

เทคนิคการลดมิติข้อมูลสำหรับการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยแบบออฟไลน์



นายโกวิท ปัญญาโสภณเลิศ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DIMENSIONALITY REDUCTION TECHNIQUES FOR OFF-LINE THAI HANDWRITTEN  
CHARACTER RECOGNITION



Mr. Kovit Punyasoponlert

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เทคนิคการลดมิติข้อมูลสำหรับการรู้จำลายมือเขียน  
ภาษาไทยแบบออฟไลน์

โดย

นายโกวิท ปัญญาโสภณเลิศ

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์

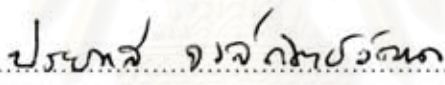
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

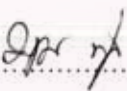
ศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล

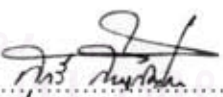
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสิตติย์วัฒนา )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกรี สินธุภิญโญ )

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ชลวิช นัทธี)

โกวิท ปัญญาโสภณเลิศ : เทคนิคการลดมิติข้อมูลสำหรับการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยแบบออฟไลน์. (Dimensionality Reduction Techniques for Off-line Thai Handwritten Character Recognition) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ.ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล, 86 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการหาวิธีการลดมิติสำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่มีความเหมาะสมสำหรับการรู้จำโดยใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท โดยทำการเปรียบเทียบอัตราการรู้จำด้วยวิธีการลดมิติต่างๆ ได้แก่ พีซีเอ, แอลดีเอ, แอล-เอ็มดีเอส, แอลพีพี, แอลดีอี, ดีเอ็นอี และแอล-ไอโซแมป นอกจากนี้ยังได้เสนอเทคนิคการทำภาพเบลอบแบบกระจายเพื่อใช้ในขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นเพื่อให้การวัดความคล้ายกันของข้อมูลด้วยระยะห่างยุคลิดมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลองหลัก คือ 1. การทดสอบประสิทธิภาพของการทำภาพเบลอบแบบกระจาย และ 2. การทดสอบประสิทธิภาพในการรู้จำตัวอักษรโดยใช้วิธีการลดมิติแต่ละวิธี ภายในแต่ละการทดลองได้แบ่งชุดข้อมูลทดสอบออกเป็นชุดที่ขึ้นต่อผู้เขียนและชุดทดสอบที่ไม่ขึ้นต่อผู้เขียน ตัวอักษรทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ตามตำแหน่งในการเขียน คือ ตัวอักษรระดับบน, ระดับกลาง และระดับล่างของบรรทัด และยังได้ทำการเพิ่มกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันในบางการทดลองด้วย ผลการทดลองพบว่า การลดมิติด้วยวิธีดีเอ็นอีให้อัตราการรู้จำโดยเฉลี่ยดีกว่าวิธีการลดมิติแบบอื่นทั้งหมด ทั้งยังมีความง่ายในการนำไปใช้งานเพราะมีตัวแปรเพียง 1 ตัว นั่นคือจำนวนเพื่อนบ้านในขั้นตอนการสร้างกราฟ จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่าการทำภาพเบลอบแบบกระจายในขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นทำให้อัตราการรู้จำเพิ่มขึ้นในทุกๆ การทดลอง โดยผลการทดลองที่ดีที่สุดสำหรับชุดข้อมูลทดสอบที่ขึ้นต่อผู้เขียนและไม่ขึ้นต่อผู้เขียนมีอัตราการรู้จำที่ 88.01 เปอร์เซ็นต์ และ 84.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยใช้วิธีดีเอ็นอีในการลดมิติ

ภาควิชา..... วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา..... 2551

ลายมือชื่อนิสิต โกวิท ปัญญาโสภณเลิศ  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก *Sp Sp*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4970237921 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEYWORDS : DIMENSIONALITY REDUCTION / THAI HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION

KOVIT PUNYASOPONLERT : DIMENSIONALITY REDUCTION TECHNIQUES FOR OFF-LINE THAI HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION. ADVISOR : PROF. BOONSERM KIJSIRIKUL, Ph.D., 86 pp.

In this research, various types of dimensionality reduction techniques, i.e. PCA, LDA, L-MDS, LPP, LDE, DNE and L-ISOMAP were applied to Thai Optical Character Recognition (Thai OCR). The goal is to find a technique suitable for Thai OCR which uses the *k*-nearest neighbor algorithm (*k*-nn) as a classifier. We also propose the image blurring technique called "diffusion blurring" for image-preprocessing step to improve distance measurement by euclidean distance. The experiments were divided into two sub-experiments. The first sub-experiment was for performance of blurring techniques. The second sub-experiment was conducted for evaluating the dimensionality reduction techniques. In each experiment, we divided data into two datasets, writer-dependent and writer-independent datasets. The characters were divided into three major groups i.e. top level, middle level and bottom level character classes and also divided into minor groups for similar characters in some experiments. The experimental results show that DNE outperformed the other dimensionality reduction techniques and was easy to use due to only one adjustable parameter that is the number of neighbors for graph construction. The results also show that the diffusion blurring technique improved the performance for all experiments. The best results for the writer-dependent dataset and the writer-independent dataset were 88.01% and 84.45% respectively by using DNE as a dimensionality reduction technique.

Department : ..... Computer Engineering ..... Student's Signature : *ทวิศกร บุญสนอง*  
Field of Study : ..... Computer Science ..... Advisor's Signature : *Boonserm Kijsirikul*  
Academic Year : ..... 2008 .....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบคุณ ศ.ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่องแก่ข้าพเจ้า ทั้งยังให้คำปรึกษาและคำชี้แนะในการทำงานวิจัยมาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาตรวจสอบเอกสารงานวิจัยและให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและปรับปรุงงานวิจัยให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ที่ห้องปฏิบัติการอัจฉริยภาพเครื่องจักรและการค้นพบความรู้ (MIND LAB) ทุกคนที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำงานวิจัยเป็นอย่างมากมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและคอยผลักดันให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงมาได้

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ และพี่น้องทุกคนในครอบครัวที่ให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าได้ศึกษาต่อ ทั้งยังคอยให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ คอยเป็นแรงผลักดันและเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมาจนประสบความสำเร็จได้ในวันนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

|   | หน้า     |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง        |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | จ        |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ        |
| สารบัญ.....   | ช        |
| สารบัญตาราง.....  | ญ        |
| สารบัญภาพ.....  | ฒ        |
| <b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>  | <b>1</b> |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                         | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                                | 3        |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....                                      | 3        |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                              | 4        |
| 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....                                     | 4        |
| 1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากผลงานวิจัย.....                           | 4        |
| <b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>              | <b>6</b> |
| 2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                         | 6        |
| 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....                                     | 8        |
| 2.2.1 ระยะห่างยุคลิด.....                                       | 8        |
| 2.2.2 วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด $k$ ตัว.....                     | 8        |
| 2.2.3 การตรวจสอบไขว้.....                                       | 9        |
| 2.2.4 การทำภาพเบลอ.....   | 9        |
| 2.2.5 การทำภาพเบลอแบบกระจาย.....                                | 10       |
| 2.2.6 การแยกไอเกน (Eigen Decomposition).....                    | 11       |
| 2.2.7 ปัญหาค่าไอเกนทั่วไป (Generalized Eigenvalue Problem)..... | 12       |
| 2.2.8 วิธีการลดมิติ (Dimensionality Reduction).....             | 12       |
| 2.2.8.1 พีซีเอ (PCA).....                                       | 13       |
| 2.2.8.2 คลาสสิกัลเอ็มดีเอส (Classical MDS).....                 | 14       |
| 2.2.8.3 แอลดีเอ (LDA).....                                      | 16       |
| 2.2.8.4 แอลพีพี (LPP).....                                      | 17       |

|   | หน้า      |
|---|-----------|
| 2.2.8.5 แอลดีอี (LDE).....  | 18        |
| 2.2.8.6 ดีเอ็นอี (DNE).....   | 19        |
| 2.2.8.7 ไอโซแมป (Isomap).....   | 20        |
| <b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>  | <b>22</b> |
| 3.1 การเตรียมฐานข้อมูล.....   | 22        |
| 3.1.1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....  | 22        |
| 3.1.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น.....  | 25        |
| 3.1.3 การเตรียมข้อมูลสำหรับการเรียนรู้.....   | 25        |
| 3.2 กระบวนการในการเรียนรู้.....   | 26        |
| 3.3 กระบวนการในการรู้จำ.....  | 29        |
| <b>บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....</b>  | <b>31</b> |
| 4.1 การทดลอง.....   | 31        |
| 4.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเบลอแบบกระจาย.....   | 31        |
| 4.1.2 การทดลองประสิทธิภาพของการลดมิติด้วยวิธีต่าง ๆ.....  | 32        |
| 4.2 ผลการทดลอง.....   | 33        |
| 4.2.1 ผลการทดลองที่ 1.....  | 33        |
| 4.2.2 ผลการทดลองที่ 2.....  | 35        |
| 4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....  | 40        |
| 4.3.1 เปรียบเทียบการรู้จำด้วยวิธีการทำภาพเบลอและไม่ทำภาพเบลอแบบกระจาย.....  | 40        |
| 4.3.2 เปรียบเทียบการรู้จำด้วยวิธีการเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม และเลือกเฉพาะตัวที่อยู่ตรงขอบของประเภท..... | 41        |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....</b>  | <b>44</b> |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....   | 44        |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....   | 45        |
| <b>รายการอ้างอิง.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>ภาคผนวก.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>ภาคผนวก ก</b> แบบฟอร์มที่ใช้ในการรวบรวมภาพตัวอักษร.....  | 50        |
| <b>ภาคผนวก ข</b> ตัวอย่างตัวอักษรที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้.....  | 53        |
| <b>ภาคผนวก ค</b> อัตราการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยเฉลี่ยของตัวอักษรแต่ละตัว.....  | 58        |
| <b>ภาคผนวก ง</b> การทำคู่ทดสอบที (paired t-test) ของการทดลองที่ 2.....  | 83        |



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญญัตินำ

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.1 การจัดกลุ่มของตัวอักษรตามตำแหน่งในการเขียน.....   | 22   |
| 3.2 การจัดกลุ่มย่อยของตัวอักษรที่มีความคล้ายกันและพื้นที่ที่กำหนดในการนำไปใช้<br>ของแต่ละกลุ่ม.....   | 29   |
| 4.1 ชุดการทดลองที่ 1 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำภาพเบลอ<br>แบบกระจาย.....   | 31   |
| 4.2 ชุดการทดลองที่ 2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการลดมิติแต่ละ<br>วิธี.....  | 32   |
| 4.3 ผลการทดลองย่อยที่ 1.1 อัตราการรู้จำของชุดตัวอักษรที่ทำการเบลอและไม่ได้ทำ<br>การเบลอแบบกระจายโดยจัดกลุ่มใหญ่เพียงกลุ่มเดียว.....   | 33   |
| 4.4 ผลการทดลองย่อยที่ 1.2 อัตราการรู้จำของชุดตัวอักษรที่ทำการเบลอและไม่ได้ทำ<br>การเบลอแบบกระจายโดยจัดกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัว อักษรที่มีความ<br>คล้ายคลึงกัน.....                              | 34   |
| 4.5 ผลการทดลองย่อยที่ 1.3 อัตราการรู้จำของชุดตัวอักษรที่ทำการเบลอและไม่ได้ทำ<br>การเบลอแบบกระจายโดยจัดกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัว อักษรที่มีความ<br>คล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้..... | 34   |
| 4.6 ผลการทดลองย่อยที่ 2.1 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษร<br>ระดับบนโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว.....  | 35   |
| 4.7 ผลการทดลองย่อยที่ 2.2 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษร<br>ระดับบนโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน..                                      | 36   |
| 4.8 ผลการทดลองย่อยที่ 2.3 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษร<br>ระดับบนโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน<br>และกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้.....  | 36   |
| 4.9 ผลการทดลองย่อยที่ 2.4 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษร<br>ระดับกลางโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว.....  | 37   |

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.10 ผลการทดลองย่อยที่ 2.5 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับกลางโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน   | 37   |
| 4.11 ผลการทดลองย่อยที่ 2.6 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับกลางโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน และกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้.....  | 38   |
| 4.12 ผลการทดลองย่อยที่ 2.7 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับล่างโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว.....   | 38   |
| 4.13 ผลการทดลองย่อยที่ 2.8 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับล่างโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว และทำการกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้.....  | 39   |
| 4.14 เปรียบเทียบอัตราการรู้จำจากการทดลองที่ 1 ทั้งหมด.....  | 40   |
| 4.15 เปรียบเทียบอัตราการรู้จำจากการทดลองที่ 2 ทั้งหมดที่ใช้ชุดตัวอักษรที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว.....   | 41   |
| 4.16 เปรียบเทียบอัตราการรู้จำจากการทดลองที่ 2 ทั้งหมดที่ใช้ชุดตัวอักษรที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน.....  | 42   |
| 4.17 เปรียบเทียบอัตราการรู้จำจากการทดลองที่ 2 ทั้งหมดที่ใช้ชุดตัวอักษรที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้.....   | 42   |
| ก.1 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัวโดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลไม่ได้ทำการลดมิติทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว.....   | 59   |
| ก.2 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัวโดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลไม่ได้ทำการลดมิติทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน.....                              | 60   |
| ก.3 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัวโดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลไม่ได้ทำการลดมิติทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้..... | 61   |

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|------|
| ข.1      | 62   |
| ข.2      | 63   |
| ข.3      | 64   |
| ข.4      | 65   |
| ข.5      | 66   |
| ข.6      | 67   |
| ข.7      | 68   |
| ค.1      | 69   |
| ค.2      | 70   |

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|------|
| ค.3      | 71   |
| ค.4      | 72   |
| ค.5      | 73   |
| ค.6      | 74   |
| ค.7      | 75   |
| ง.1      | 76   |
| ง.2      | 77   |

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|------|
| ง.3      | 78   |
| ง.4      | 79   |
| ง.5      | 80   |
| ง.6      | 81   |
| ง.7      | 82   |
| จ.1      | 84   |
| จ.2      | 85   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |   | หน้า |
|--------|---|------|
| 2.1    | การเปรียบเทียบระยะห่างยุคคิดของตัวอักษรประเภทเดียวกันและต่างประเภท<br>กันในกรณีภาพปกติ, ภาพเบลอปกติ และภาพเบลอบแบบกระจาย..... | 11   |
| 3.1    | การสกัดจุดอ้างอิงจากภาพแบบฟอร์มนำเข้าด้วยการฉายภาพฮิสโทแกรม เพื่อ<br>สร้างกรอบสำหรับตัดตัวอักษรเดี่ยวออกมา.....               | 24   |
| 3.2    | ขั้นตอนในการประมวลผลภาพเบื้องต้น.....   | 25   |
| 3.3    | ตัวอย่างข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท.....   | 27   |
| 3.4    | ขั้นตอนโดยรวมของกระบวนการเรียนรู้ข้อมูลฝึก.....   | 28   |
| 3.5    | ขั้นตอนโดยรวมของกระบวนการรู้จำข้อมูลทดสอบ.....  | 30   |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วจนกลายเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันของเรา คอมพิวเตอร์ได้มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตมนุษย์ในหลายๆ ด้าน เช่น การพิมพ์เอกสาร การควบคุมดูแลระบบ การติดต่อสื่อสาร การจัดเก็บฐานข้อมูล การประมวลผลภาพ เป็นต้น เนื่องจากเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การสื่อสารกันระหว่างมนุษย์กับเครื่องคอมพิวเตอร์จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถทำงานหรือตอบสนองกับความต้องการของมนุษย์ได้อย่างเต็มที่ จึงเกิดมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสารระหว่างมนุษย์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ขึ้นมากมาย ทำให้มนุษย์สามารถสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น ช่วยให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การรู้จำตัวอักษร (Optical Character Recognition: OCR) คือ วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ ที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถแปลงข้อมูลภาพเอกสารให้กลายเป็นข้อความที่คอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้หรือแก้ไขได้ ประโยชน์ของการรู้จำตัวอักษรมีหลายอย่าง เช่น การทำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (E-book) การตรวจสอบลายเซ็น (Signature Verification) การป้อนข้อมูลในสื่อสัมผัส (Touch Screen) เป็นต้น ซึ่งแม้ว่างานบางด้านจะใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่ามนุษย์ทำเอง แต่ข้อดีก็คือช่วยลดแรงงานมนุษย์ที่ใช้ลงได้ โดยเฉพาะหากต้องทำการป้อนเอกสารเป็นจำนวนมากเข้าสู่คอมพิวเตอร์

การรู้จำตัวอักษรมีการค้นคว้าและพัฒนามาหลายสิบปีในหลายๆ ภาษา แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การรู้จำแบบออนไลน์ และการรู้จำแบบออฟไลน์ ซึ่งการรู้จำแบบออฟไลน์นั้นสามารถแบ่งได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ และการรู้จำลายมือเขียน ภาษาไทยก็เป็นภาษาหนึ่งที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านการรู้จำตัวอักษรพิมพ์และการรู้จำลายมือเขียน



การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยนั้นมีความซับซ้อนน้อยกว่าการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยมาก เพราะว่าตัวอักษรพิมพ์นั้นมีรูปร่างที่ค่อนข้างแน่นอนจึงทำให้การรู้จำตัวอักษรพิมพ์นั้นมีความถูกต้องสูง ส่วนการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนในการรู้จำมาก อันเนื่องมาจากความแตกต่างของลายมือเขียนของแต่ละบุคคล และถึงแม้จะเป็นลายมือเขียนของบุคคลคนเดียวกันก็ยังมี ความแตกต่างกันไปหากขนาดตัวอักษร อุณหภูมิที่ใช้เขียน และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไป ทำให้การรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยยังต้องมีการพัฒนากันไป การรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยนั้นสามารถแบ่งตามวิธีการที่ใช้ออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ 1. กลุ่มที่ใช้วิธีการจับคู่แม่แบบ (Template Matching) 2. กลุ่มที่ใช้วิธีการเชิงสถิติ (Statistical Methods) 3. กลุ่มที่ใช้วิธีข่ายงานประสาทเทียม (Neural Network) และ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine หรือ SVM)

วิธีการจับคู่แม่แบบมักนำลักษณะบ่งความต่าง (Distinctive Feature) มาใช้ในการจำแนกตัวอักษร เช่น หัวหรือวงแหวน จุดปลาย จุดตัด เส้นทึกแซก เป็นต้น วิธีการนี้ได้ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ช่วงต้นของงานวิจัยทางด้านนี้ เช่นในงานของ Airphaiboon, Sangworasil และ Kondo [1] เป็นต้น และยังคงนิยมนำมาใช้ในงานวิจัยหลายๆ ชิ้น แต่ปัญหาสำหรับการใช้วิธีการนี้คือเมื่อนำมาใช้กับตัวอักษรที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ตัวอักษรบิดเบี้ยว ตัวอักษรเอียง หัวหรือวงของตัวอักษรไม่สมบูรณ์ มีจุดสัมผัสเกิน มีสัญญาณรบกวนภายในภาพ เป็นต้น จะทำให้การรู้จำเกิดความผิดพลาดขึ้น แต่เราก็สามารถนำวิธีการอื่นเข้ามาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพได้รวมทั้งการเพิ่มลักษณะบ่งความต่างแบบใหม่ๆ ขึ้นมา เช่นในงานของ Pisit และ Chom [2] ได้นำลักษณะที่เรียกว่าโพรงของตัวอักษร (Cavity Feature) มาใช้ร่วมกับข่ายงานประสาทเทียม และในงานของปริญญา สงวนสัจย์ [3] ได้นำวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมาใช้ร่วมกับฮิดเดนมาร์คอฟโมเดล (Hidden Markov Model) Nopsuwanchai และ Povey [4] ได้นำฮิดเดนมาร์คอฟมาใช้ร่วมกับวิธีพีซีเอ หรือการวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญ (Principal Component Analysis - PCA)

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการรู้จำไม่ว่าจะด้วยวิธีการใดก็ตามนั่นคือ การเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) และการสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) การเลือกคุณลักษณะคือวิธีการเลือกคุณลักษณะบางส่วนจากคุณลักษณะทั้งหมด โดยจะเลือกแต่คุณลักษณะที่มีผลต่อความถูกต้องในการรู้จำมาก ส่วนคุณลักษณะที่มีผลต่อความถูกต้องน้อยจะถูกตัดทิ้งไป ส่วนการสกัดคุณลักษณะคือวิธีการแปลงชุดข้อมูลรูปแบบหนึ่งไปเป็นชุดข้อมูลในอีกรูปแบบหนึ่งที่มีจำนวนคุณลักษณะน้อยลงกว่าเดิม และสามารถนำไปใช้ในการเขียนรู้ของเครื่องได้ง่ายกว่าการนำชุดข้อมูลดั้งเดิมไปใช้ ประโยชน์สำคัญของทั้งสองวิธีที่กล่าวมา

คือ ช่วยลดจำนวนคุณลักษณะของข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการเรียนรู้ของเครื่องลงได้มาก ทำให้ช่วยลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณลงได้ นอกจากนี้ หากวิธีการเลือกคุณลักษณะหรือการสกัดคุณลักษณะนั้นมีประสิทธิภาพดีแล้วจะช่วยให้การรู้จำมีความถูกต้องมากขึ้นด้วย

ในงานวิจัยด้านการรู้จำตัวอักษรไทยนั้นมักมีการนำการสกัดคุณลักษณะมาใช้ในการแปลงข้อมูลก่อนทำการเรียนรู้ เนื่องจากภาพข้อมูลตัวอักษรเมื่อนำมาทำการแปลงเป็นเวกเตอร์ของข้อมูลแล้วจะมีจำนวนคุณลักษณะหรือจำนวนมิติมาก ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการเรียนรู้และการจำแนกมาก วิธีการสกัดคุณลักษณะวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้นั้นคือ การลดมิติ (Dimensionality Reduction) ซึ่งวิธีการลดมิติที่มีชื่อเสียงได้แก่ พีซีเอ (Principal Component Analysis: PCA), เอ็มดีเอส (Multidimensional Scaling: MDS) และ แอลดีเอ (Local Discriminant Analysis: LDA) เป็นวิธีการลดมิติที่มีมานานและมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการรู้จำต่างๆ เช่นในงานของ Lui และ Yan [5] นอกจากนี้แล้วยังได้มีวิธีการลดมิติใหม่ๆ อีกหลายวิธีเช่น ไอโซแมป (Isometric Mapping: Isomap) [6], แอลพีพี (Locality Preserving Projection: LPP) [7], แอลดีอี (Local Discriminant Embedding: LDE) [8] และ ดีเอ็นอี (Discriminant Neighbourhood Embedding: DNE) [9] ซึ่งวิธีการลดมิติเหล่านี้จะพยายามรักษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแต่ละตัวกับเพื่อนบ้านใกล้สุดให้เหมือนเดิมในข้อมูลที่ทำกรลดมิติแล้ว

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเป้าหมายในการหาวิธีการลดมิติที่มีความเหมาะสมต่อการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัว ( $k$ -Nearest Neighbor Algorithm: knn) เป็นตัวจำแนกประเภท โดยวิธีการลดมิติที่นำมาใช้ในการทดลองได้แก่ พีซีเอ, แอล-เอ็มดีเอส, แอลดีเอ, แอลพีพี, แอลดีอี, ดีเอ็นอี และแอล-ไอโซแมป นอกจากนี้ยังได้เสนอวิธีการปรับแต่งประสิทธิภาพในการรู้จำให้ดีขึ้นอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาวิธีการลดมิติที่เหมาะสมต่อการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และหาวิธีการปรับแต่งประสิทธิภาพให้ดีขึ้น



7. เปรียบเทียบอัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติต่างๆ ในชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นด้วยวิธีที่ต่าง  
กัน แล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการลดมิติที่เหมาะสมต่อการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน  
ภาษาไทยมากที่สุด
8. สรุปผลการทดลอง และจัดทำวิทยานิพนธ์

### 1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากผลงานวิจัย

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการและนำเสนอ  
ในการประชุมปฏิบัติการนานาชาติ ในหัวข้อ “Dimensionality Reduction Techniques for Off-  
Line Thai Optical Character Recognition” โดยโกวิท ปัญญาโสภณเลิศ, รัฐฉัตร ฉัตรพัฒน์ศิริ,  
สุกรี สิ้นธุภิญโญ และ บุญเสริม กิจศิริกุล ในการประชุมปฏิบัติการนานาชาติ "The Second  
Mahasarakham International Workshop on AI (MIWAI'08)" ซึ่งจัดโดยมหาวิทยาลัย  
มหาสารคาม ณ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ในวันที่ 12-13 ธันวาคม 2551

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สนั่น ศรีสุข [10] ทำการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้วิธีเฮาซดอพรดิส-แทนซ์เป็นตัววัดความคล้าย โดยขั้นตอนการรู้จำเริ่มต้นโดยการวิเคราะห์หาลักษณะเด่นเพื่อใช้ในการจัดกลุ่มของตัวอักษรที่มีความคล้าย จากนั้นทำการค้นหาลักษณะเด่นภายในกลุ่มย่อยโดยใช้เฮาซดอพรดิสแทนซ์วัดความคล้ายขององค์ประกอบของภาพตัวอักษรกับแม่แบบของลักษณะเด่นในการทดลองได้ทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนในระดับ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลองพบว่าอัตราการรู้จำของระบบยังคงสูงอยู่ ถึงแม้ว่าภาพจะมีความผิดเพี้ยนเนื่องจากสัญญาณรบกวนมากก็ตาม

จามร ตีรยานนท์ [11] ทำการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์ ทั้งแบบตัวอักษรเดี่ยวและแบบคำ โดยทำการแปลงข้อมูลนำเข้าให้เป็นรหัสลูกโซ่โดยใช้เวกเตอร์ฟรี-แมน (Freeman Vector) จากนั้นใช้วิธีสแกนนิ่งเอ็น-ทูเปิ้ล (Scanning n-tuple Method) ในการหาแบบจำลองทางสถิติ การจำแนกตัวอักษรแบบตัวอักษรเดี่ยวใช้เกณฑ์พิจารณา 2 อย่างคือ ความน่าจะเป็นสูงสุด และการตรวจสอบเงื่อนไขสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายกัน โดยการตรวจสอบเงื่อนไขคือการนำเอาคุณลักษณะต่างๆ มาใช้สร้างเป็นกฎ ได้แก่ ความสูง ความกว้าง ระดับ อัตราส่วนความกว้างต่อความสูง ความแตกต่างระหว่างจุดจรดปากกากับจุดสูงสุด และการตรวจคุณลักษณะในบริเวณที่กำหนด ส่วนการจำแนกคำใช้วิธีการหาคะแนนสูงสุด ความถูกต้องในการรู้จำตัวอักษรเดี่ยวเท่ากับ 86.39 เปอร์เซ็นต์จากตัวอักษรทั้งหมด 10,365 ตัวอักษร และความถูกต้องในการรู้จำคำเท่ากับ 99.67 คำจากทั้งหมด 91 คำ

อิทธิพันธ์ เมธเศรษฐ [12] ทำการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำเรียกชื่อจังหวัด โดยทำการสกัดคุณลักษณะบ่งความต่างหลายประเภทได้แก่ อัตราส่วนกรอบภาพ ตำแหน่งอ้างอิงของตัวอักษร วงรอบ จุดปลาย รอยหยัก หาง และการเปลี่ยนแปลงลำดับสายการลาก (Stroke sequence changing: SCS) โดยทำการพิจารณากับรูปแบบมาตรฐานในรูปของกฎทางพีชคณิต จากนั้นเลือกรูปแบบที่คล้ายกันไปตรวจสอบกับพจนานุกรมคำเรียกชื่อจังหวัด โดยมีความ

ผิดพลาดในการรู้จำตัวอักษรเดี่ยวร้อยละ 3.62 และความผิดพลาดในการรู้จำคำภาษาไทยร้อยละ 1.71

สุขวงสา พิชิตเดช [13] ทำการรู้จำตัวพิมพ์อักษรไทยโดยการใช้กลุ่มก้อนของตัวแยกแยะประเภทของข้อมูลโดยการรวมผลลัพธ์จากตัวแยกแยะหลายๆ ตัวเพื่อทำนายผลลัพธ์สุดท้าย ซึ่งตัวแยกแยะที่ใช้คือ นิวรอลเน็ตเวิร์ก โดยในงานวิจัยมีเป้าหมายในการหาวิธีการสร้างกลุ่มก้อนของนิวรอลเน็ตเวิร์กซึ่งเป็นวิธีการรวมผลลัพธ์แบบถ่วงน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอสมาารถทำงานได้อย่างดีและมีความถูกต้องสูง

พัฒนชัย เบศรภิญโญวงศ์ [14] ทำการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญแบบเคอร์เนลในการสกัดคุณลักษณะของข้อมูล จากนั้นจึงนำไปทำการรู้จำด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบแบคพรอพากेशन ซึ่งพบว่าวิธีที่นำเสนอนั้นให้ผลการรู้จำที่ดีขึ้นกว่าแบบเดิม

อุดม สถาพรชัยสิทธิ์ [15] ทำการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญแบบหลายประเภท ซึ่งปรับปรุงมาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญแบบดั้งเดิม โดยได้ทำการเพิ่มกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน แต่เนื่องจากการเพิ่มกลุ่มย่อยนี้ขึ้นมาทำให้ใช้ทรัพยากรและเวลาในการคำนวณมาก จึงได้เสนอวิธีการเลือกจำนวนคุณลักษณะที่ผ่านการแปลงด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญแล้วด้วยเกณฑ์ที่แตกต่างกัน 4 วิธี ได้แก่ เกณฑ์กำหนดล่วงหน้า เกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวน เกณฑ์การทดสอบของเศษหินขอบภูเขา และเกณฑ์การทดสอบการแบ่งกลุ่ม จากนั้นนำคุณลักษณะที่เลือกได้ไปทำการเรียนรู้โดยข่ายงานประสาทเทียม ซึ่งผลการทดสอบพบว่าให้ความถูกต้องในการรู้จำมากกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญแบบดั้งเดิม

ปริญญา สงวนสัตย์ [3] ทำการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์โดยการรวมข้อดีของแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟและซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเข้าด้วยกัน ข้อดีของแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟคือใช้จำแนกข้อมูลหลายประเภทได้ และไม่จำเป็นที่ข้อมูลนำเข้าจะต้องมีจำนวนคุณลักษณะเท่ากัน ส่วนข้อดีของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนคือสามารถจำแนกประเภทของข้อมูลที่มีความคล้ายกันได้ดีกว่าแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ ความถูกต้องในการรู้จำเท่ากับ 90.57, 92.20 และ 97.88 เปอร์เซนต์สำหรับตัวอักษรระดับบน กลางและล่างตามลำดับ

อิทธิพันธ์ เมธเศรษฐ [16] ทำการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยแบบออฟไลน์ โดยการใช้การรวมคุณลักษณะต่างๆ มาใช้สร้างตัวจำแนกโดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือการจำแนกอย่างหยาบสำหรับจำแนกตัวอักษรออกเป็นกลุ่มๆ ที่มีความคล้ายกัน โดยการใช้การกระจายตัวของจุดสีและอัตราส่วนของจุดสีเป็นเวกเตอร์คุณลักษณะ และการจำแนกอย่างละเอียดสำหรับจำแนกตัวอักษรภายในแต่ละกลุ่ม โดยจะใช้คุณลักษณะเด่นหลายอย่างได้แก่ จุดปลาย วง เส้นโค้งและจุดตัด แล้วใช้ข่ายงานประสาทเทียมเป็นตัวจำแนก โดยความถูกต้องในการรู้จำเท่ากับ 87.32 เปอร์เซ็นต์

Pisit Phokharatkul และคณะ [17] ทำการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยแบบออฟไลน์โดยการใช้คุณลักษณะ 3 อย่างได้แก่ 1. ตำแหน่งของตัวอักษรโดยการแบ่งภาพออกเป็นพื้นที่ย่อย 12 ส่วนแล้วหาตำแหน่งที่หัวของตัวอักษรว่าอยู่ในพื้นที่ใดของภาพ 2. จุดปลายของตัวอักษรโดยใช้วิธีการเดียวกันกับการหาตำแหน่งหัวของตัวอักษร และ 3. รหัสคุณลักษณะสร้างโดยการลากเส้นอ้างอิงตัดผ่านตัวอักษรจากนั้นนับจำนวนกลุ่มของจุดภาพสีดำ โดยการลากเส้นอ้างอิงนี้จะทำการลากตัดผ่านทั้งแนวตั้งและแนวนอนรวมทั้งหมด 7 เส้น จากนั้นนำเอาคุณลักษณะทั้งหมดที่ได้มาทำการสร้างกฎสำหรับการจำแนกโดยการใช้อัลกอริทึมเหมืองมด (Ant-Miner Algorithm) โดยความถูกต้องในการรู้จำเท่ากับ 82.7 เปอร์เซ็นต์

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 ระยะห่างยุคลิด

ระยะห่างยุคลิด (euclidean distance) คือ ระยะที่ใช้ในการวัดความใกล้เคียงกันระหว่างข้อมูล 2 ตัว บางครั้งใช้เป็นตัววัดความคล้ายกันของข้อมูล โดยหากระยะห่างยุคลิดมีค่าน้อยก็แสดงว่าข้อมูลคู่นั้นมีความใกล้เคียงกันหรือมีความคล้ายกันมาก ระยะห่างยุคลิดสามารถคำนวณได้จากการหารากที่สองของผลรวมของกำลังสองของผลต่างของข้อมูลในแต่ละมิติทั้งหมด ตัวอย่างเช่น สำหรับข้อมูล  $P = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$  และ  $Q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$  จะสามารถคำนวณหาระยะห่างยุคลิดได้จากสมการ 2.1

$$D_{(p,q)} = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + (p_3 - q_3)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \quad (2.1)$$

## 2.2.2 วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด $k$ ตัว

วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัว ( $k$ -nearest neighbors algorithm: knn) เป็นวิธีการสำหรับจำแนกข้อมูลทดสอบ โดยใช้ประเภทของข้อมูลฝึกที่มีความคล้ายกับข้อมูลทดสอบนั้นมากที่สุดเป็นตัวชี้บ่งประเภทของข้อมูลทดสอบ วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุดนี้เป็นการเรียนรู้โดยตัวอย่าง (instance-based learning) หรือการเรียนรู้แบบเกียจคร้าน (lazy learning) ชนิดหนึ่ง เนื่องจากการคำนวณทั้งหมดไม่ได้เกิดขึ้นในขั้นตอนการเรียนรู้ แต่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนการจำแนกข้อมูลทดสอบซึ่งเป็นเหตุให้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุดนี้ใช้เวลาในการจำแนกข้อมูลมาก

โดยทั่วไปในการวัดความคล้ายของข้อมูลแต่ละตัวมักใช้ระยะทางยุคลิดเป็นตัววัดการจำแนกประเภทของข้อมูลทดสอบ ทำโดยการหวนดูประเภทของข้อมูลจากข้อมูลฝึกที่มีความคล้ายกับข้อมูลทดสอบนั้นมากที่สุดจำนวน  $k$  ตัว ซึ่งข้อมูลทดสอบจะถูกจำแนกประเภทตามประเภทที่มีคะแนนมากที่สุด

วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุดเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในด้านการเรียนรู้ของเครื่อง เนื่องจากมีหลักการที่ไม่ซับซ้อนและมีตัวแปรเพียงตัวเดียวคือค่า  $k$  ซึ่งการหาค่า  $k$  ที่เหมาะสมนั้นสามารถหาได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือใช้การตรวจสอบไขว้ในการจำแนกข้อมูลเมื่อกำหนดค่า  $k$  ใด ๆ จากนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $k$  ที่ให้ผลการจำแนกที่ถูกต้องมากที่สุด

## 2.2.3 การตรวจสอบไขว้

การตรวจสอบไขว้ (Cross Validation) เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากการเรียนรู้ชุดข้อมูลฝึกชุดหนึ่งๆ นั่นคือ การประเมินหาความผิดพลาดสำหรับชุดข้อมูลทดสอบที่ยังไม่เคยพบ โดยมีพื้นฐานมาจากการสุ่มตัวอย่างข้อมูล (resampling) การทำการตรวจสอบไขว้ทำโดยการแบ่งจำนวนข้อมูลเป็นกลุ่มที่มีขนาดเท่ากัน โดย 1 กลุ่มจากทั้งหมดจะถูกใช้เป็นชุดข้อมูลทดสอบ และข้อมูลกลุ่มที่เหลือจะถูกใช้เป็นชุดข้อมูลฝึก ซึ่งเราเรียกวิธีการนี้ว่า  $k$ -fold cross validation โดย  $k$  คือจำนวนกลุ่มที่ถูกแบ่ง หากค่า  $k$  มีค่าเท่ากับจำนวนข้อมูลทั้งหมด เราจะเรียกวิธีการนี้ว่า การตรวจสอบไขว้แบบนำตัวหนึ่งออกไป (Leave-one-out Cross-validation) ข้อดีของวิธีการตรวจสอบไขว้คือ ข้อมูลทั้งหมดได้ถูกใช้เป็นทั้งข้อมูลฝึกและข้อมูลทดสอบ โดยข้อมูลแต่ละตัวจะถูกใช้เป็นข้อมูลทดสอบเพียงตัวละ 1 ครั้งเท่านั้น



## 2.2.4 การทำภาพเบลอ

การทำภาพเบลอ (blurring) คือ การเฉลี่ยค่าสีของจุดภาพเป้าหมายกับจุดภาพข้างเคียง เป็นการทำให้ภาพมีความคมชัดลดลง ผลที่ได้ก็คือทำให้ภาพมีความนุ่มนวลขึ้น หลักการในการทำภาพเบลอคือ สำหรับแม่สีใดๆ (สีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว) ทำการหาผลรวมของค่าแม่สี ณ จุดภาพเป้าหมายกับจุดภาพข้างเคียง จากนั้นทำการแทนค่าใหม่ของจุดภาพเป้าหมายด้วยผลรวมของค่าแม่สีหารด้วยจำนวนจุดภาพที่ใช้หาผลรวมค่าแม่สี เช่น สำหรับค่าเฉลี่ยของจุดภาพ  $P(x, y)$  ที่ใช้จำนวนจุดภาพทั้งหมด  $n$  จุดภาพในการเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.2

