยที่เรียกว่า บล็อก ด้วยคุณสมบัติการแยกสาขาของรันแนวนอนตามหัวข้อที่ 2.3 โดยภาพจะถูกตรวจกวาดภาพ (scan) จากด้านซ้ายสุดไปยังด้านขวาสุดและจากมุมบนซ้ายสุดไปยังมุมล่างขวาสุดของภาพ เพื่อหารันเริ่มต้นบล็อก และเมื่อพบก็จะบันทึกจุดเริ่มต้น, จุดปลายและส่วนด้านบนของรัน ที่ไม่ถูกแบ่งจากรันสิ้นสุดบล็อกของบล็อกที่ติดกันด้านบนเป็นเส้นขอบจริง (actual contour) และส่วนที่ถูกแบ่งเป็นเส้นขอบเสมือนตามหัวข้อที่ 2.4 จากนั้นตรวจสอบรันที่อยู่ถัดไปทางด้านล่างใช่รันสิ้นสุดบล็อกหรือไม่ ? ถ้าไม่ใช่ บันทึกจุดเริ่มต้นและจุดปลายรันเป็นเส้นขอบจริง แล้วเลื่อนรันที่จะตรวจสอบถัดไปด้านล่างเรื่อยๆ พร้อมทั้งบันทึกจุดเริ่มต้นและจุดปลายรันเป็นเส้นขอบจริง จนกว่าจะพบรันสิ้นสุดบล็อก ถ้าใช่ บันทึกจุดเริ่มต้น, จุดปลายและส่วนด้านล่างของรันที่ไม่ถูกแบ่งจากรันเริ่มต้นของบล็อกที่อยู่ถัดไปด้านล่างเป็นเส้นขอบจริง และส่วนที่ถูกแบ่งเป็นเส้นขอบเสมือน พร้อมจดจำขอบเขตของบล็อกเพื่อที่จะไม่ให้เกิดการตรวจสอบบล็อกซ้ำ แล้วเริ่มต้นตรวจกวาดภาพใหม่ ในตำแหน่งถัดไปจากจุดปลายของรันเริ่มต้นบล็อกของบล็อกที่ผ่านมา เพื่อหารันเริ่มต้นบล็อกในการแยกบล็อกใหม่ และจะสิ้นสุดการแยกบล็อก ก็ต่อเมื่อการตรวจกวาดภาพได้กระทำมาถึงมุมล่างขวาสุดของภาพ จากรูปที่ 6 (a) ภาพ "E" ที่ถูกแบ่งแยกออกเป็น 9 ส่วนภาพหรือ 9 บล็อก ที่ประกอบด้วยบล็อก $b_1$ - $b_9$ ตามลำดับของการตรวจพบในการแยกบล็อก ส่วนสัญญาณรบกวน (noise) ที่อยู่ภายในภาพจะถูกกำจัดทิ้งไป ด้วยการกำจัดบล็อกที่มีขนาดเล็กกว่าค่าขีดเริ่มต้น (threshold) ที่เลือกไว้ดังรูปที่ 6 (c)




รูปที่ 6 (a) บล็อก (b) เวกเตอร์เส้นขอบภาพ "E" (c) บล็อกสัญญาณรบกวน

### 3.2 การสร้างเวกเตอร์เส้นขอบ (contour vectorization)

เส้นขอบบล็อกที่ได้จากหัวข้อที่ 3.1 ซึ่งอยู่ในรูปแบบของเส้นขอบภาพจะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์เส้นขอบบล็อก ด้วยการประเมินเส้นขอบภาพเหล่านั้น ด้วยส่วนของเส้นตรงในมุมที่แตกต่างตามเข็มนาฬิกา โดยเวกเตอร์ที่สร้างจากเส้นขอบภาพ ที่เกิดจากรันเริ่มต้นบล็อกและจุดปลายของแต่ละรันที่อยู่ภายในบล็อกจะมีทิศทางอยู่ระหว่าง 0 – 180 องศา ส่วนเวกเตอร์ที่สร้างจากเส้นขอบภาพ ที่เกิดจากรันสิ้นสุดบล็อกและจุดเริ่มต้นของแต่ละรันที่อยู่ภายในบล็อกจะมีทิศทางอยู่ระหว่าง 180 - 360 องศา ดังรูปที่ 6 (b) /

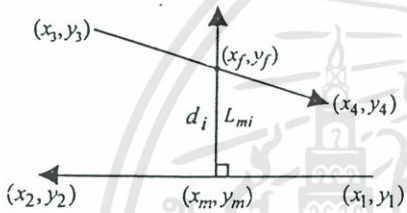
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเข้าคู่เวกเตอร์เส้นขอบ (matching contour vector)