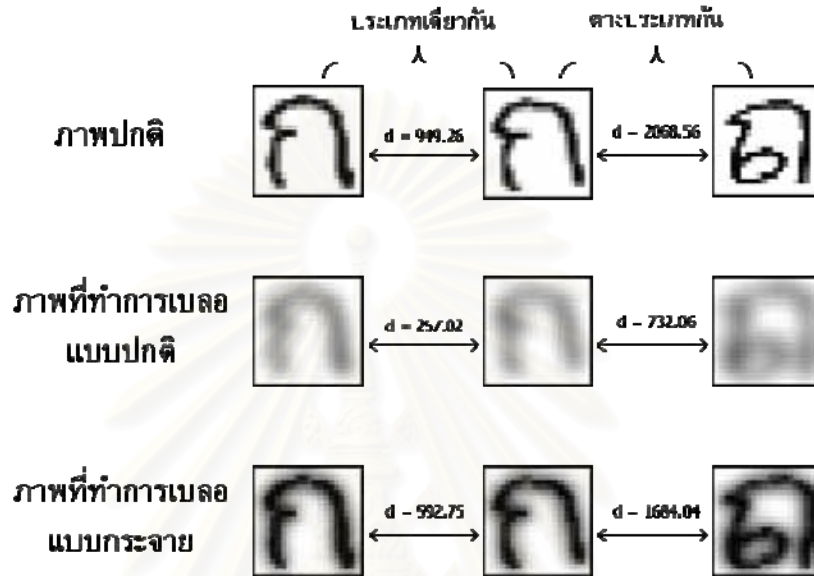
$$P'_{(x,y)} = \frac{\sum_{i=x-1}^{x+1} \sum_{j=y-1}^{y+1} P_{(i,j)}}{n} \quad (2.2)$$

## 2.2.5 การทำภาพเบลอแบบแพร่กระจาย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเอาการทำภาพเบลอมาใช้ในขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Pre-processing) เนื่องจากในการวัดค่าความคล้ายกันของข้อมูลแต่ละคู่ด้วยระยะห่างยุคลิดนั้นอาจให้ผลลัพธ์ที่ยังไม่ดีเพียงพอ โดยเฉพาะเมื่อภาพที่นำมาใช้ในการวัดระยะห่างยุคลิดนั้นเป็นภาพขาวดำซึ่งมีค่าเพียงแค่ 2 ค่าเท่านั้นคือ 0 สำหรับสีดำ และ 255 สำหรับสีขาว การทำภาพเบลอจะมีผลทำให้ภาพ 2 ภาพที่แตกต่างกันมีความคล้ายกันมากขึ้น นั่นคือระยะห่างยุคลิดที่วัดได้มีค่าลดลง แต่การนำเอาการทำภาพเบลอมาใช้กับภาพตัวอักษรโดยตรงอาจทำให้ความถูกต้องในการรู้จำไม่ดีขึ้นเท่าที่ควร เพราะนอกจากภาพที่ถูกเบลอของตัวอักษรประเภทเดียวกันจะมีความคล้ายกันมากขึ้นแล้ว ภาพที่ถูกเบลอของตัวอักษรต่างประเภทกันก็มีความคล้ายกันมากขึ้นด้วยเช่นกันเพราะว่ารายละเอียดบางส่วนได้สูญหายไป วิทยานิพนธ์ชิ้นนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการเบลอชนิดหนึ่งที่ปรับปรุงมาจากการเบลอแบบธรรมดา โดยมีเป้าหมายในการเบลอภาพโดยที่ยังคงรักษารายละเอียดของภาพให้สูญหายไปไม่มากซึ่งจะมีผลทำให้การรู้จำมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เรียกวิธีการนี้ว่า การทำภาพเบลอแบบแพร่กระจาย (diffusion blur)

ผลลัพธ์ของการทำภาพเบลอแบบแพร่กระจายนี้คือ ภาพจะเสมือนว่าจุดภาพทำการแพร่ค่าสีของตัวเองออกไปให้แก่จุดภาพข้างเคียง โดยที่ตัวจุดภาพนั่นเองจะมีความเข้มคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง การทำภาพเบลอแบบแพร่กระจายมีหลักการที่คล้ายกับการทำภาพเบลอโดยทั่วไป แต่มีข้อแตกต่างนั่นคือ ในการคำนวณหาค่าสีของทุกๆ จุดภาพในการทำภาพเบลอ นั้นค่าสีใหม่ที่คำนวณได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสีเดิมของจุดภาพนั้น ซึ่งหากว่าค่าสีใหม่มีค่าน้อย

กว่าค่าเดิมนั้นคือมีความมืดกว่าค่าสีเดิม จุดภาพนั้นจะถูกแทนที่ด้วยค่าสีใหม่นี้ แต่หากว่าค่าสีใหม่ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าสีเดิม นั่นคือมีความสว่างมากกว่าเดิม จุดภาพนั้นจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงค่าสี ตัวอย่างของการเปรียบเทียบระยะห่างยูคลิดที่วัดได้จากภาพปกติ, ภาพเบลอปกติ และภาพเบลอบแบบแพร่กระจายดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การเปรียบเทียบระยะห่างยูคลิดของตัวอักษรประเภทเดียวกันและต่างประเภทกัน ในกรณีภาพปกติ, ภาพเบลอปกติ และภาพเบลอบแบบแพร่กระจาย (d คือระยะห่างยูคลิด)

### 2.2.6 การแยกไอเกน (Eigen Decomposition)

การแยกไอเกนเป็นวิธีแยกตัวประกอบของแมทริกซ์ (Matrix Decomposition) แบบหนึ่ง เป็นพื้นฐานสำคัญในการลดมิติที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ไอเกนประกอบด้วยเวกเตอร์ไอเกน (Eigenvector) และค่าไอเกน (Eigenvalue) เมื่อเราแยกไอเกนของแมทริกซ์ที่สร้างขึ้นจากวิธีการลดมิติแต่ละวิธีแล้ว เราจะสามารถนำชุดของเวกเตอร์ไอเกนที่ได้มาทำการเรียงตามลำดับค่าไอเกนเพื่อสร้างเป็นแมทริกซ์การแปลง (Transformation Matrix) ซึ่งเมื่อเรานำแมทริกซ์การแปลงนี้ไปทำการแปลงรูปข้อมูลแล้ว จะทำให้ได้ข้อมูลใหม่ที่สามารถตัดมิติบางส่วนที่มีค่าไอเกนน้อยออกไปได้ ข้อมูลใหม่ที่ได้จึงมีขนาดลดลง

คุณสมบัติพิเศษของเวกเตอร์ไอเกนคือ เมื่อทำการแปลงรูปด้วยแมทริกซ์ที่มีเวกเตอร์นั้นเป็นเวกเตอร์ไอเกนนั่นแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้คือ ตัวเวกเตอร์ไอเกนนั่นเองคูณกับค่าคงที่ค่าหนึ่ง ตัวอย่างเช่น จากสมการที่ 2.3 ให้  $\vec{v}$  คือเวกเตอร์ที่ไม่ใช่เวกเตอร์ 0 และ  $A$  เป็นแมทริกซ์ขนาด  $N \times N$  ที่มี  $\vec{v}$  เป็นเวกเตอร์ไอเกนแล้ว การแปลงรูปของเวกเตอร์  $\vec{v}$  ด้วยแมทริกซ์  $A$  เขียน

แทนด้วย  $A\vec{v}$  จะมีค่าเท่ากับ  $\lambda\vec{v}$  โดยที่  $\lambda$  เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งก็คือ ค่าไอเกน นั่นเอง ค่า  $\lambda$  นี้สามารถเป็นจำนวนจริงหรือจำนวนเชิงซ้อนก็ได้ เราเรียก  $\vec{v}$  และ  $\lambda$  ว่า คู่ไอเกนของเมทริกซ์  $A$

$$A\vec{v} = \lambda\vec{v} \quad (2.3)$$

โดยทั่วไป การหาคู่ไอเกนของเมทริกซ์ใดๆ สามารถหาได้โดยวิธีต่อไปนี้

จากสมการ 2.1

$$A\vec{v} = \lambda\vec{v}$$

$$A\vec{v} - \lambda I\vec{v} = 0$$

$$(A - \lambda I)\vec{v} = 0 \quad (2.4)$$

ดังนั้น

$$\det(A - \lambda I)\vec{v} = 0$$

ซึ่งเมื่อทำการแก้สมการดีเทอร์มิแนนท์ของสมการที่ 2.4 แล้วจะทำให้ทราบค่าไอเกน  $\lambda$  จากนั้นเมื่อนำค่าไอเกน  $\lambda$  ไปแทนลงในสมการที่ 2.4 แล้วก็จะสามารถหาเวกเตอร์ไอเกน  $\vec{v}$  ได้

### 2.2.7 ปัญหาค่าไอเกนทั่วไป (Generalized Eigenvalue Problem)

ปัญหาค่าไอเกนทั่วไปเป็นการแยกไอเกนวิธีหนึ่งที่มีรูปแบบมาตรฐานคือ

$$A\vec{v} = \lambda B\vec{v} \quad (2.5)$$

โดยที่  $A$  และ  $B$  เป็นเมทริกซ์ การหาค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกนของทั้งสองเมทริกซ์นี้สามารถหาได้โดยการแปลงสมการที่ 2.5 ให้อยู่ในรูปเดียวกับสมการที่ 2.3 ดังนี้

$$B^{-1}A\vec{v} = \lambda I\vec{v}$$

$$(B^{-1}A - \lambda I)\vec{v} = 0$$

ดังนั้น

$$\det(B^{-1}A - \lambda I)\vec{v} = 0 \quad (2.6)$$

ซึ่งสามารถหาค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกนได้ด้วยวิธีเดียวกันกับการแยกไอเกน

แบบธรรมดา

## 2.2.8 วิธีการลดมิติ (Dimensionality Reduction)

การลดมิติ คือ การนำข้อมูลที่มีจำนวนมิติหรือคุณลักษณะมากมาทำการแปลงที่เรียกว่า การรวมเชิงเส้น (Linear Combination) ทำให้ได้ข้อมูลในมิติใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิม ซึ่งข้อมูลในมิติใหม่นี้เมื่อนำมาเรียงลำดับตามค่าตัวแปรบางอย่างแล้ว จะทำให้สามารถตัดมิติที่มีค่าตัวแปรนั้นน้อยทิ้งไปได้ โดยการตัดมิติของข้อมูลในมิติใหม่ที่มีค่าตัวแปรน้อยออกไปนี้จะทำให้ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ดังนั้น การนำข้อมูลในมิติใหม่ไปใช้จึงช่วยลดเวลาที่ใช้ในการประมวลผลได้ และยังส่งผลกระทบต่อความถูกต้องเพียงเล็กน้อย

วิธีการลดมิติที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ พีซีเอ, แอล-เอ็มดีเอส, แอลดีเอ, แอลพีพี, แอลดีอี, ดีเอ็นอี และ แอล-ไอโซแมป ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.2.8.1 พีซีเอ (PCA)

พีซีเอ หรือ การวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญ (Principal Component Analysis: PCA) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถหาผลรวมเชิงเส้นที่มีการเรียงลำดับตามความแปรปรวนของข้อมูลได้ ซึ่งเครื่องชี้วัดความแปรปรวนนี้คือค่าไอเกนนั่นเอง อาจมองได้ว่าวิธีพีซีเอทำการหมุนข้อมูลทั้งหมดในมิติสูงเพื่อปรับเรียงลำดับแกนทั้งหมดตามค่าความแปรปรวนของการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละแกนนั้นๆ เมื่อทำการหมุนเสร็จแล้วจะทำให้สามารถตัดแกนของข้อมูลที่ข้อมูลมีความแปรปรวนน้อยๆ ทิ้งไปได้โดยส่งผลกระทบต่อข้อมูลส่วนใหญ่เพียงเล็กน้อย จึงทำให้จำนวนมิติของข้อมูลลดลงจากเดิม ข้อมูลที่ใช้กับวิธีพีซีเอได้ก็คือข้อมูลที่มีการกระจายตัวบนมิติสูงเป็นเส้นตรง

#### ขั้นตอนในการลดมิติด้วยวิธีพีซีเอมีดังนี้

1. สำหรับชุดข้อมูล  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$  จำนวนทั้งหมด  $N$  ตัว ทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทุกตัวในแต่ละมิติ จากนั้นนำข้อมูลแต่ละตัวมาลบค่าในแต่ละมิติออกจากค่าเฉลี่ยของแต่ละมิตินั้นๆ ซึ่งจะทำให้ได้ชุดข้อมูลชุดใหม่  $x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N$  ที่มีค่าเฉลี่ยในแต่ละมิติเท่ากับศูนย์
2. สร้างเมทริกซ์ความแปรปรวน (Covariance Matrix) จากชุดข้อมูล  $X'_n$  แล้วทำการแยกองค์ประกอบไอเกนเพื่อหาชุดของค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกน จากนั้นสร้างเมทริกซ์  $V$  ซึ่งแต่ละแถวประกอบด้วยเวกเตอร์ไอเกนของชุดข้อมูล  $X'_n$  ที่เรียงลำดับตามค่าไอเกนจากมากไปน้อย

3. สำหรับข้อมูลแต่ละตัว  $x_i$  ที่มีขนาด  $D$  มิติ ทำการลดมิติเป็นข้อมูล  $z_i$  ที่มีขนาด  $d$  มิติ โดยที่  $d \leq D$  ได้โดยการลบข้อมูลในทุกมิติด้วยค่าเฉลี่ยที่ได้จากข้อมูลฝึกเป็น  $x'_i$  จากนั้นทำการแปลงข้อมูลได้จากสมการที่ 2.7

$$z_i = V^T x'_i \quad (2.7)$$

วิธีพีซีเอนอกจากจะถูกใช้เพื่อลดมิติก่อนนำมาทำการรู้จำด้วยวิธีการเพื่อนบ้าน ใกล้สุด  $k$  ตัวในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว วิธีพีซีเอนี้ยังถูกนำมาใช้ในการแปลงข้อมูลเบื้องต้นสำหรับวิธีการลดมิติบางวิธีอีกด้วย ได้แก่ แอลดีเอ, แอลพีพี และแอลดีอี เนื่องจากทั้งสามวิธีดังกล่าวนี้ใช้การแก้ปัญหาไอเกนทั่วไปในการแยกไอเกน ซึ่งในบางครั้งจำนวนของข้อมูลฝึกมีน้อยกว่าจำนวนมิติของข้อมูลอยู่มาก ซึ่งจะทำให้เมทริกซ์  $B$  จากสมการที่ 2.3 กลายเป็นเมทริกซ์เอกฐานทำให้ไม่สามารถหาอินเวอร์สของเมทริกซ์  $B$  ได้ ทำให้การคำนวณล้มเหลว การแปลงข้อมูลเบื้องต้นด้วยวิธีพีซีเอนี้จะทำให้จำนวนมิติของข้อมูลทั้งหมดลดลงเท่ากับผลต่างของข้อมูลฝึกทั้งหมดและจำนวนประเภทของข้อมูลฝึกทั้งหมด ซึ่งทำให้สามารถหาอินเวอร์สของเมทริกซ์  $B$  ได้ วิธีการนี้ถูกนำเสนอโดย Belhumeur, Hespanha และ Kriegman [18] และนิยมใช้กันทั่วไปสำหรับงานวิจัยทางการลดมิติ

### 2.2.8.2 คลาสสิกัลเอ็มดีเอส (Classical MDS)

คลาสสิกัลเอ็มดีเอส (Classical Multidimensional Scaling: Classical MDS) เป็นอีกหนึ่งวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถใช้สร้างตำแหน่งของข้อมูลแต่ละตัวโดยที่เราทราบเพียงระยะห่างของแต่ละคู่ข้อมูลทั้งหมดได้ ซึ่งคลาสสิกัลเอ็มดีเอสจะสร้างตำแหน่งที่อยู่ของแต่ละจุดข้อมูลในมิติต่ำ โดยพยายามรักษาความแตกต่างของระยะห่างระหว่างคู่ข้อมูลแต่ละตัวให้เหมือนกับข้อมูลในมิติสูงให้มากที่สุด ข้อมูลที่ใช้กับวิธีคลาสสิกัลเอ็มดีเอสได้ดีก็คือข้อมูลที่มีการกระจายตัวบนมิติสูงเป็นเส้นตรง

#### ขั้นตอนในการลดมิติด้วยวิธีคลาสสิกัลเอ็มดีเอสมีดังนี้

1. สำหรับข้อมูล  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$  จำนวนทั้งหมด  $N$  ตัว สร้างเมทริกซ์ระยะห่าง  $P$  ขนาด  $N \times N$  โดย  $p_{(i,j)}$  จะถูกกำหนดค่าให้เท่ากับระยะห่างยูคลิดของข้อมูล  $x_i$  และ  $x_j$  จากนั้นทำการสร้างเมทริกซ์  $B$  จากสมการที่ 2.8

$$B = \frac{-1}{2} J P^2 J \quad (2.8)$$

$$\text{โดย } J = I - \frac{1}{n}[1]$$

$$P^2 \text{ คือ แมทริกซ์ที่ } p^2_{(i,j)} = \{p_{(i,j)}\}^2$$

$I$  คือ แมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity Matrix) ที่มีขนาด  $N \times N$

[1] คือ แมทริกซ์ขนาด  $N \times N$  ที่สมาชิกทุกตัวมีค่าเท่ากับ 1

2. ทำการหาค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกนทั้งหมดของแมทริกซ์  $B$  จากนั้นสร้างแมทริกซ์  $V$  ที่สมาชิกของแต่ละคอลัมน์คือเวกเตอร์ไอเกนของแมทริกซ์  $B$  ที่เรียงลำดับตามค่าไอเกนจากมากไปหาน้อย
3. สร้างแมทริกซ์ทแยงมุม  $\lambda$  ขนาด  $N \times N$  โดยที่  $\lambda_{(i,i)}$  มีค่าเท่ากับค่าไอเกนที่เรียงแล้วลำดับที่  $i$  จากนั้นทำการลดมิติของข้อมูลฝึกตัวที่  $i$  ไปเป็นข้อมูล  $z_i$  ได้โดย

$$z_i = v_i \sqrt{\lambda_{i,i}} \quad (2.9)$$

อย่างไรก็ดี วิธีคลาสสิกัลเอ็มดีเอสนั้นไม่สามารถนำเอาไปใช้กับข้อมูลตัวใหม่ได้โดยตรงเนื่องจากต้องทำการเรียนรู้ชุดข้อมูลฝึกและข้อมูลทดสอบที่เพิ่มมาใหม่ทั้งหมด ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณที่สูงมากจึงไม่เหมาะต่อการนำไปใช้จำแนกประเภท เพื่อแก้ปัญหานี้ Silva และ Tenenbaum [19] ได้เสนอวิธีการที่ทำให้สามารถนำวิธีคลาสสิกัลเอ็มดีเอสไปใช้กับข้อมูลตัวใหม่ได้ เรียกวิธีการนี้ว่า แอล-เอ็มดีเอส หรือ แลนด์มาร์กเอ็มดีเอส (Landmark-MDS)

### ขั้นตอนในการลดมิติด้วยวิธีแอล-เอ็มดีเอสมีดังนี้

1. สำหรับข้อมูลจำนวนทั้งหมด  $N$  ตัว ทำการเลือกตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดมาจำนวน  $n$  ตัวเรียกว่า ชุดข้อมูลแลนด์มาร์ก จากนั้นสร้างแมทริกซ์ระยะห่าง  $P$  ขนาด  $n \times n$  โดย  $p_{(i,j)}$  จะถูกกำหนดค่าให้เท่ากับระยะห่างยูคลิดของข้อมูลแลนด์มาร์กตัวที่  $i$  และ  $j$
2. ทำการเรียนรู้แมทริกซ์การแปลงจากชุดข้อมูลแลนด์มาร์กทั้งหมดด้วยวิธีคลาสสิกัลเอ็มดีเอสแบบปกติ
3. ให้  $\bar{\delta}_1, \bar{\delta}_2, \bar{\delta}_3, \dots, \bar{\delta}_n$  เป็นเวกเตอร์ของระยะห่างกำลังสองระหว่างข้อมูลแลนด์มาร์กทั้งหมด และ  $\bar{\delta}_n$  เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์เหล่านี้
4. สำหรับข้อมูลทดสอบ  $x_i$  สามารถทำการแปลงเป็นข้อมูลในมิติใหม่  $z_i$  ได้ โดยมีมิติที่  $k$  ของข้อมูล  $z_i$  ในมิติใหม่จะหาได้จากสมการที่ 2.10

$$z_i^k = \frac{-(0.5)\bar{v}_k^T}{\sqrt{\lambda_k}}(\delta_i - \bar{\delta}_u) \quad (2.10)$$

โดยที่  $\bar{v}_k$  คือเวกเตอร์ไอเกนของชุดข้อมูลแลนดมาร์กลำดับที่  $k$  และ  $\lambda_k$  คือค่าไอเกนของเวกเตอร์  $\bar{v}_k$  นี้

### 2.2.8.3 แอลดีเอ (LDA)

แอลดีเอ (Linear Discriminant Analysis: LDA) เป็นวิธีการลดมิติที่นำเอาประเภทของข้อมูลมาใช้ในการสร้างแมทริกซ์การแปลงด้วย ถูกใช้บ่อยในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการจำแนกประเภทข้อมูล โดยวิธีแอลดีเอนี้สามารถหาการรวมเชิงเส้นของคุณลักษณะที่ใช้แบ่งแยกข้อมูลต่างประเภทออกจากกันได้ดีที่สุด

วิธีแอลดีเอมีสิ่งคล้ายกับวิธีพีซีเอนั่นคือ ทั้งสองวิธีจะพยายามหาการรวมเชิงเส้นที่สามารถอธิบายข้อมูลทั้งหมดได้ดีที่สุด ข้อแตกต่างของทั้งสองวิธีคือ พีซีเอจะไม่นำประเภทของข้อมูลมาใช้ในการหาการรวมเชิงเส้น พีซีเอจะทำการหาแกนอันใหม่ที่ความแปรปรวนของข้อมูลในแกนนั้นมาก ในขณะที่แอลดีเอจะนำเอาประเภทของข้อมูลมาใช้ในการหาการรวมเชิงเส้น ผลลัพธ์ที่ได้คือ แกนใหม่ที่ข้อมูลที่มีประเภทเดียวกันจะอยู่กระจายตัวกันมากที่สุด ในขณะที่ข้อมูลต่างประเภทกันจะต้องอยู่ห่างจากกันมากที่สุด ทำให้วิธีแอลดีเอนี้เหมาะที่จะนำไปใช้ในการจำแนกประเภทมากกว่าวิธีพีซีเอ แต่แอลดีเอมีข้อจำกัดคือจะใช้จำแนกประเภทข้อมูลได้ดีกับชุดข้อมูลที่มีการกระจายตัวเชิงเส้นและเป็นการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution) เท่านั้น

#### ขั้นตอนในการลดมิติด้วยวิธีแอลดีเอมีดังนี้

1. สำหรับชุดข้อมูล  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$  จำนวนทั้งหมด  $N$  ตัว ที่มีทั้งหมด  $C$  ประเภท กำหนดให้  $\bar{u}$  คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลทุกตัว และ  $u_i$  คือค่าเฉลี่ยภายในแต่ละประเภท ตั้งแต่ประเภทแรกถึงประเภทที่  $C$  จากนั้นทำการสร้างแมทริกซ์การกระจายภายในประเภท  $S^w$  (within-class scatter matrix) และแมทริกซ์การกระจายระหว่างประเภท  $S^b$  (between-class scatter matrix) จากสมการดังนี้

$$S^w = \sum_{i=1}^C \sum_{j:y_j=i} (x_j - u_i)(x_j - u_i)^T$$

$$S^b = \sum_{i=1}^C n_i (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T$$

2. ทำการแก้ปัญหาค่าไอเกนทั่วไปจากสมการที่ 2.11

$$S^b \bar{v} = S^w \bar{v} \quad (2.11)$$

3. จากนั้น สำหรับข้อมูล  $x_i$  ใดๆ ทำการลดมิติเป็นข้อมูล  $z_i$  ได้จากสมการที่ 2.12 โดย  $V$  คือเมทริกซ์ของเวกเตอร์ไอเกนจากสมการที่ 2.11 จำนวน  $C-1$  เวกเตอร์ที่เรียงลำดับตามค่าไอเกนจากมากไปน้อย

$$z_i = V^T x_i \quad (2.12)$$

#### 2.2.8.4 แอลพีพี (LPP)

แอลพีพี (Locality Preserving Projection: LPP) ถูกเสนอขึ้นในปี 2003 โดย He และ Niyogi [7] เป็นการรวมเชิงเส้นที่มีเป้าหมายเช่นเดียวกับแอลแอลอี (Locally Linear Embedding) ซึ่งเป็นการลดมิติไม่เชิงเส้น โดยจะมองว่ากราฟของข้อมูลตัวหนึ่งๆ กับเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดของข้อมูลตัวนั้น สามารถมองเป็นระนาบอันหนึ่งได้ และเราสามารถสร้างตำแหน่งของข้อมูลตัวนั้นได้ใหม่ โดยจากการทราบตำแหน่งและระยะห่างของเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดของข้อมูลตัวนั้นทั้งหมด ดังนั้น มิติใหม่ที่สร้างขึ้นนั้นจึงเป็นมิติที่พยายามรักษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแต่ละตัวกับเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดของมันให้มากที่สุด ซึ่งแอลพีพีก็ใช้หลักการเดียวกันนี้ในการลดมิติเช่นกัน ข้อแตกต่างระหว่างแอลพีพีและแอลแอลอี คือ แอลพีพีเป็นการลดมิติเชิงเส้น ส่วนแอลแอลอีเป็นการลดมิติไม่เชิงเส้น นอกจากนี้แอลแอลอียังไม่สามารถทำการลดมิติสำหรับข้อมูลตัวใหม่ได้ในขณะที่แอลพีพีสามารถทำการลดมิติสำหรับข้อมูลตัวใหม่ได้ จึงทำให้แอลพีพีสามารถนำไปใช้กับการจำแนกประเภทได้

#### ขั้นตอนในการลดมิติด้วยวิธีแอลพีพีมีดังนี้

1. สำหรับข้อมูลจำนวนทั้งหมด  $N$  ตัว ทำการสร้างกราฟ  $G$  ของข้อมูลทั้งหมด จากนั้นภายในกราฟ  $G$  แต่ละคู่ข้อมูล  $i$  และ  $j$  จะถูกลากเส้นเชื่อมกันหากคู่ข้อมูล  $i$  และ  $j$  นั้นเป็นเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด  $k$  ตัวของกันและกัน
2. สร้างเมทริกซ์  $W$  ขนาด  $N \times N$  กำหนดค่าให้  $w_{(i,j)}$  เท่ากับ 0 หากว่าในกราฟ  $G$  คู่ข้อมูล  $i$  และ  $j$  ไม่ได้เชื่อมถึงกัน และหากว่าในกราฟ  $G$  คู่ข้อมูล  $i$  และ  $j$  เชื่อมถึงกัน กำหนดค่า  $w_{(i,j)}$  ได้จากสมการที่ 2.13

$$w_{(i,j)} = \exp\left\{\frac{-\|x_i - x_j\|^2}{\sigma}\right\} \quad (2.13)$$



โดย  $\sigma$  คือค่าคงที่ใดๆ นอกจากนี้ เราอาจกำหนดค่าให้แก่  $w_{(i,j)}$  อย่างง่ายๆ ได้โดยในสมการที่ 2.13 กำหนดให้  $w_{(i,j)}$  มีค่าเท่ากับ 1 แทน

- สร้างเมทริกซ์  $X$  ขนาด  $N \times D$  ของข้อมูลทั้งหมดโดย  $D$  คือจำนวนมิติของข้อมูลเดิม และสร้างเมทริกซ์  $X^T$  เป็นเมทริกซ์กัลป์ด้านของเมทริกซ์  $X$  จากนั้นทำการแก้ปัญหาค่าไอเกนทั่วไปของสมการที่ 2.14

$$X(D-W)X^T\vec{v} = \lambda XDX^T\vec{v} \quad (2.14)$$

โดยเมทริกซ์  $D$  คือเมทริกซ์ทแยงมุมที่ค่าตามแนวทแยงมุม  $d_{(i,j)} = \sum_j w_{(i,j)}$  จากนั้นสำหรับข้อมูล  $x_i$  ใดๆ สามารถลดมิติไปเป็นข้อมูล  $z_i$  ได้จากสมการ  $z_i = V^T x_i$  โดย  $V$  คือเมทริกซ์ของเวกเตอร์ไอเกนที่เรียงลำดับตามค่าไอเกนจากมากไปน้อย

#### 2.2.8.5 แอลดีอี (LDE)

แอลดีอี (Local Discriminant Embedding: LDE) ถูกเสนอขึ้นในปี 2005 โดย Chen, Chang และ Liu [8] เป็นวิธีการลดมิติสำหรับข้อมูลที่มีการกระจายตัวในมิติสูงแบบเส้นตรงวิธีหนึ่ง มีเป้าหมายในการลดมิติเช่นเดียวกับวิธีแอลพีพีแต่มีข้อแตกต่างคือ ในมิติต่ำข้อมูลต่างประเภทกันต้องอยู่ห่างออกจากกัน ส่วนข้อมูลประเภทเดียวกันต้องอยู่ใกล้กันให้มากที่สุด

##### ขั้นตอนในการลดมิติด้วยวิธีแอลดีอีมีดังนี้

- สำหรับข้อมูลจำนวนทั้งหมด  $N$  ตัว ทำการสร้างกราฟ  $G$  และ  $G'$  ของข้อมูลทั้งหมด จากนั้นภายในกราฟ  $G$  แต่ละคู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  จะถูกลากเส้นเชื่อมกันหากคู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  นั้นเป็นเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัวของกันและกัน ซึ่งข้อมูลตัวที่  $i$  และข้อมูลตัวที่  $j$  จะต้องเป็นข้อมูลประเภทเดียวกันด้วย ส่วนกราฟ  $G'$  แต่ละคู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  จะถูกลากเส้นเชื่อมหากคู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  นั้น เป็นเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัวของกันและกัน ซึ่งข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  จะต้องเป็นข้อมูลต่างประเภทกันแทน
- สร้างเมทริกซ์  $W$  และ  $W'$  ขนาด  $N \times N$  แล้วกำหนดค่าข้อมูลแต่ละตัว โดยสำหรับเมทริกซ์  $W$  กำหนดค่าให้  $w_{(i,j)}$  เท่ากับ 0 หากว่ากราฟ  $G$  คู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  ไม่ได้เชื่อมถึงกัน และหากว่ากราฟ  $G$  คู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  เชื่อมถึงกัน จะกำหนดค่า  $w_{(i,j)}$  ได้จากสมการที่ 2.15

$$w_{(i,j)} = \exp\left\{\frac{-\|x_i - x_j\|^2}{\sigma}\right\} \quad (2.15)$$

โดย  $\sigma$  คือค่าคงที่ใดๆ และสำหรับเมทริกซ์  $W'$  กำหนดค่าด้วยวิธีเดียวกันกับเมทริกซ์  $W$  โดยใช้กราฟ  $G'$  ในการอ้างอิงแทน นอกจากนี้ เราอาจกำหนดค่าให้แก่  $w_{(i,j)}$  อย่างง่ายๆ ได้โดยในสมการที่ 2.15 กำหนดให้  $w_{(i,j)}$  มีค่าเท่ากับ 1 แทน

- สร้างเมทริกซ์  $X$  ขนาด  $N \times D$  ของข้อมูลทั้งหมดโดย  $D$  คือจำนวนมิติของข้อมูลเดิม และสร้างเมทริกซ์  $X^T$  เป็นเมทริกซ์กลับด้านของเมทริกซ์  $X$  จากนั้นทำการแก้ปัญหาค่าไอเกนทั่วไปของสมการที่ 2.16

$$X(D' - W')X^T \bar{v} = \lambda X(D - W)X^T \bar{v} \quad (2.16)$$

โดยเมทริกซ์  $D$  และ  $D'$  คือเมทริกซ์ทแยงมุมที่ค่าตามแนวทแยงมุม  $d_{(i,j)} = \sum_j w_{(i,j)}$  และ  $d'_{(i,j)} = \sum_j w'_{(i,j)}$  จากนั้น สำหรับข้อมูล  $x_i$  ใดๆ สามารถทำการลดมิติเป็นข้อมูล  $z_i$  ได้จากสมการ  $z_i = V^T x_i$  โดย  $V$  คือเมทริกซ์ของเวกเตอร์ไอเกนที่เรียงลำดับตามค่าไอเกนจากมากไปน้อย

#### 2.2.8.6 ดีเอ็นอี (DNE)

ดีเอ็นอี (Discriminant Neighborhood Embedding: DNE) ถูกเสนอขึ้นในปี 2007 โดย Zhang และคณะ [9] เป็นวิธีที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแต่ละตัวกับเพื่อนบ้านใกล้สุดมาสร้างมิติต่ำโดยใช้ประโยชน์จากประเภทของข้อมูลด้วย มีเป้าหมายในการสร้างมิติต่ำ เช่นเดียวกับกับวิธีแอลดีคือ ในมิติต่ำข้อมูลต่างประเภทกันต้องอยู่ห่างจากกัน ส่วนข้อมูลประเภทเดียวกันต้องอยู่ใกล้กันให้มากที่สุด

##### ขั้นตอนในการลดมิติด้วยวิธีดีเอ็นอีมีดังนี้

- สำหรับข้อมูลจำนวนทั้งหมด  $N$  ตัว ทำการสร้างกราฟ  $G$  ของข้อมูลทั้งหมด จากนั้นภายในกราฟ  $G$  แต่ละคู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  จะถูกลากเส้นเชื่อมกันหากคู่ข้อมูล  $i$  และ  $j$  นั้นเป็นเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัวของกันและกัน
  - สร้างเมทริกซ์  $F$  ที่มีขนาด  $N \times N$  กำหนดค่าให้  $F_{(i,j)}$  เท่ากับ 0 หากว่าในกราฟ  $G$  คู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  ไม่ได้เชื่อมถึงกัน และหากว่าในกราฟ  $G$  คู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  เชื่อมถึงกัน และมีประเภทเดียวกันกำหนดค่าให้เท่ากับ 1 และหากว่ามีประเภทที่แตกต่างกันกำหนดค่าให้เท่ากับ -1

- สร้างเมทริกซ์  $X$  ขนาด  $N \times D$  ของข้อมูลทั้งหมดโดย  $D$  คือจำนวนมิติของข้อมูลเดิม และสร้างเมทริกซ์  $X^T$  เป็นเมทริกซ์กลับด้านของเมทริกซ์  $X$  จากนั้นคำนวณหา ค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกนจากสมการที่ 2.17

$$X(S - F)X^T \bar{v} = \lambda \bar{v} \quad (2.17)$$

โดย  $S$  คือเมทริกซ์ทแยงมุม ซึ่งแต่ละ  $s_{(i,i)}$  มีค่าเท่ากับผลรวมทั้งหมดของแต่ละคอลัมน์ที่  $i$  หรือแถวที่  $i$  ของเมทริกซ์  $F$

- สำหรับข้อมูล  $x_i$  ใดๆ สามารถทำการลดมิติเป็นข้อมูล  $z_i$  ได้จากสมการ  $z_i = V^T x_i$  โดย  $V$  คือเมทริกซ์ของเวกเตอร์ไอเกนที่เรียงลำดับตามค่าไอเกนจากน้อยไปมากและเลือกเฉพาะเวกเตอร์ไอเกนที่มีค่าไอเกนติดลบเท่านั้น

### 2.2.8.7 ไอโซแมป (Isomap)

ไอโซแมป (Isometric feature mapping: Isomap) ถูกเสนอขึ้นในปี ค.ศ. 2000 โดย Tenenbaum, Silva และ Langford [6] มีหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับวิธีคลาสสิกเอ็มดีเอส ซึ่งการหาระยะห่างระหว่างคู่ข้อมูลใดๆ ด้วยระยะห่างยูคลิด อาจจะไม่ได้ระยะห่างที่แท้จริงของคู่ข้อมูลนั้น แต่การหาระยะห่างโดยใช้ระยะทางบนพื้นผิว (geodesic distance) จะทำให้ได้ระยะทางที่ควรจะเป็นมากกว่า ยิ่งข้อมูลมีจำนวนมากและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเท่าใดก็จะยิ่งทำให้ได้ระยะห่างที่ใกล้เคียงกับระยะห่างที่แท้จริงมากขึ้น เสมือนกับเรามองการกระจายตัวของข้อมูลทั้งหมดในมิติสูงเป็นแผ่นพื้นผิวหนึ่งที่มีจำนวนมิติต่ำกว่าแต่บิดงออยู่ ในการหาระยะห่างพื้นผิวทำได้โดยการหาเส้นทางไปตามเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดของข้อมูลแต่ละตัว ซึ่งจะนำระยะห่างพื้นผิวนี้มาใช้ในการสร้างเมทริกซ์ระยะห่างเพื่อใช้ในวิธีการคลาสสิกเอ็มดีเอสแทนเมทริกซ์ระยะห่างยูคลิด จากนั้นใช้วิธีการเช่นเดียวกับวิธีคลาสสิกเอ็มดีเอสก็จะสามารถคำนวณหาค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกนได้

#### ขั้นตอนในการลดมิติด้วยวิธีไอโซแมปมีดังนี้

- สำหรับข้อมูลจำนวนทั้งหมด  $N$  ตัว สร้างกราฟ  $G$  ของข้อมูลทั้งหมด แล้วสร้างเส้นเชื่อมข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  ถ้าข้อมูลตัวที่  $j$  เป็นหนึ่งในเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดของข้อมูลตัวที่  $i$  ภายในรัศมี  $\epsilon$  เรียกวิธีนี้ว่า เอ็มไอโซแมป ( $\epsilon$ -Isomap) หรือสร้างเส้นเชื่อมข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  ถ้าข้อมูลตัวที่  $j$  เป็นหนึ่งในเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด  $k$  ตัวของข้อมูลตัวที่  $i$  เรียกวิธีนี้ว่า เคไอโซแมป ( $k$ -Isomap) จากนั้นสร้างเมทริกซ์  $D_X$  ขนาด  $N \times N$  เป็น

เมตริกซ์ของเพื่อนบ้านใกล้สุดของแต่ละข้อมูล กำหนดค่าให้เท่ากับระยะห่างยุคลิดของแต่ละ  $d_{X(i,j)}$

- สร้างเมตริกซ์  $D_G$  ขนาด  $N \times N$  ซึ่งเป็นเมตริกซ์ระยะห่างพื้นผิวของแต่ละคู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  ตามเส้นทางการกระจายตัวของข้อมูลในมิติสูง โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของเมตริกซ์ให้เท่ากับ  $d_{G(i,j)} = d_{X(i,j)}$  ถ้าคู่ข้อมูลตัวที่  $i$  และ  $j$  เชื่อมถึงกัน และกำหนดค่าอนันต์ให้กับ  $d_{G(i,j)}$  อื่นๆ จากนั้นทำการแทนที่ค่าของแต่ละ  $d_{G(i,j)}$  จากสมการที่ 2.18

$$d_{G(i,j)} = \min(d_{G(i,j)}, d_{G(i,k)} + d_{G(k,j)}) \quad (2.18)$$

- ทำการลดมิติข้อมูลทั้งหมดด้วยวิธีเดียวกันกับคลาสสิกัลเอ็มดีเอส แต่ใช้เมตริกซ์ระยะห่างพื้นผิว  $D_G$  แทนเมตริกซ์ระยะห่างยุคลิด

เนื่องจากไอโซแมปมีหลักการพื้นฐานเดียวกันกับวิธีคลาสสิกัลเอ็มดีเอส จึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานเช่นเดียวกับวิธีคลาสสิกัลเอ็มดีเอส นั่นคือไม่สามารถนำไปใช้กับข้อมูลทดสอบตัวใหม่ได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่าวิธีไอโซแมปนี้มีหลักการเดียวกันกับวิธีคลาสสิกัลเอ็มดีเอส เราจึงสามารถประยุกต์เอาวิธีแอล-เอ็มดีเอสมาใช้กับวิธีไอโซแมปได้ โดยมีขั้นตอนในการลดมิติเหมือนกันทั้งหมด ยกเว้นการใช้เป็นเมตริกซ์ระยะห่างพื้นผิว  $D_G$  ของข้อมูลแลนด์มาร์กแต่ละตัวแทนการใช้เมตริกซ์ระยะห่างยุคลิดในวิธีแอล-เอ็มดีเอส เราเรียกวิธีลดมิตินี้ว่า แอล-ไอโซแมป (L-Isomap)

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การเตรียมฐานข้อมูล

##### 3.1.1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ชุดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ประกอบด้วยภาพตัวอักษรภาษาไทยจำนวนทั้งหมด 35,550 ภาพ ซึ่งเขียนโดยคนจำนวน 90 คน โดยสามารถแบ่งตามตำแหน่งในการเขียนได้เป็นตัวอักษรระดับบน 12 ประเภท รวมทั้งหมด 5,400 ตัว ตัวอักษรระดับกลาง 65 ประเภท รวมทั้งหมด 29,250 ตัว และตัวอักษรระดับล่าง 2 ประเภท รวมทั้งหมด 900 ตัว สำหรับประเภทของตัวอักษรแต่ละกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การจัดกลุ่มของตัวอักษรตามตำแหน่งในการเขียน

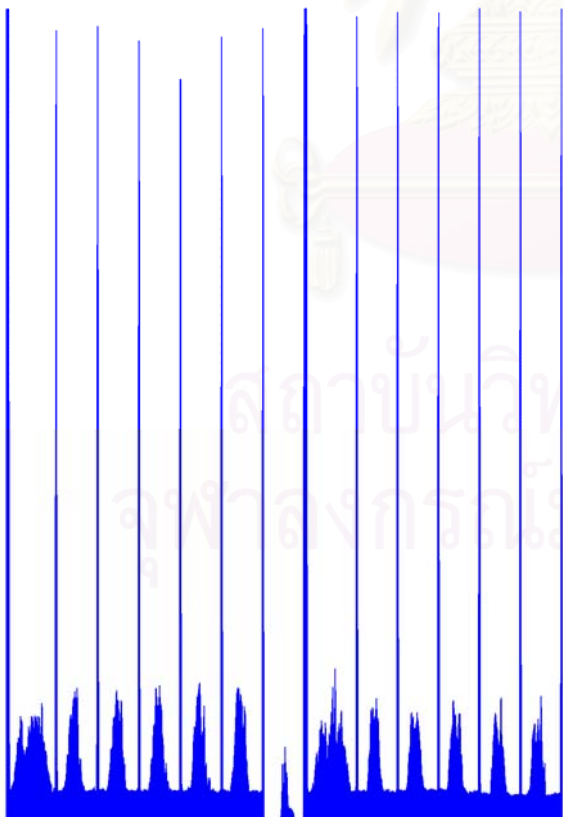
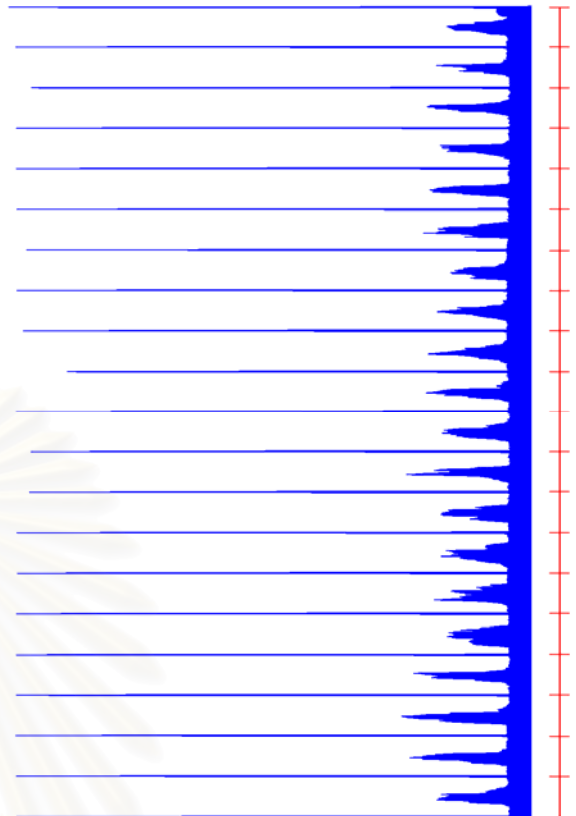
| กลุ่มตัวอักษร | ตัวอักษรภายในกลุ่ม  |
|---------------|---|
| ระดับบน       | ๕ ๖ ๗ ๘ ๙ ๑๐ ๑๑ ๑๒  |
| ระดับกลาง     | ก ข ฃ ค ฅ ฉ ง จ ฉ ช ซ ฌ ญ ฎ ฏ ฐ ฑ ฒ ณ ด ต ถ ท ธ น บ<br>ป ผ ฝ พ ฟ ภ ม ย ร ล ว ศ ษ ส ห ฬ อ ฮ ะ ั ำ แ ใ ไ ใ ๗ ฤ ฦ<br>๐ ๑ ๒ ๓ ๔ ๕ ๖ ๗ ๘ ๙ |
| ระดับล่าง     | ํ ๊ ๋   |

#### การเก็บรวบรวมตัวอักษร

- 1) สร้างแบบฟอร์มที่ใช้ในการเขียนตัวอักษรทั้งหมด 2 หน้า แต่ละหน้าสามารถแบ่งเป็นคอลัมน์ใหญ่ได้ 2 คอลัมน์ ซึ่งแต่ละคอลัมน์สามารถแบ่งเป็นคอลัมน์ย่อยได้ 6 คอลัมน์ โดยคอลัมน์แรกนั้นระบุถึงประเภทของตัวอักษร และคอลัมน์ที่เหลือ 5 คอลัมน์เป็นพื้นที่ว่างสำหรับเขียนตัวอักษรประเภทนั้นๆ แต่ละคอลัมน์ใหญ่ประกอบไปด้วยแถวแนวนอนจำนวน 20 แถว ยกเว้นคอลัมน์สุดท้ายที่มีจำนวน 19 แถว แต่ละแถวแนวนอนนั้นใช้เขียนตัวอักษร 1 ประเภท ดังนั้นแบบฟอร์มทั้งหมดจะมีจำนวนแถวแนวนอนรวมทั้งหมด 79 แถว ซึ่งใช้จัดเก็บตัวอักษรดังตารางที่ 3.1 ตัวอย่างของแบบฟอร์มนี้แสดงในภาคผนวก

- 2) ทำการแจกจ่ายแบบฟอร์มที่ออกแบบไว้ให้แก่บุคคลทั่วไป โดยไม่เจาะจงเพศ และวัย จำนวนทั้งหมด 90 คน โดยให้ทุกคนใช้ปากกาเคมีที่มีสีดำในการเขียนตัวอักษรลงในแต่ละช่องว่างที่กำหนดไว้
- 3) นำแบบฟอร์มที่เขียนเรียบร้อยแล้วมาทำการสแกนด้วยเครื่องสแกนในระบบสีเทา ที่ความละเอียด 300×300 จุดภาพต่อนิ้ว
- 4) ทำการหมุนภาพ (rotation) และแก้ไขความเอียง (deskew) เพราะภาพที่ได้จากการสแกนนั้นมีความเอียงเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องสแกน ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการตัดภาพได้
- 5) นำภาพสแกนที่ทำการหมุนภาพและแก้ไขความเอียงแล้ว ป้อนเข้าสู่โปรแกรมตัดภาพที่สร้างขึ้น โดยตำแหน่งอ้างอิงในการตัดแบ่งช่องตัวอักษรหาได้จากการฉายภาพฮิสโทแกรม (histogram projection) ของจุดภาพสีดำ ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งจะได้กราฟที่มีลักษณะสูงต่ำสลับกัน จากนั้นเลือกจุดสูงสุดของช่วงกราฟสูงแต่ละช่วง ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการสร้างกรอบสำหรับตัดภาพในแนวนั้นๆ จากนั้นบันทึกภาพที่ตัดไว้ได้ในรูปแบบ Bitmap Image (bmp) เก็บไว้เป็นฐานข้อมูล ตัวอย่างของตัวอักษรที่ทำการตัดแล้วดังแสดงในภาคผนวก ข

|           |   |   |   |   |   |    |         |   |   |   |   |   |    |
|-----------|---|---|---|---|---|----|---------|---|---|---|---|---|----|
| ก.ไก่     | ก | ก | ก | ก | ก | ๑  | ด.เต่า  | ด | ด | ด | ด | ด | ๑  |
| ข.ไข่     | ข | ข | ข | ข | ข | ๒  | ต.ตุง   | ต | ต | ต | ต | ต | ๒  |
| ช.ชวด     | ช | ช | ช | ช | ช | ๓  | ท.ทหาร  | ท | ท | ท | ท | ท | ๓  |
| ค.ควาย    | ค | ค | ค | ค | ค | ๔  | ธ.ธง    | ธ | ธ | ธ | ธ | ธ | ๔  |
| ค.คน      | ค | ค | ค | ค | ค | ๕  | น.หนู   | น | น | น | น | น | ๕  |
| ข.ระฆัง   | ข | ข | ข | ข | ข | ๖  | บ.โบว์  | บ | บ | บ | บ | บ | ๖  |
| ง.งู      | ง | ง | ง | ง | ง | ๗  | ป.ปลา   | ป | ป | ป | ป | ป | ๗  |
| จ.จาน     | จ | จ | จ | จ | จ | ๘  | ผ.ผี    | ผ | ผ | ผ | ผ | ผ | ๘  |
| ฉ.ฉิ่ง    | ฉ | ฉ | ฉ | ฉ | ฉ | ๙  | ฝ.ฝา    | ฝ | ฝ | ฝ | ฝ | ฝ | ๙  |
| ช.ช้าง    | ช | ช | ช | ช | ช | ๑๐ | พ.พาน   | พ | พ | พ | พ | พ | ๑๐ |
| ช.ไข่     | ช | ช | ช | ช | ช | ๑๑ | ฟ.ฟัน   | ฟ | ฟ | ฟ | ฟ | ฟ | ๑๑ |
| ณ.ณอ      | ณ | ณ | ณ | ณ | ณ | ๑๒ | ภ.บ้าน  | ภ | ภ | ภ | ภ | ภ | ๑๒ |
| ญ.หญิง    | ญ | ญ | ญ | ญ | ญ | ๑๓ | ม.ม้า   | ม | ม | ม | ม | ม | ๑๓ |
| อ.ชญา     | อ | อ | อ | อ | อ | ๑๔ | ย.ยักษ์ | ย | ย | ย | ย | ย | ๑๔ |
| อ.ปฏึก    | อ | อ | อ | อ | อ | ๑๕ | ร.เรือ  | ร | ร | ร | ร | ร | ๑๕ |
| อ.ฐาน     | อ | อ | อ | อ | อ | ๑๖ | ล.ลิง   | ล | ล | ล | ล | ล | ๑๖ |
| ท.มดไทย   | ท | ท | ท | ท | ท | ๑๗ | ว.หวาน  | ว | ว | ว | ว | ว | ๑๗ |
| ณ.ผู้เฒ่า | ณ | ณ | ณ | ณ | ณ | ๑๘ | ศ.ศาลา  | ศ | ศ | ศ | ศ | ศ | ๑๘ |
| ณ.แมว     | ณ | ณ | ณ | ณ | ณ | ๑๙ | ช.ชาย   | ช | ช | ช | ช | ช | ๑๙ |
| ด.เด็ก    | ด | ด | ด | ด | ด | ๒๐ | ต.เตี๊  | ต | ต | ต | ต | ต | ๒๐ |



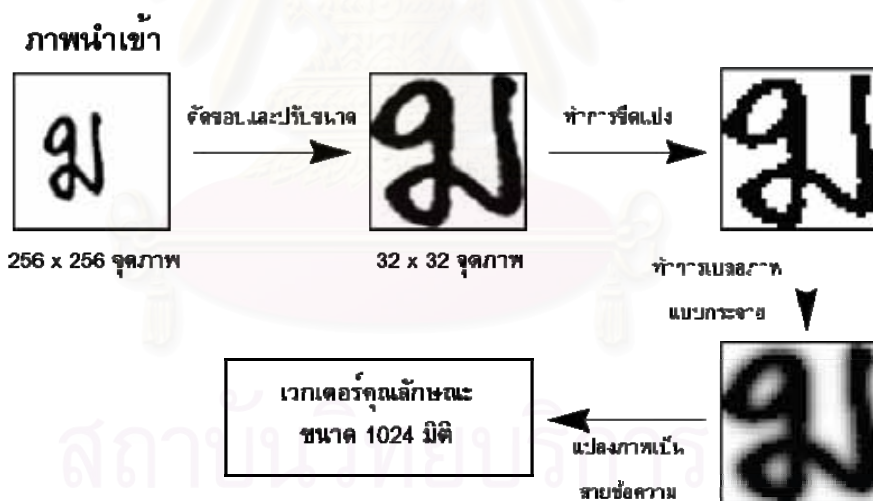
เส้นอ้างอิงที่สกัดได้

เส้นอ้างอิงที่สกัดได้

ภาพที่ 3.1 การสกัดจุดอ้างอิงจากภาพแบบฟอร์มนำเข้าด้วยการฉายภาพฮิสโทแกรมเพื่อสร้างกรอบสำหรับตัดตัวอักษรเดี่ยวออกมา

### 3.1.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

- 1) ทำการตัดภาพตัวอักษร (cropping) ที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลให้มีขนาดพอดีกับขอบสี่ด้านของตัวอักษร จากนั้นทำการปรับขนาดภาพ (resizing) ให้มีขนาด  $32 \times 32$  จุดภาพ เพื่อให้ทุกภาพตัวอักษรมีขนาดเท่ากันหมด
- 2) สร้างภาพตัวอักษรขาวดำด้วยวิธีการขีดแบ่ง (thresholding) โดยเลือกค่าที่ใช้ในการแบ่งสีที่ 200
- 3) ทำการสร้างภาพเบลอโดยการใช่วิธีการเบลอแบบแพร่กระจาย เพื่อให้ภาพขาวดำกลายเป็นภาพสีเทาอีกครั้งหนึ่ง
- 4) ทำการแปลงภาพตัวอักษรให้กลายเป็นสายข้อความ 1 แถว โดยทำการไล่ลำดับค่าสีจากซ้ายไปขวา ทีละแถวจากด้านบนสุดของภาพไปยังด้านล่างสุดของภาพ ซึ่งจะทำให้ได้สายข้อความขนาด 1,024 มิติ แต่ละมิติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 โดยค่า 0 คือค่าที่จุดภาพเป็นสีดำและค่า 255 คือค่าที่จุดภาพเป็นสีขาว



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนในการประมวลผลภาพเบื้องต้น

### 3.1.3 การเตรียมข้อมูลสำหรับการเรียนรู้

- 1) แบ่งภาพตัวอักษรทั้งหมดเป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ 1. กลุ่มตัวอักษรระดับบน 12 ประเภท จำนวน 5,400 ตัว 2. กลุ่มตัวอักษรระดับกลาง 65 ประเภท จำนวน 29,250 และ 3. กลุ่มตัวอักษรระดับล่าง 2 ประเภท จำนวน 900 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 3.1

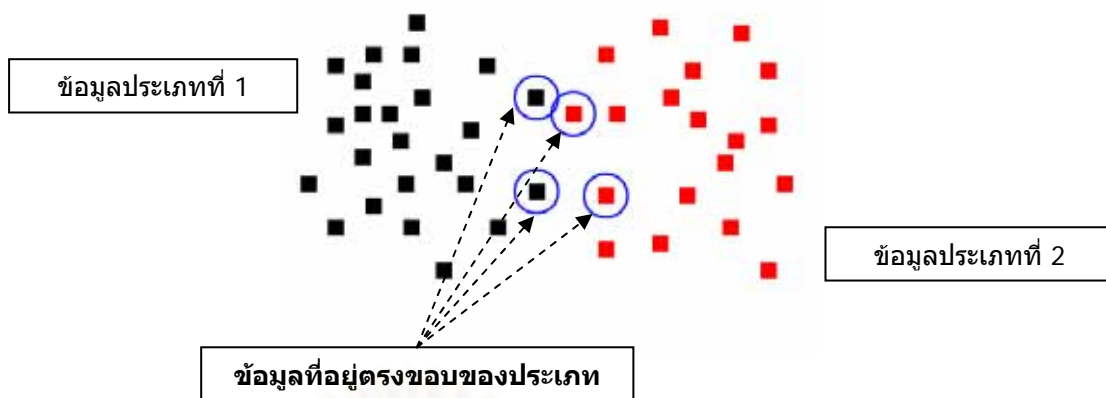


- 2) ทำการสร้างชุดข้อมูลที่ขึ้นกับผู้เขียนและไม่ขึ้นกับผู้เขียน โดยชุดข้อมูลที่ขึ้นกับผู้เขียนคือชุดข้อมูลที่ชุดฝึกและชุดทดสอบมีคนเขียนคนเดียวกันได้ ส่วนชุดข้อมูลที่ไม่ขึ้นกับผู้เขียนคือชุดข้อมูลที่ชุดฝึกและชุดทดสอบมีคนเขียนคนละคนกัน แล้วนำข้อมูลทั้งหมดของแต่ละกลุ่มมาแบ่งเป็น 5 ชุดข้อมูลที่มีขนาดเท่าๆ เพื่อทำการตรวจสอบไขว้ 5 รอบ โดยในแต่ละรอบจะใช้ 4 ชุดข้อมูลเป็นชุดฝึก และ 1 ชุดข้อมูลเป็นชุดทดสอบ ซึ่งจะทำให้มีตัวอักษรที่ใช้ในการเรียนรู้จำนวน 4,320 ตัว และตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ 1,080 ตัวสำหรับกลุ่มตัวอักษรระดับบน และมีตัวอักษรที่ใช้ในการเรียนรู้จำนวน 23,400 ตัว และตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ 5,850 ตัวสำหรับกลุ่มตัวอักษรระดับกลาง และมีตัวอักษรที่ใช้ในการเรียนรู้จำนวน 720 ตัว และตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ 180 ตัวสำหรับกลุ่มตัวอักษรระดับล่าง

### 3.2 กระบวนการในการเรียนรู้

ในการขั้นตอนการเรียนรู้นั้น เนื่องจากการคำนวณเพื่อสร้างเมทริกซ์การแปลงด้วยวิธีการลมิติแต่ละวิธีต้องใช้เวลาและหน่วยความจำในการคำนวณสูงมาก การนำเอาชุดฝึกทั้งหมดที่มีจำนวนมากไปคำนวณจึงไม่สามารถทำได้โดยตรง เราจึงจำเป็นต้องสร้างข้อมูลที่เป็นตัวแทนกลุ่มชุดหนึ่งเรียกว่า ชุดฝึกจริง ซึ่งมีจำนวนน้อยกว่าไปทำการคำนวณเพื่อสร้างเมทริกซ์การแปลง จากนั้นจึงนำเอาเมทริกซ์การแปลงที่สร้างได้นี้ไปทำการลมิติข้อมูลในชุดฝึกทั้งหมดอีกทีหนึ่ง ในการเลือกข้อมูลเพื่อนำไปสร้างชุดฝึกจริงจะเลือกข้อมูล 15 ตัวจากแต่ละประเภทตัวอักษรซึ่งจะทำให้มีตัวอักษรภายในชุดฝึกจริงทั้งหมด 180 ตัว, 975 ตัว และ 30 ตัวสำหรับตัวอักษรระดับบน ระดับกลาง และระดับล่าง ตามลำดับ โดยวิธีการเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงนั้นมี 2 วิธี คือ

- 1) เลือกอย่างสุ่ม
- 2) เลือกเฉพาะตัวที่อยู่ตรงขอบของประเภท โดยข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภทคือข้อมูลที่มีตำแหน่งในปริภูมิเดิมอยู่ตรงขอบของกลุ่มข้อมูลประเภทเดียวกันและอยู่ใกล้กับกลุ่มข้อมูลที่ประเภทต่างกัน ภาพที่ 3.3 แสดงตัวอย่างของข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท การเลือกข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภททำได้โดยการเลือกเฉพาะข้อมูลเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัวของข้อมูลตัวนั้นเป็นข้อมูลประเภทอื่นมากกว่าเป็นประเภทเดียวกับตัวมันเอง โดยค่า  $k$  ที่ใช้ในการทดลองคือ 10



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

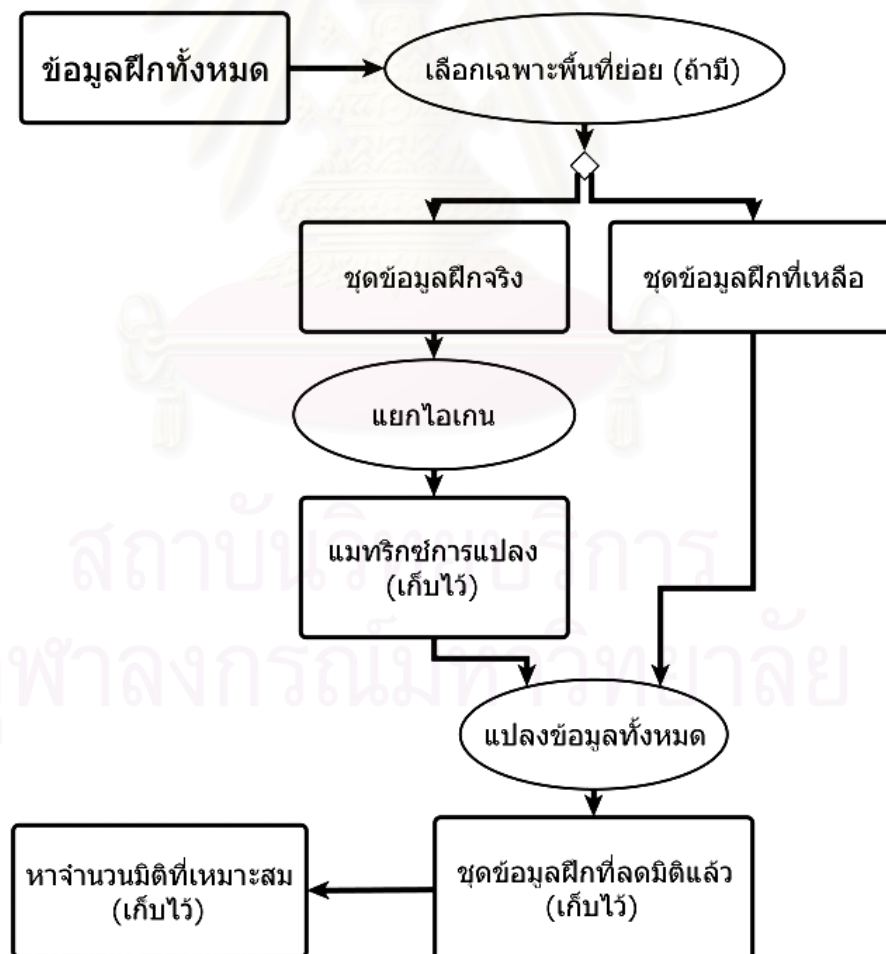
นอกจากการทดสอบการรู้จำของตัวอักษรแต่ละกลุ่มใหญ่ที่แบ่งตามระดับของตัวอักษรแล้ว เรายังได้ทำการกำหนดกลุ่มย่อยซึ่งเป็นกลุ่มของตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันขึ้นมา เช่น กลุ่มของ { ก, ภ, ถ } หรือ { ค, ศ, ด, ต } เป็นต้น โดยแต่ละกลุ่มย่อยนี้จะทำการสร้างเมทริกซ์การแปลงของกลุ่มเอง ซึ่งคาดว่าจะการเพิ่มกลุ่มย่อยขึ้นมาจะทำให้เมทริกซ์การแปลงที่สร้างขึ้นมาได้นั้น มีความจำเพาะกับลักษณะเฉพาะของตัวอักษรภายในแต่ละกลุ่มมากกว่าการใช้เมทริกซ์การแปลงที่สร้างได้จากกลุ่มใหญ่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น นอกจากนี้แล้ว การสร้างกลุ่มย่อยขึ้นมา ยังเป็นการลดจำนวนประเภทของข้อมูลลง จำนวนข้อมูลฝึกจริงก็จะลดลงตามไปด้วย ดังนั้นเราจึงสามารถเลือกข้อมูลที่นำมาใช้สร้างชุดฝึกจริงได้มากขึ้นโดยไม่เสียเวลาและหน่วยความจำในการคำนวณมากเกินไป ในที่นี้เลือกใช้ข้อมูล 150 ตัวจากแต่ละประเภทเพื่อนำไปใช้สร้างชุดฝึกจริงของแต่ละกลุ่มย่อย กลุ่มของตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันแสดงในตารางที่ 3.2

การจัดตัวอักษรเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยนี้ จะใช้ข้อมูลภาพตัวอักษรที่ทำการเบลอบแบบแพร่กระจายแล้ว โดยภาพตัวอักษรภายในกลุ่มใหญ่จะทำการเบลอบเป็นจำนวน 3 รอบ เพื่อให้ตัวอักษรที่มีลักษณะคล้ายกันนั้นมีความคล้ายกันมากขึ้น ดังนั้นเป้าหมายในการจำแนกประเภทสำหรับกลุ่มใหญ่คือ จำแนกตัวอักษรที่ไม่คล้ายกับตัวอักษรประเภทอื่นได้ และสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายกันจะถูกจำแนกให้อยู่ในกลุ่มย่อยโดยไม่จำเป็นว่าการจำแนกตัวอักษรที่มีความคล้ายกันจะถูกหรือผิด เพราะหากตัวอักษรนั้นถูกจำแนกได้ถูกกลุ่ม ก็จะถูกนำไปจำแนกต่อภายในกลุ่มย่อยอีกครั้งหนึ่ง ภายในกลุ่มย่อยนี้จะใช้ข้อมูลภาพตัวอักษรที่ทำการเบลอบจำนวน 3 รอบเช่นเดียวกัน โดยเป้าหมายในการจำแนกภายในกลุ่มย่อยคือจำแนกตัวอักษรที่มีความคล้ายกันมากได้

การเพิ่มกลุ่มย่อยเข้ามาในกระบวนการ จะทำให้ใช้เวลาในการเรียนรู้และการรู้จำมากขึ้น เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้และการแปลงข้อมูล ภายในกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มได้ทำการ





















กำหนดพื้นที่ย่อยสำหรับนำไปใช้ในการเรียนรู้ด้วย ซึ่งจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการประมวลผลลงได้ และยังเป็นการตัดคุณลักษณะบางส่วนที่ไม่จำเป็นต่อการจำแนกตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน ออกไปอีกด้วย พื้นที่ย่อยที่ใช้ในแต่ละกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 3.2

เมื่อทำการเรียนรู้ชุดข้อมูล และทำการแปลงข้อมูลฝึกทั้งหมดแล้ว ก่อนนำไปใช้ในการรู้จำข้อมูลทดสอบ จำเป็นต้องหาจำนวนมิติที่เหมาะสมสำหรับการรู้จำตัวอักษรภายในแต่ละกลุ่มก่อน เนื่องจากว่าข้อมูลที่ผ่านการแปลงแล้วยังมีจำนวนมิติที่มากอยู่และบางมิติก็ไม่จำเป็นต่อการรู้จำ ในการเลือกเอามิติที่ดีที่สุดนั้นทำได้โดยการรู้จำข้อมูลฝึกทีละตัวด้วยวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัว โดยใช้ข้อมูลฝึกที่เหลือทั้งหมดเป็นข้อมูลฝึกและจำกัดจำนวนมิติที่จะถูกใช้ในการวัดระยะห่างยุคลิด ซึ่งจะทำการกำหนดมิติที่ใช้ในการรู้จำตั้งแต่ 5-150 มิติ โดยเพิ่มค่าขึ้นทีละ 5 มิติ เมื่อได้ผลการรู้จำในแต่ละช่วงมิติที่ทำการทดสอบแล้ว จึงเลือกเอามิติที่ให้ผลการรู้จำที่ดีที่สุดในชุดข้อมูลฝึกนั้น แผนผังขั้นตอนในการเรียนรู้ทั้งหมดโดยรวมดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนโดยรวมของกระบวนการเรียนรู้ข้อมูลฝึก

ตารางที่ 3.2 การจัดกลุ่มย่อยของตัวอักษรที่มีความคล้ายกันและพื้นที่ที่กำหนดในการนำไปใช้ของแต่ละกลุ่ม

| ตัวอักษร<br>ภายในกลุ่ม | พื้นที่ย่อย   | ตัวอักษร<br>ภายในกลุ่ม | พื้นที่ย่อย   |
|------------------------|---|------------------------|---|
| ก, ถ, ภ                |    | ล, ล, ล, ฮ             |    |
| ข, ข, บ, ป, ย          |    | อ, ๐                   |    |
| ค, ค, ด, ต             |    | ๑, ๑                   |    |
| ฌ, ม                   |    | ถ, ฎ                   |    |
| ช, ช                   |    | ๓, ๕, ๘                |    |
| ฉ, ฉ, ฒ, ฒ             |  | ๗, ๙                   |  |
| ญ, ญ                   |  | ๐, ๐, ๐                |  |
| ท, ท                   |  | ๑, ๑                   |  |
| ธ, ฐ                   |  | ๑, ๑, ๑, ๑             |  |
| ฒ, ฒ, ฬ, ฬ             |  | ๑, ๑                   |  |

พื้นที่สีขาว คือ บริเวณที่ข้อมูลส่วนนั้นถูกนำมาใช้ในการฝึกและทดสอบ

พื้นที่สีดำ คือ บริเวณที่ข้อมูลส่วนนั้นไม่ถูกนำมาใช้

### 3.3 กระบวนการในการรู้จำ

การรู้จำจะเริ่มโดยการนำข้อมูลทดสอบมาทำการเลือกเฉพาะพื้นที่ที่ได้กำหนดไว้ หากว่าการทดสอบในกลุ่มนั้นมีการกำหนดพื้นที่ย่อยภายในภาพ จากนั้นนำเอาข้อมูลที่ได้มาทำการลดมิติด้วยแมทริกซ์การแปลงของกลุ่มนั้นด้วยวิธีการลดมิติแต่ละวิธี จากนั้นทำการจำแนกประเภทโดยการหาเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวจากข้อมูลฝึกที่ทำการลดมิติแล้วของกลุ่มนั้น เมื่อได้

ประเภทจากการรู้จำแล้ว จึงทำการค้นประเภทภายในกลุ่มย่อยดูว่ามีประเภทนี้ภายในกลุ่มย่อยทั้งหมดหรือไม่ หากพบว่าไม่มีก็จะใช้เมทริกซ์การแปลงและข้อมูลฝึกที่ทำการลดมิติแล้วของกลุ่มนั้นมาทำการแปลงและรู้จำอีกครั้งหนึ่ง หากการค้นภายในกลุ่มย่อยไม่พบประเภทที่ทำการรู้จำได้ ก็ถ้าเป็นการสิ้นสุดกระบวนการรู้จำ แผนผังขั้นตอนในการรู้จำทั้งหมดโดยรวมดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนโดยรวมของกระบวนการรู้จำข้อมูลทดสอบ

## บทที่ 4

### การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลองหลักคือ 1. การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเบลอแบบแพร่กระจาย และ 2. การทดลองประสิทธิภาพของการลดมิติด้วยวิธีต่างๆ ในการทดลองส่วนแรกเป็นการทดลองเพื่อวัดผลการรู้จำโดยทำการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างชุดตัวอักษรที่ทำการเบลอแบบแพร่กระจายแล้วและไม่ทำการเบลอแบบแพร่กระจายซึ่งจะนำเอาวิธีการที่ให้ผลการรู้จำที่ดีกว่าไปใช้กับการทดลองที่ 2

##### 4.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเบลอแบบแพร่กระจาย

ทำการทดลองการรู้จำภาพตัวอักษรที่ทำการเบลอแบบแพร่กระจาย และไม่ได้ทำการเบลอแบบแพร่กระจาย ทั้งชุดทดสอบที่ขึ้นต่อผู้เขียนและชุดทดสอบที่ไม่ขึ้นต่อผู้เขียน แต่ละชุดประกอบด้วยชุดตัวอักษรระดับบน ระดับกลาง และระดับล่าง โดยใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนก สามารถแบ่งเป็นการทดลองย่อยได้ 3 การทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชุดการทดลองที่ 1 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำภาพเบลอแบบแพร่กระจาย

| การทดลองย่อยที่ | การขึ้นต่อผู้เขียนของชุดทดสอบ       | ประเภทของตัวอักษร             | การแบ่งกลุ่มย่อย | การกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้ | การเปรียบเทียบผลการทดลอง                          |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|---|
| 1.1             | ขึ้นต่อผู้เขียน, ไม่ขึ้นต่อผู้เขียน | ระดับบน, ระดับกลาง, ระดับล่าง | X                | X                             | ทำภาพเบลอแบบแพร่กระจาย, ไม่ทำภาพเบลอแบบแพร่กระจาย |
| 1.2             |                                     |                               | O                | X                             |   |
| 1.3             |                                     |                               | O                | O                             |   |

หมายเหตุ - เครื่องหมาย O หมายถึงใช้คุณสมบัตินั้น

และเครื่องหมาย X หมายถึงไม่ใช้คุณสมบัตินั้น

#### 4.1.2 การทดลองประสิทธิภาพของการลดมิติด้วยวิธีต่าง ๆ

ทำการทดลองการรู้จำภาพตัวอักษรที่ทำการเบลอบแบบแพร่กระจายแล้วและลดมิติด้วยวิธีพีซีเอ, แอล-เอ็มดีเอส, แอลดีเอ, แอลพีพี, แอลดีอี, ดีเอ็นอี และ แอล-ไอโซแมป ทั้งชุดทดสอบที่ขึ้นต่อผู้เขียนและชุดทดสอบที่ไม่ขึ้นต่อผู้เขียน และใช้วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับการเรียนรู้ 2 แบบ คือ แบบสุ่มและแบบเลือกข้อมูลที่อยู่ตรงขอบประเภท แต่ละชุดประกอบด้วยชุดตัวอักษรระดับบน ระดับกลาง และระดับล่าง โดยใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนก สามารถแบ่งเป็นการทดลองย่อยได้ 8 การทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ชุดการทดลองที่ 2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการลดมิติแต่ละวิธี

| การทดลองย่อยที่ | การขึ้นต่อผู้เขียนของชุดทดสอบ       | การทำภาพเบลอบแบบกระจาย               | วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับการเรียนรู้            | ประเภทของตัวอักษร | การแบ่งกลุ่มย่อย | การกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้ | การเปรียบเทียบผลการทดลอง  |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------|------------------|-------------------------------|---|
| 2.1             | ขึ้นต่อผู้เขียน, ไม่ขึ้นต่อผู้เขียน | ทำภาพเบลอบแบบแพร่กระจายจำนวน 3 ครั้ง | เลือกอย่างสุ่ม, เลือกเฉพาะตัวที่อยู่ที่ขอบของประเภท | ระดับบน           | X                | X                             | พีซีเอ, แอล-เอ็มดีเอส, แอลดีเอ, แอลพีพี, แอลดีอี, ดีเอ็นอี, แอล-ไอโซแมป |
| 2.2             |                                     |                                      |   |                   | O                | X                             |   |
| 2.3             |                                     |                                      |   |                   | O                | O                             |   |
| 2.4             |                                     |                                      |   | ระดับกลาง         | X                | X                             |   |
| 2.5             |                                     |                                      |   |                   | O                | X                             |   |
| 2.6             |                                     |                                      |   | ระดับล่าง         | O                | O                             |   |
| 2.7             |                                     |                                      |   |                   | X                | X                             |   |
| 2.8             |                                     |                                      |   |                   | X                | O                             |   |

หมายเหตุ - เครื่องหมาย O หมายถึงใช้คุณสมบัตินั้น

เครื่องหมาย X หมายถึงไม่ใช้คุณสมบัตินั้น

- การทดลองสำหรับกลุ่มตัวอักษรระดับล่างไม่มีการทดลองที่แบ่งกลุ่มย่อยเนื่องจากกลุ่มนี้ประกอบด้วยตัวอักษร 2 ประเภทคือ สระอุ และ สระอู ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำการแบ่งกลุ่มสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายกัน

## 4.2 ผลการทดลอง

### 4.2.1 ผลการทดลองที่ 1

ผลการทดลองที่ 1 ประกอบด้วย 3 ตารางคือตารางที่ 4.3 - 4.5 โดยแต่ละชุดการทดลองใช้ชุดข้อมูลฝึกและชุดข้อมูลทดสอบชุดเดียวกันทั้งหมด รวมทั้งควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้เหมือนกัน ยกเว้นวิธีการจัดกลุ่มและการกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้ซึ่งแตกต่างกันไปตามแต่ละชุดการทดลองย่อย