เวกเตอร์เส้นขอบจริงใดๆ ที่อยู่ภายในแต่ละบล็อก จะถูกนำมาหาคู่เวกเตอร์ที่เหมาะสมที่อยู่ภายในบล็อกเดียวกัน กำหนดให้ $L_i$ และ $L_j$ เป็นเวกเตอร์เส้นขอบใดๆ ที่มีจุดเริ่มต้นและจุดปลายเวกเตอร์เป็น $(x_1,y_1)$ , $(x_2,y_2)$ และ $(x_3,y_3)$ , $(x_4,y_4)$ ตามลำดับ และ $L_j$ เป็นคู่เวกเตอร์ของ $L_i$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $(L_i,L_j)$ นั้น ก็ต่อเมื่อการเข้าคู่เวกเตอร์เป็นไปตามคุณสมบัติดังต่อไปนี้

<u>คุณสมบัติที่ 1</u> $L_i$ จะต้องเป็นเวกเตอร์เส้นขอบจริงและมีทิศทางแตกต่างกับ $L_j$ อยู่ระหว่าง 90 - 270 องศา

<u>คุณสมบัติที่ 2</u> ระยะทางการเข้าคู่เวกเตอร์ (matching distance : $d_i$ ) [4] หรือระยะทางของเส้นตรง $L_{mi}$ ที่ลากจากจุดกึ่งกลาง $(x_m,y_m)$ ของ $L_i$ และตั้งฉากกับ $L_i$ ไปตัดกับ $L_j$ ที่จุด $(x_f,y_f)$ ตามรูปที่ 7 จะต้องมีระยะทางสั้นที่สุด โดยสามารถหาจุด $(x_f,y_f)$ ได้ตามสมการ (4) และ (5)

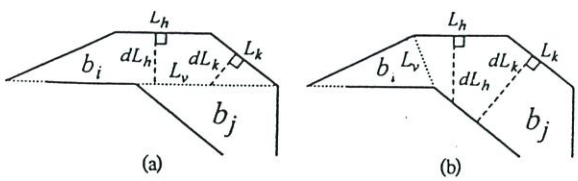



รูปที่ 7 การหาระยะทางของการเข้าคู่เวกเตอร์เส้นขอบ

$$x_f = \frac{(y_1-y_2)\times(x_3-x_4)\times y_m+(x_1-x_2)\times(x_3-x_4)\times x_m-(y_1-y_2)\times(x_3y_4-x_4y_3)}{(x_1-x_2)\times(x_3-x_4)+(y_1-y_2)\times(y_3-y_4)} \quad (4)$$

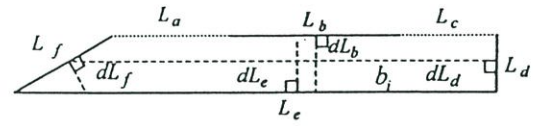
$$y_f = \frac{(y_1-y_2)\times(x_3-x_4)\times y_m+(x_1-x_2)\times(y_3-y_4)\times x_m+(x_1-x_2)\times(x_3y_4-x_4y_3)}{(x_1-x_2)\times(x_3-x_4)+(y_1-y_2)\times(y_3-y_4)} \quad (5)$$

<u>คุณสมบัติที่ 3</u> กรณีที่เวกเตอร์เส้นขอบจริงใด ที่อยู่ติดและเข้าคู่กับเวกเตอร์เส้นขอบเสมือนที่สร้างจากรันสิ้นสุดบล็อก เวกเตอร์เส้นขอบจริงนั้น จะถูกปรับไปยังบล็อกที่อยู่ติดกันทางด้านล่าง ที่ถูกแบ่งด้วยเวกเตอร์เส้นขอบเสมือนนั้นๆ และหาคู่เวกเตอร์ภายในบล็อกใหม่ ดังรูปที่ 8 (a) เมื่อ $L_k$ เป็นเวกเตอร์เส้นขอบที่อยู่ภายในบล็อก $b_i$ และเข้าคู่กับเวกเตอร์เส้นขอบเสมือน $L_v$ เวกเตอร์ $L_k$ จะถูกปรับยังบล็อก $b_j$ ที่อยู่ติดกันด้านล่างและถูกแบ่งโดย $L_v$ และในกรณีที่เวกเตอร์เส้นขอบที่ติดกัน เช่น $L_h$ และ $L_k$ ต่างก็เข้าคู่กับเวกเตอร์เส้นขอบเสมือน $L_v$ เดียวกัน เวกเตอร์ทั้งสองจะถูกปรับไปยังบล็อกที่อยู่ติดกันด้านล่างเช่นเดียวกัน จนกระทั่งภายในบล็อกไม่มีเวกเตอร์เส้นขอบจริงใด ที่อยู่ติดและเข้าคู่กับเวกเตอร์เส้นขอบเสมือน ดังรูปที่ 8 (b)




รูปที่ 8 (a) บล็อก $b_i$ ก่อนการปรับเวกเตอร์เส้นขอบ
(b) บล็อก $b_i$ หลังการปรับเวกเตอร์เส้นขอบ

<u>คุณสมบัติที่ 4</u> การเข้าคู่เวกเตอร์ระหว่าง 2 เวกเตอร์มีคุณสมบัติที่ไม่สมมาตร (symmetric) กล่าวคือ ถ้า $L_j$ เป็นคู่ของ $L_i$ หรือ $(L_i,L_j)$ แล้ว $L_i$ ไม่จำเป็นต้องเป็นคู่ของ $L_j$ หรือ $(L_j,L_i)$ เสมอไป ดังรูปที่ 9 เมื่อ $L_e$ เป็นคู่ของ $L_f$ แต่คู่ของ $L_e$ ไม่ใช่ $L_f$ แต่เป็น $L_b$ เป็นต้น




รูปที่ 9 การเข้าคู่เวกเตอร์เส้นขอบ

### 3.4 การปรับคู่เวกเตอร์ (matching vector adjustment)

สมาชิกของคู่เวกเตอร์ในแต่ละบล็อกที่ผ่านการเข้าคู่เวกเตอร์เรียบร้อยแล้วตามหัวข้อที่ 3.3 จะถูกปรับให้อยู่ในลักษณะคู่อันดับความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน one to one หรือ many to one ตามรูปที่ 10 เพื่อนำไปสร้างเส้นโครงร่างเส้นขอบ โดยมีกฎการปรับคู่เวกเตอร์ดังต่อไปนี้

<u>กฎข้อที่ 1</u> เรนจ์เวกเตอร์ (range vector) หรือสมาชิกเวกเตอร์ตัวหลังของคู่เวกเตอร์ใดๆ จะต้องไม่เป็นเวกเตอร์เส้นขอบเสมือน

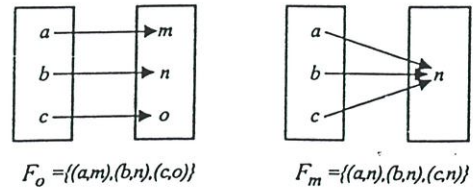
<u>กฎข้อที่ 2</u> ถ้า 2 คู่เวกเตอร์ใดๆ มีคุณสมบัติของการสมมาตรและโคเมนเวกเตอร์ (domain vector) หรือสมาชิกเวกเตอร์ตัวหน้า ของทั้งคู่ไม่เป็นเรนจ์เวกเตอร์ของคู่อื่น จะเลือกเพียง 1 คู่เวกเตอร์และอีกคู่ปรับทิ้งไป

<u>กฎข้อที่ 3</u> ถ้า 2 คู่เวกเตอร์ใดๆ มีคุณสมบัติของการสมมาตรและโคเมนเวกเตอร์เป็นเรนจ์เวกเตอร์ของคู่อื่นด้วย คู่เวกเตอร์ที่มีโคเมนเวกเตอร์เป็นเรนจ์เวกเตอร์ของคู่อื่นน้อยกว่า จะถูกเลือกอีกคู่จะถูกปรับทิ้งไป

<u>กฎข้อที่ 4</u> ถ้าโคเมนเวกเตอร์ของคู่เวกเตอร์ใด เป็นเรนจ์เวกเตอร์ของคู่อื่นด้วย คู่เวกเตอร์ที่มีมูลค่าการเข้าคู่เวกเตอร์ (matching cost) [4] ตามสมการ (6) น้อยกว่าจะถูกเลือก ส่วนอีกคู่จะถูกปรับทิ้งไป

<u>กฎข้อที่ 5</u> ถ้าเวกเตอร์ใดๆ ที่ถูกปรับทิ้งแต่ติดต่อกับเวกเตอร์เส้นขอบเสมือนของบล็อกที่อยู่ติดด้านล่าง เวกเตอร์นั้นจะถูกปรับไปยังบล็อกติดกันด้านล่างดังกล่าว เพื่อปรับและหาการเข้าคู่เวกเตอร์ยังบล็อกดังกล่าวใหม่

$$\text{มูลค่าการเข้าคู่เวกเตอร์ของ } (L_i,L_j) = \frac{\text{ระยะทางการเข้าคู่ของ } (L_i,L_j)}{\text{ความยาวของ } L_i} \quad (6)$$




รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน (a) one to one (b) many to one

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเข้าคู่เวกเตอร์เส้นขอบ เวกเตอร์ที่อยู่ภายในบล็อก $b_i$ ตามรูปที่ 9 สามารถหาคู่เวกเตอร์ได้ตามสมการ (7) และเมื่อผ่านการปรับคู่เวกเตอร์แล้ว สมาชิกของคู่เวกเตอร์บล็อก $b_i$ จะเหลืออยู่ตามสมการ (8) เนื่องจากคู่ $(L_b, L_e)$ และ $(L_e, L_b)$ ตรงตามกฎข้อที่ 3 คู่ $(L_e, L_b)$ จึงถูกปรับทิ้งไปนอกจากนั้น คู่ของ $(L_f, L_e)$ และ $(L_d, L_f)$ ก็ตรงตามตามกฎข้อที่ 4 คู่ $(L_d, L_f)$ จึงถูกปรับทิ้งไปเช่นกัน

$$b_i = \{(L_b, L_e), (L_d, L_f), (L_e, L_b), (L_f, L_e)\} \quad (7)$$

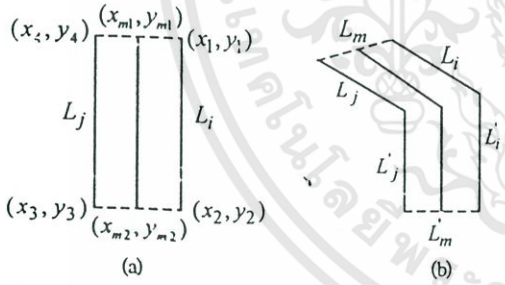
$$b_i = \{(L_b, L_e), (L_f, L_e)\} \quad (8)$$

### 3.5 การสร้างเส้นโครงร่างเส้นขอบ (contour skeleton generation)

คู่เวกเตอร์ในแต่ละบล็อกที่ผ่านการปรับคู่เวกเตอร์ตามหัวข้อที่ 3.4 แล้ว จะอยู่ในลักษณะคู่อันดับความสัมพันธ์ของฟังก์ชันแบบ one to one หรือ many to one โดยเส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้างจากคู่เวกเตอร์แบบ one to one นั้น จะเป็นส่วนของเส้นตรงที่ลากจากจุดกึ่งกลางของจุดเริ่มต้น ไปยังจุดกึ่งกลางของจุดปลายของเวกเตอร์ทั้งสองหรือจากจุด $(x_{m1}, y_{m1})$ ไปยังจุด $(x_{m2}, y_{m2})$ ดังรูปที่ 11 (a) เมื่อ $(x_{m1}, y_{m1})$ , $(x_{m2}, y_{m2})$ หาได้ตามสมการ (9) และ (10)

$$x_{m1} = (x_1 + x_4)/2 \ , \ y_{m1} = (y_1 + y_4)/2 \quad (9)$$

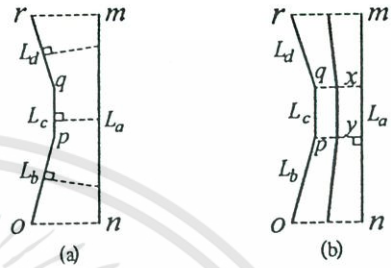
$$x_{m2} = (x_2 + x_3)/2 \ , \ y_{m2} = (y_2 + y_3)/2 \quad (10)$$



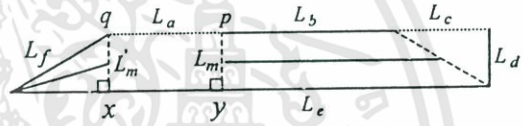

รูปที่ 11 (a) เส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้างจากคู่เวกเตอร์แบบ one to one
(b) เส้นโครงร่างเส้นขอบในกรณี 2 คู่เวกเตอร์ติดต่อกัน