**ตารางที่ 4.3** ผลการทดลองย่อยที่ 1.1 อัตราการรู้จำของชุดตัวอักษรที่ทำการเบลอและไม่ได้ทำการเบลอแบบแพร่กระจายโดยจัดกลุ่มใหญ่เพียงกลุ่มเดียว

| ความขึ้นต่อผู้เขียน<br>ของชุดทดสอบ | ชุดตัวอักษร | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (%)               |                                 |
|------------------------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------|
|                                    |             | ชุดข้อมูลไม่ได้ทำการเบลอแบบแพร่กระจาย | ชุดข้อมูลทำการเบลอแบบแพร่กระจาย |
| ขึ้นกับผู้เขียน                    | ระดับบน     | 84.53                                 | 87.35                           |
|                                    | ระดับกลาง   | 76.39                                 | 85.54                           |
|                                    | ระดับล่าง   | 98.77                                 | 98.44                           |
|                                    | ทั้งหมด     | 78.20                                 | 86.14                           |
| ไม่ขึ้นกับผู้เขียน                 | ระดับบน     | 81.47                                 | 84.64                           |
|                                    | ระดับกลาง   | 70.59                                 | 81.27                           |
|                                    | ระดับล่าง   | 98.22                                 | 98.11                           |
|                                    | ทั้งหมด     | 72.94                                 | 82.21                           |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองย่อยที่ 1.2 อัตราการรู้จำของชุดตัวอักษรที่ทำการเบลอและไม่ได้ทำการเบลอแบบแพร่กระจายโดยจัดกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| ความขึ้นต่อผู้เขียน<br>ของชุดทดสอบ | ชุดตัวอักษร | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (%)               |                                 |
|------------------------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------|
|                                    |             | ชุดข้อมูลไม่ได้ทำการเบลอแบบแพร่กระจาย | ชุดข้อมูลทำการเบลอแบบแพร่กระจาย |
| ขึ้นกับผู้เขียน                    | ระดับบน     | 84.53                                 | 87.35                           |
|                                    | ระดับกลาง   | 76.39                                 | 85.54                           |
|                                    | ระดับล่าง   | 98.77                                 | 98.44                           |
|                                    | ทั้งหมด     | 78.20                                 | 86.14                           |
| ไม่ขึ้นกับผู้เขียน                 | ระดับบน     | 81.47                                 | 84.64                           |
|                                    | ระดับกลาง   | 70.59                                 | 81.27                           |
|                                    | ระดับล่าง   | 98.22                                 | 98.11                           |
|                                    | ทั้งหมด     | 72.94                                 | 82.21                           |

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองย่อยที่ 1.3 อัตราการรู้จำของชุดตัวอักษรที่ทำการเบลอและไม่ได้ทำการเบลอแบบแพร่กระจายโดยจัดกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน และกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| ความขึ้นต่อผู้เขียน<br>ของชุดทดสอบ | ชุดตัวอักษร | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (%)               |                                 |
|------------------------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------|
|                                    |             | ชุดข้อมูลไม่ได้ทำการเบลอแบบแพร่กระจาย | ชุดข้อมูลทำการเบลอแบบแพร่กระจาย |
| ขึ้นกับผู้เขียน                    | ระดับบน     | 88.70                                 | 90.44                           |
|                                    | ระดับกลาง   | 77.08                                 | 85.74                           |
|                                    | ระดับล่าง   | 97.44                                 | 96.66                           |
|                                    | ทั้งหมด     | 79.36                                 | 86.73                           |
| ไม่ขึ้นกับผู้เขียน                 | ระดับบน     | 86.26                                 | 88.24                           |
|                                    | ระดับกลาง   | 71.73                                 | 81.72                           |
|                                    | ระดับล่าง   | 96.88                                 | 96.55                           |
|                                    | ทั้งหมด     | 74.57                                 | 83.09                           |

#### 4.2.2 ผลการทดลองที่ 2

ผลการทดลองที่ 2 ประกอบด้วย 8 ตารางคือตารางที่ 4.6 - 4.13 ซึ่งเป็นผลการรู้จำโดยเฉลี่ยจากการทำการทดสอบไขว้ 5 ครั้ง โดยตารางที่ 4.6 – 4.8 เป็นผลการทดลองสำหรับตัวอักษรระดับบน ตารางที่ 4.9 – 4.11 เป็นผลการทดลองสำหรับตัวอักษรระดับกลาง และตารางที่ 4.12-4.13 เป็นผลการทดลองสำหรับตัวอักษรระดับล่าง สำหรับผลการทดลองอย่างละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ค

**ตารางที่ 4.6** ผลการทดลองย่อยที่ 2.1 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับบนโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่ม          | วิธีการลดมิติ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำ (%) |                                      |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
|                                  |               | ชุดข้อมูลทดสอบ<br>ชั้นกับผู้เขียน | ชุดข้อมูลทดสอบ<br>ไม่ชั้นกับผู้เขียน |
| -                                | -             | 87.35                             | 84.64                                |
| เลือกอย่างสุ่ม                   | พีซีเอ        | 87.46                             | 84.92                                |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 87.66                             | 84.89                                |
|                                  | แอลดีเอ       | 80.14                             | 77.42                                |
|                                  | แอลพีพี       | 85.55                             | 82.51                                |
|                                  | แอลดีอี       | 87.29                             | 85.00                                |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 87.68                             | 84.72                                |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 69.70                             | 66.14                                |
| เลือกเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบประเภท | พีซีเอ        | 87.14                             | 84.83                                |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 87.25                             | 85.01                                |
|                                  | แอลดีเอ       | 79.40                             | 77.18                                |
|                                  | แอลพีพี       | 85.61                             | 82.85                                |
|                                  | แอลดีอี       | 87.01                             | 84.66                                |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 87.72                             | 85.31                                |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 66.62                             | 64.81                                |

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองย่อยที่ 2.2 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับบนโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่ม          | วิธีการลดมิติ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำ (%) |                                  |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|                                  |               | ชุดข้อมูลทดสอบขึ้นกับผู้เขียน     | ชุดข้อมูลทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |
| -                                | -             | 87.35                             | 84.64                            |
| เลือกอย่างสุ่ม                   | พีซีเอ        | 87.55                             | 85.11                            |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 87.66                             | 84.96                            |
|                                  | แอลดีเอ       | 74.88                             | 72.29                            |
|                                  | แอลพีพี       | 85.78                             | 83.03                            |
|                                  | แอลดีอี       | 88.09                             | 85.61                            |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 89.77                             | 87.35                            |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 73.25                             | 71.88                            |
| เลือกเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบประเภท | พีซีเอ        | 87.36                             | 84.83                            |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 87.36                             | 84.96                            |
|                                  | แอลดีเอ       | 75.46                             | 68.33                            |
|                                  | แอลพีพี       | 86.55                             | 83.74                            |
|                                  | แอลดีอี       | 87.96                             | 81.92                            |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 91.09                             | 88.98                            |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 71.22                             | 69.49                            |

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองย่อยที่ 2.3 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับบนโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน และกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่ม          | วิธีการลดมิติ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำ (%) |                                  |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|                                  |               | ชุดข้อมูลทดสอบขึ้นกับผู้เขียน     | ชุดข้อมูลทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |
| -                                | -             | 90.44                             | 88.24                            |
| เลือกอย่างสุ่ม                   | พีซีเอ        | 90.53                             | 88.35                            |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 90.64                             | 88.37                            |
|                                  | แอลดีเอ       | 75.29                             | 73.77                            |
|                                  | แอลพีพี       | 87.44                             | 85.96                            |
|                                  | แอลดีอี       | 90.37                             | 88.38                            |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 89.40                             | 87.07                            |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 77.92                             | 76.81                            |
| เลือกเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบประเภท | พีซีเอ        | 90.48                             | 88.31                            |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 90.48                             | 88.39                            |
|                                  | แอลดีเอ       | 75.96                             | 73.83                            |
|                                  | แอลพีพี       | 88.51                             | 86.46                            |
|                                  | แอลดีอี       | 89.88                             | 83.94                            |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 91.47                             | 89.05                            |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 74.90                             | 73.27                            |

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองย่อยที่ 2.4 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับกลางโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่ม          | วิธีการลดมิติ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำ (%) |                                  |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|                                  |               | ชุดข้อมูลทดสอบขึ้นกับผู้เขียน     | ชุดข้อมูลทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |
| -                                | -             | 85.54                             | 81.27                            |
| เลือกอย่างสุ่ม                   | พีซีเอ        | 85.90                             | 81.68                            |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 85.96                             | 81.70                            |
|                                  | แอลดีเอ       | 81.62                             | 77.39                            |
|                                  | แอลพีพี       | 82.01                             | 77.55                            |
|                                  | แอลดีอี       | 85.17                             | 81.01                            |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 86.03                             | 80.91                            |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 62.55                             | 59.17                            |
| เลือกเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบประเภท | พีซีเอ        | 85.88                             | 81.66                            |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 85.87                             | 81.65                            |
|                                  | แอลดีเอ       | 81.14                             | 76.20                            |
|                                  | แอลพีพี       | 82.41                             | 77.96                            |
|                                  | แอลดีอี       | 85.02                             | 80.72                            |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 85.99                             | 81.66                            |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 60.37                             | 57.70                            |

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองย่อยที่ 2.5 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับกลางโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่ม          | วิธีการลดมิติ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำ (%) |                                  |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|                                  |               | ชุดข้อมูลทดสอบขึ้นกับผู้เขียน     | ชุดข้อมูลทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |
| -                                | -             | 85.54                             | 81.27                            |
| เลือกอย่างสุ่ม                   | พีซีเอ        | 85.77                             | 81.49                            |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 85.85                             | 81.56                            |
|                                  | แอลดีเอ       | 73.49                             | 69.99                            |
|                                  | แอลพีพี       | 81.78                             | 77.35                            |
|                                  | แอลดีอี       | 86.05                             | 80.84                            |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 85.67                             | 81.21                            |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 65.50                             | 62.27                            |
| เลือกเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบประเภท | พีซีเอ        | 85.85                             | 81.60                            |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 85.81                             | 81.60                            |
|                                  | แอลดีเอ       | 73.78                             | 70.49                            |
|                                  | แอลพีพี       | 82.62                             | 77.86                            |
|                                  | แอลดีอี       | 85.69                             | 80.81                            |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 87.13                             | 83.22                            |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 63.30                             | 59.65                            |

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองย่อยที่ 2.6 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับกลางโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน และกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่ม          | วิธีการลดมิติ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำ (%) |                                      |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
|                                  |               | ชุดข้อมูลทดสอบ<br>ขึ้นกับผู้เขียน | ชุดข้อมูลทดสอบ<br>ไม่ขึ้นกับผู้เขียน |
| -                                | -             | 85.74                             | 81.72                                |
| เลือกอย่างสุ่ม                   | พีซีเอ        | 85.97                             | 82.02                                |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 86.00                             | 82.06                                |
|                                  | แอลดีเอ       | 73.05                             | 69.71                                |
|                                  | แอลพีพี       | 81.58                             | 77.30                                |
|                                  | แอลดีอี       | 85.87                             | 81.94                                |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 83.93                             | 79.72                                |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 66.12                             | 62.75                                |
| เลือกเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบประเภท | พีซีเอ        | 85.97                             | 82.07                                |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 85.94                             | 82.13                                |
|                                  | แอลดีเอ       | 72.31                             | 68.83                                |
|                                  | แอลพีพี       | 82.48                             | 77.43                                |
|                                  | แอลดีอี       | 85.39                             | 81.33                                |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 86.49                             | 82.76                                |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 63.81                             | 60.44                                |

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองย่อยที่ 2.7 อัตราการรู้จำของวิธีการลดมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับล่างโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่ม          | วิธีการลดมิติ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำ (%) |                                      |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
|                                  |               | ชุดข้อมูลทดสอบ<br>ขึ้นกับผู้เขียน | ชุดข้อมูลทดสอบ<br>ไม่ขึ้นกับผู้เขียน |
| -                                | -             | 98.44                             | 98.11                                |
| เลือกอย่างสุ่ม                   | พีซีเอ        | 98.55                             | 98.66                                |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 98.44                             | 97.44                                |
|                                  | แอลดีเอ       | 88.88                             | 87.78                                |
|                                  | แอลพีพี       | 97.88                             | 95.66                                |
|                                  | แอลดีอี       | 97.88                             | 97.55                                |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 96.77                             | 96.88                                |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 88.44                             | 91.55                                |
| เลือกเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบประเภท | พีซีเอ        | 98.33                             | 97.99                                |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 98.00                             | 97.55                                |
|                                  | แอลดีเอ       | 68.44                             | 66.99                                |
|                                  | แอลพีพี       | 97.55                             | 97.11                                |
|                                  | แอลดีอี       | 98.11                             | 97.55                                |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 97.55                             | 97.22                                |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 80.55                             | 90.44                                |

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองย่อยที่ 2.8 อัตราการรู้จำของวิธีการลมิติแต่ละวิธีสำหรับชุดตัวอักษรระดับล่างโดยจัดเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว และทำการกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| วิธีการเลือกตัวแทนกลุ่ม          | วิธีการลมิติ  | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำ (%) |                                      |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
|                                  |               | ชุดข้อมูลทดสอบ<br>ขึ้นกับผู้เขียน | ชุดข้อมูลทดสอบ<br>ไม่ขึ้นกับผู้เขียน |
| -                                | -             | 96.66                             | 96.55                                |
| เลือกอย่างสุ่ม                   | พีซีเอ        | 96.55                             | 97.00                                |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 96.66                             | 97.00                                |
|                                  | แอลดีเอ       | 90.11                             | 91.99                                |
|                                  | แอลพีพี       | 94.55                             | 95.44                                |
|                                  | แอลดีอี       | 96.55                             | 95.66                                |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 96.22                             | 95.00                                |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 95.88                             | 94.99                                |
| เลือกเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบประเภท | พีซีเอ        | 96.77                             | 96.99                                |
|                                  | แอล-เอ็มดีเอส | 96.77                             | 96.99                                |
|                                  | แอลดีเอ       | 93.55                             | 93.44                                |
|                                  | แอลพีพี       | 96.11                             | 96.44                                |
|                                  | แอลดีอี       | 96.66                             | 96.22                                |
|                                  | ดีเอ็นอี      | 97.11                             | 97.22                                |
|                                  | แอล-ไอโซแมป   | 95.44                             | 94.10                                |

### 4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการทำภาพเบลอแบบแพร่กระจายโดยทำการเปรียบเทียบผลการรู้จำจากผลการทดลองที่ 1 ทั้งหมด และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการลดมิติแต่ละวิธีโดยทำการเปรียบเทียบผลการรู้จำจากผลการทดลองที่ 2 ทั้งหมด

#### 4.3.1 เปรียบเทียบการรู้จำด้วยวิธีการทำภาพเบลอและไม่ทำภาพเบลอแบบแพร่กระจาย

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบอัตราการรู้จำจากการทดลองที่ 1 ทั้งหมด

| ความขึ้นต่อผู้เขียน<br>ของชุดทดสอบ | วิธีการแบ่งกลุ่ม                                       | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำตัวอักษรทั้งหมด (%) |   |
|------------------------------------|--|--|---|
|                                    |  | ชุดข้อมูลไม่ได้ทำ<br>การเบลอแบบ<br>แพร่กระจาย    | ชุดข้อมูลทำ<br>การเบลอแบบ<br>แพร่กระจาย |
| ขึ้นต่อผู้เขียน                    | กลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว                                    | 78.20  | 86.14                                   |
|                                    | กลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อย                                  | 78.20  | 86.14                                   |
|                                    | กลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อย<br>ที่กำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้ | 79.36  | 86.73                                   |
|                                    | ค่าเฉลี่ย  | 78.59  | 86.34                                   |
| ไม่ขึ้นต่อผู้เขียน                 | กลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว                                    | 72.94  | 82.21                                   |
|                                    | กลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อย                                  | 72.94  | 82.21                                   |
|                                    | กลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อย<br>ที่กำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้ | 74.57  | 83.09                                   |
|                                    | ค่าเฉลี่ย  | 73.48  | 82.50                                   |

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า การทำภาพเบลอแบบแพร่กระจายนั้นทำให้อัตราการรู้จำของตัวอักษรดีขึ้นทั้งหมดในทุกๆ กรณีทั้งชุดตัวอักษรระดับบน, ระดับกลาง, ระดับล่าง และรวมทั้งหมด โดยมีอัตราการรู้จำที่เพิ่มขึ้นประมาณ 6-10 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากว่าตัวจำแนกประเภทที่ใช้ในที่นี้คือวิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัว ซึ่งการจำแนกข้อมูลทดสอบทำโดยการหาข้อมูลฝึกที่มีความคล้ายกับข้อมูลทดสอบมากที่สุด 1 ตัว โดยการวัดความคล้ายของข้อมูลฝึกและ

ข้อมูลทดสอบนี้ใช้ระยะห่างยุคคิดเป็นตัววัด แสดงว่าการทำภาพเบลอบแบบแพร่กระจายนั้นช่วยทำให้การวัดระยะห่างยุคคิดของข้อมูลฝึกและข้อมูลทดสอบมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าให้อัตราการรู้จำที่เท่ากัน เนื่องจากการทดลองนี้ใช้ค่า  $k$  สำหรับการจำแนกด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้สุดเท่ากับ 1 ซึ่งทำให้ข้อมูลฝึกที่ใกล้ข้อมูลทดสอบมากที่สุดเมื่อทำการรู้จำในการทดลองที่ไม่แบ่งกลุ่มย่อยและแบ่งกลุ่มย่อยแต่ไม่ได้กำหนดพื้นที่ย่อยเป็นข้อมูลตัวเดียวกัน อัตราการรู้จำของทั้งสองการทดลองจึงมีค่าเท่ากัน

#### 4.3.2 เปรียบเทียบการรู้จำด้วยวิธีการเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม และเลือกเฉพาะตัวที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบอัตราการรู้จำจากการทดลองที่ 2 ทั้งหมดที่ใช้ชุดตัวอักษรที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| วิธีการลดมิติ   | ประเภทของชุดข้อมูลทดสอบ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำของตัวอักษรทั้งหมด (%)   |  |
|---|-------------------------|---|--|
|   |                         | ชุดข้อมูลที่เลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม | ชุดข้อมูลที่เลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบของประเภท |
| พีซีเอ<br>แอล-เอ็มดีเอส<br>แอลดีเอ<br>แอลพีพี<br>แอลดีอี<br>ดีเอ็นอี<br>แอล-ไอโซแมป | ชั้นกับ<br>ผู้เขียน     | 86.46   | 86.39  |
|   |                         | 86.54   | 86.39  |
|   |                         | 81.58   | 80.56  |
|   |                         | 82.95   | 83.28  |
|   |                         | 85.82   | 85.65  |
|   |                         | 86.55   | <u>86.55</u>   |
|   |                         | 64.29   | 61.83  |
| พีซีเอ<br>แอล-เอ็มดีเอส<br>แอลดีเอ<br>แอลพีพี<br>แอลดีอี<br>ดีเอ็นอี<br>แอล-ไอโซแมป | ไม่ชั้นกับ<br>ผู้เขียน  | 82.60   | 82.55  |
|   |                         | 82.58   | 82.56  |
|   |                         | 77.66   | 76.11  |
|   |                         | 78.76   | 79.19  |
|   |                         | 82.03   | 81.74  |
|   |                         | 81.90   | <u>82.61</u>   |
|   |                         | 61.05   | 59.61  |



ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบอัตราการรู้จำจากการทดลองที่ 2 ทั้งหมดที่ใช้ชุดตัวอักษรที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| วิธีการลดมิติ   | ประเภทของชุดข้อมูลทดสอบ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำของตัวอักษรทั้งหมด (%)   |  |
|---|-------------------------|---|--|
|   |                         | ชุดข้อมูลที่เลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม | ชุดข้อมูลที่เลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบของประเภท |
| พีซีเอ<br>แอล-เอ็มดีเอส<br>แอลดีเอ<br>แอลพีพี<br>แอลดีอี<br>ดีเอ็นอี<br>แอล-ไอโซแมป | ขึ้นกับ<br>ผู้เขียน     | 86.36   | 86.39  |
|   |                         | 86.44   | 86.35  |
|   |                         | 74.18   | 74.15  |
|   |                         | 82.80   | 83.59  |
|   |                         | 86.67   | 86.37  |
|   |                         | 86.58   | <u>88.01</u>   |
| 67.49   | 65.28                   |   |  |
| พีซีเอ<br>แอล-เอ็มดีเอส<br>แอลดีเอ<br>แอลพีพี<br>แอลดีอี<br>ดีเอ็นอี<br>แอล-ไอโซแมป | ไม่ขึ้นกับ<br>ผู้เขียน  | 82.46   | 82.51  |
|   |                         | 82.49   | 82.53  |
|   |                         | 70.90   | 70.38  |
|   |                         | 78.71   | 79.26  |
|   |                         | 82.00   | 81.40  |
|   |                         | 82.52   | <u>84.45</u>   |
| 64.61   | 61.99                   |   |  |

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบอัตราการรู้จำจากการทดลองที่ 2 ทั้งหมดที่ใช้ชุดตัวอักษรที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| วิธีการลดมิติ   | ประเภทของชุดข้อมูลทดสอบ | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการรู้จำของตัวอักษรทั้งหมด (%)   |  |
|---|-------------------------|---|--|
|   |                         | ชุดข้อมูลที่เลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม | ชุดข้อมูลที่เลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ขอบของประเภท |
| พีซีเอ<br>แอล-เอ็มดีเอส<br>แอลดีเอ<br>แอลพีพี<br>แอลดีอี<br>ดีเอ็นอี<br>แอล-ไอโซแมป | ขึ้นกับ<br>ผู้เขียน     | 86.93   | 86.93  |
|   |                         | 86.98   | 86.90  |
|   |                         | 73.82   | 73.40  |
|   |                         | 82.80   | 83.74  |
|   |                         | 86.82   | 86.36  |
|   |                         | 85.08   | <u>87.51</u>   |
| 68.66   | 66.29                   |   |  |
| พีซีเอ<br>แอล-เอ็มดีเอส<br>แอลดีเอ<br>แอลพีพี<br>แอลดีอี<br>ดีเอ็นอี<br>แอล-ไอโซแมป | ไม่ขึ้นกับ<br>ผู้เขียน  | 83.36   | 83.40  |
|   |                         | 83.39   | 83.45  |
|   |                         | 70.89   | 70.21  |
|   |                         | 79.07   | 79.28  |
|   |                         | 83.26   | 82.10  |
|   |                         | 81.22   | <u>84.08</u>   |
| 65.71   | 63.24                   |   |  |

ผลการเปรียบเทียบจาก 3 ตารางข้างต้น พบว่าวิธีดีเอ็นเอให้ผลในการรู้จำที่ดีที่สุด โดยมีอัตราการรู้จำที่สูงกว่าวิธีการลดมิติอื่นทุกวิธีในชุดการทดลองที่ทำการแบ่งกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท นอกจากนี้เมื่อดูจากตารางที่ ๑.1 และ ๑.2 ที่แสดงในภาคผนวก ง ซึ่งเป็นผลการเปรียบเทียบคู่ทดสอบที่ (paired t-test) พบว่าการใช้วิธีดีเอ็นเอในชุดการทดลองที่ทำการแบ่งกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน และทำการเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภทนั้น มีอัตราการรู้จำที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ เกือบทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราการรู้จำที่ 88.01 และ 84.45 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดทดสอบที่ขึ้นกับผู้เขียนและชุดทดสอบที่ไม่ขึ้นกับผู้เขียนตามลำดับ

เนื่องจากวิธีการลดมิติทั้งหมดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มี 2 ประเภทคือ 1. แบบที่ไม่ใช้ประเภทของข้อมูลในการเรียนรู้ และ 2. แบบที่ใช้ประเภทของข้อมูลในการเรียนรู้ ซึ่งเมื่อดูตามเป้าหมายในการลดมิติแล้ววิธีแอลดีเอและแอลดีอีซึ่งเป็นการลดมิติประเภทที่ 2 ก็ควรจะให้ผลการรู้จำที่ดีกว่าวิธีการลดมิติแบบอื่นซึ่งเป็นแบบที่ 1 ด้วยเช่นเดียวกับวิธีดีเอ็นเอ แต่กลับให้ผลการรู้จำที่แย่กว่าวิธีการลดมิติแบบที่ 1 นั่นอาจเป็นเพราะว่า สำหรับวิธีแอลดีเอนั้นเมื่อทำการลดมิติแล้วข้อมูลจะมีจำนวนมิติสูงสุดเท่ากับจำนวนของประเภททั้งหมดลบด้วย 1 ทำให้การรู้จำสำหรับตัวอักษรกลุ่มเล็กมีจำนวนมิติที่น้อยมากซึ่งไม่เพียงพอต่อการจำแนกประเภทได้ นอกจากนี้วิธีแอลดีเอยังเป็นวิธีการลดมิติที่ใช้ได้ดีสำหรับข้อมูลที่มีการกระจายตัวแบบเกาส์เซียนเท่านั้น ซึ่งชุดข้อมูลลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้นี้ อาจมีการกระจายตัวเป็นแบบอื่น ส่วนวิธีแอลดีอีนั้นที่ให้ผลการรู้จำที่ไม่ดีเท่าที่ควรอาจเป็นเพราะว่า วิธีแอลดีอีใช้การแก้ปัญหาค่าไอเกนทั่วไปในการแยกไอเกนซึ่งเป็นวิธีค่อนข้างจะมีความอ่อนไหวต่อชุดข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้เมทริกซ์การแปลงที่เรียนรู้ได้ อาจมีความพอดีเกินไป (overfitting) ทำให้ทำการแปลงได้ไม่ดีสำหรับข้อมูลทดสอบที่เข้ามาใหม่ ทำให้ความถูกต้องในการรู้จำลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทดลองวิธีการลดมิติต่างๆ อันได้แก่ พีซีเอ, แอล-เอ็มดีเอส, แอลดีเอ, แอลพีพี, แอลดีอี, ดีเอ็นอี และ แอล-ไอโซแมป กับชุดตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท เพื่อหาวิธีการลดมิติที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ยังได้เสนอวิธีการปรับแต่งคุณภาพของภาพก่อนที่จะนำไปทำการเรียนรู้ เรียกว่า การทำภาพเบลอบแบบแพร่กระจาย

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การทดสอบประสิทธิภาพของการทำภาพเบลอบแบบแพร่กระจาย และ 2. การทดสอบประสิทธิภาพในการรู้จำตัวอักษรโดยใช้วิธีการลดมิติแต่ละวิธี ซึ่งภายในการทดลองแต่ละส่วนยังได้แบ่งออกเป็นชุดทดสอบที่ขึ้นต่อผู้เขียนและชุดทดสอบที่ไม่ขึ้นต่อผู้เขียน โดยได้ลองปรับเปลี่ยนวิธีการที่ใช้ในการเรียนรู้อีกด้วย ได้แก่ การจัดกลุ่ม การกำหนดพื้นที่ย่อยภายในภาพที่นำไปใช้ และการเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริง

จากผลการทดลองที่ 1 พบว่า การทำภาพเบลอบแบบแพร่กระจายนั้นสามารถทำให้อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยเพิ่มขึ้นได้แม้ข้อมูลจะยังไม่ได้ทำการลดมิติ โดยมีอัตราการรู้จำที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกๆ การทดลอง แสดงให้เห็นว่าการทำภาพเบลอบแบบแพร่กระจายนี้เป็นวิธีการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่มีประสิทธิภาพ และยังสามารถทำได้ง่าย

จากผลการทดลองที่ 2 พบว่า วิธีดีเอ็นอีเป็นวิธีการลดมิติที่ให้อัตราการรู้จำที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน และทำการเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท โดยมีอัตราการรู้จำที่ 88.01 และ 84.45 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดทดสอบที่ขึ้นกับผู้เขียนและชุดทดสอบที่ไม่ขึ้นกับผู้เขียนตามลำดับ นอกจากนี้วิธีดีเอ็นอียังเป็นวิธีที่มีความทนทานต่อชุดข้อมูลที่เปลี่ยนแปลง และสามารถนำไปใช้ได้ง่ายเพราะมีตัวแปรเพียงตัวเดียวนั้นคือจำนวนเพื่อนบ้านใกล้สุดที่ใช้ในการสร้างกราฟในขั้นตอนของวิธีดีเอ็นอี ดังนั้น จากวิธีการลดมิติทั้งหมด อันได้แก่ พีซีเอ, แอล-เอ็มดีเอส, แอลดีเอ, แอลพีพี, แอลดีอี, ดีเอ็นอี และ แอล-ไอโซแมป

วิธีดีเอ็นอีเป็นวิธีการลดมิติที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ลดมิติของข้อมูลตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย โดยการใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด  $k$  ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) เนื่องจากว่าในปัจจุบันนี้มีวิธีการลดมิติมากมายหลายวิธี วิธีที่เลือกใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ซึ่งอาจจะมีวิธีการลดมิติที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีดีเอ็นอี ดังนั้นจึงควรทำการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการลดมิติแบบอื่นๆ นอกเหนือจากที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
- 2) ในขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น ควรเพิ่มวิธีการเพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดียิ่งขึ้น เช่น การลดสัญญาณรบกวนภายในภาพ การหมุนภาพ หรือการแก้ไขความเอียง เป็นต้น
- 3) พัฒนาการเลือกตัวแทนกลุ่มสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภทให้ มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เนื่องจากวิธีการเลือกข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภทที่ใช้ในการทดลองอาจมีความอ่อนไหวต่อข้อมูลที่เป็นสัญญาณรบกวนได้ ดังนั้นจึงควรพัฒนาวิธีการเลือกข้อมูลให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปได้ และเลือกเฉพาะข้อมูลที่มีนัยสำคัญต่อการเรียนรู้มากที่สุดเท่านั้น
- 4) ทดสอบการรู้จำโดยใช้วิธีการอื่นๆ เป็นตัวจำแนกประเภท เช่น ข่ายงานประสาทเทียม หรือ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

- [1] Airphaiboon, S., Sangworasil, M., and Kondo, S. Off-line handwritten Thai characters from word script. In Computer Vision & Image Processing.. Proceedings of the 12th IAPR International, pp. 445-449. Jerusalem, Israel : 1994.
- [2] Phokharatkul, P., and Kimpan, C. Recognition of Handprinted Thai Characters Using the Cavity Features of Character Based on Neural Network. In IEEE APCCAS 1998 The 1998 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, pp. 149-152. 1998.
- [3] ปริญญา สงวนสัตย์. การรู้จำตัวอักษรภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้แบบจำลองฮิดเดน มาร์คอฟและซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [4] Nopsuwanchai, R., and Povey, D. Discriminative training for HMM-based offline handwritten character recognition. In Document Analysis and Recognition. 2003. Proceedings. Seventh International Conference on, pp. 114- 118. 2003.
- [5] Liu, N., Wang, H., and Yau, W. Face Recognition with Weighted Kernel Principal Component Analysis. In ICARCV '06. 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, pp. 1-5. 2006.
- [6] Tenenbaum, J.B., Silva, V., and Langford, J.C. A Global Geometric Framework for Nonlinear Dimensionality Reduction. In Science, pp. 2319-2323. 2000.
- [7] He, X., and Niyogi, P. Locality Preserving Projections. In Advances in Neural Information Processing Systems 16 (NIPS), Vancouver, Canada : 2003.
- [8] Chen, H. T., Chang, H. W., and Liu, T. L. Local discriminant embedding and its variants. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on, pp. 846- 853. 2005.
- [9] Zhang, W., Xuea, X., Suna, Z., Lua, H., and Guoa, Y. F. Optimal dimensionality of metric space for classification. In Proceedings of the 24th international conference on Machine learning, pp. 1135 - 1142. Corvalis, Orego : 2007.

- [10] สนั่น ศรีสุข. การรู้จำตัวอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เฮาซดอร์ฟดิสแทนซ์. ใน The National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC'99), 1999.
- [11] จามร ตีรยานนท์. การรู้จำตัวอักษรเขียนภาษาไทยโดยใช้วิธีสแกนนิ่งเอ็น-ทูเป็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [12] อธิพันธ์ เมธเศรษฐ. การรู้จำตัวอักษรเขียนภาษาไทยที่เป็นคำแบบออฟไลน์โดยใช้หลักเกณฑ์ทางพีชชีร่วมกับคุณลักษณะบ่งความต่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [13] สุขวสา พิชิตเดช. การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยการใช้กลุ่มก้อนของนิวรอลเน็ตเวิร์ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [14] พัฒนชัย เบศรภิญโญวงศ์. การรู้จำตัวอักษรไทยโดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและเคอร์เนล. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [15] อุดม สถาพรชัยสิทธิ์. การรู้จำตัวอักษรภาษาไทยโดยใช้การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบสำคัญแบบหลายประเภทและนิวรอลเน็ตเวิร์ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [16] Methasate, I., Marukatat, S., Sae-tang, S., and Theeramunkong, T. The feature combination technique for off-line Thai character recognition system. In Document Analysis and Recognition, 2005. Proceedings. Eighth International Conference on, pp. 1006- 1009. 2005.
- [17] Phokharatkul, P., Sankhuangaw, K., Somkuarnpanit, S., Phaiboon S., and Kimpan C. Off-Line Hand Written Thai Character Recognition using Ant-Miner Algorithm. In Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Computational Intelligence, Man-Machine Systems and Cybernetics, pp. 357-362. Venice, Italy : 2006.
- [18] Belhumeur, P. N., Hespanha, J. P., and Kriegman, D. J. Eigenfaces vs. Fisherfaces: recognition using class specific linearprojection. In Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, pp. 711-720. 1997.

- [19] Silva, V. D., and Tenenbaum, J. B. Sparse multidimensional scaling using landmark points [Adobe Acrobat File]. Stanford University, Standford : Silva, V. D., 2004. Available from : [www-graphics.stanford.edu/courses/cs468-05-winter/Papers/Landmarks/Silva\\_landmarks5.pdf](http://www-graphics.stanford.edu/courses/cs468-05-winter/Papers/Landmarks/Silva_landmarks5.pdf) [19 February 2009].