ส่วนกลุ่มคู่เวกเตอร์ที่อยู่ในลักษณะความสัมพันธ์แบบ many to one เส้นโครงร่างเส้นขอบสามารถสร้างได้ใน 2 กรณีคือ ในกรณีแรกกลุ่มคู่เวกเตอร์ที่มีโคเมนเวกเตอร์ติดต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 12 (a) เมื่อ $(L_b, L_a)$ , $(L_c, L_a)$ และ $(L_d, L_a)$ มีเรนจ์เวกเตอร์ $L_a$ ร่วมกัน ในกรณีนี้จะเลือกจุดกึ่งกลางส่วนของเส้นตรงที่ลากผ่านจุดต่อร่วม ของโคเมนเวกเตอร์ไปตั้งฉากหรือจุดที่ใกล้ที่สุดบนเรนจ์เวกเตอร์ร่วม ดังเช่น จุดต่อระหว่างโคเมนเวกเตอร์ $L_b$ , $L_c$ และ $L_d$ คือจุด $q$ และ $p$ ส่วนของเส้นตรงจะลากจากจุด $q$ และ $p$ ไปตั้งฉากกับ $L_a$ ที่จุด $x$ และ $y$ และเส้นโครงร่างเส้นขอบจะเป็นส่วนของเส้นตรงที่ลากจากจุดกึ่งกลางระหว่าง $rm$ ผ่านจุดกึ่งกลาง $qx$ , $py$ และ $on$ ตามลำดับ ดังรูปที่ 12 (b) และกรณีที่สอง เมื่อกลุ่มคู่เวกเตอร์มีโคเมนเวกเตอร์ที่ไม่ติดต่อกัน ดังรูปที่ 9 เส้นโครงร่างเส้นขอบสามารถสร้างได้ดังรูปที่ 13 เมื่อ 2 เส้นโครงร่างเส้นขอบ $L_m'$ และ $L_m$ สร้างจากคู่เวกเตอร์ $(L_f, L_e)$ และ $(L_b, L_e)$ ที่มีเรนจ์เวกเตอร์ $L_e$ ร่วมกัน

ในกรณีที่เส้นโครงร่างเส้นขอบ ที่สร้างขึ้นในแต่ละบล็อกตัดกัน เส้นโครงร่างเส้นขอบ ที่สร้างจากคู่เวกเตอร์ที่มีมูลค่าการเข้าคู่น้อยกว่าจะถูกเลือก และอีกเส้นที่สร้างจากคู่เวกเตอร์ที่มีมูลค่าการเข้าคู่มากกว่าจะถูกปรับทิ้งไป




รูปที่ 12 เส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้างจากกลุ่มคู่เวกเตอร์แบบ many to one ที่มีโคเมนเวกเตอร์ติดต่อกัน

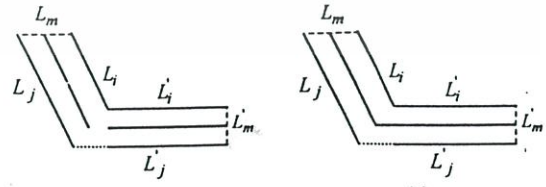



รูปที่ 13 เส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้างจากกลุ่มคู่เวกเตอร์แบบ many to one ที่มีโคเมนเวกเตอร์ไม่ติดต่อกัน

### 3.6 การเชื่อมต่อเส้นโครงร่างเส้นขอบ (skeleton linking)

การเชื่อมต่อเส้นโครงร่างเส้นขอบเป็นการเติมช่องว่าง (gap filling) ที่เกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างบล็อก เพื่อให้ได้เส้นโครงร่างภาพที่สมบูรณ์ โดยเส้นโครงร่างเส้นขอบที่อยู่ภายในบล็อกจะถูกทำการเชื่อมต่อ ก่อนเส้นโครงร่างเส้นขอบที่อยู่ระหว่างบล็อก โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

<u>เงื่อนไขที่ 1</u> ถ้า 2 เส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้างจาก 2 คู่เวกเตอร์ใดๆ ที่ติดต่อกัน 2 เส้นโครงร่างเส้นขอบจะต่อเนื่องกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 11 (b) และในกรณีที่ 2 คู่เวกเตอร์ใดๆ มี 1 เวกเตอร์ของแต่ละคู่ติดต่อกันและอีก 1 เวกเตอร์ติดต่อกับเวกเตอร์ ที่ไม่ได้สร้างเส้นโครงร่างเส้นขอบ ดังรูปที่ 14 (a) เส้นโครงร่างเส้นขอบจะถูกเชื่อมต่อถึงกันด้วย ดังรูปที่ 14 (b)

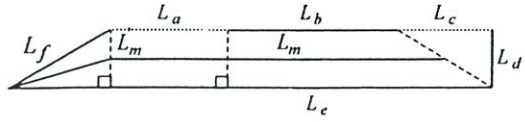



รูปที่ 14 การเชื่อมต่อ 2 เส้นโครงร่างที่สร้างจาก 2 คู่เวกเตอร์ที่มี 1 เวกเตอร์ติดต่อกันและอีก 1 เวกเตอร์ติดต่อกับเวกเตอร์ ที่ไม่สร้างเส้นโครงร่างเส้นขอบ

<u>เงื่อนไขที่ 2</u> ถ้า 2 เส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้าง จากกลุ่มคู่เวกเตอร์แบบ many to one ที่มีโคเมนเวกเตอร์ไม่ติดต่อกัน ดังรูปที่ 13 เส้นโครงร่างเส้น

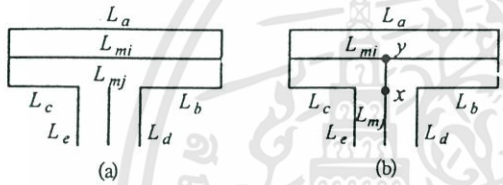
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบทั้ง 2 จะถูกเชื่อมต่อถึงกัน ดังรูปที่ 15



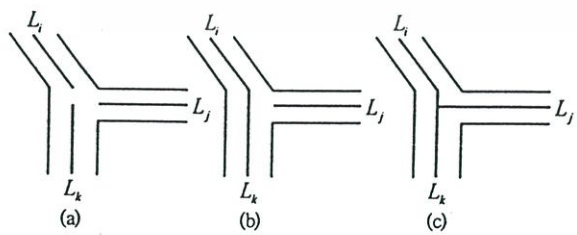

รูปที่ 15 การเชื่อมต่อเส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้างจากกลุ่มคู่เวกเตอร์แบบ many to one ที่มีโดเมนเวกเตอร์ไม่ติดต่อกัน

<u>เงื่อนไขที่ 3</u> ถ้า 2 เส้นโครงร่างเส้นขอบ ที่สร้างจากกลุ่มคู่เวกเตอร์แบบ many to one ที่มีโดเมนเวกเตอร์ไม่ติดต่อกัน กับเส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้างจากคู่เวกเตอร์แบบ one to one ดังรูปที่ 16 (a) เมื่อเส้นโครงร่างเส้นขอบ $L_{mi}$ สร้างจากคู่เวกเตอร์ $(L_c, L_a)$ และ $(L_b, L_a)$ และผ่านการเชื่อมต่อเส้นโครงร่างตามเงื่อนไขที่ 2 แล้ว และเมื่อเส้นโครงร่างเส้นขอบ $L_{mj}$ สร้างจากคู่เวกเตอร์ $(L_e, L_d)$ ทั้ง 2 เส้นโครงร่างจะถูกเชื่อมต่อถึงกัน ดังรูปที่ 16 (b) เมื่อระยะทางของการเชื่อมต่อจากจุด $x$ ไปยังจุด $y$ จะต้องสั้นที่สุด

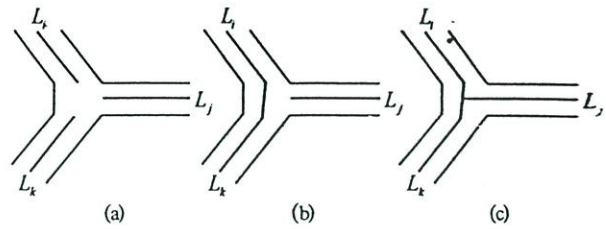



รูปที่ 16 การเชื่อมต่อเส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้างจากคู่เวกเตอร์แบบ many to one กับ one to one

<u>เงื่อนไขที่ 4</u> ถ้าเส้นโครงร่างเส้นขอบ ที่สร้างจากคู่เวกเตอร์ที่มีแต่ละเวกเตอร์ติดต่อกับ 2 คู่เวกเตอร์และ 2 คู่เวกเตอร์นั้นมี 1 เวกเตอร์ติดต่อกัน ดังรูปที่ 17 (a) เส้นโครงร่างเส้นขอบ 2 เส้นที่มีระยะห่างสั้นที่สุด จะถูกเชื่อมต่อเป็นเส้นเดียวกันก่อน ดังรูปที่ 17 (b) เมื่อระยะห่างระหว่าง $L_i$ กับ $L_k$ สั้นที่สุด จากนั้นเส้นโครงร่างเส้นขอบที่เหลือ จะถูกเชื่อมต่อกับจุดที่ใกล้ที่สุด ดังรูปที่ 17 (c) และในกรณีที่คู่เวกเตอร์ที่มีแต่ละเวกเตอร์ติดต่อกับ 2 คู่เวกเตอร์แต่ 2 คู่เวกเตอร์นั้น ไม่มีเวกเตอร์ใดติดต่อกัน ดังรูปที่ 18 (a) เส้นโครงร่างเส้นขอบจะถูกเชื่อมต่อถึงกัน ดังรูปที่ 18 (b) และ (c) ตามลำดับ เมื่อคู่เวกเตอร์ที่สร้าง $L_j$ มีแต่ละเวกเตอร์ติดต่อ กับ 2 คู่เวกเตอร์ แต่ทั้ง 2 คู่เวกเตอร์ไม่มีเวกเตอร์ใดติดต่อกัน

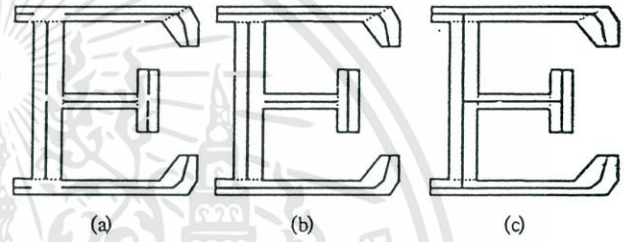



รูปที่ 17 การเชื่อมต่อเส้นโครงร่างเส้นขอบเมื่อ 1 คู่เวกเตอร์ติดต่อกับ 2 คู่เวกเตอร์เมื่อ 2 คู่เวกเตอร์มีเวกเตอร์ติดต่อกัน




รูปที่ 18 การเชื่อมต่อเส้นโครงร่างเส้นขอบเมื่อ 1 คู่เวกเตอร์ติดต่อกับ 2 คู่เวกเตอร์โดย 2 คู่เวกเตอร์นั้นไม่มีเวกเตอร์ติดต่อกัน

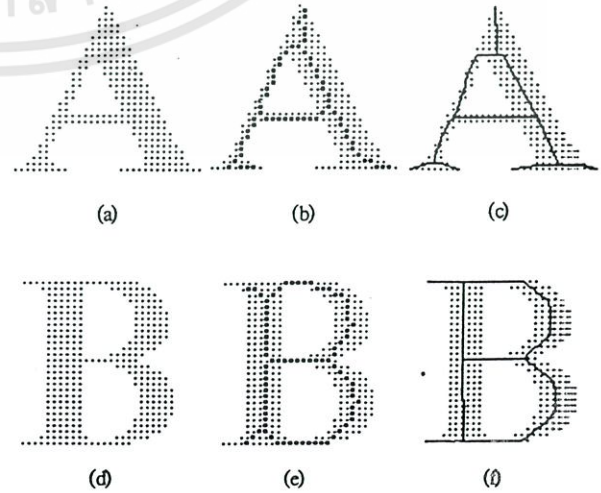
จากรูปที่ 6 ภาพ "E" สามารถหาเส้นโครงร่างเส้นขอบของแต่ละบล็อก และทำการเชื่อมต่อได้ ดังรูปที่ 19 เมื่อ (a) เส้นโครงร่างเส้นขอบที่สร้างขึ้นในแต่ส่วนภาพหรือบล็อก (b) และ (c) การเชื่อมต่อเส้นโครงร่างเส้นขอบภายในและระหว่างบล็อกเพื่อให้ได้เส้นโครงร่างภาพที่สมบูรณ์




รูปที่ 19 ขั้นตอนของการสร้างเส้นโครงร่างเส้นขอบของภาพ "E"

## 4. การทดลอง

ทดลองหาเส้นโครงร่างภาพสองระดับโดยการแบ่งส่วนภาพ ตามวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการทำภาพบาง [2] เดิมที่มีอยู่ ด้วยคอมพิวเตอร์ซีพียู AMD K6 ที่ความเร็ว 233 เมกะเฮริตซ์ กับโปรแกรมที่เขียนด้วยเทอร์โบซี (turbo C version 3.0) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกทดลองกับภาพสองระดับ PCX จำนวน 3 ภาพ ดังรูปที่ 20 เมื่อ (a), (d) และ (g) เป็นภาพต้นแบบ (b), (e) และ (f) เส้นโครงร่างภาพที่หาได้ด้วยวิธีการ [2] และ (c), (f) และ (i) เป็นเส้นโครงร่างภาพที่หาได้ตามวิธีการที่นำเสนอ




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

(g) (h) (i)

รูปที่ 20 ภาพต้นแบบและเส้นโครงร่างภาพที่หาได้ตามวิธีการทำบางเดิม และเส้นโครงร่างภาพที่ได้โดยวิธีการแบ่งส่วนภาพ

ส่วนการทดลองในชุดที่สองเป็นการทดลองหาเส้นโครงร่างภาพตัวอักษรสองระดับขนาด 280 x 250 จุดภาพ ดังรูปที่ 21 เมื่อ (a) คือภาพ PCX ต้นแบบ (b) และ (c) คือเส้นโครงร่างเส้นภาพที่หาได้ตามวิธีการ [2] และวิธีการที่นำเสนอ โดยใช้เวลาในการประมวลผล 2.39 วินาทีและ 1.87 วินาทีตามลำดับ

(a) (b) (c)

รูปที่ 21 (a) ภาพ PCX ต้นแบบ (b) เส้นโครงร่างภาพตามวิธีการทำภาพบาง [2] (c) เส้นโครงร่างภาพตามวิธีการที่นำเสนอ

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาเส้นโครงร่างภาพสองระดับโดยการแบ่งส่วนภาพตามวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งเป็นการพิจารณาภาพในลักษณะส่วนของเส้นตรงในแนวนอน แทนการทำภาพบางด้วยการลดจำนวนจุดภาพแบบเดิมนั้น เส้นโครงร่างภาพที่ได้ตามวิธีการที่นำเสนอนี้ เปรียบเทียบกับวิธีการทำภาพบางเดิม [2] ที่มีอยู่ เส้นโครงร่างภาพที่ได้จะมีทิศทางที่ชัดเจนกว่า เพราะอยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์ มีความต่อเนื่องที่ดีกว่า มีความไว (sensitivity) ต่อสัญญาณรบกวนต่ำ ความผิดเพี้ยนและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลน้อยกว่า นอกจากนั้น ถ้าทำการปรับเวกเตอร์เส้นขอบที่มุมแตกต่างของเวกเตอร์เส้นขอบมากขึ้น จำนวนเวกเตอร์เส้นขอบของแต่ละบล็อกก็จะน้อยลง เวลาในการหาการเข้าคู่เวกเตอร์ การปรับคู่เวกเตอร์และการสร้างเส้นโครงร่างเส้นขอบก็จะน้อยลงด้วย จึงสามารถที่จะลดเวลาในการประมวลผลได้เพิ่มขึ้นอีก แต่เส้นโครงร่างภาพที่ได้จะมีความผิดเพี้ยนมากขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับการหาเส้นโครงร่างภาพที่ต้องการความรวดเร็วและไม่ต้องการเส้นโครงร่างภาพที่ละเอียดมากนักและจากการทดลองกับภาพตัวอักษรหลายขนาดและหลายรูปแบบเส้นโครงร่างภาพที่ได้ยังคงมีลักษณะใกล้เคียงกับภาพต้นแบบเดิม สำหรับปัญหาในการหาเส้นโครงร่างภาพตามวิธีการที่นำเสนอนี้คือความถูกต้องของการสร้างเวกเตอร์เส้นขอบ

## 6. เอกสารอ้างอิง


[1] กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ และ ทรงชัย วีระทวีมาศ, "อัลกอริทึมในการทำให้วัตถุในภาพบางอย่างรวดเร็ว" การประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2534 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 781 – 790, 2543

[2] ทรงชัย วีระทวีมาศ และ ชัยณรงค์ คล้ายมณี, "การปรับปรุงอัลกอริทึมในการทำให้วัตถุในภาพบางอย่างรวดเร็ว" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, หน้า 956 – 960, 2538

[3] B. Li and C.Y.suen, "A knowledge-base thinning algorithm" Pattern Recognition 24 (12), pp. 1211-1221 (1991).

[4] Kuo-Chin Fan, Den-Fong Chen and Ming-Gang Wen, "Skeletonization of binary images with nonuniform width via block decomposition and contour vector matching" Pattern Recognition 31 (7), pp.823 - 838 (1998).

นายเพิ่มพล กุดจอมศรี จบการศึกษาปริญญาตรี (วศ.บ.) และกำลังศึกษาปริญญาโทวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นเจ้าหน้าที่ควบคุมเสียงและจัดรายการวิทยุสถานีวิทยุทหารอากาศ 021 FM 98.25 Mhz. บุรีรัมย์ งานวิจัยที่สนใจ Pattern recognition

นายทรงชัย วีระทวีมาศ จบการศึกษาปริญญาโท (วศ.ม.) ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยที่สนใจ Wep-Programming, image processing pattern recognition และ Microprocessor application.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

พันจ่าอากาศเอกเพิ่มพล กุดจอมศรี เกิดเมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ 2515 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) จากโรงเรียนช่างฝีมือทหารรุ่น 30 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540.

ปี พ.ศ. 2535 เข้ารับราชการในตำแหน่งจ่าอากาศตรี แผนกซ่อมวิทยุภาคพื้น กองโรงงาน กรมสื่อสารทหารอากาศ ดอนเมือง กรุงเทพมหานคร และปัจจุบันเป็นเจ้าหน้าที่ควบคุมเสียงและจัดรายการวิทยุ สถานีวิทยุทหารอากาศ 021 FM 98.25 Mhz. บุรีรัมย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้