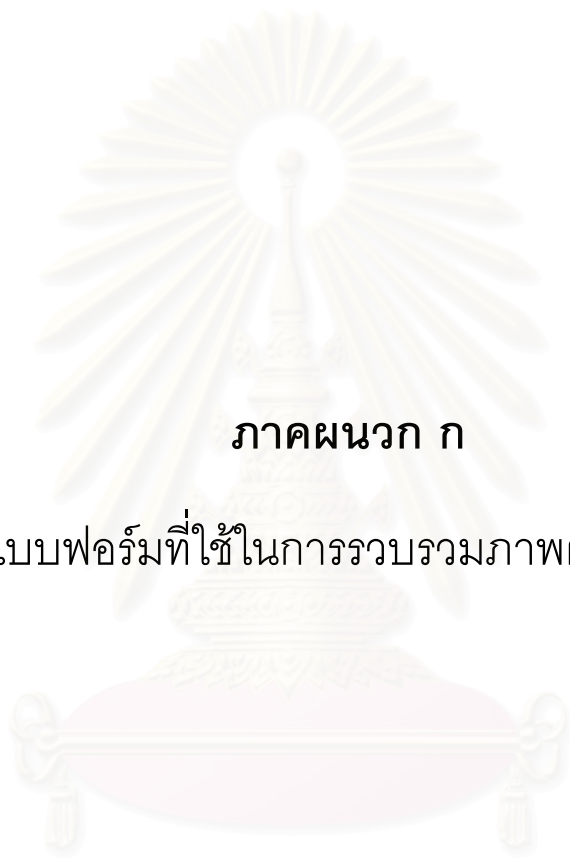
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ก

แบบฟอร์มที่ใช้ในการรวบรวมภาพตัวอักษร

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



|           |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|
| ก.ไก่     |  |  |  |  |  |
| ข.ไข่     |  |  |  |  |  |
| ข.ขวด     |  |  |  |  |  |
| ค.ควาย    |  |  |  |  |  |
| ค.คน      |  |  |  |  |  |
| ฅ.ระฆัง   |  |  |  |  |  |
| ง.งู      |  |  |  |  |  |
| จ.จาน     |  |  |  |  |  |
| ฉ.ฉิ่ง    |  |  |  |  |  |
| ช.ช้าง    |  |  |  |  |  |
| ช.โซ่     |  |  |  |  |  |
| ฌ.เฉอ     |  |  |  |  |  |
| ญ.หญิง    |  |  |  |  |  |
| ฎ.ชฎา     |  |  |  |  |  |
| ฏ.ปลูก    |  |  |  |  |  |
| ฐ.ฐาน     |  |  |  |  |  |
| ฑ.มณฑล    |  |  |  |  |  |
| ฒ.ผู้เฒ่า |  |  |  |  |  |
| ณ.เณร     |  |  |  |  |  |
| ด.เด็ก    |  |  |  |  |  |

|         |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|
| ต.เต่า  |  |  |  |  |  |
| ถ.ถุง   |  |  |  |  |  |
| ท.ทหาร  |  |  |  |  |  |
| ธ.ธง    |  |  |  |  |  |
| น.หนู   |  |  |  |  |  |
| บ.ใบไม้ |  |  |  |  |  |
| ป.ปลา   |  |  |  |  |  |
| ผ.ผึ่ง  |  |  |  |  |  |
| ฝ.ฝา    |  |  |  |  |  |
| พ.พาน   |  |  |  |  |  |
| ฟ.ฟัน   |  |  |  |  |  |
| ภ.สำเภา |  |  |  |  |  |
| ม.ม้า   |  |  |  |  |  |
| ย.ยักษ์ |  |  |  |  |  |
| ร.เรือ  |  |  |  |  |  |
| ล.ลิง   |  |  |  |  |  |
| ว.แหวน  |  |  |  |  |  |
| ศ.ศาลา  |  |  |  |  |  |
| ษ.ฤษี   |  |  |  |  |  |
| ส.เสือ  |  |  |  |  |  |

|                  |  |  |  |  |  |
|------------------|--|--|--|--|--|
| ห.หีบ            |  |  |  |  |  |
| พ.จุฬา           |  |  |  |  |  |
| อ.อ่าง           |  |  |  |  |  |
| ฮ.นกฮูก          |  |  |  |  |  |
| ย<br>(ไปยาลน้อย) |  |  |  |  |  |
| จ<br>(ไม่ยมก)    |  |  |  |  |  |
| ฉ                |  |  |  |  |  |
| ภ                |  |  |  |  |  |
| อ<br>(ศูนย์ไทย)  |  |  |  |  |  |
| ๑                |  |  |  |  |  |
| ๒                |  |  |  |  |  |
| ๓                |  |  |  |  |  |
| ๔                |  |  |  |  |  |
| ๕                |  |  |  |  |  |
| ๖                |  |  |  |  |  |
| ๗                |  |  |  |  |  |
| ๘                |  |  |  |  |  |
| ๙                |  |  |  |  |  |
| ๐<br>(สระอะ)     |  |  |  |  |  |
| -า<br>(สระอา)    |  |  |  |  |  |

|                    |   |   |   |   |   |
|--------------------|---|---|---|---|---|
| เ -<br>(สระเอ)     |   |   |   |   |   |
| แ -<br>(สระแอ)     |   |   |   |   |   |
| โ -<br>(สระโอ)     |   |   |   |   |   |
| ๓ -<br>(ไม่มีตาย)  |   |   |   |   |   |
| ๑ -<br>(ไม่มีวัน)  |   |   |   |   |   |
| -<br>(ไม่ทันอากาศ) | - | - | - | - | - |
| -<br>(สระอี)       | - | - | - | - | - |
| -<br>(สระอี)       | - | - | - | - | - |
| -<br>(สระอี)       | - | - | - | - | - |
| -<br>(สระอีอ)      | - | - | - | - | - |
| -<br>(ไม่ได้คู่)   | - | - | - | - | - |
| -<br>(ไม่มีเอก)    | - | - | - | - | - |
| -<br>(ไม่มีโท)     | - | - | - | - | - |
| -<br>(ไม่มีตรี)    | - | - | - | - | - |
| +<br>(ไม่มีตาวา)   | - | - | - | - | - |
| -<br>(การ์นต์)     | - | - | - | - | - |
| ◌<br>(สระอุ)       | - | - | - | - | - |
| -<br>(สระอุ)       | - | - | - | - | - |

ชื่อ -  
นามสกุล



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างตัวอักษรที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย







ตัวอย่างตัวอักษรที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ (4)







ภาคผนวก ค

อัตรการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยเฉลี่ยของตัวอักษรแต่ละตัว

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลไม่ได้ทำการลดมิติ  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |           |                            |           |
|----------|-------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |           | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |           |
|          | ไม่ได้ทำภาพ<br>เบลอ     | ทำภาพเบลอ | ไม่ได้ทำภาพ<br>เบลอ        | ทำภาพเบลอ |
| ก        | 68.88                   | 87.10     | 67.10                      | 85.55     |
| ข        | 57.77                   | 66.38     | 52.21                      | 57.77     |
| ฃ        | 76.66                   | 80.66     | 72.43                      | 79.99     |
| ค        | 70.66                   | 81.33     | 62.21                      | 78.21     |
| ค        | 69.99                   | 82.21     | 64.88                      | 77.32     |
| ฅ        | 78.22                   | 86.43     | 71.33                      | 84.44     |
| ง        | 90.88                   | 95.99     | 87.99                      | 92.44     |
| จ        | 77.10                   | 89.77     | 64.16                      | 85.77     |
| ฉ        | 77.55                   | 90.66     | 70.88                      | 87.99     |
| ช        | 64.99                   | 65.27     | 61.47                      | 63.32     |
| ช        | 69.55                   | 76.66     | 65.99                      | 78.14     |
| ฌ        | 84.21                   | 92.88     | 75.10                      | 91.55     |
| ญ        | 82.66                   | 91.55     | 79.25                      | 86.88     |
| ฎ        | 46.66                   | 63.77     | 34.44                      | 61.99     |
| ฏ        | 61.77                   | 64.44     | 57.55                      | 70.66     |
| ฐ        | 75.32                   | 91.55     | 69.77                      | 86.66     |
| ฑ        | 83.10                   | 86.43     | 77.10                      | 79.77     |
| ฒ        | 78.88                   | 94.66     | 72.77                      | 92.66     |
| ณ        | 85.32                   | 94.44     | 82.21                      | 91.11     |
| ด        | 73.10                   | 83.55     | 64.44                      | 78.43     |
| ด        | 59.71                   | 73.77     | 50.43                      | 67.10     |
| ต        | 57.77                   | 76.22     | 45.91                      | 69.77     |
| ท        | 83.10                   | 84.43     | 78.44                      | 81.33     |
| ฑ        | 64.99                   | 79.62     | 47.77                      | 67.77     |
| น        | 81.55                   | 91.10     | 77.77                      | 87.33     |
| บ        | 81.10                   | 83.33     | 73.33                      | 77.99     |
| ป        | 92.44                   | 93.33     | 88.88                      | 87.77     |
| ผ        | 83.04                   | 92.96     | 73.10                      | 81.33     |
| ฝ        | 81.33                   | 88.88     | 77.10                      | 85.99     |
| พ        | 81.32                   | 89.10     | 72.21                      | 81.66     |
| ฟ        | 84.66                   | 91.33     | 80.21                      | 88.21     |
| ภ        | 70.88                   | 80.88     | 67.33                      | 78.21     |
| ม        | 68.44                   | 79.77     | 65.99                      | 74.16     |
| ย        | 70.27                   | 80.21     | 45.55                      | 66.29     |
| ร        | 65.10                   | 80.73     | 60.65                      | 71.99     |
| ล        | 59.33                   | 82.21     | 52.21                      | 76.44     |
| ว        | 80.66                   | 92.66     | 78.88                      | 91.38     |
| ศ        | 75.32                   | 89.33     | 67.55                      | 82.66     |
| ษ        | 78.88                   | 89.10     | 73.55                      | 85.32     |
| ส        | 62.21                   | 73.99     | 52.21                      | 63.05     |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |           |                            |           |
|----------|-------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |           | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |           |
|          | ไม่ได้ทำภาพ<br>เบลอ     | ทำภาพเบลอ | ไม่ได้ทำภาพ<br>เบลอ        | ทำภาพเบลอ |
| ห        | 75.83                   | 85.77     | 63.88                      | 80.21     |
| ฬ        | 73.33                   | 91.33     | 76.21                      | 87.55     |
| อ        | 61.10                   | 84.88     | 58.88                      | 79.32     |
| ฮ        | 66.88                   | 79.71     | 59.72                      | 77.40     |
| ๑        | 80.66                   | 87.32     | 70.36                      | 82.21     |
| ๒        | 77.99                   | 85.32     | 68.88                      | 80.21     |
| ๓        | 65.83                   | 78.21     | 55.27                      | 73.55     |
| ๔        | 75.99                   | 83.10     | 82.22                      | 79.99     |
| ๕        | 97.55                   | 98.21     | 96.21                      | 96.66     |
| ๖        | 75.32                   | 85.99     | 68.51                      | 84.66     |
| ๗        | 81.99                   | 91.77     | 80.66                      | 91.55     |
| ๘        | 81.10                   | 83.33     | 74.66                      | 78.33     |
| ๙        | 66.88                   | 74.88     | 60.88                      | 68.88     |
| ๐        | 60.66                   | 84.44     | 44.88                      | 75.99     |
| ๑        | 92.88                   | 94.88     | 91.32                      | 93.10     |
| ๒        | 83.55                   | 89.32     | 73.55                      | 83.55     |
| ๓        | 59.25                   | 74.21     | 54.44                      | 70.27     |
| ๔        | 87.99                   | 85.77     | 84.66                      | 79.99     |
| ๕        | 95.55                   | 97.77     | 94.66                      | 97.32     |
| ๖        | 96.66                   | 95.77     | 94.21                      | 94.21     |
| ๗        | 97.99                   | 97.55     | 97.32                      | 97.32     |
| ๘        | 97.32                   | 98.43     | 97.10                      | 98.44     |
| ๙        | 82.44                   | 90.22     | 79.99                      | 85.27     |
| ๐        | 95.54                   | 95.99     | 93.33                      | 93.77     |
| ๑        | 67.77                   | 89.32     | 69.55                      | 82.22     |
| ๒        | 93.77                   | 94.66     | 92.77                      | 92.21     |
| ๓        | 91.77                   | 91.77     | 86.88                      | 87.32     |
| ๔        | 76.21                   | 78.21     | 73.55                      | 76.21     |
| ๕        | 71.77                   | 75.99     | 66.11                      | 77.21     |
| ๖        | 48.44                   | 60.55     | 43.10                      | 55.83     |
| ๗        | 70.83                   | 77.55     | 61.77                      | 73.10     |
| ๘        | 97.54                   | 97.77     | 97.32                      | 96.43     |
| ๙        | 89.55                   | 89.77     | 85.33                      | 87.33     |
| ๐        | 89.55                   | 93.99     | 85.99                      | 90.43     |
| ๑        | 97.32                   | 96.66     | 96.88                      | 97.10     |
| ๒        | 93.99                   | 93.33     | 91.55                      | 90.66     |
| ๓        | 96.21                   | 95.32     | 95.77                      | 95.10     |
| ๔        | 99.77                   | 99.32     | 99.33                      | 98.44     |
| ๕        | 97.76                   | 97.54     | 97.10                      | 97.77     |

ตารางที่ ก.2 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว

โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลไม่ได้ทำการลดมิติ

ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 68.88                   | 87.10 | 67.10                      | 85.55 |
| ข        | 57.77                   | 66.38 | 52.21                      | 57.77 |
| ฃ        | 76.66                   | 80.66 | 72.43                      | 79.99 |
| ค        | 70.66                   | 81.33 | 62.21                      | 78.21 |
| ค        | 69.99                   | 82.21 | 64.88                      | 77.32 |
| ฅ        | 78.22                   | 86.43 | 71.33                      | 84.44 |
| ง        | 90.88                   | 95.99 | 87.99                      | 92.44 |
| จ        | 77.10                   | 89.77 | 64.16                      | 85.77 |
| ฉ        | 77.55                   | 90.66 | 70.88                      | 87.99 |
| ช        | 64.99                   | 65.27 | 61.47                      | 63.32 |
| ช        | 69.55                   | 76.66 | 65.99                      | 78.14 |
| ฌ        | 84.21                   | 92.88 | 75.10                      | 91.55 |
| ญ        | 82.66                   | 91.55 | 79.25                      | 86.88 |
| ฎ        | 46.66                   | 63.77 | 34.44                      | 61.99 |
| ฏ        | 61.77                   | 64.44 | 57.55                      | 70.66 |
| ฐ        | 75.32                   | 91.55 | 69.77                      | 86.66 |
| ฑ        | 83.10                   | 86.43 | 77.10                      | 79.77 |
| ฒ        | 78.88                   | 94.66 | 72.77                      | 92.66 |
| ณ        | 85.32                   | 94.44 | 82.21                      | 91.11 |
| ด        | 73.10                   | 83.55 | 64.44                      | 78.43 |
| ด        | 59.71                   | 73.77 | 50.43                      | 67.10 |
| ถ        | 57.77                   | 76.22 | 45.91                      | 69.77 |
| ท        | 83.10                   | 84.43 | 78.44                      | 81.33 |
| ธ        | 64.99                   | 79.62 | 47.77                      | 67.77 |
| น        | 81.55                   | 91.10 | 77.77                      | 87.33 |
| บ        | 81.10                   | 83.33 | 73.33                      | 77.99 |
| ป        | 92.44                   | 93.33 | 88.88                      | 87.77 |
| ผ        | 83.04                   | 92.96 | 73.10                      | 81.33 |
| ฝ        | 81.33                   | 88.88 | 77.10                      | 85.99 |
| พ        | 81.32                   | 89.10 | 72.21                      | 81.66 |
| ฟ        | 84.66                   | 91.33 | 80.21                      | 88.21 |
| ภ        | 70.88                   | 80.88 | 67.33                      | 78.21 |
| ม        | 68.44                   | 79.77 | 65.99                      | 74.16 |
| ย        | 70.27                   | 80.21 | 45.55                      | 66.29 |
| ร        | 65.10                   | 80.73 | 60.65                      | 71.99 |
| ล        | 59.33                   | 82.21 | 52.21                      | 76.44 |
| ว        | 80.66                   | 92.66 | 78.88                      | 91.38 |
| ศ        | 75.32                   | 89.33 | 67.55                      | 82.66 |
| ษ        | 78.88                   | 89.10 | 73.55                      | 85.32 |
| ส        | 62.21                   | 73.99 | 52.21                      | 63.05 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 75.83                   | 85.77 | 63.88                      | 80.21 |
| ฬ        | 73.33                   | 91.33 | 76.21                      | 87.55 |
| อ        | 61.10                   | 84.88 | 58.88                      | 79.32 |
| ฮ        | 66.88                   | 79.71 | 59.72                      | 77.40 |
| ๑        | 80.66                   | 87.32 | 70.36                      | 82.21 |
| ๒        | 77.99                   | 85.32 | 68.88                      | 80.21 |
| ๓        | 65.83                   | 78.21 | 55.27                      | 73.55 |
| ๔        | 75.99                   | 83.10 | 82.22                      | 79.99 |
| ๕        | 97.55                   | 98.21 | 96.21                      | 96.66 |
| ๖        | 75.32                   | 85.99 | 68.51                      | 84.66 |
| ๗        | 81.99                   | 91.77 | 80.66                      | 91.55 |
| ๘        | 81.10                   | 83.33 | 74.66                      | 78.33 |
| ๙        | 66.88                   | 74.88 | 60.88                      | 68.88 |
| ๐        | 60.66                   | 84.44 | 44.88                      | 75.99 |
| ๑        | 92.88                   | 94.88 | 91.32                      | 93.10 |
| ๒        | 83.55                   | 89.32 | 73.55                      | 83.55 |
| ๓        | 59.25                   | 74.21 | 54.44                      | 70.27 |
| ๔        | 87.99                   | 85.77 | 84.66                      | 79.99 |
| ๕        | 95.55                   | 97.77 | 94.66                      | 97.32 |
| ๖        | 96.66                   | 95.77 | 94.21                      | 94.21 |
| ๗        | 97.99                   | 97.55 | 97.32                      | 97.32 |
| ๘        | 97.32                   | 98.43 | 97.10                      | 98.44 |
| ๙        | 82.44                   | 90.22 | 79.99                      | 85.27 |
| ๐        | 95.54                   | 95.99 | 93.33                      | 93.77 |
| ๑        | 67.77                   | 89.32 | 69.55                      | 82.22 |
| ๒        | 93.77                   | 94.66 | 92.77                      | 92.21 |
| ๓        | 91.77                   | 91.77 | 86.88                      | 87.32 |
| ๔        | 76.21                   | 78.21 | 73.55                      | 76.21 |
| ๕        | 71.77                   | 75.99 | 66.11                      | 77.21 |
| ๖        | 48.44                   | 60.55 | 43.10                      | 55.83 |
| ๗        | 70.83                   | 77.55 | 61.77                      | 73.10 |
| ๘        | 97.54                   | 97.77 | 97.32                      | 96.43 |
| ๙        | 89.55                   | 89.77 | 85.33                      | 87.33 |
| ๐        | 89.55                   | 93.99 | 85.99                      | 90.43 |
| ๑        | 97.32                   | 96.66 | 96.88                      | 97.10 |
| ๒        | 93.99                   | 93.33 | 91.55                      | 90.66 |
| ๓        | 96.21                   | 95.32 | 95.77                      | 95.10 |
| ๔        | 99.77                   | 99.32 | 99.33                      | 98.44 |
| ๕        | 97.76                   | 97.54 | 97.10                      | 97.77 |

ตารางที่ ก.3 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว

โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลไม่ได้ทำการลดมิติ

ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 74.66                   | 90.21 | 71.55                      | 89.33 |
| ข        | 60.83                   | 62.21 | 56.21                      | 62.66 |
| ฃ        | 71.11                   | 84.16 | 74.66                      | 76.38 |
| ค        | 74.44                   | 84.21 | 65.99                      | 79.99 |
| ด        | 72.49                   | 80.27 | 70.66                      | 78.05 |
| ฉ        | 80.44                   | 88.66 | 74.66                      | 86.43 |
| ง        | 90.88                   | 95.99 | 87.99                      | 92.44 |
| จ        | 77.10                   | 89.77 | 64.16                      | 85.77 |
| ฉ        | 77.55                   | 90.66 | 70.88                      | 87.99 |
| ช        | 66.21                   | 64.71 | 64.43                      | 64.99 |
| ช        | 71.99                   | 78.21 | 69.10                      | 75.55 |
| ฌ        | 81.77                   | 88.21 | 73.10                      | 85.10 |
| ญ        | 82.21                   | 91.10 | 77.22                      | 87.10 |
| ฎ        | 55.99                   | 71.99 | 49.10                      | 69.55 |
| ฏ        | 59.55                   | 72.44 | 60.73                      | 67.33 |
| ฐ        | 75.32                   | 91.55 | 69.77                      | 86.66 |
| ฑ        | 83.10                   | 87.99 | 77.10                      | 84.43 |
| ฒ        | 67.21                   | 86.21 | 62.21                      | 82.21 |
| ณ        | 80.66                   | 90.88 | 80.27                      | 85.10 |
| ด        | 76.44                   | 84.44 | 64.44                      | 78.05 |
| ด        | 64.71                   | 75.32 | 53.99                      | 71.33 |
| ถ        | 68.66                   | 80.66 | 63.33                      | 75.99 |
| ท        | 83.10                   | 89.55 | 78.44                      | 85.77 |
| ธ        | 64.44                   | 80.73 | 55.99                      | 73.05 |
| น        | 81.55                   | 91.10 | 77.77                      | 87.33 |
| บ        | 79.55                   | 79.32 | 72.66                      | 75.55 |
| ป        | 92.88                   | 93.99 | 88.44                      | 88.44 |
| ผ        | 88.60                   | 91.10 | 78.21                      | 81.10 |
| ฝ        | 81.77                   | 80.66 | 79.10                      | 79.55 |
| พ        | 81.32                   | 87.99 | 75.77                      | 83.99 |
| ฟ        | 75.99                   | 83.10 | 72.66                      | 79.77 |
| ภ        | 77.99                   | 82.77 | 71.99                      | 82.88 |
| ม        | 73.10                   | 83.55 | 69.55                      | 78.33 |
| ย        | 75.55                   | 81.10 | 62.77                      | 74.21 |
| ร        | 65.32                   | 79.55 | 58.05                      | 73.77 |
| ล        | 59.33                   | 82.21 | 52.21                      | 76.44 |
| ว        | 80.66                   | 92.66 | 78.88                      | 91.38 |
| ศ        | 75.32                   | 89.33 | 67.55                      | 82.66 |
| ษ        | 78.88                   | 89.10 | 73.55                      | 85.32 |
| ส        | 62.21                   | 73.99 | 52.21                      | 63.05 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 75.83                   | 85.77 | 63.88                      | 80.21 |
| ฬ        | 73.33                   | 91.33 | 76.21                      | 87.55 |
| อ        | 64.99                   | 83.99 | 60.44                      | 79.54 |
| ฮ        | 66.88                   | 79.71 | 59.72                      | 77.40 |
| ฯ        | 80.44                   | 88.43 | 76.66                      | 82.88 |
| ฤ        | 76.94                   | 85.32 | 71.99                      | 80.66 |
| ฤ        | 65.82                   | 78.33 | 58.66                      | 75.33 |
| ฦ        | 76.43                   | 83.10 | 73.05                      | 80.21 |
| อ        | 94.88                   | 95.77 | 93.99                      | 95.55 |
| ๑        | 75.32                   | 85.99 | 68.51                      | 84.66 |
| ๒        | 81.99                   | 91.77 | 80.66                      | 91.55 |
| ๓        | 81.10                   | 83.33 | 74.66                      | 78.33 |
| ๔        | 66.44                   | 76.43 | 60.44                      | 67.49 |
| ๕        | 57.21                   | 83.32 | 42.88                      | 73.32 |
| ๖        | 92.88                   | 94.88 | 91.32                      | 93.10 |
| ๗        | 84.21                   | 89.99 | 78.66                      | 85.99 |
| ๘        | 64.71                   | 77.77 | 60.82                      | 66.38 |
| ๙        | 86.44                   | 85.33 | 83.33                      | 80.43 |
| ๐        | 95.55                   | 97.77 | 94.66                      | 97.32 |
| ๑        | 96.66                   | 95.77 | 94.21                      | 94.21 |
| ๒        | 97.99                   | 97.55 | 97.32                      | 97.32 |
| ๓        | 97.32                   | 98.43 | 97.10                      | 98.44 |
| ๔        | 82.21                   | 90.44 | 77.22                      | 84.71 |
| ๕        | 95.99                   | 96.66 | 94.21                      | 94.44 |
| ๖        | 68.88                   | 89.99 | 69.55                      | 83.60 |
| ๗        | 93.55                   | 92.88 | 91.32                      | 89.33 |
| ๘        | 93.99                   | 93.99 | 89.99                      | 91.10 |
| ๙        | 87.77                   | 87.77 | 86.44                      | 87.32 |
| ๐        | 83.77                   | 85.55 | 79.72                      | 83.32 |
| ๑        | 63.60                   | 74.21 | 55.55                      | 68.43 |
| ๒        | 76.66                   | 80.66 | 69.32                      | 75.55 |
| ๓        | 97.54                   | 97.77 | 97.32                      | 96.43 |
| ๔        | 91.55                   | 92.21 | 90.21                      | 93.60 |
| ๕        | 89.55                   | 93.99 | 85.99                      | 90.43 |
| ๖        | 97.32                   | 96.66 | 96.88                      | 97.10 |
| ๗        | 94.66                   | 94.21 | 93.99                      | 93.10 |
| ๘        | 96.21                   | 95.32 | 95.77                      | 95.10 |
| ๙        | 98.43                   | 97.10 | 95.77                      | 96.21 |
| ๐        | 96.44                   | 96.21 | 97.54                      | 96.88 |

ตารางที่ ข.1 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีพีซีเอ ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       | ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 86.66                   | 85.99 | 86.66                      | 85.77 | ห        | 85.32                   | 85.77 | 82.21                      | 82.21 |
| ข        | 64.43                   | 63.32 | 52.77                      | 53.88 | ท        | 92.21                   | 92.44 | 88.44                      | 89.10 |
| ช        | 83.60                   | 83.60 | 80.27                      | 79.72 | อ        | 85.33                   | 85.10 | 79.43                      | 80.22 |
| ค        | 81.55                   | 81.99 | 77.55                      | 79.16 | ย        | 81.66                   | 81.66 | 76.10                      | 80.27 |
| ค        | 83.55                   | 83.99 | 77.33                      | 77.10 | ง        | 87.10                   | 87.32 | 82.21                      | 81.10 |
| ฆ        | 87.54                   | 87.10 | 84.88                      | 84.88 | จ        | 85.10                   | 85.32 | 80.44                      | 81.10 |
| ง        | 94.88                   | 95.10 | 91.77                      | 91.55 | ฉ        | 77.99                   | 77.99 | 74.88                      | 75.10 |
| จ        | 90.44                   | 90.44 | 88.60                      | 91.47 | ฎ        | 83.77                   | 83.10 | 80.88                      | 80.66 |
| ฉ        | 92.44                   | 92.66 | 89.55                      | 89.33 | ด        | 97.77                   | 97.77 | 96.43                      | 96.43 |
| ช        | 65.82                   | 65.55 | 62.58                      | 67.22 | ด        | 85.55                   | 85.33 | 83.33                      | 83.77 |
| ช        | 76.66                   | 76.88 | 82.77                      | 82.22 | ต        | 92.88                   | 92.88 | 92.44                      | 92.44 |
| ฌ        | 93.10                   | 93.10 | 91.55                      | 91.99 | ถ        | 83.55                   | 82.88 | 80.88                      | 80.21 |
| ญ        | 92.88                   | 91.10 | 88.66                      | 88.21 | ถ        | 76.66                   | 75.99 | 63.70                      | 64.43 |
| ฎ        | 62.44                   | 61.99 | 60.83                      | 61.55 | ฐ        | 85.77                   | 85.55 | 79.55                      | 77.32 |
| ฏ        | 70.73                   | 66.66 | 73.55                      | 71.32 | บ        | 94.88                   | 94.88 | 93.10                      | 93.10 |
| ฐ        | 91.77                   | 91.99 | 88.44                      | 87.21 | ป        | 91.10                   | 90.66 | 83.33                      | 83.55 |
| ฑ        | 85.55                   | 85.55 | 81.33                      | 81.10 | พ        | 74.88                   | 74.16 | 75.18                      | 75.17 |
| ฒ        | 94.88                   | 95.10 | 92.44                      | 92.44 | ผ        | 85.10                   | 85.55 | 79.32                      | 79.10 |
| ณ        | 95.32                   | 95.32 | 91.10                      | 91.55 | ะ        | 97.99                   | 97.99 | 97.99                      | 97.99 |
| ด        | 84.71                   | 84.99 | 79.25                      | 80.54 | า        | 95.55                   | 95.32 | 94.71                      | 95.27 |
| ด        | 74.88                   | 74.44 | 67.99                      | 66.10 | ใ        | 97.55                   | 97.55 | 97.32                      | 97.32 |
| ถ        | 78.33                   | 78.60 | 70.21                      | 71.10 | แ        | 97.99                   | 97.99 | 98.44                      | 98.44 |
| ท        | 83.32                   | 84.71 | 80.66                      | 81.10 | โ        | 90.88                   | 91.55 | 85.55                      | 86.38 |
| ธ        | 82.21                   | 82.21 | 68.60                      | 67.77 | ไ        | 95.99                   | 95.77 | 93.55                      | 93.99 |
| น        | 91.33                   | 91.99 | 87.99                      | 87.77 | ใ        | 89.77                   | 89.77 | 83.33                      | 83.60 |
| บ        | 84.21                   | 83.99 | 79.10                      | 79.32 | ั        | 93.99                   | 94.21 | 90.83                      | 90.27 |
| ป        | 93.55                   | 93.77 | 88.21                      | 88.43 | า        | 92.44                   | 91.99 | 87.32                      | 87.32 |
| ผ        | 92.58                   | 92.96 | 80.66                      | 80.88 | า        | 77.99                   | 76.44 | 74.43                      | 74.21 |
| ฝ        | 89.32                   | 89.55 | 81.85                      | 82.22 | า        | 73.32                   | 75.10 | 74.06                      | 73.69 |
| พ        | 88.88                   | 88.88 | 81.66                      | 81.94 | า        | 63.60                   | 61.93 | 58.14                      | 61.77 |
| ฟ        | 91.99                   | 92.44 | 87.77                      | 87.99 | า        | 78.88                   | 77.77 | 75.33                      | 75.33 |
| ภ        | 78.33                   | 80.66 | 79.44                      | 77.33 | ิ        | 97.32                   | 97.10 | 97.49                      | 97.77 |
| ม        | 81.66                   | 81.66 | 74.16                      | 73.60 | ิ        | 90.88                   | 90.22 | 87.99                      | 87.55 |
| ย        | 80.66                   | 80.44 | 65.55                      | 64.44 | ี        | 94.21                   | 93.77 | 90.66                      | 90.66 |
| ร        | 78.61                   | 79.44 | 78.14                      | 73.32 | ิ        | 96.88                   | 96.88 | 97.54                      | 97.10 |
| ล        | 82.21                   | 82.44 | 78.21                      | 77.77 | ี        | 92.44                   | 92.22 | 90.44                      | 90.44 |
| ว        | 92.21                   | 92.21 | 91.10                      | 91.10 | ิ        | 94.88                   | 95.32 | 94.88                      | 94.66 |
| ศ        | 89.33                   | 89.10 | 82.88                      | 82.66 | ุ        | 99.32                   | 99.32 | 98.88                      | 98.21 |
| ษ        | 91.10                   | 90.21 | 86.43                      | 85.55 | ุ        | 97.77                   | 97.32 | 98.44                      | 97.77 |
| ส        | 74.21                   | 74.43 | 59.99                      | 61.48 |          |                         |       |                            |       |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ข.2 อัตราการรู้จำตัวอักษรหลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอล-เอ็มดีเอส  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       | ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 86.44                   | 86.44 | 85.55                      | 85.55 | ห        | 85.54                   | 85.77 | 81.10                      | 79.77 |
| ข        | 64.43                   | 63.69 | 53.33                      | 53.33 | ท        | 91.99                   | 92.44 | 88.21                      | 86.38 |
| ฃ        | 81.55                   | 83.33 | 80.27                      | 79.16 | อ        | 85.77                   | 85.33 | 79.71                      | 79.77 |
| ค        | 82.44                   | 82.22 | 77.32                      | 76.66 | ย        | 79.62                   | 81.66 | 76.10                      | 80.88 |
| ค        | 84.44                   | 84.21 | 77.77                      | 77.55 | ฅ        | 86.88                   | 87.10 | 81.77                      | 81.32 |
| ฅ        | 87.32                   | 87.10 | 84.66                      | 85.10 | จ        | 85.99                   | 85.55 | 79.99                      | 81.55 |
| ง        | 94.66                   | 94.88 | 91.33                      | 91.55 | ฉ        | 77.33                   | 78.66 | 75.10                      | 74.22 |
| จ        | 90.21                   | 90.66 | 88.88                      | 91.47 | ก        | 84.21                   | 83.10 | 80.88                      | 80.88 |
| ฉ        | 92.66                   | 92.66 | 89.55                      | 89.32 | ค        | 97.99                   | 97.54 | 96.43                      | 96.43 |
| ช        | 66.10                   | 66.10 | 62.96                      | 66.66 | ด        | 85.33                   | 85.33 | 83.55                      | 83.55 |
| ช        | 76.66                   | 77.33 | 82.22                      | 82.22 | ด        | 92.66                   | 92.66 | 92.88                      | 92.88 |
| ฌ        | 92.88                   | 92.88 | 91.55                      | 92.22 | ถ        | 82.88                   | 83.10 | 78.88                      | 80.44 |
| ญ        | 93.10                   | 92.66 | 88.66                      | 88.66 | ต        | 76.88                   | 76.43 | 62.59                      | 64.80 |
| ฎ        | 62.66                   | 61.77 | 62.21                      | 61.55 | ด        | 86.21                   | 85.77 | 78.88                      | 78.88 |
| ฏ        | 66.66                   | 66.66 | 73.33                      | 71.55 | บ        | 94.88                   | 94.88 | 92.88                      | 93.10 |
| ฐ        | 91.99                   | 91.99 | 86.10                      | 86.66 | ป        | 90.88                   | 91.11 | 83.10                      | 83.99 |
| ฑ        | 85.27                   | 85.27 | 81.55                      | 81.33 | ผ        | 73.60                   | 72.77 | 74.06                      | 75.92 |
| ฒ        | 94.88                   | 95.32 | 92.66                      | 92.66 | ผ        | 85.77                   | 84.88 | 79.77                      | 79.10 |
| ณ        | 95.32                   | 95.10 | 90.88                      | 91.55 | ะ        | 98.21                   | 97.77 | 97.99                      | 97.99 |
| ด        | 86.66                   | 85.27 | 79.32                      | 80.27 | า        | 95.32                   | 95.32 | 94.99                      | 94.99 |
| ด        | 74.21                   | 74.21 | 66.38                      | 66.38 | เ        | 97.32                   | 97.55 | 97.32                      | 97.32 |
| ถ        | 78.88                   | 78.33 | 70.88                      | 70.88 | แ        | 97.99                   | 97.99 | 98.44                      | 98.44 |
| ท        | 83.10                   | 85.27 | 80.88                      | 80.44 | โ        | 91.10                   | 91.33 | 83.77                      | 86.10 |
| ธ        | 83.33                   | 82.21 | 68.60                      | 67.77 | ไ        | 95.99                   | 95.77 | 93.55                      | 93.77 |
| น        | 91.33                   | 91.77 | 88.21                      | 87.55 | ใ        | 90.21                   | 89.32 | 83.88                      | 83.60 |
| บ        | 83.77                   | 83.77 | 78.88                      | 78.88 | อ        | 94.21                   | 94.43 | 91.38                      | 93.33 |
| ป        | 93.77                   | 93.55 | 88.21                      | 88.43 | า        | 92.88                   | 92.21 | 87.77                      | 87.55 |
| ผ        | 92.58                   | 93.33 | 81.10                      | 80.66 | า        | 78.66                   | 76.44 | 74.66                      | 75.10 |
| ฝ        | 89.77                   | 89.33 | 82.22                      | 82.22 | า        | 74.43                   | 74.66 | 72.95                      | 74.06 |
| พ        | 88.43                   | 88.66 | 82.22                      | 81.38 | า        | 63.60                   | 62.21 | 60.27                      | 62.43 |
| ฟ        | 92.88                   | 92.88 | 87.77                      | 87.77 | า        | 78.66                   | 78.44 | 74.66                      | 75.10 |
| ภ        | 80.21                   | 81.10 | 77.77                      | 76.66 | ั        | 97.54                   | 97.32 | 97.49                      | 97.77 |
| ม        | 82.21                   | 82.95 | 74.44                      | 74.16 | อ        | 90.21                   | 90.44 | 88.21                      | 87.55 |
| ย        | 80.66                   | 80.44 | 64.99                      | 64.44 | อ        | 94.88                   | 93.33 | 90.66                      | 90.88 |
| ร        | 78.88                   | 78.88 | 75.55                      | 73.32 | *        | 96.88                   | 96.88 | 97.54                      | 96.88 |
| ล        | 82.66                   | 82.66 | 78.21                      | 78.43 | ะ        | 92.66                   | 92.44 | 89.99                      | 90.21 |
| ว        | 92.22                   | 91.99 | 91.10                      | 91.10 | อ        | 95.10                   | 95.54 | 94.66                      | 94.88 |
| ศ        | 89.99                   | 89.10 | 83.10                      | 82.66 | ง        | 98.66                   | 98.66 | 97.10                      | 97.77 |
| ษ        | 90.44                   | 90.44 | 85.99                      | 86.21 | ช        | 97.99                   | 97.10 | 96.66                      | 96.66 |
| ส        | 75.10                   | 74.21 | 60.73                      | 58.88 |          |                         |       |                            |       |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ข.3 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอลดีเอ  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       | ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 80.83                   | 82.44 | 81.99                      | 78.60 | ห        | 79.10                   | 77.10 | 69.99                      | 77.39 |
| ข        | 58.33                   | 48.88 | 54.44                      | 55.55 | พ        | 87.33                   | 86.66 | 77.40                      | 76.29 |
| ฃ        | 81.77                   | 81.99 | 73.70                      | 79.55 | อ        | 77.49                   | 73.88 | 72.77                      | 74.99 |
| ค        | 81.10                   | 77.99 | 73.70                      | 74.21 | ย        | 73.32                   | 73.05 | 71.94                      | 69.16 |
| ค        | 74.81                   | 81.10 | 71.85                      | 71.77 | ฅ        | 84.66                   | 85.55 | 81.54                      | 79.32 |
| ฅ        | 84.44                   | 82.44 | 80.88                      | 78.88 | จ        | 82.22                   | 83.55 | 76.94                      | 76.66 |
| ง        | 94.44                   | 93.77 | 90.21                      | 89.55 | ฉ        | 75.33                   | 74.21 | 66.29                      | 67.22 |
| จ        | 82.66                   | 81.32 | 77.77                      | 77.77 | ช        | 81.10                   | 82.44 | 86.10                      | 85.55 |
| ฉ        | 86.66                   | 85.32 | 83.99                      | 83.99 | ฌ        | 96.66                   | 97.32 | 96.21                      | 97.32 |
| ช        | 64.44                   | 72.22 | 70.00                      | 62.96 | ด        | 84.21                   | 85.55 | 81.10                      | 80.44 |
| ฌ        | 77.03                   | 73.60 | 67.55                      | 70.36 | ต        | 89.55                   | 87.77 | 86.21                      | 87.99 |
| ด        | 88.88                   | 86.88 | 83.77                      | 83.55 | ถ        | 83.32                   | 79.16 | 73.05                      | 76.43 |
| ต        | 85.32                   | 83.99 | 81.77                      | 79.10 | ท        | 69.71                   | 67.99 | 65.10                      | 63.55 |
| ถ        | 59.10                   | 57.32 | 55.10                      | 61.47 | ฑ        | 72.21                   | 73.10 | 66.10                      | 67.22 |
| ท        | 53.33                   | 64.80 | 72.95                      | 64.71 | ฒ        | 94.88                   | 92.66 | 91.33                      | 89.99 |
| ฑ        | 83.77                   | 86.88 | 80.21                      | 77.77 | ณ        | 87.77                   | 88.21 | 79.44                      | 79.44 |
| ฒ        | 86.88                   | 85.99 | 81.77                      | 83.77 | น        | 57.40                   | 55.55 | 53.32                      | 64.99 |
| ณ        | 89.77                   | 90.88 | 87.77                      | 87.32 | ด        | 83.55                   | 82.21 | 78.66                      | 77.77 |
| ด        | 87.77                   | 86.66 | 82.66                      | 82.44 | น        | 95.33                   | 95.32 | 93.55                      | 92.44 |
| ด        | 78.66                   | 79.55 | 74.16                      | 76.88 | า        | 95.77                   | 95.54 | 95.10                      | 93.77 |
| ด        | 71.47                   | 65.10 | 61.66                      | 60.66 | ใ        | 97.55                   | 97.77 | 97.10                      | 96.88 |
| ด        | 74.06                   | 75.55 | 62.44                      | 59.44 | แ        | 98.21                   | 97.54 | 97.54                      | 96.88 |
| ท        | 82.44                   | 84.43 | 80.43                      | 78.88 | โ        | 83.99                   | 84.21 | 76.38                      | 73.77 |
| ธ        | 69.99                   | 65.27 | 53.88                      | 51.94 | ไ        | 94.66                   | 92.88 | 90.88                      | 89.77 |
| น        | 87.32                   | 85.77 | 84.71                      | 80.43 | ใ        | 81.10                   | 82.21 | 80.44                      | 77.77 |
| บ        | 80.44                   | 80.66 | 76.88                      | 72.22 | ั        | 84.99                   | 81.38 | 81.66                      | 81.93 |
| ป        | 93.10                   | 93.55 | 89.32                      | 88.88 | ฌ        | 83.60                   | 85.10 | 80.66                      | 78.66 |
| ผ        | 87.49                   | 89.25 | 78.43                      | 77.33 | ฌ        | 67.49                   | 61.94 | 64.44                      | 66.66 |
| ฝ        | 87.55                   | 86.43 | 83.55                      | 82.21 | ฌ        | 62.77                   | 61.66 | 64.06                      | 64.71 |
| พ        | 86.43                   | 86.43 | 82.21                      | 82.66 | ฌ        | 58.88                   | 57.99 | 39.99                      | 48.88 |
| ฟ        | 89.77                   | 88.88 | 83.77                      | 82.77 | ฌ        | 68.51                   | 72.77 | 63.77                      | 62.21 |
| ภ        | 79.55                   | 77.99 | 75.55                      | 73.33 | '        | 95.10                   | 95.99 | 98.32                      | 97.77 |
| ม        | 73.55                   | 74.88 | 74.06                      | 72.21 | ๖        | 84.88                   | 83.77 | 88.14                      | 87.77 |
| ย        | 75.55                   | 75.55 | 64.66                      | 64.21 | ๗        | 83.77                   | 80.83 | 81.94                      | 72.77 |
| ร        | 66.88                   | 67.99 | 63.55                      | 63.05 | *        | 95.55                   | 95.99 | 94.21                      | 93.54 |
| ล        | 74.66                   | 75.10 | 71.99                      | 69.54 | ๘        | 84.44                   | 87.55 | 83.99                      | 84.66 |
| ว        | 89.55                   | 88.88 | 89.16                      | 88.32 | ๙        | 92.44                   | 91.55 | 92.66                      | 91.55 |
| ศ        | 85.55                   | 84.88 | 76.22                      | 76.66 | ๑        | 89.55                   | 66.29 | 87.55                      | 52.77 |
| ษ        | 84.88                   | 81.99 | 79.10                      | 76.88 | ๒        | 89.99                   | 70.55 | 87.99                      | 55.55 |
| ส        | 67.21                   | 63.33 | 54.22                      | 49.62 |          |                         |       |                            |       |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ข.4 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอลพีที  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       | ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 80.44                   | 82.21 | 86.11                      | 88.88 | ห        | 78.44                   | 81.10 | 71.10                      | 73.33 |
| ข        | 54.99                   | 54.44 | 60.21                      | 56.94 | ท        | 83.33                   | 89.32 | 80.73                      | 75.55 |
| ช        | 79.55                   | 83.88 | 76.44                      | 75.82 | อ        | 76.94                   | 77.49 | 70.66                      | 71.10 |
| ค        | 78.21                   | 79.55 | 75.99                      | 76.66 | ย        | 78.66                   | 78.88 | 71.10                      | 75.10 |
| ค        | 80.27                   | 81.10 | 77.77                      | 77.21 | ช        | 79.99                   | 81.55 | 77.33                      | 77.55 |
| ฆ        | 85.10                   | 84.21 | 79.55                      | 80.88 | ญ        | 81.77                   | 83.55 | 75.10                      | 77.10 |
| ง        | 91.32                   | 91.99 | 89.33                      | 89.55 | ถ        | 76.21                   | 77.99 | 72.49                      | 76.66 |
| จ        | 87.55                   | 88.21 | 83.77                      | 83.55 | ฎ        | 81.99                   | 81.77 | 78.22                      | 79.55 |
| ฉ        | 85.55                   | 85.27 | 83.55                      | 85.55 | ด        | 97.32                   | 96.66 | 95.99                      | 95.77 |
| ช        | 58.66                   | 61.33 | 57.49                      | 58.88 | ด        | 83.99                   | 82.88 | 82.21                      | 83.55 |
| ช        | 69.16                   | 70.83 | 74.99                      | 78.14 | ต        | 88.88                   | 89.77 | 88.21                      | 89.55 |
| ฌ        | 87.77                   | 88.21 | 85.55                      | 85.55 | ถ        | 79.99                   | 80.88 | 78.66                      | 76.66 |
| ญ        | 87.49                   | 89.10 | 82.66                      | 85.10 | ศ        | 70.44                   | 70.21 | 63.55                      | 57.40 |
| ฎ        | 57.10                   | 55.99 | 54.44                      | 55.92 | ศ        | 79.55                   | 79.10 | 71.32                      | 67.77 |
| ฎ        | 67.77                   | 68.14 | 66.21                      | 69.77 | บ        | 92.88                   | 91.55 | 92.66                      | 90.88 |
| ฐ        | 88.88                   | 91.77 | 85.77                      | 82.77 | บ        | 87.55                   | 86.66 | 79.72                      | 79.71 |
| ฑ        | 84.21                   | 84.44 | 80.21                      | 80.43 | ผ        | 65.99                   | 65.77 | 63.88                      | 58.88 |
| ฒ        | 92.66                   | 92.43 | 89.55                      | 91.66 | ผ        | 80.88                   | 82.66 | 72.88                      | 73.10 |
| ณ        | 87.77                   | 89.99 | 85.77                      | 88.21 | ะ        | 94.16                   | 95.10 | 94.44                      | 93.99 |
| ด        | 80.44                   | 80.66 | 80.66                      | 76.93 | า        | 95.77                   | 94.88 | 93.77                      | 93.99 |
| ด        | 72.22                   | 73.77 | 67.55                      | 63.70 | เ        | 96.66                   | 96.88 | 96.44                      | 96.66 |
| ถ        | 72.66                   | 71.55 | 62.58                      | 67.99 | แ        | 98.21                   | 97.77 | 97.77                      | 97.77 |
| ท        | 80.21                   | 82.21 | 76.88                      | 77.33 | โ        | 85.99                   | 85.55 | 77.99                      | 79.99 |
| ธ        | 70.73                   | 74.44 | 61.10                      | 56.66 | ไ        | 93.77                   | 92.88 | 90.21                      | 90.88 |
| น        | 86.88                   | 86.66 | 83.32                      | 83.05 | ใ        | 85.55                   | 87.55 | 78.60                      | 79.62 |
| บ        | 78.66                   | 79.10 | 71.94                      | 72.49 | อ        | 93.10                   | 93.32 | 87.32                      | 90.27 |
| ป        | 91.38                   | 90.66 | 86.88                      | 86.88 | า        | 87.99                   | 86.66 | 83.55                      | 83.32 |
| ผ        | 87.40                   | 88.51 | 70.36                      | 75.77 | า        | 75.33                   | 76.66 | 72.49                      | 73.32 |
| ฝ        | 87.99                   | 87.77 | 78.14                      | 83.99 | า        | 73.55                   | 73.99 | 64.44                      | 64.44 |
| พ        | 86.66                   | 85.77 | 79.77                      | 81.93 | า        | 65.32                   | 69.16 | 57.77                      | 55.54 |
| ฟ        | 90.21                   | 87.21 | 85.55                      | 86.21 | า        | 71.10                   | 69.77 | 65.99                      | 68.60 |
| ภ        | 77.77                   | 79.71 | 73.55                      | 75.55 | ั        | 96.21                   | 96.43 | 96.21                      | 98.04 |
| ม        | 75.77                   | 75.55 | 70.27                      | 64.06 | ุ        | 91.77                   | 89.99 | 83.05                      | 86.44 |
| ย        | 77.77                   | 77.77 | 63.05                      | 64.81 | ู        | 93.10                   | 93.55 | 89.10                      | 85.18 |
| ร        | 70.21                   | 69.77 | 67.10                      | 68.44 | *        | 95.10                   | 95.55 | 96.21                      | 95.77 |
| ล        | 79.33                   | 79.10 | 73.33                      | 70.55 | ุ        | 91.33                   | 92.44 | 89.55                      | 89.33 |
| ว        | 89.10                   | 88.66 | 84.71                      | 86.93 | ุ        | 94.44                   | 94.66 | 95.77                      | 94.88 |
| ศ        | 84.21                   | 83.55 | 75.55                      | 73.60 | ง        | 97.99                   | 98.66 | 95.77                      | 98.66 |
| ษ        | 85.77                   | 86.88 | 79.44                      | 77.03 | ช        | 97.77                   | 96.43 | 95.55                      | 95.55 |
| ส        | 69.55                   | 70.66 | 54.44                      | 51.84 |          |                         |       |                            |       |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท



ตารางที่ ข.5 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอลดีอี  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       | ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 85.99                   | 85.55 | 86.38                      | 90.88 | ห        | 85.99                   | 84.44 | 75.55                      | 77.21 |
| ข        | 64.44                   | 65.55 | 60.27                      | 55.92 | พ        | 91.32                   | 92.43 | 82.96                      | 81.11 |
| ฃ        | 81.99                   | 81.99 | 79.10                      | 78.88 | อ        | 84.44                   | 83.33 | 79.99                      | 78.32 |
| ค        | 84.66                   | 82.66 | 76.88                      | 77.49 | ย        | 78.88                   | 71.11 | 78.88                      | 78.88 |
| ช        | 81.55                   | 82.44 | 81.10                      | 79.71 | ๕        | 84.21                   | 85.32 | 80.44                      | 80.55 |
| ฅ        | 87.77                   | 88.66 | 85.32                      | 82.77 | ๖        | 85.32                   | 85.55 | 78.88                      | 77.49 |
| ง        | 94.21                   | 94.66 | 91.77                      | 94.44 | ๗        | 75.27                   | 77.99 | 74.88                      | 75.83 |
| จ        | 88.44                   | 88.66 | 89.25                      | 85.27 | ๘        | 84.43                   | 84.88 | 81.55                      | 79.71 |
| ฉ        | 92.44                   | 91.99 | 89.10                      | 87.49 | ๙        | 97.32                   | 97.54 | 97.10                      | 98.44 |
| ช        | 64.22                   | 62.43 | 59.25                      | 66.66 | ๑๐       | 86.43                   | 87.10 | 84.66                      | 83.88 |
| ฌ        | 78.88                   | 77.10 | 76.94                      | 75.17 | ๑๑       | 91.32                   | 91.10 | 91.10                      | 90.83 |
| ฎ        | 91.77                   | 91.99 | 89.55                      | 88.05 | ๑๒       | 85.27                   | 84.99 | 75.55                      | 79.16 |
| ญ        | 92.44                   | 92.44 | 87.32                      | 86.66 | ๑๓       | 75.77                   | 74.21 | 65.27                      | 58.88 |
| ฎ        | 62.44                   | 60.44 | 61.77                      | 60.55 | ๑๔       | 82.66                   | 85.10 | 74.99                      | 80.36 |
| ฏ        | 72.22                   | 71.77 | 72.44                      | 71.11 | ๑๕       | 93.99                   | 93.99 | 92.88                      | 93.99 |
| ฐ        | 93.10                   | 91.99 | 86.88                      | 85.55 | ๑๖       | 89.55                   | 89.55 | 81.93                      | 81.38 |
| ฑ        | 86.66                   | 87.10 | 82.21                      | 80.82 | ๑๗       | 71.55                   | 72.21 | 70.55                      | 61.10 |
| ฒ        | 95.32                   | 93.99 | 92.66                      | 93.99 | ๑๘       | 83.10                   | 83.10 | 76.44                      | 78.88 |
| ณ        | 91.33                   | 93.33 | 88.21                      | 88.32 | ๑๙       | 97.10                   | 96.88 | 96.21                      | 96.21 |
| ด        | 84.43                   | 83.55 | 82.77                      | 77.21 | ๒๐       | 95.10                   | 94.88 | 93.32                      | 95.10 |
| ต        | 73.10                   | 75.32 | 70.44                      | 72.21 | ๒๑       | 96.66                   | 97.10 | 96.66                      | 97.77 |
| ถ        | 75.99                   | 75.99 | 69.32                      | 68.33 | ๒๒       | 98.88                   | 98.88 | 98.88                      | 98.66 |
| ท        | 87.40                   | 86.66 | 81.10                      | 78.32 | ๒๓       | 89.32                   | 89.55 | 83.88                      | 83.33 |
| ธ        | 79.44                   | 73.88 | 62.66                      | 61.38 | ๒๔       | 94.88                   | 94.66 | 91.99                      | 92.49 |
| น        | 89.77                   | 88.88 | 85.99                      | 86.94 | ๒๕       | 87.55                   | 87.77 | 81.94                      | 82.96 |
| บ        | 82.66                   | 82.88 | 78.66                      | 75.17 | ๒๖       | 92.88                   | 91.99 | 90.82                      | 90.27 |
| ป        | 93.33                   | 93.33 | 88.44                      | 89.43 | ๒๗       | 90.88                   | 89.10 | 85.99                      | 86.21 |
| ผ        | 90.73                   | 90.73 | 80.88                      | 78.14 | ๒๘       | 81.77                   | 77.21 | 76.43                      | 77.55 |
| ฝ        | 87.33                   | 87.99 | 85.33                      | 85.55 | ๒๙       | 76.21                   | 80.73 | 76.66                      | 70.55 |
| พ        | 88.43                   | 87.77 | 83.77                      | 82.22 | ๓๐       | 68.21                   | 64.43 | 65.83                      | 61.38 |
| ฟ        | 90.88                   | 90.21 | 87.77                      | 86.94 | ๓๑       | 72.21                   | 72.88 | 76.29                      | 72.43 |
| ภ        | 85.27                   | 83.60 | 78.66                      | 76.38 | ๓๒       | 97.32                   | 96.88 | 98.05                      | 98.04 |
| ม        | 79.71                   | 77.99 | 74.88                      | 71.85 | ๓๓       | 91.33                   | 90.88 | 87.10                      | 85.99 |
| ย        | 80.21                   | 78.44 | 65.55                      | 64.43 | ๓๔       | 93.33                   | 93.77 | 84.99                      | 86.93 |
| ร        | 76.66                   | 76.94 | 71.10                      | 68.88 | ๓๕       | 96.66                   | 97.10 | 96.21                      | 95.99 |
| ล        | 85.77                   | 82.44 | 79.33                      | 79.99 | ๓๖       | 91.33                   | 92.66 | 90.21                      | 89.77 |
| ว        | 92.88                   | 91.33 | 89.71                      | 92.22 | ๓๗       | 95.32                   | 95.55 | 96.21                      | 95.99 |
| ศ        | 87.55                   | 88.44 | 81.55                      | 81.94 | ๓๘       | 98.66                   | 98.88 | 98.21                      | 98.66 |
| ษ        | 89.99                   | 90.21 | 82.77                      | 82.58 | ๓๙       | 97.10                   | 97.32 | 96.88                      | 96.43 |
| ส        | 75.33                   | 74.44 | 62.49                      | 59.16 |          |                         |       |                            |       |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ข.6 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีดีเอ็นอี  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       | ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 88.44                   | 86.88 | 89.16                      | 88.60 | ห        | 87.55                   | 85.55 | 78.04                      | 83.05 |
| ข        | 64.43                   | 66.10 | 56.38                      | 58.60 | ท        | 91.99                   | 91.55 | 84.44                      | 84.44 |
| ช        | 80.88                   | 83.05 | 79.71                      | 77.77 | อ        | 86.21                   | 85.77 | 85.27                      | 79.99 |
| ค        | 82.22                   | 81.77 | 76.38                      | 76.44 | ย        | 81.94                   | 80.83 | 77.22                      | 81.99 |
| ค        | 85.10                   | 83.77 | 78.32                      | 78.66 | ย        | 87.10                   | 86.66 | 80.44                      | 81.77 |
| ฆ        | 87.99                   | 87.32 | 82.22                      | 85.32 | ง        | 85.76                   | 85.77 | 79.10                      | 78.60 |
| ง        | 94.66                   | 94.88 | 92.21                      | 92.44 | ถ        | 75.27                   | 78.44 | 75.10                      | 73.77 |
| จ        | 89.99                   | 90.44 | 90.37                      | 92.21 | ฎ        | 84.44                   | 83.99 | 81.66                      | 80.88 |
| ฉ        | 92.66                   | 93.10 | 88.88                      | 88.88 | ด        | 97.99                   | 97.99 | 96.88                      | 95.99 |
| ช        | 64.16                   | 68.21 | 67.77                      | 66.66 | ด        | 86.21                   | 85.55 | 85.10                      | 85.10 |
| ช        | 76.22                   | 76.66 | 75.92                      | 78.14 | ต        | 92.21                   | 92.88 | 91.10                      | 92.66 |
| ฌ        | 91.77                   | 92.88 | 90.22                      | 91.11 | ถ        | 83.55                   | 83.77 | 76.66                      | 80.44 |
| ญ        | 92.88                   | 92.44 | 83.33                      | 88.44 | ศ        | 75.10                   | 77.10 | 63.55                      | 64.80 |
| ฎ        | 65.33                   | 63.99 | 65.32                      | 60.55 | ศ        | 84.66                   | 85.32 | 75.55                      | 77.77 |
| ฏ        | 71.84                   | 67.22 | 66.21                      | 71.77 | บ        | 93.33                   | 94.88 | 91.77                      | 93.10 |
| ฐ        | 91.10                   | 92.21 | 84.21                      | 87.33 | บ        | 90.66                   | 90.66 | 84.16                      | 81.10 |
| ฑ        | 87.10                   | 85.82 | 82.49                      | 79.99 | ป        | 75.10                   | 74.88 | 72.21                      | 71.10 |
| ฒ        | 94.88                   | 95.99 | 92.22                      | 92.44 | ป        | 83.99                   | 84.66 | 79.99                      | 79.33 |
| ณ        | 94.66                   | 95.54 | 90.44                      | 91.55 | ะ        | 97.99                   | 98.21 | 97.10                      | 97.77 |
| ด        | 84.44                   | 83.99 | 78.44                      | 78.88 | า        | 94.66                   | 95.32 | 93.54                      | 95.27 |
| ด        | 74.66                   | 73.99 | 67.55                      | 68.44 | เ        | 97.10                   | 97.55 | 96.66                      | 97.10 |
| ถ        | 78.33                   | 81.10 | 76.93                      | 71.33 | แ        | 98.21                   | 98.43 | 98.21                      | 98.44 |
| ท        | 86.10                   | 83.10 | 80.88                      | 80.66 | โ        | 90.21                   | 91.10 | 82.49                      | 85.55 |
| ธ        | 82.77                   | 81.66 | 68.05                      | 68.32 | ไ        | 95.54                   | 95.32 | 92.88                      | 94.44 |
| น        | 92.44                   | 92.22 | 85.99                      | 87.10 | ใ        | 88.66                   | 89.54 | 82.21                      | 83.32 |
| บ        | 84.21                   | 83.99 | 75.55                      | 77.77 | อ        | 94.21                   | 94.21 | 89.99                      | 92.58 |
| ป        | 92.88                   | 93.33 | 88.44                      | 87.77 | า        | 90.88                   | 92.88 | 86.21                      | 89.55 |
| ผ        | 93.33                   | 92.58 | 81.99                      | 81.32 | า        | 79.32                   | 77.32 | 76.88                      | 77.77 |
| ฝ        | 90.66                   | 89.55 | 82.58                      | 84.72 | า        | 76.43                   | 75.55 | 77.77                      | 75.55 |
| พ        | 89.10                   | 88.88 | 82.49                      | 81.38 | า        | 68.88                   | 63.88 | 61.99                      | 61.38 |
| ฟ        | 91.99                   | 91.10 | 86.44                      | 87.77 | า        | 78.88                   | 80.82 | 69.44                      | 73.55 |
| ภ        | 81.99                   | 79.44 | 78.66                      | 77.99 | ั        | 95.99                   | 97.32 | 97.21                      | 97.77 |
| ม        | 83.88                   | 83.32 | 74.44                      | 75.27 | ุ        | 91.55                   | 91.55 | 88.43                      | 88.66 |
| ย        | 81.10                   | 80.66 | 60.00                      | 60.00 | ู        | 93.99                   | 94.44 | 88.04                      | 89.32 |
| ร        | 78.88                   | 77.77 | 76.66                      | 76.10 | *        | 96.88                   | 96.66 | 96.66                      | 97.10 |
| ล        | 85.55                   | 83.10 | 78.43                      | 74.81 | ุ        | 92.44                   | 92.22 | 91.54                      | 91.10 |
| ว        | 92.44                   | 92.22 | 91.10                      | 91.38 | ุ        | 94.44                   | 95.55 | 94.88                      | 94.21 |
| ศ        | 90.83                   | 90.21 | 79.54                      | 82.21 | ง        | 97.32                   | 98.88 | 98.44                      | 99.10 |
| ษ        | 89.77                   | 90.66 | 83.77                      | 85.10 | ช        | 96.21                   | 96.21 | 95.32                      | 95.32 |
| ส        | 73.99                   | 75.32 | 59.99                      | 61.77 |          |                         |       |                            |       |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ข.7 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอล-ไอโซแมป ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียว

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       | ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 55.18                   | 53.60 | 65.55                      | 60.36 | ห        | 52.88                   | 56.66 | 49.33                      | 44.44 |
| ข        | 38.88                   | 36.44 | 42.21                      | 38.21 | พ        | 65.55                   | 63.99 | 56.29                      | 59.99 |
| ช        | 61.77                   | 62.49 | 59.10                      | 55.55 | อ        | 61.84                   | 56.44 | 52.49                      | 60.55 |
| ค        | 49.55                   | 48.44 | 46.44                      | 45.10 | ย        | 51.38                   | 42.88 | 34.81                      | 39.25 |
| ค        | 56.10                   | 55.55 | 55.77                      | 51.66 | ย        | 68.04                   | 63.05 | 61.99                      | 56.21 |
| ฃ        | 67.99                   | 64.43 | 66.22                      | 59.99 | ง        | 55.99                   | 59.77 | 58.21                      | 50.36 |
| ง        | 81.10                   | 71.99 | 75.33                      | 69.10 | ฅ        | 52.66                   | 54.66 | 52.49                      | 54.99 |
| จ        | 71.38                   | 66.10 | 61.66                      | 61.55 | ฆ        | 63.55                   | 63.99 | 62.49                      | 65.99 |
| ฉ        | 73.55                   | 69.99 | 70.43                      | 62.59 | ค        | 90.88                   | 87.77 | 90.44                      | 83.10 |
| ช        | 40.88                   | 40.44 | 37.33                      | 40.54 | ด        | 66.88                   | 65.10 | 60.27                      | 58.43 |
| ช        | 49.99                   | 52.44 | 42.22                      | 47.32 | ด        | 79.77                   | 74.66 | 76.21                      | 68.88 |
| ฅ        | 69.10                   | 69.99 | 67.55                      | 64.66 | ด        | 63.99                   | 66.11 | 63.10                      | 55.77 |
| ฆ        | 66.38                   | 61.55 | 59.99                      | 58.60 | ด        | 42.66                   | 40.66 | 34.66                      | 45.91 |
| ง        | 42.66                   | 38.88 | 40.21                      | 39.71 | ด        | 53.32                   | 53.99 | 54.44                      | 51.33 |
| จ        | 49.99                   | 54.44 | 48.88                      | 52.21 | ด        | 78.66                   | 75.99 | 77.77                      | 75.55 |
| ฐ        | 77.55                   | 72.44 | 70.66                      | 70.66 | ด        | 67.40                   | 61.10 | 58.66                      | 47.22 |
| ท        | 67.40                   | 67.99 | 72.49                      | 63.10 | ด        | 39.99                   | 46.94 | 37.99                      | 37.40 |
| ฑ        | 77.55                   | 73.99 | 77.77                      | 76.66 | ด        | 57.77                   | 58.22 | 45.27                      | 42.96 |
| ฒ        | 77.33                   | 73.55 | 73.60                      | 69.77 | ด        | 76.10                   | 80.43 | 83.77                      | 75.18 |
| ด        | 58.44                   | 60.88 | 52.49                      | 50.27 | ด        | 77.10                   | 81.10 | 86.29                      | 78.60 |
| ด        | 41.10                   | 49.55 | 51.66                      | 46.21 | ด        | 90.44                   | 86.21 | 90.43                      | 86.21 |
| ด        | 50.66                   | 49.77 | 53.05                      | 45.99 | ด        | 86.88                   | 89.99 | 88.44                      | 85.55 |
| ท        | 57.77                   | 53.99 | 60.44                      | 58.21 | ด        | 60.73                   | 63.05 | 56.38                      | 55.27 |
| ธ        | 47.77                   | 37.55 | 36.43                      | 40.54 | ด        | 80.43                   | 77.77 | 69.99                      | 54.44 |
| น        | 67.77                   | 66.44 | 65.55                      | 65.83 | ด        | 62.66                   | 58.43 | 48.88                      | 55.55 |
| บ        | 59.55                   | 59.32 | 54.07                      | 61.84 | ด        | 71.66                   | 67.77 | 64.71                      | 64.88 |
| ป        | 75.32                   | 69.10 | 77.40                      | 69.72 | ด        | 71.32                   | 60.88 | 65.10                      | 68.32 |
| ผ        | 71.10                   | 63.32 | 60.55                      | 57.55 | ด        | 52.22                   | 51.99 | 49.72                      | 47.33 |
| ผ        | 63.88                   | 70.66 | 68.66                      | 62.22 | ด        | 54.71                   | 54.43 | 46.88                      | 51.94 |
| พ        | 71.55                   | 68.21 | 71.32                      | 70.27 | ด        | 44.99                   | 45.27 | 39.77                      | 41.32 |
| ฟ        | 73.32                   | 66.88 | 58.88                      | 63.33 | ด        | 55.55                   | 55.27 | 50.66                      | 42.21 |
| ภ        | 63.33                   | 61.66 | 60.83                      | 56.66 | ด        | 91.99                   | 88.66 | 94.44                      | 91.11 |
| ม        | 60.21                   | 57.32 | 51.66                      | 51.32 | ด        | 70.66                   | 69.72 | 66.88                      | 59.72 |
| ย        | 53.55                   | 53.77 | 52.49                      | 55.32 | ด        | 75.99                   | 66.22 | 72.22                      | 71.10 |
| ร        | 42.21                   | 39.99 | 35.82                      | 43.10 | ด        | 91.99                   | 87.99 | 89.55                      | 77.22 |
| ล        | 49.62                   | 47.10 | 43.99                      | 42.22 | ด        | 74.21                   | 74.66 | 77.77                      | 72.49 |
| ว        | 73.32                   | 64.99 | 69.71                      | 77.03 | ด        | 88.66                   | 82.44 | 92.21                      | 84.43 |
| ศ        | 50.66                   | 47.77 | 39.16                      | 47.21 | ด        | 93.60                   | 89.99 | 95.92                      | 90.44 |
| ษ        | 63.33                   | 58.44 | 59.16                      | 56.29 | ด        | 94.99                   | 85.55 | 91.10                      | 87.77 |
| ส        | 29.10                   | 38.51 | 29.16                      | 29.72 |          |                         |       |                            |       |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ค.1 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีพีซีเอ ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 86.21                   | 85.55 | 85.10                      | 84.88 |
| ข        | 64.43                   | 66.38 | 60.88                      | 59.44 |
| ฃ        | 81.55                   | 81.99 | 77.55                      | 77.99 |
| ค        | 82.22                   | 83.10 | 76.88                      | 76.88 |
| ค        | 83.32                   | 83.55 | 77.55                      | 77.99 |
| ฅ        | 87.77                   | 86.88 | 84.88                      | 84.44 |
| ง        | 94.88                   | 95.10 | 91.77                      | 91.55 |
| จ        | 90.44                   | 90.44 | 88.60                      | 89.16 |
| ฉ        | 92.44                   | 92.66 | 89.55                      | 89.33 |
| ช        | 65.27                   | 65.82 | 61.93                      | 67.77 |
| ช        | 75.99                   | 75.99 | 78.51                      | 78.88 |
| ฌ        | 93.33                   | 93.10 | 91.55                      | 91.33 |
| ญ        | 92.22                   | 92.21 | 88.44                      | 87.99 |
| ฎ        | 61.77                   | 64.88 | 59.10                      | 60.21 |
| ฏ        | 69.71                   | 68.88 | 73.77                      | 71.99 |
| ฐ        | 91.77                   | 91.99 | 88.44                      | 88.88 |
| ฑ        | 86.44                   | 86.88 | 80.22                      | 79.99 |
| ฒ        | 95.32                   | 95.54 | 92.44                      | 92.66 |
| ณ        | 94.66                   | 95.10 | 91.33                      | 91.33 |
| ด        | 84.72                   | 84.72 | 78.88                      | 78.44 |
| ด        | 74.21                   | 74.66 | 68.21                      | 69.54 |
| ถ        | 77.77                   | 77.10 | 70.21                      | 71.10 |
| ท        | 82.43                   | 83.77 | 81.55                      | 81.10 |
| ธ        | 78.51                   | 78.51 | 66.88                      | 68.05 |
| น        | 91.33                   | 91.99 | 87.99                      | 87.77 |
| บ        | 83.99                   | 83.99 | 78.88                      | 79.77 |
| ป        | 93.55                   | 93.33 | 87.77                      | 88.21 |
| ผ        | 92.96                   | 93.33 | 80.88                      | 81.32 |
| ฝ        | 89.77                   | 89.32 | 81.48                      | 86.44 |
| พ        | 88.66                   | 88.43 | 80.83                      | 81.11 |
| ฟ        | 91.55                   | 91.99 | 84.99                      | 85.55 |
| ภ        | 80.66                   | 80.88 | 77.99                      | 76.88 |
| ม        | 80.22                   | 80.44 | 74.71                      | 74.16 |
| ย        | 80.44                   | 80.66 | 66.29                      | 66.29 |
| ร        | 77.11                   | 79.72 | 72.44                      | 73.33 |
| ล        | 82.21                   | 82.44 | 78.21                      | 77.77 |
| ว        | 92.21                   | 92.21 | 91.10                      | 91.10 |
| ศ        | 89.33                   | 89.33 | 83.33                      | 83.10 |
| ษ        | 91.10                   | 90.21 | 86.43                      | 85.55 |
| ส        | 73.99                   | 73.99 | 64.43                      | 65.27 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 85.32                   | 85.77 | 79.99                      | 79.77 |
| ฬ        | 92.21                   | 92.44 | 88.44                      | 89.10 |
| อ        | 85.55                   | 84.88 | 78.66                      | 80.88 |
| ฮ        | 81.38                   | 81.99 | 80.44                      | 80.22 |
| ๑        | 86.88                   | 86.88 | 81.54                      | 80.66 |
| ๒        | 85.10                   | 85.32 | 80.66                      | 81.10 |
| ๓        | 78.21                   | 77.99 | 74.88                      | 75.33 |
| ๔        | 83.10                   | 82.66 | 79.99                      | 79.55 |
| ๕        | 96.88                   | 97.54 | 97.10                      | 96.88 |
| ๖        | 85.55                   | 85.33 | 83.33                      | 83.77 |
| ๗        | 92.88                   | 92.88 | 92.44                      | 92.44 |
| ๘        | 83.55                   | 82.88 | 80.88                      | 80.21 |
| ๙        | 74.44                   | 74.66 | 64.43                      | 64.43 |
| ๐        | 87.32                   | 86.88 | 79.10                      | 78.21 |
| ๑        | 94.88                   | 94.88 | 93.10                      | 93.10 |
| ๒        | 91.33                   | 90.44 | 82.21                      | 83.10 |
| ๓        | 73.10                   | 73.99 | 75.17                      | 72.49 |
| ๔        | 85.10                   | 85.55 | 79.33                      | 79.99 |
| ๕        | 97.99                   | 97.99 | 97.99                      | 97.99 |
| ๖        | 95.55                   | 95.32 | 93.10                      | 93.54 |
| ๗        | 97.55                   | 97.55 | 97.32                      | 97.32 |
| ๘        | 97.99                   | 97.99 | 98.44                      | 98.44 |
| ๙        | 91.10                   | 90.22 | 82.43                      | 83.55 |
| ๐        | 95.99                   | 95.99 | 93.55                      | 94.21 |
| ๑        | 89.77                   | 89.99 | 83.60                      | 85.33 |
| ๒        | 93.55                   | 93.55 | 90.55                      | 89.72 |
| ๓        | 92.66                   | 92.43 | 86.66                      | 85.77 |
| ๔        | 76.66                   | 76.66 | 74.43                      | 74.88 |
| ๕        | 74.88                   | 74.43 | 79.16                      | 71.94 |
| ๖        | 64.44                   | 63.32 | 63.55                      | 63.10 |
| ๗        | 78.88                   | 78.44 | 74.66                      | 75.10 |
| ๘        | 97.32                   | 97.10 | 95.77                      | 96.21 |
| ๙        | 90.66                   | 90.66 | 88.21                      | 88.21 |
| ๐        | 94.21                   | 93.77 | 90.66                      | 90.66 |
| ๑        | 96.88                   | 96.88 | 97.54                      | 97.10 |
| ๒        | 93.33                   | 92.66 | 90.44                      | 89.77 |
| ๓        | 94.88                   | 95.32 | 94.88                      | 94.66 |
| ๔        | 98.88                   | 98.66 | 98.66                      | 98.44 |
| ๕        | 97.99                   | 97.55 | 97.32                      | 97.77 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ค.2 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอล-เอ็มดีเอส ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 86.21                   | 85.77 | 85.32                      | 84.66 |
| ข        | 64.80                   | 66.38 | 61.32                      | 59.44 |
| ฃ        | 81.10                   | 81.77 | 77.99                      | 77.77 |
| ค        | 82.44                   | 82.88 | 76.66                      | 77.54 |
| ค        | 83.32                   | 83.77 | 77.99                      | 78.44 |
| ฅ        | 87.77                   | 86.88 | 84.43                      | 84.66 |
| ง        | 94.66                   | 94.88 | 91.33                      | 91.55 |
| จ        | 90.21                   | 90.66 | 88.88                      | 89.16 |
| ฉ        | 92.66                   | 92.66 | 89.55                      | 89.32 |
| ช        | 65.55                   | 65.82 | 62.21                      | 67.22 |
| ช        | 76.44                   | 75.33 | 78.51                      | 81.10 |
| ฌ        | 93.55                   | 93.10 | 91.77                      | 91.55 |
| ญ        | 92.44                   | 92.88 | 88.66                      | 88.44 |
| ฎ        | 63.33                   | 63.77 | 59.32                      | 59.99 |
| ฏ        | 70.55                   | 68.88 | 73.10                      | 71.77 |
| ฐ        | 91.99                   | 91.99 | 87.99                      | 88.66 |
| ฑ        | 87.10                   | 86.88 | 80.44                      | 79.99 |
| ฒ        | 95.10                   | 95.54 | 92.44                      | 92.44 |
| ณ        | 94.66                   | 94.88 | 91.55                      | 91.33 |
| ด        | 84.72                   | 84.72 | 78.88                      | 78.43 |
| ด        | 74.44                   | 74.21 | 69.32                      | 69.32 |
| ถ        | 78.88                   | 77.55 | 70.88                      | 71.10 |
| ท        | 82.88                   | 83.99 | 81.10                      | 81.10 |
| ธ        | 79.25                   | 77.77 | 66.66                      | 67.77 |
| น        | 91.33                   | 91.77 | 88.21                      | 87.55 |
| บ        | 83.55                   | 83.33 | 78.66                      | 79.99 |
| ป        | 93.55                   | 93.55 | 87.77                      | 87.99 |
| ผ        | 87.99                   | 93.33 | 81.32                      | 81.10 |
| ฝ        | 89.55                   | 89.32 | 81.85                      | 86.44 |
| พ        | 88.88                   | 88.88 | 81.11                      | 81.11 |
| ฟ        | 91.55                   | 92.44 | 85.27                      | 85.55 |
| ภ        | 80.44                   | 80.66 | 77.77                      | 76.66 |
| ม        | 82.21                   | 80.44 | 74.99                      | 74.72 |
| ย        | 80.66                   | 80.22 | 65.92                      | 66.66 |
| ร        | 77.11                   | 79.16 | 72.66                      | 73.32 |
| ล        | 82.66                   | 82.66 | 78.21                      | 78.43 |
| ว        | 92.22                   | 91.99 | 91.10                      | 91.10 |
| ศ        | 89.55                   | 89.33 | 83.10                      | 82.88 |
| ษ        | 90.44                   | 90.44 | 85.99                      | 86.21 |
| ส        | 74.21                   | 73.99 | 64.99                      | 62.44 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 85.54                   | 85.77 | 81.10                      | 79.77 |
| ฬ        | 91.99                   | 92.44 | 88.21                      | 88.21 |
| อ        | 86.44                   | 85.10 | 78.66                      | 80.44 |
| ฮ        | 82.43                   | 81.99 | 79.72                      | 79.99 |
| ๑        | 86.43                   | 86.66 | 81.33                      | 80.88 |
| ๒        | 85.54                   | 85.55 | 79.99                      | 81.55 |
| ๓        | 77.99                   | 78.21 | 74.88                      | 75.10 |
| ๔        | 83.33                   | 82.66 | 79.99                      | 79.10 |
| ๕        | 96.43                   | 97.54 | 97.10                      | 96.88 |
| ๖        | 85.33                   | 85.33 | 83.55                      | 83.55 |
| ๗        | 92.66                   | 92.66 | 92.88                      | 92.88 |
| ๘        | 82.88                   | 83.10 | 80.21                      | 80.44 |
| ๙        | 74.44                   | 75.10 | 64.43                      | 60.55 |
| ๐        | 87.77                   | 85.99 | 78.44                      | 78.66 |
| ๑        | 94.88                   | 94.88 | 92.88                      | 93.10 |
| ๒        | 91.33                   | 90.66 | 82.44                      | 83.32 |
| ๓        | 73.77                   | 73.99 | 75.17                      | 73.33 |
| ๔        | 85.77                   | 84.88 | 79.99                      | 79.99 |
| ๕        | 98.21                   | 97.77 | 97.99                      | 97.99 |
| ๖        | 95.32                   | 95.32 | 93.32                      | 93.32 |
| ๗        | 97.32                   | 97.55 | 97.32                      | 97.32 |
| ๘        | 97.99                   | 97.99 | 98.44                      | 98.44 |
| ๙        | 91.33                   | 89.77 | 83.55                      | 83.77 |
| ๐        | 96.21                   | 95.99 | 93.55                      | 93.99 |
| ๑        | 90.21                   | 89.55 | 85.77                      | 85.33 |
| ๒        | 93.77                   | 93.55 | 90.83                      | 90.55 |
| ๓        | 92.66                   | 92.66 | 87.10                      | 86.21 |
| ๔        | 76.66                   | 76.43 | 73.99                      | 74.21 |
| ๕        | 74.66                   | 73.99 | 78.88                      | 73.99 |
| ๖        | 65.27                   | 63.05 | 63.77                      | 64.21 |
| ๗        | 78.88                   | 78.88 | 73.10                      | 74.66 |
| ๘        | 97.54                   | 97.32 | 95.77                      | 96.21 |
| ๙        | 90.66                   | 90.66 | 88.43                      | 88.88 |
| ๐        | 94.88                   | 93.33 | 90.66                      | 90.88 |
| ๑        | 96.88                   | 96.88 | 97.54                      | 96.88 |
| ๒        | 93.10                   | 92.88 | 89.99                      | 89.77 |
| ๓        | 95.10                   | 95.54 | 94.66                      | 94.88 |
| ๔        | 98.66                   | 98.66 | 98.66                      | 98.44 |
| ๕        | 97.99                   | 97.55 | 97.32                      | 97.55 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ค.3 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอลดีเอ ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 62.88                   | 60.66 | 61.77                      | 59.55 |
| ข        | 47.32                   | 49.55 | 40.66                      | 44.16 |
| ฃ        | 67.77                   | 68.66 | 66.66                      | 66.21 |
| ค        | 51.10                   | 54.88 | 59.77                      | 57.77 |
| ค        | 63.55                   | 65.55 | 58.33                      | 55.55 |
| ฅ        | 76.66                   | 80.44 | 75.55                      | 77.99 |
| ง        | 94.44                   | 93.77 | 90.21                      | 89.55 |
| จ        | 82.66                   | 81.32 | 77.77                      | 75.77 |
| ฉ        | 86.66                   | 85.32 | 83.99                      | 83.99 |
| ช        | 53.77                   | 51.77 | 51.99                      | 46.66 |
| ช        | 52.88                   | 56.88 | 51.55                      | 52.22 |
| ฌ        | 82.66                   | 84.66 | 79.99                      | 82.88 |
| ญ        | 81.55                   | 83.10 | 85.55                      | 78.88 |
| ฎ        | 56.66                   | 54.44 | 52.21                      | 82.22 |
| ฏ        | 58.66                   | 58.21 | 58.05                      | 92.21 |
| ฐ        | 83.77                   | 86.88 | 80.21                      | 77.77 |
| ฑ        | 69.99                   | 75.77 | 72.21                      | 73.33 |
| ฒ        | 84.21                   | 89.55 | 84.88                      | 86.21 |
| ณ        | 81.55                   | 83.10 | 79.32                      | 78.66 |
| ด        | 64.99                   | 64.21 | 58.88                      | 59.32 |
| ด        | 59.55                   | 61.33 | 58.21                      | 57.10 |
| ถ        | 60.66                   | 59.55 | 50.73                      | 56.88 |
| ท        | 67.99                   | 69.10 | 64.44                      | 66.29 |
| ธ        | 52.77                   | 53.99 | 51.66                      | 48.66 |
| น        | 87.32                   | 85.77 | 84.71                      | 80.43 |
| บ        | 63.10                   | 67.99 | 57.10                      | 65.92 |
| ป        | 88.66                   | 89.32 | 87.99                      | 85.55 |
| ผ        | 86.66                   | 82.44 | 79.33                      | 79.10 |
| ฝ        | 79.55                   | 83.77 | 77.03                      | 81.32 |
| พ        | 81.55                   | 81.77 | 80.21                      | 79.10 |
| ฟ        | 81.77                   | 81.38 | 79.44                      | 79.55 |
| ภ        | 64.21                   | 66.21 | 62.58                      | 64.21 |
| ม        | 66.88                   | 71.77 | 65.77                      | 68.66 |
| ย        | 78.32                   | 68.32 | 59.16                      | 55.55 |
| ร        | 58.32                   | 58.66 | 54.22                      | 50.27 |
| ล        | 72.43                   | 71.99 | 69.10                      | 66.21 |
| ว        | 89.55                   | 88.88 | 89.16                      | 88.32 |
| ศ        | 70.83                   | 68.88 | 62.77                      | 61.10 |
| ษ        | 84.88                   | 81.99 | 79.10                      | 76.88 |
| ส        | 47.55                   | 47.77 | 43.33                      | 39.44 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 79.10                   | 77.10 | 75.33                      | 74.71 |
| ฬ        | 87.33                   | 86.66 | 77.40                      | 78.60 |
| อ        | 81.10                   | 71.77 | 73.77                      | 72.95 |
| ฮ        | 61.77                   | 63.77 | 57.49                      | 58.66 |
| ๑        | 75.32                   | 76.66 | 72.66                      | 71.55 |
| ๒        | 72.66                   | 74.21 | 64.44                      | 71.99 |
| ๓        | 62.95                   | 58.60 | 63.55                      | 63.55 |
| ๔        | 69.55                   | 70.21 | 71.10                      | 64.66 |
| ๕        | 91.77                   | 84.44 | 93.77                      | 84.66 |
| ๖        | 84.21                   | 85.55 | 81.10                      | 80.44 |
| ๗        | 89.55                   | 87.77 | 86.21                      | 87.99 |
| ๘        | 81.10                   | 77.77 | 74.21                      | 76.43 |
| ๙        | 46.21                   | 44.21 | 45.99                      | 47.10 |
| ๐        | 63.10                   | 61.77 | 56.88                      | 57.49 |
| ๑        | 94.88                   | 92.66 | 91.33                      | 89.99 |
| ๒        | 73.99                   | 76.88 | 72.43                      | 76.21 |
| ๓        | 46.66                   | 35.54 | 56.66                      | 56.66 |
| ๔        | 69.32                   | 76.21 | 63.33                      | 73.55 |
| ๕        | 95.33                   | 95.32 | 93.55                      | 92.44 |
| ๖        | 95.77                   | 95.54 | 95.10                      | 93.77 |
| ๗        | 97.55                   | 97.77 | 97.10                      | 96.88 |
| ๘        | 98.21                   | 97.54 | 97.54                      | 96.88 |
| ๙        | 66.21                   | 68.88 | 58.32                      | 64.88 |
| ๐        | 84.44                   | 83.77 | 81.66                      | 81.93 |
| ๑        | 70.88                   | 68.66 | 66.38                      | 68.44 |
| ๒        | 72.21                   | 78.88 | 66.43                      | 77.32 |
| ๓        | 82.21                   | 77.33 | 75.77                      | 80.88 |
| ๔        | 60.21                   | 62.43 | 58.66                      | 56.66 |
| ๕        | 58.44                   | 59.32 | 54.44                      | 68.33 |
| ๖        | 59.43                   | 57.32 | 57.49                      | 54.07 |
| ๗        | 57.10                   | 59.10 | 56.88                      | 57.32 |
| ๘        | 95.10                   | 95.99 | 98.32                      | 97.77 |
| ๙        | 75.92                   | 83.32 | 65.92                      | 77.21 |
| ๐        | 83.77                   | 80.83 | 81.94                      | 74.22 |
| ๑        | 95.55                   | 95.99 | 94.21                      | 93.54 |
| ๒        | 74.43                   | 76.21 | 71.77                      | 74.44 |
| ๓        | 92.44                   | 91.55 | 92.66                      | 91.55 |
| ๔        | 92.43                   | 66.11 | 92.21                      | 61.66 |
| ๕        | 92.43                   | 74.99 | 90.55                      | 73.33 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ค.4 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอลพีที ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 83.33                   | 82.88 | 83.88                      | 84.16 |
| ข        | 51.11                   | 62.58 | 56.88                      | 56.44 |
| ฃ        | 80.44                   | 80.66 | 75.82                      | 76.21 |
| ค        | 78.21                   | 77.33 | 72.21                      | 72.88 |
| ค        | 73.32                   | 78.88 | 74.44                      | 76.66 |
| ฅ        | 84.44                   | 85.99 | 79.55                      | 80.44 |
| ง        | 91.32                   | 91.99 | 89.33                      | 89.55 |
| จ        | 87.55                   | 88.21 | 83.77                      | 83.55 |
| ฉ        | 85.55                   | 85.27 | 83.55                      | 85.55 |
| ช        | 63.33                   | 65.10 | 62.49                      | 59.77 |
| ช        | 78.05                   | 76.38 | 74.71                      | 67.33 |
| ฌ        | 87.10                   | 90.44 | 84.44                      | 84.66 |
| ญ        | 85.55                   | 88.88 | 84.71                      | 84.44 |
| ฎ        | 59.10                   | 61.11 | 61.38                      | 59.99 |
| ฏ        | 68.43                   | 69.55 | 66.66                      | 67.77 |
| ฐ        | 88.88                   | 91.77 | 85.77                      | 83.99 |
| ฑ        | 84.21                   | 87.32 | 77.99                      | 80.66 |
| ฒ        | 89.77                   | 92.44 | 88.21                      | 88.21 |
| ณ        | 88.44                   | 90.22 | 84.44                      | 86.21 |
| ด        | 76.88                   | 78.21 | 77.21                      | 76.66 |
| ด        | 70.21                   | 69.99 | 62.44                      | 64.21 |
| ถ        | 72.22                   | 73.32 | 63.33                      | 64.88 |
| ท        | 85.99                   | 84.66 | 82.88                      | 81.99 |
| ธ        | 65.27                   | 68.32 | 61.10                      | 56.43 |
| น        | 86.88                   | 86.66 | 82.21                      | 83.05 |
| บ        | 82.66                   | 83.10 | 77.77                      | 77.33 |
| ป        | 92.44                   | 91.10 | 87.10                      | 86.88 |
| ผ        | 84.07                   | 86.66 | 71.77                      | 76.21 |
| ฝ        | 87.77                   | 89.55 | 82.88                      | 84.88 |
| พ        | 85.77                   | 86.88 | 77.55                      | 80.21 |
| ฟ        | 89.10                   | 89.10 | 84.66                      | 84.21 |
| ภ        | 76.66                   | 79.33 | 74.44                      | 74.88 |
| ม        | 75.99                   | 75.99 | 69.10                      | 72.66 |
| ย        | 78.21                   | 78.21 | 62.49                      | 68.60 |
| ร        | 66.88                   | 68.21 | 66.66                      | 68.21 |
| ล        | 78.66                   | 79.10 | 71.99                      | 70.27 |
| ว        | 89.10                   | 88.66 | 84.71                      | 86.93 |
| ศ        | 84.21                   | 83.33 | 78.21                      | 75.55 |
| ษ        | 85.77                   | 86.88 | 80.88                      | 77.03 |
| ส        | 66.66                   | 67.10 | 54.66                      | 54.66 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 78.44                   | 81.10 | 71.10                      | 70.88 |
| ฬ        | 85.55                   | 89.32 | 83.10                      | 80.27 |
| อ        | 76.94                   | 78.60 | 71.55                      | 71.10 |
| ฮ        | 74.81                   | 75.55 | 74.66                      | 73.55 |
| ฯ        | 80.88                   | 82.44 | 75.99                      | 77.33 |
| ๆ        | 82.66                   | 83.10 | 74.21                      | 78.21 |
| ฤ        | 75.33                   | 75.99 | 74.22                      | 74.88 |
| ฦ        | 80.88                   | 83.33 | 77.32                      | 77.33 |
| ๐        | 95.54                   | 94.88 | 94.21                      | 95.99 |
| ๑        | 83.99                   | 82.88 | 82.21                      | 83.55 |
| ๒        | 88.88                   | 89.77 | 88.21                      | 89.55 |
| ๓        | 79.99                   | 80.88 | 78.66                      | 76.66 |
| ๔        | 74.99                   | 74.99 | 64.21                      | 66.10 |
| ๕        | 79.99                   | 84.44 | 71.94                      | 71.94 |
| ๖        | 92.88                   | 91.55 | 92.66                      | 90.88 |
| ๗        | 86.88                   | 86.44 | 81.77                      | 78.88 |
| ๘        | 62.88                   | 62.21 | 62.22                      | 58.88 |
| ๙        | 79.77                   | 82.43 | 71.55                      | 71.32 |
| ๐        | 95.10                   | 95.10 | 94.44                      | 93.99 |
| ๑        | 95.77                   | 94.88 | 93.77                      | 93.99 |
| ๒        | 96.66                   | 96.88 | 96.44                      | 96.66 |
| ๓        | 98.21                   | 97.77 | 97.77                      | 97.77 |
| ๔        | 86.43                   | 84.44 | 75.77                      | 78.22 |
| ๕        | 93.33                   | 93.10 | 90.66                      | 91.77 |
| ๖        | 87.10                   | 86.88 | 81.10                      | 82.21 |
| ๗        | 89.99                   | 92.44 | 87.77                      | 88.21 |
| ๘        | 89.99                   | 89.55 | 85.99                      | 85.32 |
| ๙        | 78.43                   | 79.10 | 76.10                      | 75.33 |
| ๐        | 76.66                   | 78.88 | 69.99                      | 70.82 |
| ๑        | 66.88                   | 64.88 | 57.21                      | 59.72 |
| ๒        | 71.55                   | 74.22 | 67.77                      | 68.21 |
| ๓        | 96.21                   | 96.43 | 96.21                      | 98.04 |
| ๔        | 89.55                   | 91.94 | 85.33                      | 89.33 |
| ๕        | 93.10                   | 93.55 | 89.10                      | 86.94 |
| ๖        | 95.10                   | 95.55 | 96.21                      | 95.77 |
| ๗        | 89.55                   | 91.55 | 85.77                      | 89.44 |
| ๘        | 94.44                   | 94.66 | 95.77                      | 94.88 |
| ๙        | 98.66                   | 97.99 | 96.88                      | 98.21 |
| ๐        | 97.10                   | 96.88 | 97.32                      | 97.33 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ค.5 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอลดีอี ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 88.21                   | 89.10 | 85.99                      | 90.21 |
| ข        | 66.66                   | 61.66 | 61.94                      | 58.88 |
| ฃ        | 83.10                   | 83.32 | 80.44                      | 74.88 |
| ค        | 86.43                   | 91.10 | 81.10                      | 81.38 |
| ค        | 84.22                   | 83.77 | 81.33                      | 81.94 |
| ฅ        | 86.88                   | 85.99 | 84.43                      | 82.21 |
| ง        | 94.21                   | 94.66 | 91.77                      | 93.05 |
| จ        | 88.44                   | 88.66 | 89.25                      | 85.27 |
| ฉ        | 92.44                   | 91.99 | 89.10                      | 85.55 |
| ช        | 69.54                   | 67.33 | 65.55                      | 67.77 |
| ช        | 77.33                   | 76.66 | 76.94                      | 72.95 |
| ฌ        | 92.66                   | 93.77 | 91.32                      | 91.10 |
| ญ        | 92.66                   | 91.77 | 90.27                      | 86.10 |
| ฎ        | 66.21                   | 65.99 | 63.88                      | 60.22 |
| ฏ        | 67.03                   | 71.99 | 69.71                      | 67.77 |
| ฐ        | 93.10                   | 91.99 | 86.88                      | 86.38 |
| ฑ        | 89.33                   | 89.55 | 83.77                      | 84.07 |
| ฒ        | 94.66                   | 94.66 | 92.88                      | 91.66 |
| ณ        | 92.44                   | 93.55 | 89.33                      | 89.16 |
| ด        | 84.44                   | 85.32 | 79.32                      | 76.94 |
| ด        | 74.66                   | 75.99 | 70.21                      | 71.94 |
| ถ        | 77.55                   | 79.99 | 73.99                      | 73.70 |
| ท        | 85.32                   | 88.44 | 84.21                      | 85.82 |
| ธ        | 74.43                   | 74.21 | 64.66                      | 66.66 |
| น        | 89.77                   | 88.88 | 85.99                      | 86.94 |
| บ        | 83.99                   | 83.99 | 79.55                      | 82.96 |
| ป        | 93.55                   | 93.55 | 88.88                      | 89.16 |
| ผ        | 88.88                   | 89.99 | 81.99                      | 80.21 |
| ฝ        | 88.66                   | 88.66 | 84.88                      | 81.47 |
| พ        | 89.54                   | 89.77 | 84.66                      | 83.33 |
| ฟ        | 92.21                   | 91.77 | 85.55                      | 86.66 |
| ภ        | 83.32                   | 82.66 | 79.77                      | 80.82 |
| ม        | 79.77                   | 84.21 | 76.21                      | 78.88 |
| ย        | 83.99                   | 83.55 | 70.27                      | 70.21 |
| ร        | 76.88                   | 75.77 | 73.77                      | 70.27 |
| ล        | 86.21                   | 82.66 | 79.10                      | 79.71 |
| ว        | 92.88                   | 91.33 | 89.71                      | 89.62 |
| ศ        | 89.99                   | 89.55 | 83.55                      | 82.66 |
| ษ        | 89.99                   | 90.21 | 84.21                      | 83.88 |
| ส        | 75.77                   | 71.77 | 63.99                      | 59.10 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 85.99                   | 84.44 | 79.99                      | 77.55 |
| ฬ        | 91.32                   | 92.43 | 82.96                      | 81.11 |
| อ        | 86.21                   | 84.44 | 80.21                      | 80.83 |
| ฮ        | 79.25                   | 80.83 | 80.66                      | 78.88 |
| ๑        | 84.88                   | 84.44 | 80.88                      | 80.21 |
| ๒        | 86.21                   | 84.66 | 79.32                      | 80.43 |
| ๓        | 77.77                   | 78.66 | 73.05                      | 73.99 |
| ๔        | 82.88                   | 85.10 | 81.76                      | 82.21 |
| ๕        | 95.55                   | 97.10 | 94.88                      | 95.82 |
| ๖        | 86.43                   | 87.10 | 84.66                      | 83.88 |
| ๗        | 91.32                   | 91.10 | 91.10                      | 90.83 |
| ๘        | 85.27                   | 83.77 | 79.10                      | 79.16 |
| ๙        | 76.66                   | 76.88 | 66.38                      | 63.60 |
| ๐        | 87.10                   | 86.88 | 82.77                      | 83.33 |
| ๑        | 93.99                   | 93.99 | 92.88                      | 92.49 |
| ๒        | 89.55                   | 88.88 | 84.88                      | 81.66 |
| ๓        | 73.77                   | 72.21 | 71.10                      | 64.06 |
| ๔        | 83.32                   | 83.77 | 75.99                      | 79.32 |
| ๕        | 97.10                   | 96.88 | 96.21                      | 95.27 |
| ๖        | 95.10                   | 94.88 | 93.32                      | 94.66 |
| ๗        | 96.66                   | 97.10 | 96.66                      | 96.21 |
| ๘        | 98.88                   | 98.88 | 98.88                      | 96.66 |
| ๙        | 89.77                   | 89.77 | 81.99                      | 83.05 |
| ๐        | 95.32                   | 95.54 | 93.10                      | 91.77 |
| ๑        | 87.99                   | 88.21 | 82.22                      | 82.22 |
| ๒        | 92.88                   | 92.21 | 90.21                      | 90.44 |
| ๓        | 92.43                   | 90.44 | 87.99                      | 87.33 |
| ๔        | 82.21                   | 82.21 | 78.05                      | 79.44 |
| ๕        | 76.44                   | 77.55 | 71.84                      | 70.36 |
| ๖        | 72.43                   | 71.55 | 64.44                      | 67.22 |
| ๗        | 73.10                   | 73.77 | 73.88                      | 72.66 |
| ๘        | 97.32                   | 96.88 | 96.44                      | 96.21 |
| ๙        | 92.21                   | 91.77 | 89.55                      | 87.77 |
| ๐        | 93.33                   | 93.77 | 88.33                      | 86.93 |
| ๑        | 96.66                   | 97.10 | 96.21                      | 95.99 |
| ๒        | 92.66                   | 92.66 | 90.43                      | 90.66 |
| ๓        | 95.32                   | 95.55 | 96.21                      | 95.99 |
| ๔        | 98.88                   | 99.77 | 97.77                      | 98.88 |
| ๕        | 97.99                   | 97.54 | 97.99                      | 96.44 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท



ตารางที่ ค.6 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีดีเอ็นอี ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       | ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 92.88                   | 89.99 | 88.21                      | 90.88 | ห        | 87.55                   | 85.55 | 78.04                      | 80.66 |
| ข        | 63.60                   | 67.33 | 59.71                      | 58.60 | ท        | 91.99                   | 91.55 | 86.43                      | 86.10 |
| ฃ        | 82.22                   | 84.66 | 80.82                      | 81.10 | อ        | 86.66                   | 85.77 | 82.21                      | 80.44 |
| ค        | 84.66                   | 85.55 | 77.77                      | 78.44 | ย        | 77.77                   | 83.05 | 74.71                      | 83.32 |
| ค        | 83.10                   | 85.33 | 80.21                      | 82.43 | ฅ        | 82.66                   | 87.10 | 80.88                      | 83.10 |
| ฅ        | 87.77                   | 90.44 | 81.55                      | 86.88 | จ        | 82.88                   | 85.77 | 76.22                      | 81.55 |
| ง        | 94.66                   | 94.88 | 92.21                      | 92.44 | ฉ        | 74.99                   | 79.55 | 72.44                      | 75.99 |
| จ        | 89.99                   | 90.44 | 88.05                      | 87.33 | ฎ        | 80.88                   | 84.66 | 79.44                      | 81.55 |
| ฉ        | 92.66                   | 93.10 | 88.88                      | 88.88 | ด        | 97.77                   | 97.10 | 95.55                      | 95.32 |
| ช        | 73.32                   | 69.55 | 73.33                      | 68.60 | ด        | 86.21                   | 85.55 | 85.10                      | 85.10 |
| ช        | 79.99                   | 82.22 | 71.99                      | 74.21 | ต        | 92.21                   | 92.88 | 91.10                      | 92.66 |
| ฌ        | 89.99                   | 93.33 | 88.88                      | 90.88 | ถ        | 83.55                   | 83.77 | 78.05                      | 80.44 |
| ญ        | 92.21                   | 93.10 | 87.77                      | 89.99 | ฒ        | 71.94                   | 76.44 | 59.44                      | 61.10 |
| ฎ        | 71.77                   | 71.55 | 66.21                      | 66.88 | ณ        | 86.88                   | 88.66 | 84.16                      | 84.21 |
| ฏ        | 70.55                   | 74.44 | 74.44                      | 72.88 | บ        | 93.33                   | 94.88 | 91.77                      | 93.10 |
| ฐ        | 91.10                   | 92.21 | 84.21                      | 87.33 | ป        | 88.21                   | 89.77 | 80.66                      | 84.66 |
| ฑ        | 88.66                   | 90.21 | 85.55                      | 87.32 | ผ        | 77.33                   | 75.32 | 76.66                      | 78.51 |
| ฒ        | 89.32                   | 94.66 | 88.66                      | 91.77 | ฝ        | 82.66                   | 85.55 | 78.43                      | 81.10 |
| ณ        | 93.10                   | 94.21 | 89.55                      | 89.99 | ข        | 97.99                   | 98.21 | 97.10                      | 97.77 |
| ด        | 84.44                   | 87.10 | 78.66                      | 82.88 | า        | 94.66                   | 95.32 | 93.54                      | 93.55 |
| ด        | 78.44                   | 77.99 | 76.29                      | 74.88 | ใ        | 97.10                   | 97.55 | 96.66                      | 97.10 |
| ถ        | 80.66                   | 82.77 | 70.73                      | 79.99 | แ        | 98.21                   | 98.43 | 98.21                      | 98.44 |
| ท        | 83.77                   | 89.32 | 84.88                      | 85.10 | โ        | 77.49                   | 89.77 | 73.99                      | 82.21 |
| ธ        | 77.21                   | 78.51 | 66.66                      | 69.99 | ไ        | 95.10                   | 96.21 | 92.22                      | 95.10 |
| น        | 92.44                   | 92.22 | 85.99                      | 87.10 | ใ        | 85.99                   | 89.10 | 77.77                      | 83.32 |
| บ        | 83.10                   | 83.77 | 77.77                      | 78.22 | ั        | 92.22                   | 94.66 | 87.77                      | 91.66 |
| ป        | 93.10                   | 93.77 | 90.43                      | 89.32 | า        | 92.88                   | 94.66 | 90.21                      | 92.66 |
| ผ        | 89.55                   | 91.94 | 83.10                      | 83.32 | า        | 86.88                   | 82.95 | 84.66                      | 87.99 |
| ฝ        | 88.43                   | 91.77 | 79.25                      | 87.10 | า        | 84.88                   | 83.32 | 85.27                      | 89.16 |
| พ        | 88.88                   | 90.88 | 83.60                      | 86.21 | า        | 74.66                   | 72.95 | 70.82                      | 71.47 |
| ฟ        | 90.21                   | 91.33 | 85.77                      | 87.55 | า        | 79.99                   | 77.77 | 73.55                      | 75.77 |
| ภ        | 83.55                   | 82.88 | 80.44                      | 82.22 | ิ        | 95.99                   | 97.10 | 97.21                      | 95.99 |
| ม        | 81.55                   | 85.10 | 77.99                      | 81.77 | ิ        | 92.66                   | 93.10 | 91.38                      | 91.77 |
| ย        | 84.66                   | 85.10 | 73.32                      | 76.38 | ี        | 93.99                   | 94.44 | 89.54                      | 89.32 |
| ร        | 77.77                   | 80.66 | 73.32                      | 76.21 | ิ        | 96.88                   | 96.88 | 96.66                      | 97.10 |
| ล        | 84.66                   | 83.10 | 78.66                      | 78.44 | ี        | 93.77                   | 93.55 | 90.88                      | 91.10 |
| ว        | 92.44                   | 92.22 | 91.10                      | 91.38 | ิ        | 94.44                   | 95.77 | 94.88                      | 94.21 |
| ศ        | 86.22                   | 91.66 | 76.88                      | 85.77 | ุ        | 97.76                   | 99.55 | 97.77                      | 98.66 |
| ษ        | 89.77                   | 90.66 | 83.77                      | 85.10 | ุ        | 95.99                   | 96.43 | 94.43                      | 96.43 |
| ส        | 63.77                   | 73.77 | 51.99                      | 59.77 |          |                         |       |                            |       |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ค.7 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอล-ไอโซแมป ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกัน

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 66.10                   | 70.43 | 65.33                      | 65.55 |
| ข        | 45.83                   | 35.55 | 42.49                      | 38.66 |
| ฃ        | 60.73                   | 64.16 | 60.88                      | 57.10 |
| ค        | 62.21                   | 60.36 | 55.18                      | 53.70 |
| ค        | 68.88                   | 65.10 | 55.00                      | 54.71 |
| ฅ        | 69.77                   | 66.88 | 68.88                      | 64.22 |
| ง        | 80.21                   | 74.99 | 76.66                      | 68.66 |
| จ        | 71.77                   | 65.55 | 65.27                      | 58.33 |
| ฉ        | 72.44                   | 69.55 | 70.88                      | 64.16 |
| ช        | 46.44                   | 41.84 | 39.10                      | 37.33 |
| ช        | 51.94                   | 52.43 | 47.55                      | 49.10 |
| ฌ        | 75.99                   | 73.32 | 77.99                      | 75.77 |
| ญ        | 69.10                   | 63.60 | 64.44                      | 51.32 |
| ฎ        | 41.66                   | 43.88 | 41.77                      | 42.88 |
| ฏ        | 53.88                   | 57.77 | 59.62                      | 58.66 |
| ฐ        | 77.10                   | 69.99 | 70.54                      | 68.66 |
| ฑ        | 69.10                   | 70.44 | 69.55                      | 64.21 |
| ฒ        | 80.43                   | 77.77 | 82.66                      | 77.77 |
| ณ        | 79.99                   | 75.55 | 75.33                      | 69.99 |
| ด        | 64.88                   | 67.49 | 74.44                      | 57.77 |
| ด        | 57.55                   | 54.88 | 54.21                      | 48.05 |
| ถ        | 56.44                   | 56.94 | 49.44                      | 56.38 |
| ท        | 66.44                   | 55.55 | 63.55                      | 60.44 |
| ธ        | 43.77                   | 39.72 | 39.10                      | 39.10 |
| น        | 69.99                   | 65.32 | 65.27                      | 61.94 |
| บ        | 68.88                   | 67.33 | 68.05                      | 66.10 |
| ป        | 75.32                   | 73.77 | 65.17                      | 68.32 |
| ผ        | 70.27                   | 69.25 | 54.43                      | 58.21 |
| ฝ        | 70.88                   | 72.44 | 70.54                      | 69.10 |
| พ        | 65.18                   | 70.27 | 69.99                      | 68.88 |
| ฟ        | 77.10                   | 74.88 | 68.51                      | 67.21 |
| ภ        | 63.33                   | 64.43 | 65.82                      | 72.22 |
| ม        | 57.32                   | 57.77 | 54.44                      | 46.10 |
| ย        | 71.84                   | 63.32 | 52.44                      | 48.32 |
| ร        | 44.43                   | 33.88 | 42.49                      | 41.94 |
| ล        | 48.88                   | 43.77 | 41.38                      | 44.99 |
| ว        | 72.66                   | 68.66 | 73.32                      | 75.55 |
| ศ        | 59.10                   | 54.21 | 57.49                      | 57.77 |
| ษ        | 66.21                   | 53.88 | 62.21                      | 56.66 |
| ส        | 30.36                   | 37.32 | 30.88                      | 30.44 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 54.99                   | 55.55 | 51.77                      | 49.77 |
| ฬ        | 64.06                   | 63.99 | 61.99                      | 59.77 |
| อ        | 59.72                   | 58.32 | 49.72                      | 54.71 |
| ฮ        | 46.94                   | 51.55 | 43.33                      | 44.21 |
| ๑        | 72.49                   | 68.14 | 61.77                      | 57.99 |
| ๒        | 59.10                   | 59.55 | 64.43                      | 55.83 |
| ๓        | 57.32                   | 56.65 | 59.99                      | 51.93 |
| ๔        | 66.44                   | 74.16 | 68.32                      | 58.51 |
| ๕        | 91.10                   | 90.66 | 91.54                      | 86.66 |
| ๖        | 66.66                   | 64.99 | 59.16                      | 56.66 |
| ๗        | 77.77                   | 72.43 | 75.99                      | 70.21 |
| ๘        | 65.83                   | 62.58 | 60.21                      | 58.14 |
| ๙        | 50.66                   | 51.55 | 41.66                      | 43.69 |
| ๐        | 62.21                   | 59.55 | 59.99                      | 52.49 |
| ๑        | 77.77                   | 79.32 | 76.21                      | 74.72 |
| ๒        | 67.33                   | 66.43 | 58.21                      | 49.99 |
| ๓        | 45.10                   | 44.88 | 48.60                      | 47.22 |
| ๔        | 59.55                   | 54.44 | 51.77                      | 49.62 |
| ๕        | 81.66                   | 78.88 | 78.88                      | 64.44 |
| ๖        | 78.32                   | 79.10 | 84.81                      | 77.99 |
| ๗        | 91.33                   | 87.99 | 91.10                      | 87.99 |
| ๘        | 88.66                   | 89.32 | 87.55                      | 86.22 |
| ๙        | 67.99                   | 68.60 | 65.92                      | 62.77 |
| ๐        | 84.66                   | 82.44 | 82.21                      | 75.55 |
| ๑        | 68.22                   | 67.33 | 62.66                      | 58.05 |
| ๒        | 72.21                   | 75.77 | 80.73                      | 71.77 |
| ๓        | 75.77                   | 78.88 | 74.16                      | 76.22 |
| ๔        | 63.33                   | 64.16 | 57.77                      | 55.55 |
| ๕        | 63.60                   | 62.22 | 69.44                      | 59.44 |
| ๖        | 41.66                   | 47.77 | 34.44                      | 44.99 |
| ๗        | 54.99                   | 53.77 | 56.66                      | 52.21 |
| ๘        | 90.55                   | 87.10 | 89.99                      | 91.94 |
| ๙        | 74.66                   | 71.99 | 70.55                      | 65.17 |
| ๐        | 74.66                   | 64.43 | 73.05                      | 73.61 |
| ๑        | 91.55                   | 89.10 | 92.21                      | 82.21 |
| ๒        | 82.88                   | 75.99 | 82.44                      | 81.99 |
| ๓        | 87.99                   | 85.32 | 86.88                      | 84.43 |
| ๔        | 98.65                   | 95.77 | 97.32                      | 93.77 |
| ๕        | 96.88                   | 92.66 | 96.21                      | 92.43 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ง.1 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว

โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีพีซีเอ

ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 89.32                   | 89.99 | 88.66                      | 89.33 |
| ข        | 61.66                   | 54.44 | 63.33                      | 61.33 |
| ฃ        | 84.71                   | 84.99 | 78.21                      | 78.88 |
| ค        | 85.10                   | 84.66 | 80.66                      | 80.88 |
| ค        | 81.99                   | 81.54 | 80.21                      | 79.77 |
| ฅ        | 88.88                   | 88.88 | 86.66                      | 86.66 |
| ง        | 94.88                   | 95.10 | 91.77                      | 91.55 |
| จ        | 90.44                   | 90.44 | 88.60                      | 89.16 |
| ฉ        | 92.44                   | 92.66 | 89.55                      | 89.33 |
| ช        | 61.84                   | 65.27 | 64.44                      | 65.83 |
| ช        | 78.21                   | 78.21 | 78.05                      | 78.05 |
| ฌ        | 88.21                   | 90.36 | 85.32                      | 85.99 |
| ญ        | 91.77                   | 91.77 | 87.99                      | 87.99 |
| ฎ        | 72.44                   | 73.55 | 69.10                      | 68.88 |
| ฏ        | 74.21                   | 72.88 | 69.77                      | 69.55 |
| ฐ        | 91.77                   | 91.99 | 88.44                      | 88.88 |
| ฑ        | 88.43                   | 87.99 | 85.55                      | 85.32 |
| ฒ        | 87.32                   | 88.33 | 81.99                      | 82.88 |
| ณ        | 91.55                   | 91.32 | 85.77                      | 86.21 |
| ด        | 84.66                   | 84.88 | 78.60                      | 78.60 |
| ด        | 75.55                   | 76.66 | 71.99                      | 72.21 |
| ถ        | 81.38                   | 81.66 | 75.54                      | 75.77 |
| ท        | 89.10                   | 89.32 | 85.77                      | 85.77 |
| ธ        | 80.73                   | 82.21 | 71.94                      | 71.66 |
| น        | 91.33                   | 91.99 | 87.99                      | 87.77 |
| บ        | 79.99                   | 79.77 | 76.21                      | 76.21 |
| ป        | 93.99                   | 93.99 | 88.66                      | 88.88 |
| ผ        | 91.10                   | 91.10 | 79.99                      | 80.21 |
| ฝ        | 80.66                   | 81.33 | 78.88                      | 79.44 |
| พ        | 88.21                   | 87.99 | 84.22                      | 84.21 |
| ฟ        | 83.10                   | 83.33 | 80.66                      | 80.22 |
| ภ        | 81.10                   | 82.77 | 82.44                      | 82.21 |
| ม        | 83.99                   | 84.43 | 79.16                      | 78.32 |
| ย        | 81.55                   | 81.99 | 74.88                      | 71.10 |
| ร        | 79.77                   | 80.21 | 74.88                      | 75.10 |
| ล        | 82.21                   | 82.44 | 78.21                      | 77.77 |
| ว        | 92.21                   | 92.21 | 91.10                      | 91.10 |
| ศ        | 89.33                   | 89.33 | 83.33                      | 83.10 |
| ษ        | 91.10                   | 90.21 | 86.43                      | 85.55 |
| ส        | 73.99                   | 73.99 | 64.43                      | 65.27 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 85.32                   | 85.77 | 79.99                      | 79.77 |
| ฬ        | 92.21                   | 92.44 | 88.44                      | 89.10 |
| อ        | 85.77                   | 84.44 | 78.66                      | 79.55 |
| ฮ        | 81.38                   | 81.99 | 80.44                      | 80.22 |
| ฯ        | 87.77                   | 87.99 | 81.99                      | 81.77 |
| ฤ        | 85.10                   | 84.66 | 80.88                      | 81.77 |
| ฤ        | 78.33                   | 78.60 | 76.22                      | 76.88 |
| ฦ        | 83.55                   | 82.66 | 79.99                      | 79.77 |
| อ        | 95.32                   | 95.10 | 95.55                      | 95.32 |
| ๑        | 85.55                   | 85.33 | 83.33                      | 83.77 |
| ๒        | 92.88                   | 92.88 | 92.44                      | 92.44 |
| ๓        | 83.55                   | 82.88 | 80.88                      | 80.21 |
| ๔        | 75.99                   | 75.99 | 69.55                      | 67.77 |
| ๕        | 84.88                   | 84.21 | 75.77                      | 73.77 |
| ๖        | 94.88                   | 94.88 | 93.10                      | 93.10 |
| ๗        | 91.55                   | 90.66 | 85.32                      | 85.99 |
| ๘        | 77.54                   | 77.99 | 71.33                      | 67.49 |
| ๙        | 84.88                   | 84.88 | 80.43                      | 79.99 |
| ๐        | 97.99                   | 97.99 | 97.99                      | 97.99 |
| ๑        | 95.55                   | 95.32 | 93.10                      | 93.54 |
| ๒        | 97.55                   | 97.55 | 97.32                      | 97.32 |
| ๓        | 97.99                   | 97.99 | 98.44                      | 98.44 |
| ๔        | 90.44                   | 91.10 | 82.66                      | 83.33 |
| ๕        | 96.43                   | 96.44 | 93.77                      | 94.21 |
| ๖        | 90.21                   | 90.21 | 86.44                      | 83.88 |
| ๗        | 93.10                   | 92.88 | 88.22                      | 87.77 |
| ๘        | 93.77                   | 93.77 | 91.33                      | 91.10 |
| ๙        | 88.66                   | 88.44 | 86.88                      | 87.32 |
| ๐        | 85.32                   | 85.99 | 83.77                      | 83.99 |
| ๑        | 76.38                   | 74.66 | 68.22                      | 68.66 |
| ๒        | 81.77                   | 80.88 | 77.99                      | 77.99 |
| ๓        | 97.32                   | 97.10 | 95.77                      | 96.21 |
| ๔        | 92.21                   | 91.99 | 94.44                      | 93.33 |
| ๕        | 94.21                   | 93.77 | 90.66                      | 90.66 |
| ๖        | 96.88                   | 96.88 | 97.54                      | 97.10 |
| ๗        | 94.66                   | 93.99 | 92.44                      | 93.10 |
| ๘        | 94.88                   | 95.32 | 94.88                      | 94.66 |
| ๙        | 96.88                   | 97.10 | 96.43                      | 97.10 |
| ๐        | 96.21                   | 96.43 | 97.54                      | 96.88 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ง.2 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอล-เอ็มดีเอส  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 89.32                   | 89.77 | 88.88                      | 89.10 |
| ข        | 61.66                   | 54.44 | 61.10                      | 61.55 |
| ฃ        | 84.16                   | 84.44 | 78.21                      | 78.43 |
| ค        | 85.10                   | 85.32 | 80.66                      | 81.10 |
| ฅ        | 82.21                   | 81.77 | 80.66                      | 80.21 |
| ฉ        | 89.10                   | 88.88 | 86.43                      | 86.88 |
| ง        | 94.66                   | 94.88 | 91.33                      | 91.55 |
| จ        | 90.21                   | 90.66 | 88.88                      | 89.16 |
| ฉ        | 92.66                   | 92.66 | 89.55                      | 89.32 |
| ช        | 62.58                   | 64.72 | 63.88                      | 65.55 |
| ฌ        | 78.21                   | 78.21 | 78.05                      | 78.05 |
| ฉ        | 88.21                   | 87.32 | 85.32                      | 86.43 |
| ญ        | 91.99                   | 92.44 | 87.99                      | 88.66 |
| ฎ        | 70.27                   | 73.10 | 69.33                      | 69.55 |
| ฏ        | 73.77                   | 73.99 | 70.21                      | 68.88 |
| ฐ        | 91.99                   | 91.99 | 87.99                      | 88.66 |
| ฑ        | 88.43                   | 88.21 | 85.77                      | 85.55 |
| ฒ        | 87.33                   | 86.88 | 82.21                      | 82.44 |
| ณ        | 91.55                   | 91.10 | 85.77                      | 86.21 |
| ด        | 84.66                   | 84.88 | 78.88                      | 78.60 |
| ต        | 75.99                   | 76.88 | 72.44                      | 72.44 |
| ถ        | 80.66                   | 81.66 | 75.54                      | 75.54 |
| ท        | 89.54                   | 89.54 | 85.77                      | 85.77 |
| ธ        | 81.47                   | 87.77 | 72.21                      | 71.38 |
| น        | 91.33                   | 91.77 | 88.21                      | 87.55 |
| บ        | 79.54                   | 79.32 | 76.44                      | 76.21 |
| ป        | 93.99                   | 93.99 | 88.66                      | 88.66 |
| ผ        | 90.73                   | 91.47 | 79.99                      | 79.99 |
| ฝ        | 80.44                   | 81.33 | 79.16                      | 77.40 |
| พ        | 88.21                   | 87.99 | 84.66                      | 84.21 |
| ฟ        | 83.10                   | 83.55 | 80.44                      | 79.99 |
| ภ        | 82.77                   | 79.99 | 82.21                      | 81.77 |
| ม        | 84.88                   | 84.43 | 79.44                      | 79.16 |
| ย        | 81.77                   | 81.99 | 71.38                      | 71.38 |
| ร        | 79.99                   | 79.77 | 75.10                      | 75.10 |
| ล        | 82.66                   | 82.66 | 78.21                      | 78.43 |
| ว        | 92.22                   | 91.99 | 91.10                      | 91.10 |
| ศ        | 89.55                   | 89.33 | 83.10                      | 82.88 |
| ษ        | 90.44                   | 90.44 | 85.99                      | 86.21 |
| ส        | 74.21                   | 73.99 | 64.99                      | 62.44 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 85.54                   | 85.77 | 81.10                      | 79.77 |
| ฬ        | 91.99                   | 92.44 | 88.21                      | 88.21 |
| อ        | 85.33                   | 84.66 | 78.88                      | 79.10 |
| ฮ        | 82.43                   | 81.99 | 79.72                      | 79.99 |
| ฯ        | 87.32                   | 87.77 | 81.99                      | 81.99 |
| ฤ        | 85.10                   | 84.88 | 80.66                      | 82.21 |
| ฤ        | 80.44                   | 78.60 | 76.88                      | 76.44 |
| ฦ        | 83.77                   | 82.43 | 79.99                      | 80.21 |
| ๐        | 95.32                   | 95.10 | 95.55                      | 95.32 |
| ๑        | 85.33                   | 85.33 | 83.55                      | 83.55 |
| ๒        | 92.66                   | 92.66 | 92.88                      | 92.88 |
| ๓        | 82.88                   | 83.10 | 80.21                      | 80.44 |
| ๔        | 75.55                   | 75.55 | 69.10                      | 68.32 |
| ๕        | 85.10                   | 83.99 | 74.88                      | 75.55 |
| ๖        | 94.88                   | 94.88 | 92.88                      | 93.10 |
| ๗        | 91.33                   | 91.10 | 85.10                      | 86.21 |
| ๘        | 77.99                   | 77.54 | 73.60                      | 68.32 |
| ๙        | 85.55                   | 84.66 | 80.88                      | 79.99 |
| ๐        | 98.21                   | 97.77 | 97.99                      | 97.99 |
| ๑        | 95.32                   | 95.32 | 93.32                      | 93.32 |
| ๒        | 97.32                   | 97.55 | 97.32                      | 97.32 |
| ๓        | 97.99                   | 97.99 | 98.44                      | 98.44 |
| ๔        | 90.66                   | 90.66 | 83.33                      | 83.55 |
| ๕        | 96.43                   | 96.44 | 93.77                      | 93.99 |
| ๖        | 90.66                   | 89.77 | 84.16                      | 83.88 |
| ๗        | 93.32                   | 93.10 | 88.66                      | 88.22 |
| ๘        | 93.99                   | 93.77 | 91.55                      | 91.55 |
| ๙        | 88.44                   | 88.44 | 87.32                      | 87.32 |
| ๐        | 85.54                   | 85.55 | 83.55                      | 83.99 |
| ๑        | 73.55                   | 76.93 | 68.66                      | 68.88 |
| ๒        | 81.77                   | 81.33 | 77.32                      | 77.55 |
| ๓        | 97.54                   | 97.32 | 95.77                      | 96.21 |
| ๔        | 91.99                   | 91.99 | 94.71                      | 93.33 |
| ๕        | 94.88                   | 93.33 | 90.66                      | 90.88 |
| ๖        | 96.88                   | 96.88 | 97.54                      | 96.88 |
| ๗        | 94.66                   | 94.21 | 92.21                      | 93.10 |
| ๘        | 95.10                   | 95.54 | 94.66                      | 94.88 |
| ๙        | 96.88                   | 97.10 | 96.43                      | 97.10 |
| ๐        | 96.43                   | 96.43 | 97.54                      | 96.88 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ 3.3 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอลดีเอ  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       | ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 67.33                   | 67.10 | 65.33                      | 66.66 | ห        | 79.10                   | 77.10 | 75.33                      | 74.71 |
| ข        | 45.99                   | 50.66 | 46.11                      | 47.77 | พ        | 87.33                   | 86.66 | 77.40                      | 78.60 |
| ฃ        | 68.66                   | 68.88 | 65.55                      | 70.21 | อ        | 79.99                   | 75.99 | 73.55                      | 73.61 |
| ค        | 58.66                   | 56.44 | 57.55                      | 55.55 | ช        | 61.77                   | 63.77 | 57.49                      | 58.66 |
| ฅ        | 63.55                   | 65.33 | 62.43                      | 61.55 | ฅ        | 78.32                   | 73.55 | 72.44                      | 72.21 |
| ฉ        | 87.22                   | 79.99 | 74.66                      | 74.21 | ง        | 73.77                   | 73.10 | 69.16                      | 66.10 |
| ช        | 94.44                   | 93.77 | 90.21                      | 89.55 | ญ        | 60.66                   | 56.94 | 58.05                      | 57.03 |
| ฌ        | 82.66                   | 81.32 | 77.77                      | 75.77 | ฎ        | 66.44                   | 65.27 | 68.05                      | 64.44 |
| ฉ        | 86.66                   | 85.32 | 83.99                      | 83.99 | ด        | 87.77                   | 89.10 | 89.10                      | 88.66 |
| ฐ        | 54.21                   | 55.55 | 49.55                      | 50.55 | ด        | 84.21                   | 85.55 | 81.10                      | 80.44 |
| ฑ        | 51.11                   | 55.99 | 57.32                      | 51.33 | ต        | 89.55                   | 87.77 | 86.21                      | 87.99 |
| ฒ        | 66.88                   | 67.33 | 61.66                      | 65.77 | ถ        | 81.10                   | 77.77 | 74.21                      | 76.43 |
| ณ        | 77.99                   | 76.43 | 73.99                      | 75.55 | ท        | 43.33                   | 41.77 | 44.21                      | 41.99 |
| น        | 59.99                   | 56.66 | 88.88                      | 82.22 | ฑ        | 63.77                   | 59.99 | 53.99                      | 56.44 |
| ด        | 61.10                   | 61.38 | 91.11                      | 92.21 | บ        | 94.88                   | 92.66 | 91.33                      | 89.99 |
| ด        | 83.77                   | 86.88 | 80.21                      | 77.77 | ป        | 75.77                   | 69.44 | 72.21                      | 69.71 |
| ต        | 69.99                   | 76.21 | 74.88                      | 75.77 | ผ        | 44.07                   | 41.48 | 52.95                      | 54.71 |
| ถ        | 73.33                   | 74.88 | 70.21                      | 73.32 | ผ        | 70.21                   | 72.44 | 66.66                      | 67.33 |
| ท        | 73.32                   | 73.32 | 68.44                      | 67.77 | ม        | 95.33                   | 95.32 | 93.55                      | 92.44 |
| ด        | 65.77                   | 66.44 | 57.77                      | 57.49 | า        | 95.77                   | 95.54 | 95.10                      | 93.77 |
| ด        | 61.38                   | 59.71 | 54.71                      | 55.27 | เ        | 97.55                   | 97.77 | 97.10                      | 96.88 |
| ถ        | 67.39                   | 65.55 | 59.99                      | 60.88 | แ        | 98.21                   | 97.54 | 97.54                      | 96.88 |
| ท        | 77.02                   | 75.55 | 70.88                      | 70.21 | โ        | 68.43                   | 70.44 | 57.49                      | 67.40 |
| ธ        | 51.10                   | 47.55 | 51.66                      | 41.77 | ไ        | 81.66                   | 86.88 | 81.66                      | 80.44 |
| น        | 87.32                   | 85.77 | 84.71                      | 80.43 | ใ        | 70.66                   | 67.49 | 68.33                      | 63.77 |
| บ        | 60.66                   | 61.77 | 66.66                      | 66.66 | อ        | 68.88                   | 73.55 | 66.88                      | 78.60 |
| ป        | 90.66                   | 92.21 | 87.33                      | 87.55 | า        | 79.77                   | 73.05 | 77.77                      | 94.44 |
| ผ        | 85.27                   | 83.32 | 77.33                      | 73.32 | า        | 66.21                   | 65.55 | 64.66                      | 76.11 |
| ฝ        | 71.99                   | 74.88 | 69.99                      | 68.88 | า        | 59.33                   | 56.11 | 57.77                      | 95.55 |
| พ        | 82.66                   | 80.66 | 76.29                      | 75.55 | า        | 52.77                   | 55.92 | 52.21                      | 80.00 |
| ฟ        | 73.77                   | 73.77 | 68.44                      | 66.88 | า        | 59.99                   | 64.21 | 60.27                      | 60.82 |
| ภ        | 71.38                   | 65.10 | 67.33                      | 68.66 | '        | 95.10                   | 95.99 | 98.32                      | 97.77 |
| ม        | 65.27                   | 67.99 | 68.44                      | 65.10 | อ        | 77.03                   | 80.27 | 72.95                      | 78.05 |
| ย        | 74.88                   | 71.10 | 66.94                      | 59.99 | อ        | 83.77                   | 80.83 | 81.94                      | 74.22 |
| ร        | 55.55                   | 48.44 | 52.21                      | 42.22 | *        | 95.55                   | 95.99 | 94.21                      | 93.54 |
| ล        | 72.43                   | 71.99 | 69.10                      | 66.21 | อ        | 67.77                   | 79.99 | 74.99                      | 74.44 |
| ว        | 89.55                   | 88.88 | 89.16                      | 88.32 | อ        | 92.44                   | 91.55 | 92.66                      | 91.55 |
| ศ        | 70.83                   | 68.88 | 62.77                      | 61.10 | ง        | 89.10                   | 93.99 | 91.99                      | 92.88 |
| ษ        | 84.88                   | 81.99 | 79.10                      | 76.88 | ช        | 91.10                   | 93.10 | 91.99                      | 93.99 |
| ส        | 47.55                   | 47.77 | 43.33                      | 39.44 |          |                         |       |                            |       |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ง.4 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอลพีที  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 86.44                   | 85.99 | 85.55                      | 86.22 |
| ข        | 63.32                   | 60.73 | 59.77                      | 56.10 |
| ฃ        | 83.54                   | 81.55 | 76.66                      | 76.43 |
| ค        | 74.81                   | 81.10 | 74.66                      | 74.44 |
| ฅ        | 80.66                   | 80.88 | 64.44                      | 78.60 |
| ฉ        | 84.21                   | 85.32 | 80.88                      | 82.66 |
| ง        | 91.32                   | 91.99 | 89.33                      | 89.55 |
| จ        | 87.55                   | 88.21 | 83.77                      | 83.55 |
| ฉ        | 85.55                   | 85.27 | 83.55                      | 85.55 |
| ช        | 68.22                   | 68.21 | 63.10                      | 61.99 |
| ฌ        | 75.32                   | 74.44 | 71.77                      | 70.55 |
| ฉ        | 87.49                   | 89.43 | 82.21                      | 83.33 |
| ญ        | 82.21                   | 84.21 | 81.66                      | 85.27 |
| ฎ        | 70.88                   | 69.99 | 64.66                      | 66.43 |
| ฏ        | 70.27                   | 71.32 | 65.99                      | 69.10 |
| ฐ        | 88.88                   | 91.77 | 85.77                      | 83.99 |
| ฑ        | 85.77                   | 86.44 | 82.88                      | 85.55 |
| ฒ        | 80.88                   | 82.49 | 76.21                      | 77.32 |
| ณ        | 87.32                   | 88.88 | 83.99                      | 84.21 |
| ด        | 79.10                   | 78.88 | 77.10                      | 77.55 |
| ต        | 67.77                   | 73.55 | 65.55                      | 66.44 |
| ถ        | 77.10                   | 77.49 | 71.10                      | 73.55 |
| ท        | 85.99                   | 88.88 | 83.10                      | 84.66 |
| ธ        | 65.55                   | 67.32 | 62.77                      | 62.49 |
| น        | 86.88                   | 86.66 | 82.21                      | 83.05 |
| บ        | 77.33                   | 76.66 | 73.55                      | 72.66 |
| ป        | 92.66                   | 91.33 | 87.32                      | 87.10 |
| ผ        | 83.70                   | 88.14 | 74.21                      | 75.99 |
| ฝ        | 78.44                   | 82.21 | 78.66                      | 76.66 |
| พ        | 85.54                   | 85.77 | 79.32                      | 80.88 |
| ฟ        | 83.10                   | 82.66 | 78.05                      | 77.32 |
| ภ        | 79.55                   | 80.66 | 76.66                      | 80.21 |
| ม        | 79.99                   | 81.54 | 71.77                      | 69.25 |
| ย        | 77.10                   | 80.44 | 68.21                      | 72.21 |
| ร        | 71.55                   | 72.66 | 67.77                      | 68.66 |
| ล        | 78.66                   | 79.10 | 71.99                      | 70.27 |
| ว        | 89.10                   | 88.66 | 84.71                      | 86.93 |
| ศ        | 84.21                   | 83.33 | 78.21                      | 75.55 |
| ษ        | 85.77                   | 86.88 | 80.88                      | 77.03 |
| ส        | 66.66                   | 67.10 | 54.66                      | 54.66 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 78.44                   | 81.10 | 71.10                      | 70.88 |
| ฬ        | 85.55                   | 89.32 | 83.10                      | 80.27 |
| อ        | 76.94                   | 76.94 | 71.33                      | 68.88 |
| ฮ        | 74.81                   | 75.55 | 74.66                      | 73.55 |
| ฯ        | 81.10                   | 82.21 | 78.22                      | 79.32 |
| ฤ        | 82.66                   | 84.44 | 76.66                      | 76.88 |
| ฤ        | 76.11                   | 74.44 | 76.44                      | 82.21 |
| ฦ        | 83.99                   | 82.44 | 83.05                      | 84.66 |
| อ        | 94.43                   | 94.43 | 95.10                      | 94.88 |
| ๑        | 83.99                   | 82.88 | 82.21                      | 83.55 |
| ๒        | 88.88                   | 89.77 | 88.21                      | 89.55 |
| ๓        | 79.99                   | 80.88 | 78.66                      | 76.66 |
| ๔        | 69.99                   | 69.77 | 62.49                      | 58.33 |
| ๕        | 75.77                   | 76.88 | 64.88                      | 67.32 |
| ๖        | 92.88                   | 91.55 | 92.66                      | 90.88 |
| ๗        | 85.55                   | 86.88 | 82.88                      | 83.55 |
| ๘        | 68.44                   | 69.10 | 60.83                      | 59.72 |
| ๙        | 79.99                   | 81.99 | 72.21                      | 73.10 |
| ๐        | 95.10                   | 95.10 | 94.44                      | 93.99 |
| ๑        | 95.77                   | 94.88 | 93.77                      | 93.99 |
| ๒        | 96.66                   | 96.88 | 96.44                      | 96.66 |
| ๓        | 98.21                   | 97.77 | 97.77                      | 97.77 |
| ๔        | 86.43                   | 85.77 | 75.99                      | 78.22 |
| ๕        | 93.10                   | 94.21 | 90.43                      | 91.55 |
| ๖        | 87.55                   | 87.55 | 78.60                      | 80.27 |
| ๗        | 90.21                   | 91.10 | 87.10                      | 88.88 |
| ๘        | 91.32                   | 90.66 | 87.99                      | 87.10 |
| ๙        | 88.88                   | 87.77 | 83.10                      | 86.66 |
| ๐        | 79.99                   | 82.88 | 77.21                      | 78.60 |
| ๑        | 68.60                   | 71.10 | 64.71                      | 66.38 |
| ๒        | 74.71                   | 76.88 | 70.66                      | 70.83 |
| ๓        | 96.21                   | 96.43 | 96.21                      | 98.04 |
| ๔        | 90.88                   | 89.99 | 87.77                      | 88.21 |
| ๕        | 93.10                   | 93.55 | 89.10                      | 86.94 |
| ๖        | 95.10                   | 95.55 | 96.21                      | 95.77 |
| ๗        | 90.22                   | 91.55 | 89.77                      | 89.32 |
| ๘        | 94.44                   | 94.66 | 95.77                      | 94.88 |
| ๙        | 95.32                   | 96.43 | 95.99                      | 96.88 |
| ๐        | 93.77                   | 95.77 | 94.88                      | 95.99 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ 5.5 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว

โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอลดีอี

ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 90.66                   | 89.55 | 88.88                      | 89.99 |
| ข        | 68.43                   | 63.88 | 62.65                      | 62.88 |
| ฃ        | 82.66                   | 84.21 | 78.66                      | 79.77 |
| ค        | 88.66                   | 88.21 | 82.88                      | 83.33 |
| ด        | 82.44                   | 80.88 | 79.16                      | 77.77 |
| ฉ        | 89.32                   | 87.10 | 86.43                      | 86.10 |
| ง        | 94.21                   | 94.66 | 91.77                      | 93.05 |
| จ        | 88.44                   | 88.66 | 89.25                      | 85.27 |
| ฉ        | 92.44                   | 91.99 | 89.10                      | 87.49 |
| ช        | 67.77                   | 70.21 | 64.66                      | 62.77 |
| ช        | 79.44                   | 80.27 | 74.80                      | 68.88 |
| ฉ        | 91.10                   | 91.38 | 87.77                      | 86.21 |
| ญ        | 92.88                   | 91.10 | 89.71                      | 89.25 |
| ฎ        | 76.10                   | 78.33 | 72.21                      | 83.88 |
| ฏ        | 73.99                   | 74.44 | 75.17                      | 94.44 |
| ฐ        | 93.10                   | 91.99 | 86.88                      | 85.55 |
| ท        | 88.66                   | 86.66 | 83.10                      | 83.32 |
| ฒ        | 85.77                   | 85.55 | 83.55                      | 84.44 |
| ณ        | 90.66                   | 91.99 | 87.10                      | 87.77 |
| ด        | 85.99                   | 85.77 | 78.88                      | 76.94 |
| ด        | 75.55                   | 77.54 | 71.10                      | 72.21 |
| ถ        | 78.21                   | 84.81 | 76.44                      | 75.27 |
| ท        | 91.33                   | 91.55 | 88.88                      | 88.05 |
| ธ        | 77.03                   | 74.88 | 66.44                      | 65.27 |
| น        | 89.77                   | 88.88 | 85.99                      | 86.94 |
| บ        | 79.55                   | 79.77 | 77.77                      | 78.14 |
| ป        | 93.77                   | 93.99 | 88.66                      | 89.16 |
| ผ        | 88.88                   | 89.44 | 83.32                      | 78.66 |
| ฝ        | 78.21                   | 80.88 | 77.77                      | 71.94 |
| พ        | 87.99                   | 89.10 | 85.32                      | 86.94 |
| ฟ        | 82.88                   | 81.33 | 79.99                      | 78.32 |
| ภ        | 84.66                   | 82.43 | 81.99                      | 80.88 |
| ม        | 81.77                   | 83.99 | 78.05                      | 77.22 |
| ย        | 82.21                   | 81.99 | 71.94                      | 73.88 |
| ร        | 79.33                   | 78.44 | 73.55                      | 73.05 |
| ล        | 86.21                   | 82.66 | 79.10                      | 79.71 |
| ว        | 92.88                   | 91.33 | 89.71                      | 89.62 |
| ศ        | 89.99                   | 89.55 | 83.55                      | 83.60 |
| ษ        | 89.99                   | 90.21 | 84.21                      | 83.88 |
| ส        | 75.77                   | 71.77 | 63.99                      | 58.88 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 85.99                   | 84.44 | 79.99                      | 77.21 |
| พ        | 91.32                   | 92.43 | 82.96                      | 81.11 |
| อ        | 82.49                   | 79.99 | 79.99                      | 79.16 |
| ฮ        | 79.25                   | 80.83 | 80.66                      | 78.88 |
| ช        | 85.10                   | 86.21 | 82.21                      | 79.77 |
| ญ        | 86.66                   | 85.77 | 78.21                      | 78.05 |
| ฤ        | 75.55                   | 78.33 | 76.22                      | 77.77 |
| ฤ        | 82.44                   | 86.21 | 81.33                      | 81.38 |
| อ        | 95.55                   | 95.77 | 94.88                      | 94.99 |
| ด        | 86.43                   | 87.10 | 84.66                      | 83.88 |
| บ        | 91.32                   | 91.10 | 91.10                      | 90.83 |
| ค        | 85.27                   | 83.77 | 79.10                      | 77.33 |
| ค        | 72.88                   | 73.77 | 69.55                      | 65.83 |
| ค        | 83.77                   | 83.77 | 75.99                      | 75.27 |
| บ        | 93.99                   | 93.99 | 92.88                      | 92.22 |
| ค        | 89.77                   | 90.66 | 86.43                      | 83.88 |
| ค        | 78.21                   | 77.77 | 67.22                      | 67.21 |
| ค        | 82.66                   | 83.10 | 76.88                      | 77.99 |
| ค        | 97.10                   | 96.88 | 96.21                      | 95.27 |
| ก        | 95.10                   | 94.88 | 93.32                      | 94.88 |
| ค        | 96.66                   | 97.10 | 96.66                      | 97.21 |
| แ        | 98.88                   | 98.88 | 98.88                      | 96.66 |
| โ        | 90.44                   | 88.88 | 83.55                      | 80.44 |
| ไ        | 95.32                   | 95.99 | 93.10                      | 90.36 |
| ไ        | 87.99                   | 87.99 | 82.49                      | 82.77 |
| ค        | 93.33                   | 91.32 | 91.10                      | 90.22 |
| ค        | 93.55                   | 91.55 | 89.77                      | 89.10 |
| ค        | 91.10                   | 92.21 | 88.43                      | 91.10 |
| ค        | 84.66                   | 89.99 | 84.22                      | 88.51 |
| ค        | 75.54                   | 77.02 | 68.60                      | 95.55 |
| ค        | 77.10                   | 77.10 | 73.32                      | 74.44 |
| '        | 97.32                   | 96.88 | 96.44                      | 96.21 |
| ค        | 92.44                   | 91.99 | 91.77                      | 90.88 |
| ค        | 93.33                   | 93.77 | 88.33                      | 86.93 |
| *        | 96.66                   | 97.10 | 96.21                      | 95.99 |
| ค        | 93.99                   | 92.88 | 92.88                      | 92.44 |
| °        | 95.32                   | 95.55 | 96.21                      | 95.99 |
| จ        | 96.88                   | 98.65 | 97.10                      | 97.55 |
| ค        | 96.21                   | 94.66 | 97.10                      | 94.88 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท

ตารางที่ ๖.6 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว

โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีดีเอ็นอี

ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 87.10                   | 89.77 | 85.99                      | 90.21 |
| ข        | 57.22                   | 66.66 | 60.27                      | 56.66 |
| ฃ        | 82.44                   | 83.99 | 78.88                      | 81.10 |
| ค        | 81.77                   | 85.10 | 72.77                      | 76.66 |
| ค        | 80.88                   | 83.33 | 75.10                      | 78.22 |
| ฅ        | 79.32                   | 87.10 | 74.71                      | 85.32 |
| ง        | 94.66                   | 94.88 | 92.21                      | 92.44 |
| จ        | 89.99                   | 90.44 | 88.05                      | 87.33 |
| ฉ        | 92.66                   | 93.10 | 88.88                      | 88.88 |
| ช        | 68.33                   | 70.55 | 71.38                      | 73.69 |
| ช        | 76.88                   | 75.83 | 73.77                      | 74.43 |
| ฌ        | 78.88                   | 87.32 | 81.33                      | 87.10 |
| ญ        | 91.33                   | 92.88 | 85.32                      | 89.10 |
| ฎ        | 80.44                   | 78.44 | 74.21                      | 68.14 |
| ฏ        | 74.43                   | 73.10 | 71.99                      | 72.43 |
| ฐ        | 91.10                   | 92.21 | 84.21                      | 87.33 |
| ท        | 81.77                   | 90.22 | 80.66                      | 84.44 |
| ฒ        | 81.94                   | 87.77 | 81.32                      | 88.44 |
| ณ        | 87.55                   | 93.99 | 83.55                      | 89.99 |
| ด        | 83.55                   | 86.66 | 79.32                      | 81.32 |
| ด        | 74.44                   | 76.66 | 68.44                      | 73.10 |
| ถ        | 69.55                   | 85.83 | 60.73                      | 77.77 |
| ท        | 86.38                   | 87.33 | 81.10                      | 86.21 |
| ธ        | 73.77                   | 80.55 | 69.71                      | 68.60 |
| น        | 92.44                   | 92.22 | 85.99                      | 87.10 |
| บ        | 79.10                   | 81.33 | 74.66                      | 79.72 |
| ป        | 92.66                   | 93.77 | 91.10                      | 89.10 |
| ผ        | 86.88                   | 92.49 | 80.88                      | 83.99 |
| ฝ        | 80.66                   | 83.32 | 75.27                      | 79.10 |
| พ        | 87.10                   | 89.10 | 82.77                      | 85.10 |
| ฟ        | 82.88                   | 83.99 | 76.66                      | 81.10 |
| ภ        | 76.21                   | 84.21 | 74.22                      | 82.66 |
| ม        | 82.49                   | 84.66 | 71.10                      | 81.10 |
| ย        | 84.21                   | 85.77 | 78.60                      | 79.99 |
| ร        | 78.66                   | 79.10 | 70.83                      | 76.21 |
| ล        | 84.66                   | 83.10 | 78.66                      | 78.44 |
| ว        | 92.44                   | 92.22 | 91.10                      | 91.38 |
| ศ        | 86.22                   | 91.66 | 76.88                      | 85.77 |
| ษ        | 89.77                   | 90.66 | 83.77                      | 85.10 |
| ส        | 63.77                   | 73.77 | 51.99                      | 59.77 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 87.55                   | 85.55 | 78.04                      | 80.66 |
| ฬ        | 91.99                   | 91.55 | 86.43                      | 86.10 |
| อ        | 84.22                   | 86.21 | 82.49                      | 81.77 |
| ฮ        | 77.77                   | 83.05 | 74.71                      | 83.32 |
| ฯ        | 81.10                   | 86.66 | 81.10                      | 82.66 |
| ฤ        | 81.99                   | 86.21 | 70.73                      | 80.44 |
| ฤ        | 71.38                   | 80.21 | 71.99                      | 76.88 |
| ฦ        | 80.21                   | 84.44 | 69.71                      | 78.04 |
| อ        | 95.77                   | 96.88 | 94.43                      | 95.99 |
| ๑        | 86.21                   | 85.55 | 85.10                      | 85.10 |
| ๒        | 92.21                   | 92.88 | 91.10                      | 92.66 |
| ๓        | 83.55                   | 83.77 | 78.05                      | 80.44 |
| ๔        | 71.99                   | 70.88 | 58.13                      | 48.88 |
| ๕        | 84.66                   | 86.43 | 80.55                      | 79.55 |
| ๖        | 93.33                   | 94.88 | 91.77                      | 93.10 |
| ๗        | 84.66                   | 87.99 | 79.55                      | 80.55 |
| ๘        | 78.21                   | 80.21 | 75.27                      | 75.10 |
| ๙        | 80.44                   | 83.99 | 76.38                      | 79.54 |
| ๐        | 97.99                   | 98.21 | 97.10                      | 97.77 |
| ๑        | 94.66                   | 95.32 | 93.54                      | 93.55 |
| ๒        | 97.10                   | 97.55 | 96.66                      | 97.10 |
| ๓        | 98.21                   | 98.43 | 98.21                      | 98.44 |
| ๔        | 78.05                   | 89.77 | 74.22                      | 83.77 |
| ๕        | 94.66                   | 95.77 | 91.99                      | 94.88 |
| ๖        | 84.44                   | 89.10 | 78.60                      | 84.16 |
| ๗        | 92.66                   | 93.77 | 88.22                      | 91.38 |
| ๘        | 92.44                   | 93.77 | 89.55                      | 91.55 |
| ๙        | 88.43                   | 89.99 | 85.77                      | 89.32 |
| ๐        | 85.10                   | 88.66 | 83.77                      | 83.05 |
| ๑        | 75.55                   | 78.66 | 72.21                      | 73.88 |
| ๒        | 78.32                   | 84.71 | 69.72                      | 75.99 |
| ๓        | 95.99                   | 97.32 | 97.21                      | 95.99 |
| ๔        | 90.88                   | 93.77 | 87.77                      | 94.16 |
| ๕        | 93.99                   | 94.44 | 89.54                      | 89.32 |
| ๖        | 96.88                   | 96.66 | 96.66                      | 97.10 |
| ๗        | 92.88                   | 92.88 | 89.77                      | 92.88 |
| ๘        | 94.44                   | 95.55 | 94.88                      | 94.21 |
| ๙        | 97.32                   | 97.99 | 95.77                      | 97.99 |
| ๐        | 95.10                   | 96.22 | 94.21                      | 96.43 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท



ตารางที่ ๗.7 อัตราการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เฉลี่ยแต่ละตัว  
โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัวเป็นตัวจำแนกประเภท และข้อมูลทำการลดมิติด้วยวิธีแอล-ไอโซแมป  
ทดสอบกับชุดข้อมูลที่แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่และกลุ่มย่อยสำหรับตัวอักษรที่มีความคล้ายคลึงกันและกำหนดพื้นที่ย่อยที่นำไปใช้

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ก        | 71.10                   | 72.21 | 70.88                      | 66.88 |
| ข        | 44.16                   | 43.05 | 41.99                      | 41.10 |
| ฃ        | 65.32                   | 65.10 | 61.10                      | 57.99 |
| ค        | 59.99                   | 58.60 | 57.32                      | 60.21 |
| ฅ        | 68.21                   | 61.38 | 60.55                      | 55.55 |
| ฉ        | 73.32                   | 67.32 | 69.10                      | 66.66 |
| ง        | 80.21                   | 74.99 | 76.66                      | 68.66 |
| จ        | 71.77                   | 65.55 | 65.27                      | 58.33 |
| ฉ        | 72.44                   | 69.55 | 70.88                      | 64.16 |
| ช        | 42.21                   | 42.49 | 42.43                      | 42.44 |
| ฌ        | 61.84                   | 49.16 | 48.66                      | 51.38 |
| ฉ        | 72.21                   | 72.58 | 69.55                      | 72.21 |
| ญ        | 69.55                   | 59.77 | 64.66                      | 52.88 |
| ฎ        | 51.38                   | 52.21 | 51.66                      | 51.77 |
| ฏ        | 62.44                   | 57.99 | 58.32                      | 56.22 |
| ฐ        | 77.10                   | 69.99 | 70.54                      | 68.66 |
| ฑ        | 76.21                   | 72.44 | 80.27                      | 69.55 |
| ฒ        | 68.44                   | 71.33 | 73.55                      | 67.10 |
| ณ        | 76.88                   | 74.44 | 68.60                      | 68.05 |
| ด        | 67.10                   | 69.32 | 75.55                      | 68.05 |
| ต        | 59.10                   | 56.88 | 58.21                      | 58.60 |
| ถ        | 70.27                   | 61.32 | 59.99                      | 64.16 |
| ท        | 67.49                   | 63.10 | 70.43                      | 62.21 |
| ธ        | 47.10                   | 47.03 | 41.55                      | 42.44 |
| น        | 69.99                   | 65.32 | 65.27                      | 61.94 |
| บ        | 66.88                   | 67.99 | 68.51                      | 62.21 |
| ป        | 76.88                   | 73.99 | 71.10                      | 66.93 |
| ผ        | 66.66                   | 70.73 | 55.83                      | 55.33 |
| ฝ        | 62.88                   | 66.21 | 65.55                      | 64.71 |
| พ        | 66.66                   | 66.66 | 69.99                      | 65.77 |
| ฟ        | 66.66                   | 64.88 | 58.51                      | 56.93 |
| ภ        | 74.99                   | 69.77 | 69.55                      | 68.14 |
| ม        | 63.77                   | 62.43 | 57.21                      | 48.88 |
| ย        | 68.33                   | 61.38 | 53.88                      | 57.55 |
| ร        | 48.44                   | 37.21 | 44.16                      | 43.05 |
| ล        | 48.88                   | 43.77 | 41.38                      | 44.99 |
| ว        | 72.66                   | 68.66 | 73.32                      | 75.55 |
| ศ        | 59.10                   | 54.21 | 57.49                      | 57.77 |
| ษ        | 66.21                   | 53.88 | 62.21                      | 56.66 |
| ส        | 30.36                   | 37.32 | 30.88                      | 30.44 |

| ตัวอักษร | ความแม่นยำ (%)          |       |                            |       |
|----------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
|          | ชุดทดสอบขึ้นกับผู้เขียน |       | ชุดทดสอบไม่ขึ้นกับผู้เขียน |       |
|          | ชุด A                   | ชุด B | ชุด A                      | ชุด B |
| ห        | 54.99                   | 55.55 | 51.77                      | 49.77 |
| ฬ        | 64.06                   | 63.99 | 61.99                      | 59.77 |
| อ        | 59.44                   | 58.88 | 50.55                      | 52.66 |
| ฮ        | 46.94                   | 51.55 | 43.33                      | 44.21 |
| ๕        | 72.49                   | 75.55 | 62.66                      | 60.27 |
| ๖        | 57.99                   | 60.66 | 62.43                      | 58.21 |
| ๗        | 59.33                   | 59.99 | 74.44                      | 61.94 |
| ๘        | 74.44                   | 70.43 | 73.05                      | 65.82 |
| ๙        | 90.21                   | 90.88 | 90.88                      | 84.43 |
| ๐        | 66.66                   | 64.99 | 59.16                      | 56.66 |
| ๑        | 77.77                   | 72.43 | 75.99                      | 70.21 |
| ๒        | 65.83                   | 62.58 | 60.21                      | 58.14 |
| ๓        | 50.66                   | 50.21 | 54.06                      | 48.88 |
| ๔        | 57.55                   | 57.33 | 52.21                      | 53.10 |
| ๕        | 77.77                   | 79.32 | 76.21                      | 74.72 |
| ๖        | 67.32                   | 70.43 | 59.55                      | 52.21 |
| ๗        | 51.66                   | 48.66 | 48.88                      | 45.55 |
| ๘        | 59.77                   | 58.44 | 52.21                      | 53.60 |
| ๙        | 81.66                   | 78.88 | 78.88                      | 64.44 |
| ๐        | 78.32                   | 79.10 | 84.81                      | 77.99 |
| ๑        | 91.33                   | 87.99 | 91.10                      | 87.99 |
| ๒        | 88.66                   | 89.32 | 87.55                      | 86.22 |
| ๓        | 67.55                   | 64.88 | 64.44                      | 62.77 |
| ๔        | 86.43                   | 79.33 | 79.71                      | 77.03 |
| ๕        | 68.44                   | 65.99 | 63.77                      | 60.27 |
| ๖        | 72.44                   | 76.21 | 82.21                      | 72.44 |
| ๗        | 82.66                   | 81.33 | 83.33                      | 69.44 |
| ๘        | 77.77                   | 74.22 | 74.66                      | 72.88 |
| ๙        | 74.66                   | 73.61 | 69.16                      | 65.27 |
| ๐        | 62.21                   | 60.66 | 58.88                      | 56.94 |
| ๑        | 58.60                   | 54.66 | 57.77                      | 55.92 |
| ๒        | 90.55                   | 87.10 | 89.99                      | 92.77 |
| ๓        | 79.99                   | 75.10 | 79.99                      | 72.49 |
| ๔        | 74.66                   | 64.43 | 73.05                      | 70.83 |
| ๕        | 91.55                   | 89.10 | 92.21                      | 82.21 |
| ๖        | 84.66                   | 78.88 | 80.43                      | 77.03 |
| ๗        | 87.99                   | 85.32 | 86.88                      | 83.60 |
| ๘        | 96.43                   | 96.43 | 95.54                      | 93.99 |
| ๙        | 95.32                   | 94.44 | 94.43                      | 94.21 |

ชุด A คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงอย่างสุ่ม

ชุด B คือ ชุดการทดลองที่เลือกตัวแทนสำหรับชุดฝึกจริงเฉพาะข้อมูลที่อยู่ตรงขอบของประเภท



ภาคผนวก ง

การทำคู่ทดสอบที (paired t-test) ของการทดลองที่ 2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



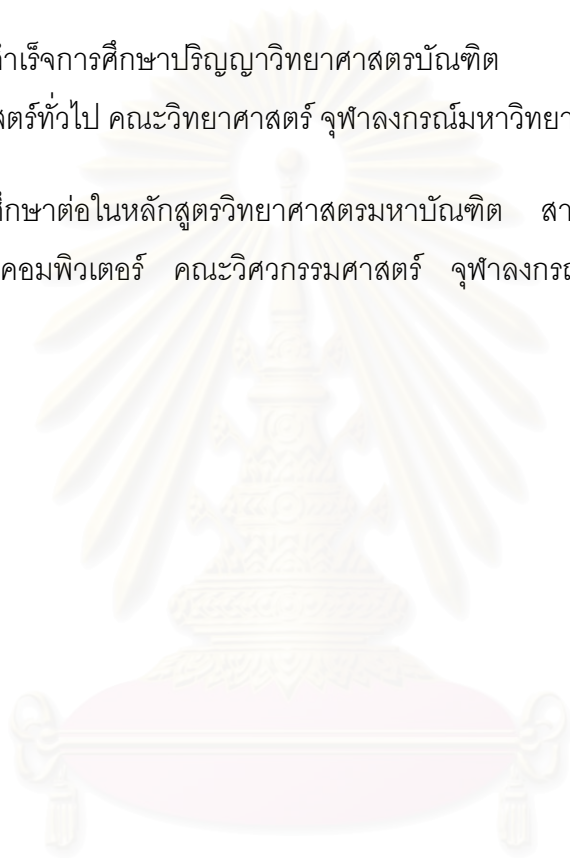


## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายโกวิท ปัญญาโสภณเลิศ เกิดเมื่อวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2525 จังหวัด กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรคนที่ 2 จากทั้งหมด 4 คน

สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2548

ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย