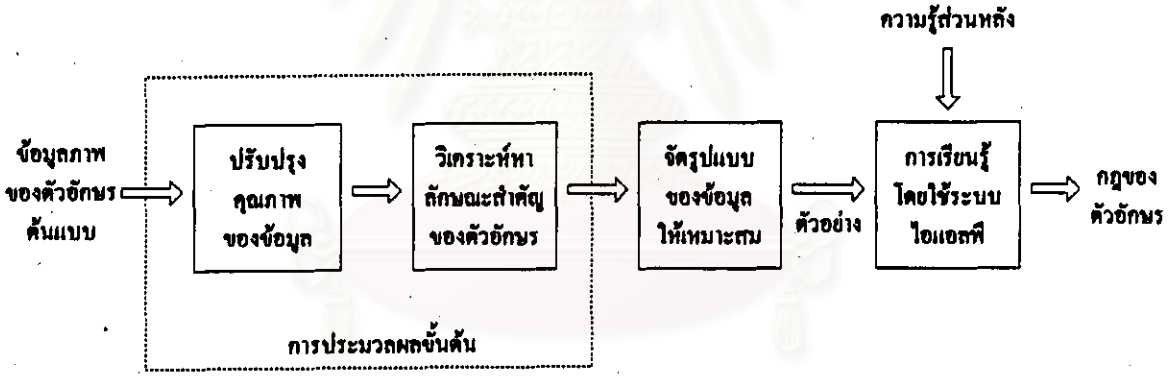
บทที่ 3

กรรมวิธีการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย

ในบทนี้จะเริ่มต้นด้วยการกล่าวถึง โครงสร้างของระบบงานอย่างกว้างๆ แล้วจึงอธิบายรายละเอียดในแต่ละส่วนงาน ประกอบด้วย การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การวิเคราะห์หาลักษณะสำคัญของตัวอักษร และ การเรียนรู้โดยใช้ระบบไอแอลพี ผลการเรียนรู้ที่ได้จะแสดงไว้ในส่วนท้ายของบท

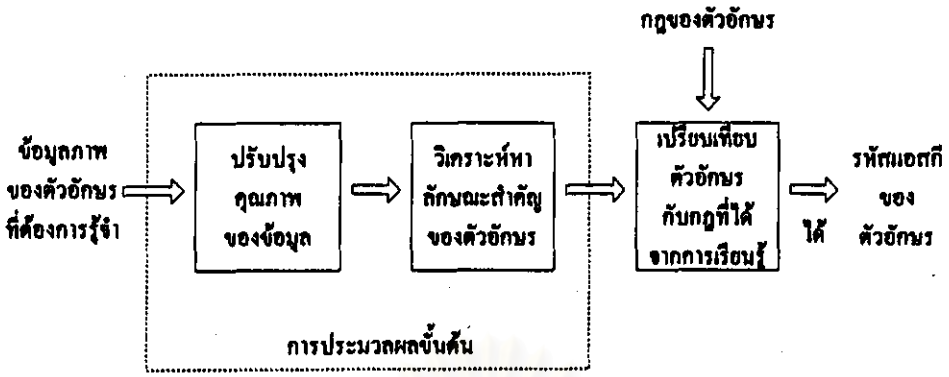
โครงสร้างของระบบ

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย (Inductive Logic Programming) หรือเรียกโดยย่อว่า ไอแอลพี (ILP) โดยประยุกต์กับการรู้จำตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย งานวิจัยนี้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการเรียนรู้ตัวอักษร โดยใช้ระบบไอแอลพี ผลที่ได้จากการเรียนรู้คือกฎ (rules) ที่สามารถนิยามลักษณะของตัวอักษรแต่ละตัวให้แตกต่างจากตัวอักษรอื่นๆได้ และขั้นตอนการรู้จำตัวอักษร โดยใช้กฎที่ได้จากการเรียนรู้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบการเรียนรู้

พิจารณารูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการเรียนรู้ กล่าวคือ เมื่อนำข้อมูลตัวอักษรต้นแบบจากสิ่งพิมพ์มาผ่านเครื่องกวาดตรวจ ได้เป็นแฟ้มข้อมูลภาพของตัวอักษรแล้ว นำแฟ้มข้อมูลที่ได้มาผ่านการประมวลผลขั้นต้น (preprocess) และแปลงข้อมูลตัวอักษรให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปเป็นข้อมูลตัวอย่างให้กับระบบไอแอลพี รวมทั้งต้องจัดหาความรู้ส่วนหลังที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการเรียนรู้ลักษณะเฉพาะของตัวอักษรแต่ละตัว และสร้างเป็นกฎของตัวอักษร



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของระบบการรู้จำ

พิจารณารูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการรู้จำตัวอักษร ข้อมูลภาพของตัวอักษรที่ต้องการรู้จำจะถูกนำมาผ่านการประมวลผลขั้นต้นเช่นเดียวกัน แล้วจึงนำไปเปรียบเทียบกับกฎของตัวอักษรที่ได้ ถ้าข้อมูลตัวอักษรสามารถถูกอธิบายได้ด้วยกฎของตัวอักษรใด ก็จะได้ผลการรู้จำเป็นตัวอักษรนั้นๆ แต่ถ้าไม่มีกฎใดที่สามารถอธิบายตัวอักษรดังกล่าวได้ จะเลือกกฎของตัวอักษรที่ใกล้เคียงมากที่สุดให้เป็นผลการรู้จำ .

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการประมวลผลขั้นต้นจากงานวิจัยในอดีต คือ "งานวิจัยเรื่องการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้เทคนิคแบบฟัซซีโลจิกและวิธีซินแทกติก" ของ นายเดชา รัตนาชาร [2] เนื่องจากเป็นงานวิจัยที่ได้ผลความถูกต้องของการรู้จำสูง ซึ่งการประมวลผลดังกล่าวมีวิธีการทำงาน คือ การนำข้อมูลภาพของตัวอักษรมาเข้ากระบวนการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล โดยการกำจัดสัญญาณรบกวนและทำตัวอักษรให้บาง เพื่อให้เหลือความกว้างของเส้นเพียง 1 จุดภาพ ได้เป็นลักษณะโครงร่างของตัวอักษร จากนั้นข้อมูลจุดภาพของตัวอักษรจะถูกนำไปวิเคราะห์หาลักษณะสำคัญของตัวอักษร โดยการเข้ารหัสเพื่อหาทิศทางของจุดภาพ แล้วจึงแปลงให้เป็นเวกเตอร์ (vector) จากนั้นจึงเปลี่ยนเวกเตอร์ให้เหลือเพียงทิศทางของเวกเตอร์เพียงอย่างเดียว เรียกว่า หน่วยสร้างพื้นฐาน (primitive) หลังจากที่แทนภาพข้อมูลของตัวอักษรด้วยหน่วยสร้างพื้นฐานแล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปเป็นตัวอย่างให้กับระบบไอแอลพีเพื่อการเรียนรู้ และใช้เป็นข้อมูลเพื่อการรู้จำต่อไป

1. <u>การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล</u> [7]

ข้อมูลภาพของตัวอักษรเมื่อนำมาผ่านเครื่องกวาดตรวจ จะถูกจัดเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลภาพในรูปแบบ BMP โดยกำหนดให้เก็บข้อมูลภาพเป็นแบบขาวดำ การเก็บข้อมูลภาพแบบนี้จะใช้ 1 บิตข้อมูลต่อ 1 จุดภาพ กล่าวคือ 1 จุดภาพจะมีค่าเพียง 2 ค่าเท่านั้น คือ 0 แสดงว่าเป็นจุดภาพของตัวอักษร และ 1 แสดงว่า

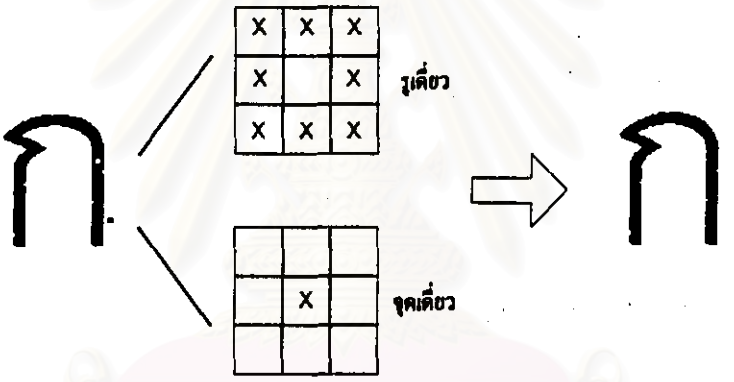
ไม่ใช่จุดภาพ ข้อมูลภาพที่ได้อาจจะมีจุดภาพที่ไม่ต้องการปะปนเข้ามา หรือบางจุดภาพขาดหายไป จึงต้องนำมาผ่านการปรับปรุงคุณภาพก่อน โดยมีวิธีการดังนี้

1.1 การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)

สัญญาณรบกวนที่ทำให้ข้อมูลภาพของตัวอักษรมีลักษณะเป็นจุดเดี่ยวและรูเดี่ยว จะถูกกำจัดโดยใช้ตารางหน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพ ตรวจสอบกับทุกๆจุดภาพ ดังรูปที่ 3.3 โดยมีเงื่อนไขการตรวจสอบ ดังนี้

1.1.1 ถ้า X เป็นจุดภาพ และจำนวนจุดข้างเคียงของจุดภาพ X ทั้ง 8 ช่องหน้าต่าง ไม่มีจุดภาพใดๆเลย แสดงว่าจุด X เป็นจุดเดี่ยว ให้ลบจุดภาพนี้ออกไป

1.1.2 ถ้า X ไม่ใช่จุดภาพ และจำนวนจุดข้างเคียงของจุดภาพ X ทั้ง 8 ช่องหน้าต่าง เป็นจุดภาพทั้ง 8 ช่อง แสดงว่าจุด X เป็นรูเดี่ยว ให้เปลี่ยนจุด X เป็นจุดภาพ



ก. ก่อนการกำจัดสัญญาณรบกวน ข. หลังการกำจัดสัญญาณรบกวน

รูปที่ 3.3 การกำจัดสัญญาณรบกวน

1.2 การทำตัวอักษรให้บาง (Thinning)

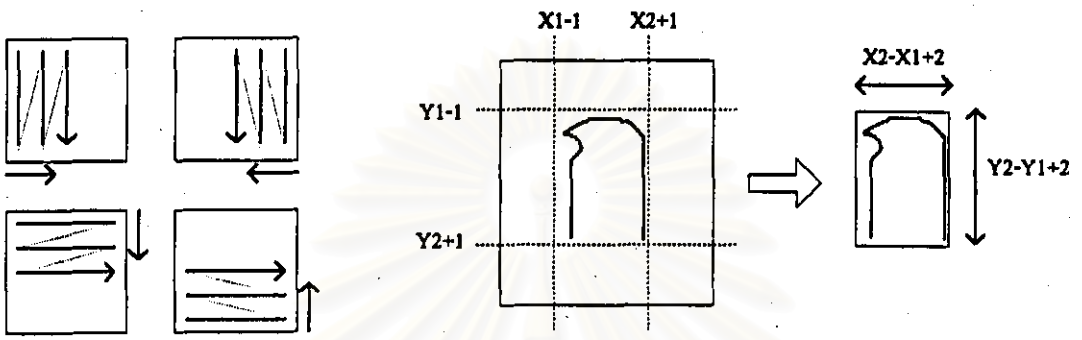
จุดประสงค์เพื่อทำให้ข้อมูลภาพของตัวอักษรมีความกว้างของเส้นเพียง 1 จุดภาพ เรียกว่า โครงร่างของภาพ (skeleton) ซึ่งวิธีการที่ใช้ คือ เอสพีทีเอ (Safe Point Thinning Algorithm, SPTA) [2] ผลการทำตัวอักษรให้บาง แสดงในรูปที่ 3.4

ก. ตัวอักษรก่อนการทำให้บาง ข. ตัวอักษรหลังการทำให้บาง

รูปที่ 3.4 การทำตัวอักษรให้บาง

1.3 การปรับกรอบของตัวอักษร

หลังการทำตัวอักษรให้บางแล้วความกว้างของตัวอักษรจะมีขนาดลดลง ทำให้เหลือขอบภาพที่ว่างเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีการปรับขนาดของกรอบภาพให้พอดีกับขนาดของภาพ โดยการตรวจสอบหาจุดภาพจากขอบภาพ จนกระทั่งพบจุดภาพแรกในแนวขอบนั้นๆ ทำจนครบทั้ง 4 ขอบภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทั้งนี้การปรับกรอบภาพจะเหลือขอบนอกสุดของภาพทั้ง 4 ด้านให้ว่างไว้ด้านละ 1 จุดภาพ เพื่อความสะดวกในการนำข้อมูลภาพไปใช้งาน



ก. ทิศทางการตรวจสอบกรอบของตัวอักษร ข. การปรับกรอบของตัวอักษรให้พอดีกับตัวอักษร

รูปที่ 3.5 การปรับกรอบของตัวอักษร

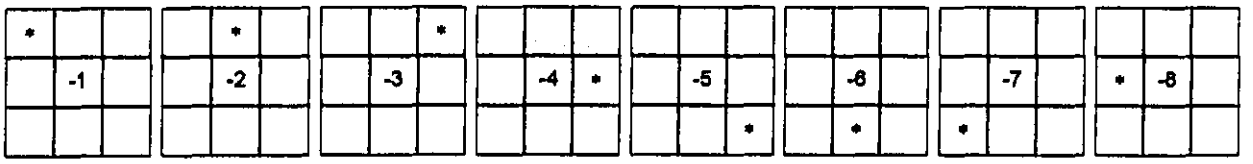
2. การวิเคราะห์หาลักษณะสำคัญของตัวอักษร [7]

หลังจากข้อมูลภาพของตัวอักษรผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลแล้ว จะได้โครงร่างของตัวอักษร หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์หาลักษณะสำคัญของตัวอักษร เพื่อใช้เป็นข้อมูลแทนตัวอักษรนั้นๆในการ เรียนรู้และการรู้จำ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

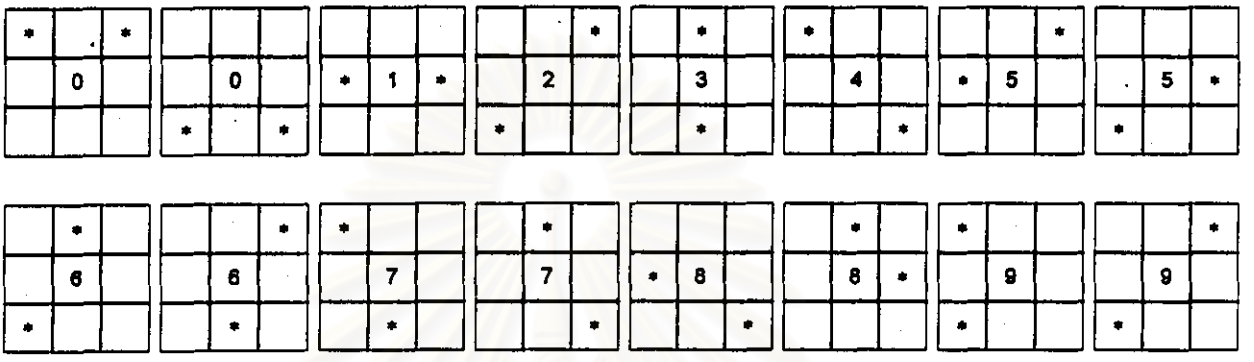
2.1 การเข้ารหัสจุดภาพของตัวอักษร

ก่อนที่โครงร่างของตัวอักษรจะถูกแปลงเป็นเวกเตอร์นั้น จะมีการแทนค่าแต่ละจุดภาพด้วยรหัสเงื่อนไข (condition code) เพื่อความสะดวกในการหาทิศทางของจุดภาพที่เรียงต่อเนื่องกัน โดยใช้ตารางหน้าต่างขนาด 3x3 จุดภาพ ตรวจสอบกับทุกๆจุดภาพ และทำการเปรียบเทียบกับจุดภาพรอบข้างทั้ง 8 จุดภาพในตารางหน้าต่าง สมมติให้ X แทนจุดภาพที่ต้องการแทนค่า วิธีการแทนค่าด้วยรหัสเงื่อนไข มีดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 การแทนค่าจุดภาพด้วยรหัสเงื่อนไขที่เป็นเลขลบ ให้กับจุดภาพที่เป็นจุดปลาย



รูปที่ 3.7 การแทนค่าจุดภาพด้วยรหัสเงื่อนไขที่เป็นเลขบวก ให้กับจุดภาพที่เป็นจุดต่อเนื่อง

2.1.1 ถ้า X เป็นจุดภาพ และมีจุดภาพรอบข้างมากกว่า 2 จุดขึ้นไป แสดงว่าเป็นจุดทางแยก ให้แทนจุดนั้นด้วยรหัสเงื่อนไข -9

2.1.2 ถ้า X เป็นจุดภาพ และมีจุดภาพรอบข้างเพียง 1 จุด แสดงว่าเป็นจุดปลายของภาพตัวอักษร ให้แทนจุดนั้นด้วยรหัสเงื่อนไขเลขลบ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

2.1.3 ถ้า X เป็นจุดภาพ และมีจุดภาพรอบข้างเพียง 2 จุด แสดงว่าเป็นจุดต่อเนื่อง ให้แทนจุดนั้นด้วยรหัสเงื่อนไขเลขบวก ดังแสดงในรูปที่ 3.7

2.1.4 ถ้า X ไม่ใช่จุดภาพ หรือเป็นจุดภาพที่มีข้อกำหนดนอกเหนือจากที่ได้ระบุไว้ ให้แทนจุดภาพนั้นด้วยรหัสเงื่อนไข -128

รหัสเงื่อนไขที่ไม่ใช่เลข -9 และ -128 สามารถคำนวณหาตำแหน่งของจุดถัดไปโดยใช้สูตรตามตารางที่ 3.1 ก สำหรับจุดต่อเนื่อง และ ตาราง 3.1 ข สำหรับจุดปลาย

ตารางที่ 3.1 ก สูตรคำนวณหาจุดถัดไปของจุดต่อเนื่อง

รหัสเงื่อนไขของตำแหน่งปัจจุบัน	ตำแหน่งของจุดถัดไป (n_i, n_j)
0	(pi , 2j - pj)
1	(i , 2j - pj)
2 , 4	(2i - pj , 2j - pj)
3	(2i - pj , j)
5	(i - j + pj , 2j - pj) ; i = pi (i , 2j - pj) ; otherwise
6	(2i - pj , j -i + pj) ; j = pj (2i - pi , j) ; otherwise
7	(2i - pj , i + 1 - pj) ; j = pj (2i - pi , j) ; otherwise
8	(i + j - pj , 2j - pj) ; i = pi (i , 2j - pj) ; otherwise
9	(2i - pi , pj)

ตารางที่ 3.1 ข สูตรคำนวณหาจุดถัดไปของจุดปลาย

รหัสเงื่อนไขของตำแหน่งปัจจุบัน	ตำแหน่งของจุดถัดไป (n_i, n_j)
-1	(i - 1 , j - 1)
-2	(i - 1 , j)
-3	(i - 1 , j + 1)
-4	(i , j + 1)
-5	(i + 1 , j + 1)
-6	(i + 1 , j)
-7	(i + 1 , j - 1)
-8	(i , j - 1)

(i , j) = ตำแหน่งของจุดภาพปัจจุบัน

(pi , pj) = ตำแหน่งของจุดภาพก่อนหน้า

ตัวอย่าง การคำนวณหาจุดถัดไป

สมมติให้ X คือ จุดต่อเนื่องและมีค่ารหัสเงื่อนไขเท่ากับ 0 ตำแหน่งของ X (i , j) = (10 , 10)

ถ้าจุดภาพก่อนหน้าของ X (pi , pj) = (11 , 9) ได้จุดภาพถัดไปของ X (pi , 2j - pj) = (11 , 11)

ถ้าจุดภาพก่อนหน้าของ X (pi , pj) = (9 , 9) ได้จุดภาพถัดไปของ X (pi , 2j - pj) = (9 , 11)

รหัสเงื่อนไขของแต่ละจุดภาพที่เป็นจำนวนบวกที่มีค่า 1 ถึง 8 แสดงถึงจุดภาพนั้นทำมุมในทิศทางต่างๆกันดังแสดงในตาราง 3.2 รหัสเงื่อนไข 1 ถึง 4 เรียกว่ารหัสเงื่อนไขหลัก ทำมุมเป็นทวีคูณของมุม 45 องศา รหัสเงื่อนไข 5 ถึง 8 เรียกว่ารหัสเงื่อนไขรอง ทำมุมเป็นทวีคูณของมุม 30 องศา ส่วนรหัสเงื่อนไข 0 และ 9 เป็นจุดหักเหของเส้นโครงร่างของภาพ

จากตารางที่ 3.2 แสดงถึงจุดภาพที่เป็นรหัสเงื่อนไขเดียวกันเรียงต่อเนื่องกัน แต่ถ้าเป็นจุดภาพที่มีการเรียงของรหัสเงื่อนไขหลักและรหัสเงื่อนไขรองคละกัน จะได้มุมของเส้นดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 มุมของรหัสเงื่อนไข

รหัสเงื่อนไข	มุม (องศา)
1	0
2	45
3	90
4	135
5	30
6	60
7	120
8	150

ตารางที่ 3.3 มุมที่ได้จากการเรียงรหัสเงื่อนไขคละกัน

รหัสเงื่อนไขเรียงต่อเนื่อง	มุม (องศา)
1 - 5 - 1	$0 < \theta < 30$
2 - 5 - 2	$30 < \theta < 45$
2 - 6 - 2	$46 < \theta < 60$
3 - 6 - 3	$60 < \theta < 90$
3 - 7 - 3	$90 < \theta < 120$
4 - 7 - 4	$120 < \theta < 135$
4 - 8 - 4	$135 < \theta < 150$
1 - 8 - 1	$150 < \theta < 180$

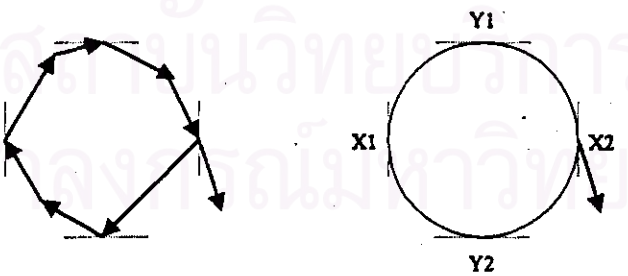
2.2 <u>การแปลงจุดภาพที่เข้ารหัสให้เป็นเวกเตอร์</u>

เป็นการรวมจุดภาพที่มีรหัสเงื่อนไขเหมือนกัน หรือเป็นรหัสเงื่อนไขที่ต่อเนื่องกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.4 รวมเข้าด้วยกันเป็น 1 เวกเตอร์ เรียกว่า เวกเตอร์เส้นตรง

ตารางที่ 3.4 รหัสต่อเนื่อง และ รหัสไม่ต่อเนื่อง ของรหัสเงื่อนไข

รหัสเงื่อนไข	รหัสที่ต่อเนื่อง	รหัสที่ไม่ต่อเนื่อง
1	1,5,8	-
2	2,5,6	9,0
3	3,6,7	-
4	4,7,8	9,0
5	1,2,5,6	0,8,9
6	2,3,5,5	0,7,9
7	3,4,7,8	0,6,9
8	2,4,7,8	0,5,9
9	2,4,5,6,7,8	ทุกรหัส
0	2,4,5,6,7,8	ทุกรหัส

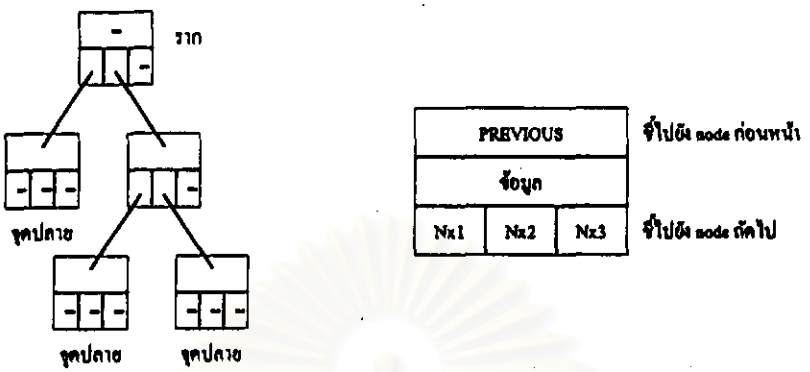
ในกรณีที่จุดทางแยกหนึ่งมีทางแยก 3 ทาง และมี 2 ทางแยกที่สามารถเดินถึงกันได้ โดยไม่มีจุดทางแยกอื่นๆในระหว่างเส้นทางเดินนั้น แสดงว่าทางแยกทั้ง 2 นั้นมีการเชื่อมต่อเป็นรูปวงกลม จะถูกแทนด้วยเวกเตอร์วงกลม ดังแสดงในรูปที่ 3.8 หรือเวกเตอร์วงกลมอาจใช้แทนในกรณีที่จุดภาพมีตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายวนมาบรรจบที่เดียวกัน โดยไม่ปรากฏทางแยกใดๆ นั่นคือเป็นวงกลมอิสระ



ก. ก่อนทำให้เป็นวงกลม ข. หลังการทำให้เป็นวงกลม

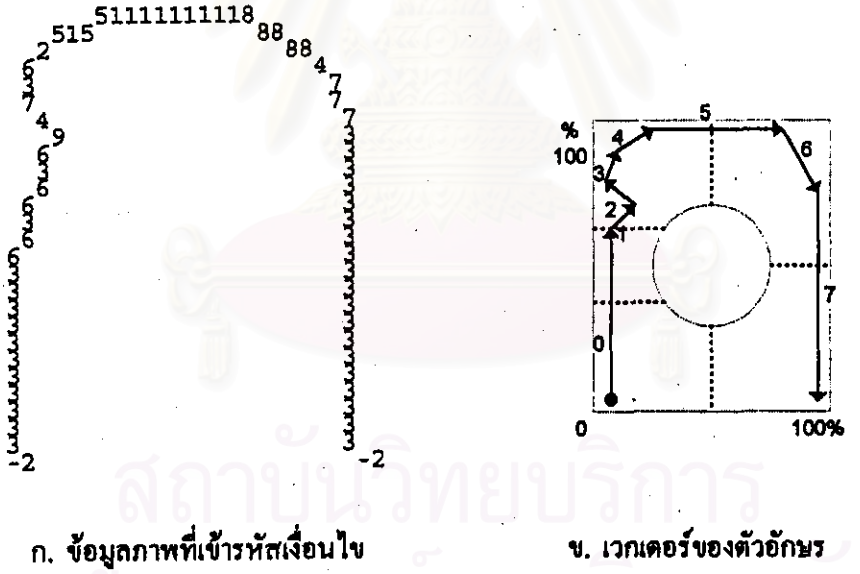
รูปที่ 3.8 การแปลงจากเวกเตอร์เส้นตรงให้เป็นเวกเตอร์วงกลม

เวกเตอร์ที่ได้จะถูกนำมาเชื่อมโยงเข้าด้วยกันเป็นรูปต้นไม้ เพื่อต่อเชื่อมเวกเตอร์ต่างๆให้เหมือนกับรูปของโครงร่างตัวอักษรตามเดิม โดยใช้รูปแบบของต้นไม้คือ ต้นไม้ทวิภาคลำดับที่ 3 (Binary-Tree of Order 3) ดังแสดงในรูปที่ 3.9



ก. โครงสร้างของต้นไม้ ข. โครงสร้างของโหนด

รูปที่ 3.9 โครงสร้างของต้นไม้



ก. ข้อมูลภาพที่เข้ารหัสเงื่อนไข ข. เวกเตอร์ของตัวอักษร

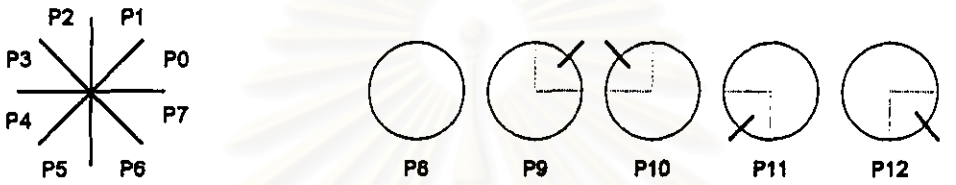
รูปที่ 3.10 การแปลงข้อมูลภาพที่เข้ารหัสเงื่อนไขให้เป็นเวกเตอร์

2.3 <u>การเปลี่ยนเวกเตอร์ให้เป็นหน่วยสร้างพื้นฐาน</u>

เนื่องจากข้อมูลเวกเตอร์ที่ใช้แทนข้อมูลภาพตัวอักษรนั้น จะเป็นข้อมูลของตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดปลายของเวกเตอร์ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดขนาดข้อมูลที่ใช้แทนภาพตัวอักษร จึงเปลี่ยนเวกเตอร์ให้อยู่ในรูปของหน่วยสร้างพื้นฐาน ซึ่งลักษณะของหน่วยสร้างพื้นฐาน มีดังนี้

2.3.1 หน่วยสร้างพื้นฐานเส้นตรง มี 8 รูปแบบ มีลักษณะเหมือนกับรหัสทิศทางแบบลูกโซ่ของฟรีแมน (freeman chain code) เพื่อใช้แทนเวกเตอร์เส้นตรงที่ทำมุมกับทิศทั้ง 8 โดยที่แต่ละหน่วยสร้างพื้นฐานครอบคลุมพื้นที่ 45 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ก เช่น หน่วยสร้างพื้นฐานเส้นตรงหมายเลข 0 แทนเวกเตอร์เส้นตรงที่ทำมุมตั้งแต่ 0 ถึง 45 องศา เป็นต้น

2.3.2 หน่วยสร้างพื้นฐานวงกลม มี 5 รูปแบบ โดยหน่วยสร้างพื้นฐานแรกเป็นวงกลมที่ไม่มีจุดเชื่อมต่อกับเวกเตอร์อื่น ใช้แทนเวกเตอร์วงกลมที่ไม่มีจุดเชื่อมต่อกับเวกเตอร์อื่นเลย ส่วนหน่วยสร้างพื้นฐานที่เหลือ เป็นวงกลมที่มีจุดต่อเชื่อมที่ครอบคลุมพื้นที่ 1 ใน 4 ของวงกลม แทนเวกเตอร์วงกลมที่มีจุดต่อเชื่อมอยู่ในบริเวณดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ข



ก. หน่วยสร้างพื้นฐานเส้นตรง ข. หน่วยสร้างพื้นฐานวงกลม

รูปที่ 3.11 หน่วยสร้างพื้นฐาน

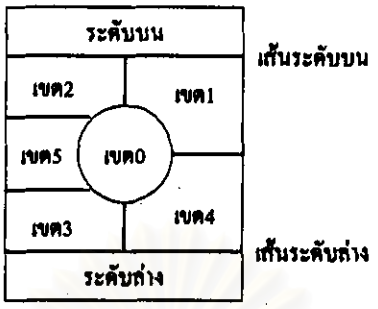
หลังจากเปลี่ยนเวกเตอร์เป็นหน่วยสร้างพื้นฐานแล้ว จะนำหน่วยสร้างพื้นฐานที่ได้มาเชื่อมโยงเข้าด้วยกันเป็นต้นไม้หน่วยสร้างพื้นฐาน (primitive tree) ที่มีลักษณะคล้ายกับต้นไม้ของเวกเตอร์ (vector tree) แต่มีการจัดเรียงแบบหลังลำดับ (postorder)

2.4 <u>การแบ่งระดับและแบ่งเขตย่อยของตัวอักษร</u>

เนื่องจากตัวอักษรภาษาไทยมีจำนวนมาก จึงมีการจัดหมวดหมู่ตามระดับของตัวอักษรเพื่อช่วยแบ่งตัวอักษรเป็นกลุ่มๆ ทำให้การเรียนรู้ง่ายขึ้น การจัดระดับตัวอักษรภาษาไทยแบ่งได้เป็น 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับที่ 1 เป็นตัวอักษรระดับบน เช่น สระอิ, ไม้เอก เป็นต้น
- ระดับที่ 2 เป็นตัวอักษรระดับกลาง และมีบางส่วนของตัวอักษรอยู่ในระดับบน เช่น ป, ใ เป็นต้น
- ระดับที่ 3 เป็นตัวอักษรระดับกลาง เช่น ก, ข เป็นต้น
- ระดับที่ 4 เป็นตัวอักษรระดับกลาง และมีบางส่วนของตัวอักษรอยู่ในระดับล่าง เช่น ฎ, ฤ เป็นต้น
- ระดับที่ 5 เป็นตัวอักษรระดับล่าง เช่น สระอุ, สระอู เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังมีการแบ่งเขตของตัวอักษรเป็นส่วนย่อยๆ เพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของส่วนหัว ส่วนปลาย จุดทางแยก และส่วนหยักของตัวอักษร โดยมีการแบ่งเป็น 7 ส่วน (ดังแสดงในรูปที่ 3.12) ดังนี้



รูปที่ 3.12 เขตย่อยของตัวอักษร

- เขต 0 คือ พื้นที่วงกลมมีจุดศูนย์กลางอยู่กึ่งกลางของระดับกลาง มีรัศมี 25% ของความสูงของระดับกลาง
- เขต 1 คือ พื้นที่มุมขวาบน
- เขต 2 คือ พื้นที่มุมซ้ายบน
- เขต 3 คือ พื้นที่มุมซ้ายล่าง
- เขต 4 คือ พื้นที่มุมขวาล่าง
- เขต 5 คือ พื้นที่มุมซ้ายกลาง
- เขต 6 คือ พื้นที่ในส่วนระดับบน
- เขต 7 คือ พื้นที่ในส่วนระดับล่าง

2.5 <u>การหาส่วนหัวของตัวอักษร</u>

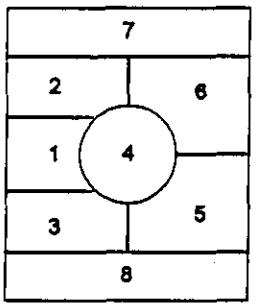
ส่วนหัวของตัวอักษรภาษาไทย สามารถหาได้จากสมมติฐานดังนี้

2.5.1 ส่วนหัวของตัวอักษรภาษาไทย เป็นส่วนปลายของตัวอักษรเสมอ

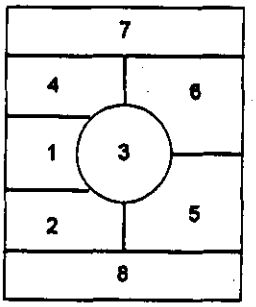
2.5.2 ให้ส่วนปลายที่เป็นวงกลม เป็นหัวของตัวอักษรเสมอ

2.5.3 ถ้าตัวอักษรมีส่วนปลายหนึ่งเป็นวงกลม ให้ถือว่าวงกลมนั้นๆเป็นส่วนหัวของตัวอักษร ถ้าพบว่ามีมากกว่า 1 วงกลม ให้ส่วนวงกลมที่พบก่อนตามลำดับดังนี้เป็นส่วนหัว เขต 5, 2, 3, 0, 4, 1, 6 และ 7 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ก

2.5.4 ถ้าไม่พบวงกลม ให้หาส่วนปลายที่เป็นเส้นตรงที่พบก่อนตามลำดับ ดังนี้เป็นส่วนหัว เขต 5, 3, 0, 2, 4, 1, 6 และ 7 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ข



ก. ส่วนปลายที่เป็นเวกเตอร์วงกลม



ข. ส่วนปลายที่เป็นเวกเตอร์เส้นตรง

รูปที่ 3.13 ลำดับความสำคัญของเขตย่อยในการหาหัวของตัวอักษร

3. <u>การเรียนรู้โดยใช้ระบบไอแอลพี</u>

หลังจากนำข้อมูลภาพของตัวอักษรมาผ่านขั้นตอนการประมวลผลขั้นต้นแล้ว จะได้หน่วยสร้างพื้นฐานซึ่งใช้แทนข้อมูลภาพของตัวอักษรนั้น ข้อมูลหน่วยสร้างพื้นฐานและข้อมูลเพิ่มเติมอื่นๆ จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการเรียนรู้ของระบบไอแอลพี ซึ่งระบบไอแอลพีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ระบบ PROGOL รุ่น 4.1 ในการเรียนรู้โดยใช้ PROGOL ข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการเรียนรู้จะอยู่ในแฟ้มข้อมูลที่มีชื่อลงท้ายด้วย .pl โดยจะทำการเรียนรู้ทีละตัวอักษร ดังนั้น ในการเรียนรู้ 1 ตัวอักษร จึงต้องสร้างแฟ้มข้อมูล .pl 1 แฟ้มข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดรูปแบบของสัญพจน์ การกำหนดค่าของตัวแปร การกำหนดชนิดของข้อมูล ความรู้ส่วนหลัง ตัวอย่างบวก และ ตัวอย่างลบ หลังจากการเรียนรู้แล้วผลที่ได้คือ กฎที่ใช้นิยามตัวอักษรแต่ละตัว ซึ่งอยู่ในรูปแบบของอนุประโยค

3.1 <u>ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้</u>

3.1.1 ข้อมูลส่วนย่อยของตัวอักษร ประกอบด้วย

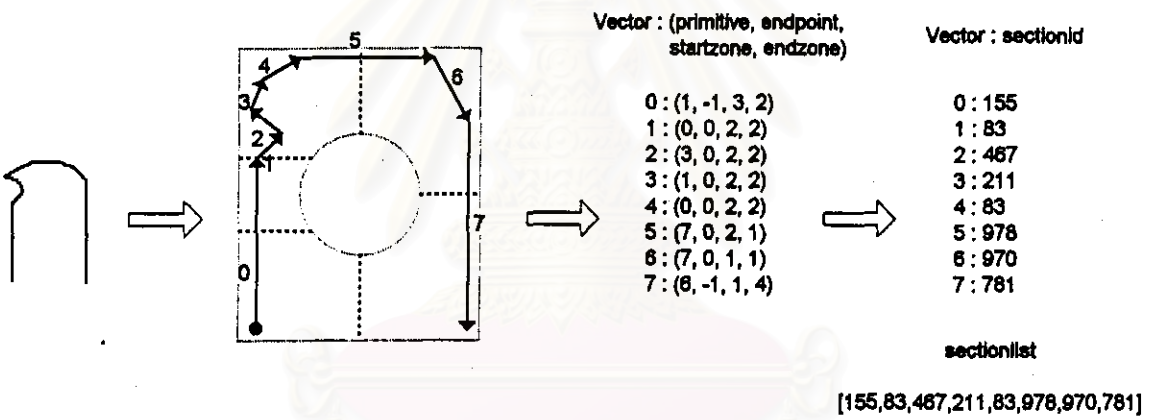
3.1.1.1 ค่าของหน่วยสร้างพื้นฐาน (primitive) ซึ่งแสดงลักษณะและทิศทางของส่วนย่อยของตัวอักษร โดยใช้ตัวเลข 0 ถึง 7 แทนรูปแบบต่างๆของหน่วยสร้างพื้นฐานเส้นตรง และ ตัวเลข 8 ถึง 12 แทนรูปแบบต่างๆของหน่วยสร้างพื้นฐานวงกลม

3.1.1.2 ค่าแสดงว่าเป็นส่วนปลาย (endpoint) ถ้าหน่วยสร้างพื้นฐานนั้นเป็นส่วนปลายของตัวอักษร จะแทนค่าด้วย -1 ถ้าไม่ใช่ส่วนปลาย จะแทนค่าด้วย 0

3.1.1.3 เซตเริ่มต้นของหน่วยสร้างพื้นฐาน (startzone) มีค่าได้ตั้งแต่ เซต 0 ถึง เซต 7

3.1.1.4 เซตสิ้นสุดของหน่วยสร้างพื้นฐาน (endzone) มีค่าได้ตั้งแต่ เซต 0 ถึง เซต 7

การให้ข้อมูลส่วนย่อยของตัวอักษรกับระบบ PROGOL จะจัดให้อยู่ในรูปของลิสต์ (list) โดยสมาชิกในลิสต์ คือ ส่วนย่อยของตัวอักษร สมาชิกแต่ละตัวจะต้องให้ข้อมูลเกี่ยวกับค่าของหน่วยสร้างพื้นฐาน ค่าแสดงว่าเป็นส่วนปลาย เซตเริ่มต้น และเซตสิ้นสุดของหน่วยสร้างพื้นฐานนั้น แต่เพื่อไม่ให้ข้อมูลมีความซับซ้อนมาก จึงใช้ตัวเลขโดด 1 ตัวแทนสมาชิกในลิสต์ ทั้งนี้พบว่ามีรูปแบบข้อมูลส่วนย่อยของตัวอักษรที่แตกต่างกันอยู่ 1664 รูปแบบ จึงใช้ตัวเลข 1 ถึง 1664 ในการแทนค่าข้อมูลส่วนย่อยของตัวอักษรในรูปแบบต่างๆ เช่น เลข 1 ใช้แทน (0, -1, 0, 0) , เลข 2 ใช้แทน (0, -1, 0, 1) , เลข 1663 ใช้แทน (12, 0, 7, 6) , เลข 1664 ใช้แทน (12, 0, 7, 7) เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การแทนค่าข้อมูลส่วนย่อยของตัวอักษร

3.1.2 ระดับของตัวอักษร มีค่าได้ตั้งแต่ ระดับที่ 1 ถึง 5

3.1.3 อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของตัวอักษร ได้จากการนำความกว้างมาหารด้วยความสูงของตัวอักษร

3.1.4 เซตที่มีจุดทางแยก มีค่าได้ตั้งแต่เซต 0 ถึง 7 ในตัวอักษรหนึ่งอาจมีจุดทางแยกหลายจุด จึงจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปของลิสต์

3.1.5 เขตที่มีส่วนหยักลง (ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ก) มีค่าได้ตั้งแต่เขต 0 ถึง 7 ในตัวอักษรหนึ่งอาจมีส่วนหยักลงหลายส่วน จึงจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปของลิสต์

3.1.6 เขตที่มีส่วนหยักขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ข) มีค่าได้ตั้งแต่เขต 0 ถึง 7 ในตัวอักษรหนึ่งอาจมีส่วนหยักขึ้นหลายส่วน จึงจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปของลิสต์

ก. ส่วนหยักลง ข. ส่วนหยักขึ้น

รูปที่ 3.15 ลักษณะส่วนหยักลง และ ส่วนหยักขึ้น ของตัวอักษร

ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะใช้ในการเรียนรู้ตัวอักษร ซึ่งมีการกำหนดชนิดของข้อมูลให้กับ PROGOL ดังนี้

```
level(1). level(2). level(3). level(4). level(5).

prim(0). prim(1). prim(2). prim(3). prim(4). prim(5). prim(6).
prim(7). prim(8). prim(9). prim(10). prim(11). prim(12).

enpt(-1). enpt(0).

zone(0). zone(1). zone(2). zone(3). zone(4). zone(5). zone(6). zone(7).

zn(z0). zn(z1). zn(z2). zn(z3). zn(z4). zn(z5). zn(z6). zn(z7).

rank(X) :- int(X), 0<X, X<18.

sectionid(X) :- int(X), 0<X, X<1665.

sectionlist([]).
sectionlist([H|T]) :- sectionid(H), sectionlist(T).
```

```
zonelist([]).
zonelist([H|T]) :- zn(H), zonelist(T).
```

โดยที่

level	เป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 5 ใช้แทนระดับของตัวอักษร
prim	เป็นตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 12 ใช้แทนลักษณะของหน่วยสร้างพื้นฐานเส้นตรง (0-7) และหน่วยสร้างพื้นฐานวงกลม (8-12)
enpt	มีค่า -1 หรือ 0 เพื่อบ่งบอกว่าเป็นส่วนปลายหรือไม่
zone	เป็นตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 7 ใช้แทนเขตย่อยของตัวอักษร
zn	เป็นตัวอักษรตั้งแต่ z0 ถึง z7 ใช้แทนเขตย่อยของตัวอักษร
rank	เป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 17 ใช้ในการหาส่วนหัวของตัวอักษร
sectionid	เป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 1664 ใช้แทนข้อมูลส่วนย่อยของตัวอักษร ตัวเลขแต่ละตัวจะบอกถึง ลักษณะของหน่วยสร้างพื้นฐาน ค่าแสดงส่วนปลาย เขตเริ่มต้น และ เขตสิ้นสุดที่แตกต่างกัน
sectionlist	เป็นชนิดของข้อมูลแบบลิสต์ โดยที่สมาชิกในลิสต์เป็นข้อมูล sectionid ใช้แทนลิสต์ของส่วนย่อยทั้งหมดของตัวอักษร
zonelist	เป็นชนิดของข้อมูลแบบลิสต์ โดยที่สมาชิกในลิสต์เป็นข้อมูล zn ใช้แทนลิสต์ของเขตที่มีจุดทางแยก ลิสต์ของเขตที่มีส่วนหยักลง และ ลิสต์ของเขตที่มีส่วนหยักขึ้น

3.2 <u>ความรู้ส่วนหลัง</u> (background knowledge)

การให้ความรู้ส่วนหลังเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในการเรียนรู้ เนื่องจาก PROGOL จะใช้ความรู้นี้ในการสร้างกฎ ดังนั้น ถ้าให้ความรู้ส่วนหลังไม่เพียงพอ PROGOL ก็จะไม่สามารถเรียนรู้ได้ หรือ เรียนรู้ได้ไม่ดี ถ้าเปรียบเทียบกับการสอนเด็กให้เรียนรู้ความแตกต่าง ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตสี่เหลี่ยม และ สามเหลี่ยม ครูจะต้องให้ความรู้แก่เด็ก ให้เข้าใจความหมายของมุมในทางเรขาคณิต และ ให้ดูตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยม และ สามเหลี่ยม เด็กก็จะสามารถเรียนรู้ได้ว่า รูปสี่เหลี่ยมมี 4 มุม รูปสามเหลี่ยมมี 3 มุม แต่ถ้าครูไม่ให้ความรู้แก่เด็ก เด็กอาจจะเรียนรู้ผิดได้ เช่น เด็กอาจจะเข้าใจว่า รูปสี่เหลี่ยมจะมีขนาดใหญ่กว่ารูปสามเหลี่ยม เป็นต้น ในการเรียนรู้จึงจำเป็นต้องให้ความรู้ส่วนหลังที่เหมาะสม และพอเพียงที่ผู้เรียนจะสามารถนำความรู้นั้นไปใช้เรียนรู้ได้

งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญอย่างมากในการหาความรู้ส่วนหลัง เพื่อให้ PROGOL สามารถเรียนรู้และนิยามตัวอักษรภาษาไทยได้ ตัวอักษรภาษาไทยเป็นตัวอักษรที่มีลักษณะซับซ้อน มีทั้งส่วนเส้นตรง และ วงกลม ตัวอักษรบางตัวก็มีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก เช่น {ค, ฅ, ด, ต} {ฎ, ฏ} {ข, ฃ, ช, ซ}

ดังนั้น จึงต้องให้ความรู้ที่จะช่วยให้ PROGOL สามารถแยกแยะลักษณะของตัวอักษรภาษาไทยได้อย่างละเอียด ซึ่งสามารถแบ่งความรู้ส่วนหลังได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

1. การพิจารณาลักษณะของตัวอักษร เช่น ระดับของตัวอักษร ขนาดของตัวอักษร ลักษณะส่วนหัวของตัวอักษร ลักษณะส่วนปลายของตัวอักษร เป็นต้น

ตัวอย่าง ความรู้ส่วนหลังที่พิจารณาลักษณะของตัวอักษร ได้แก่

- sizemore1_2(A) :- 1.2 < A.

อนุประโยค sizemore1_2(A) หมายถึง อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของตัวอักษร (A) มีค่ามากกว่า 1.2

- headprim(A,B) :- head(A,C), primitive(C,B).

อนุประโยค headprim(A,B) ใช้ในการหาค่าแสดงลักษณะและทิศทางของส่วนหัวของตัวอักษร (B) จากลิสต์ส่วนย่อยของตัวอักษร (A)

- enptprim(A,B) :- member(C,A), endpoint(C,-1), primitive(C,B).

อนุประโยค enptprim(A,B) ใช้บอกว่ามีสมาชิกในลิสต์ A ที่เป็นส่วนปลายของตัวอักษรและมีค่าแสดงลักษณะและทิศทางเท่ากับ B

2. การพิจารณาตำแหน่งของส่วนต่างๆของตัวอักษร เช่น เขตของส่วนหัว เขตที่มีส่วนปลาย เขตที่มีจุดทางแยก เขตที่มีส่วนหยัก เขตเริ่มต้นและเขตสิ้นสุดของตัวอักษร เป็นต้น

ตัวอย่าง ความรู้ส่วนหลังที่พิจารณาตำแหน่งของส่วนต่างๆของตัวอักษร ได้แก่

- headzone(A,B) :- head(A,C), startzone(C,B).

อนุประโยค headzone(A,B) ใช้ในการหาเขตเริ่มต้นของส่วนหัวของตัวอักษร (B) จากลิสต์ส่วนย่อยของตัวอักษร (A)

- enptzone(A,B) :- member(C,A), endpoint(C,-1), startzone(C,B).

อนุประโยค enptzone(A,B) ใช้บอกว่ามีสมาชิกในลิสต์ A ที่เป็นส่วนปลายของตัวอักษรและมีเขตเริ่มต้นในเขต B

- begendzone([A|B],C,D) :- lastmember(B,E), startzone(E,C), endzone(A,D).

อนุประโยค begendzone(A,B,C) ใช้ในการหาเขตเริ่มต้น (B) และเขตสิ้นสุด (C) ของตัวอักษรในลิสต์ A

3. การนับจำนวนลักษณะสำคัญของตัวอักษร เช่น จำนวนส่วนย่อยของตัวอักษร จำนวนส่วนปลาย จำนวนจุดทางแยก จำนวนส่วนหยัก จำนวนของส่วนย่อยที่มีลักษณะหรือตำแหน่งตามที่กำหนด เป็นต้น

ตัวอย่าง ความรู้ส่วนหลังที่มีการนับจำนวนลักษณะสำคัญของตัวอักษร ได้แก่

- cntsection([],0).
  cntsection([A],1).
  cntsection([A|B],C) :- cntsection(B,D), inc(D,C).

อนุประโยค cntsection(A,B) ใช้ในการนับจำนวน (B) ส่วนย่อยของตัวอักษร ในลิสต์ A

- cntenpt([],0).
  cntenpt([A|B],C) :- endpoint(A,-1), cntenpt(B,D), inc(D,C).
  cntenpt([A|B],C) :- endpoint(A,0), cntenpt(B,C).

อนุประโยค cntenpt(A,B) ใช้ในการนับจำนวน (B) ส่วนปลายของตัวอักษร ในลิสต์ A

- cntcircenpt([],0).
  cntcircenpt([A|B],C) :- iscircenpt(A), cntcircenpt(B,D), inc(D,C).
  cntcircenpt([A|B],C) :- not iscircenpt(A), cntcircenpt(B,C).

อนุประโยค cntcircenpt(A,B) ใช้ในการนับจำนวน (B) ส่วนปลายที่เป็นวงกลมของตัวอักษร ในลิสต์ A

การให้ความรู้ส่วนหลังกับ PROGOL จะให้ความรู้เหมือนกันทั้งหมดสำหรับการเรียนรู้ทุกตัวอักษร รายละเอียดของความรู้ส่วนหลังทั้งหมดที่ใช้ในการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย แสดงอยู่ในภาคผนวก ค

3.3 ข้อมูลตัวอย่าง

ข้อมูลตัวอย่างประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ตัวอย่างบวก และ ตัวอย่างลบ ในการเรียนรู้ตัวอักษรใดๆ จะให้ตัวอักษรนั้นเป็นข้อมูลตัวอย่างบวก และให้ตัวอักษรอื่นที่เหลือเป็นข้อมูลตัวอย่างลบ รูปแบบการให้ข้อมูลตัวอย่างจะต้องสอดคล้องกับการกำหนดรูปแบบของสัญพจน์ส่วนหัว ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป รูปแบบการให้ข้อมูลตัวอย่าง คือ

Rule_name(A, B, C, D, E, F).

โดยที่ Rule_name คือ ชื่อของความสัมพันธ์ที่ต้องการให้ PROGOL เรียนรู้ ซึ่งในการเรียนรู้ตัวอักษรนี้ จะใช้ชื่อของตัวอักษรทับศัพท์ในภาษาอังกฤษ เช่น kai แทนชื่อความสัมพันธ์ในการนิยามตัวอักษร ก, khai แทนชื่อความสัมพันธ์ในการนิยามตัวอักษร ข เป็นต้น

A คือ ระดับของตัวอักษร เป็นข้อมูลชนิด level

B คือ อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของตัวอักษร เป็นข้อมูลชนิด float

C คือ ลิสต์ของข้อมูลส่วนย่อยของตัวอักษร เป็นข้อมูลชนิด sectionlist

D คือ ลิสต์ของเขตที่มีจุดทางแยก เป็นข้อมูลชนิด zonelist

E คือ ลิสต์ของเขตที่มีส่วนหยักลง เป็นข้อมูลชนิด zonelist

F คือ ลิสต์ของเขตที่มีส่วนหยักขึ้น เป็นข้อมูลชนิด zonelist

ตัวอย่าง การให้ข้อมูลตัวอย่างบวกและตัวอย่างลบ ในการเรียนรู้ตัวอักษร ก

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ตัวอย่างบวก
% ข้อมูลของตัวอักษร ก ในรูปแบบ Eucrosia ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22, 20
kai(3,0.72,[19,805,845,842,970,82,83,211,211,467,467,155],[z2],[z2],[z1]).
kai(3,0.75,[19,653,714,842,842,978,83,83,211,467,155],[z2],[z2],[z2]).
kai(3,0.75,[19,677,845,970,82,83,211,467,155],[z2],[z2],[z1]).
kai(3,0.78,[19,979,83,781,970,970,82,83,211,467,155],[z2],[z2,z2],[z2,z1]).
kai(3,0.74,[19,781,978,83,83,211,339,155],[z2],[z2],[z2]).
kai(3,0.78,[781,970,82,83,339,467,211,155],[],[],[z1]).
kai(3,0.76,[781,970,978,83,83,211,339,339,155],[],[],[z2]).

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ตัวอย่างลบ
% ข้อมูลของตัวอักษร ข ในรูปแบบ Eucrosia ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22, 20
:- kai(3,0.78,[162,101,989,860,708,705,841,842,978,979,83,1171],[],[z4],[z2]).
:- kai(3,0.76,[162,101,989,860,708,705,713,978,979,83,211,1171],[],[z4],[z2]).
:- kai(3,0.75,[162,101,93,988,860,708,705,713,842,978,979,83,211,1171],[],[],[z2]).
:- kai(3,0.78,[162,93,860,708,705,713,850,979,83,83,1171],[],[],[z2]).
:- kai(3,0.73,[138,458,202,226,93,988,708,705,849,979,83,83,1171],[],[z3],[z2]).
:- kai(3,0.76,[162,101,989,860,716,850,979,83,83,1171],[],[z4],[z2]).
:- kai(3,0.73,[162,101,989,860,708,705,849,979,211,1171],[],[z4],[z2]).
%
% ข้อมูลของตัวอักษร ค ในรูปแบบ Eucrosia ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22, 20
:- kai(3,0.80,[653,842,842,978,83,83,211,347,476,796,732,732,708,577,1409],[z3],[z3],[z2]).
:- kai(3,0.85,[796,781,842,970,82,211,211,347,348,732,708,577,1409],[z3],[],[z1]).
:- kai(3,0.76,[796,653,842,970,82,83,211,363,350,580,705,577,1409],[z3],[],[z1]).
:- kai(3,0.87,[781,970,978,83,211,347,476,796,732,708,705,1409],[z3],[z3],[z2]).
:- kai(3,0.94,[796,732,677,845,970,978,83,347,348,732,708,705,1409],[z3],[],[z2]).
:- kai(3,0.85,[781,970,82,211,211,347,476,796,708,705,705,1409],[z3],[],[z1]).
:- kai(3,0.83,[781,970,82,211,347,476,796,708,1409],[z3],[z3],[z1]).
...
```

3.4 การกำหนดรูปแบบของสัญพจน์

การกำหนดรูปแบบของสัญพจน์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

3.4.1 การกำหนดรูปแบบของสัญพจน์ส่วนหัว มีรายละเอียดดังนี้

:- modeh(1,Rule_name(+level,+float,+sectionlist,+zonelist,+zonelist,+zonelist))?

โดยที่ Rule_name จะเปลี่ยนแปลงไปตามชื่อของตัวอักษรที่ทำการเรียนรู้

3.4.2 การกำหนดรูปแบบของสัญพจน์ส่วนเนื้อความ

การกำหนดรูปแบบของสัญพจน์ทั้งหมดอยู่ในภาคผนวก ข ในส่วนนี้จะยกตัวอย่างเพียงบางส่วน เพื่ออธิบายอย่างละเอียด ดังนี้

:- modeb(1,+level= #level)?

ความหมาย คือ สามารถนิยามตัวแปรชนิด level ให้มีค่าเท่ากับค่าคงที่

เช่น kai(A,B,C,D,E,F) :- *A=3*, headzone(C,3), headprim(C,1). โดยที่ A คือ ตัวแปรชนิด level

หรือ อาจอยู่ในรูปแบบ kai(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,1). นั่นคือ สามารถระบุค่าคงที่แทนตัวแปรในสัญพจน์ส่วนหัวได้

:- modeb(1,headzone(+sectionlist,#zone))?

ความหมาย คือ สามารถเรียกใช้เพรดิเคต headzone(A,B) ได้ 1 ครั้ง โดยที่ A คือ ตัวแปรชนิด sectionlist ใช้ผ่านค่าเข้า และ B คือ ตัวแปรชนิด zone ที่ใช้ส่งข้อมูลออก ซึ่งอาจเป็นค่าคงที่ได้

เช่น kai(3,A,B,C,D,E) :- *headzone(B,3)*, headprim(B,1).

:- modeb(*,enptprim(+sectionlist,#prim))?

ความหมาย คือ สามารถเรียกใช้เพรดิเคต enptprim(A,B) ได้มากที่สุด 100 ครั้ง (เครื่องหมาย * ใช้ระบุจำนวนเต็มค่าหนึ่งที่ PROGOL กำหนดไว้ ปกติ คือ 100) โดยที่ A คือ ตัวแปรชนิด sectionlist ใช้ผ่านค่าเข้า และ B คือ ตัวแปรชนิด prim ที่ใช้ส่งข้อมูลออก ซึ่งอาจเป็นค่าคงที่ได้

เช่น fan(2,A,B,C,D,E) :- *enptprim(B,1)*, *enptprim(B,6)*.

:- modeb(1,cntcircenpt(+sectionlist,#int))?

ความหมาย คือ สามารถเรียกใช้เพรดิเคต cntcircenpt(A,B) ได้ 1 ครั้ง โดยที่ A คือ ตัวแปรชนิด sectionlist ใช้ผ่านค่าเข้า และ B คือ ตัวแปรชนิด int ที่ใช้ส่งข้อมูลออก ซึ่งอาจเป็นค่าคงที่ได้

เช่น mi_ek(1,A,B,C,C,C) :- *cntcircenpt(B,0)*.

:- modeb(1,topright_tail(+sectionlist))?

ความหมาย คือ สามารถเรียกใช้เพรดิเคต topright_tail(A) ได้ 1 ครั้ง โดยที่ A คือ ตัวแปรชนิด sectionlist ใช้ผ่านค่าเข้า

เช่น chula(3,A,B,C,D,E) :- headprim(B,12), enptzone(B,1), *topright_tail(B)*, memberzone(B,0,4).

:- modeb(1,not topright_tail(+sectionlist))?

ความหมาย คือ สามารถเรียกใช้เพรดิเคต not topright_tail(A) ได้ 1 ครั้ง โดยที่ A คือ ตัวแปรชนิด sectionlist ใช้ผ่านค่าเข้า

เช่น ling(3,A,B,C,D,E) :- *not topright_tail(B)*, headprim(B,3), topleft_tail(B), upperyuk(E).

หลังจากสร้างแฟ้มข้อมูล .pl ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดรูปแบบของสัญพจน์ การกำหนดชนิดของข้อมูล ความรู้ส่วนหลัง ตัวอย่างบวก และตัวอย่างลบ ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น PROGOL จะใช้ข้อมูลดังกล่าวในการเรียนรู้ และสร้างเป็นกฎที่นิยามตัวอักษรแต่ละตัว ซึ่งแสดงอยู่ในหัวข้อผลการเรียนรู้ที่จะกล่าวถึงต่อไป

<u>ผลการเรียนรู้</u>

ตัวอักษรที่ใช้ในการเรียนรู้ประกอบด้วย พยัญชนะ 44 ตัว สระ วรรณยุกต์ และตัวอักษรพิเศษ ทั้งหมด 23 ตัว ตัวเลขไทย 10 ตัว รวมเป็น 77 ตัวอักษร ที่มาของข้อมูล ได้จากการป้อนตัวอักษรทั้งหมดที่มีรูปแบบและขนาดตามที่ต้องการ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Word 97 แล้วพิมพ์ออกมาด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ ที่ความละเอียดขนาด 300 dpi นำเอกสารที่ได้มาทำการอ่านกลับเป็นแฟ้มข้อมูลภาพด้วยเครื่องกวาดตรวจ ที่ความละเอียดขนาด 300 dpi จากนั้นใช้โปรแกรม Paintbrush ของ Microsoft Windows 95 ในการตัดตัวอักษรเป็นตัวอักษรเดี่ยวเก็บลงแฟ้มข้อมูลภาพ 1 แฟ้มต่อ 1 ตัวอักษร แล้วจึงนำแฟ้มข้อมูลภาพที่ได้ไปทำการประมวลผลขั้นต้น และแปลงข้อมูลให้เหมาะสมก่อนที่จะใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างในแฟ้มข้อมูล .pl เพื่อให้ PROGOL เรียนรู้

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการเรียนรู้ออกเป็น 2 กลุ่ม

- กลุ่มที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ คือ ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย 77 ตัวอักษร รูปแบบ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20 รวม 539 ตัวอักษร ผลที่ได้จากการเรียนรู้แสดงในตารางที่ 3.5
- กลุ่มที่ 2 ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ คือ ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย 77 ตัวอักษร รูปแบบ CORDIA และ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20 รวม 1078 ตัวอักษร ผลที่ได้จากการเรียนรู้แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง (%)	ใช้เวลา (วินาที)
161	ก	kai(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,1).	100.00	5.18
162	ข	khai(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim_0910(B), right_line(B), cntenpt(B,2), headprim_0009(B).	100.00	350.06
163	ฃ	khud(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,10), enptzone(B,4), cntenpt(B,2).	100.00	23.49
164	ค	khay(3,A,B,[z3],C,D) :- not upperyuk(C), headzone(B,0), enptprim(B,6).	100.00	1.79
165	ฅ	khon(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), headzone(B,0), headprim(B,11), enptzone(B,3), upperyuk(D).	100.00	90.44
166	ฆ	rakung(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,10), enptzone(B,4), memberzone(B,0,0), memberzone(B,0,4).	100.00	29.61
167	ง	ngoo(3,A,B,[],[z4],[]) :- headzone(B,1).	100.00	0.73
168	จ	jan(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), enptzone(B,2), cntprim9(B,0), cntprim10(B,0), cntprim11(B,0), cntstzone3(B,0), memberzone(B,4,4).	99.44	138.20
169	ฉ	ching(3,A,B,C,D,E) :- enptzone(B,4), cntcircenpt(B,1), topleft_tail(B), havezone(D,z3).	99.81	22.31
170	ช	chang(3,A,B,C,D,E) :- not headyuk(C), not headyuk(D), headzone(B,2), enptzone(B,0), havemember(B,0,2,2).	100.00	42.02
171	ซ	soo(3,A,B,C,D,E) :- not sizemore1_2(A), headprim(B,10), enptzone(B,1), enptzone(B,2), memberzone(B,4,3).	100.00	368.82
172	ฌ	kacher(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), enptzone(B,0), enptzone(B,4), enptprim(B,0).	100.00	15.69
173	ญ	ying(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), enptprim(B,1), right_line(B), begendzone(B,3,1), nozone0(C), nozone0(D), nozone0(E), cntsection_l20(B), cntprim4(B,0).	100.00	184.20
174	ฎ	chada(4,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,9), cntzone_le3(E).	100.00	13.15

ตารางที่ 3.5 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา(วินาที)
175	ฏ	patak(4,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,9), cntzone_ge3(D).	99.62	2.37
176	ฐ	than(3,A,B,C,D,E) :- headprim_0312(B), enptzone(B,1), memberzone(B,0,4), memberzone(B,1,2), memberzone(B,2,1).	100.00	10.74
177	ฑ	monto(3,B,C,D,E,F) :- not nozone(D), not nozone(E), headzone (C,2), headprim(C,10), enptzone(C,1), enptprim(C,6).	100.00	91.80
178	ฒ	putoa(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,0), upperyuk(D), upperyuk (E), memberzone(B,4,1).	100.00	70.52
179	ณ	nen(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), begendzone(B,3,1), enptprim(B,0), enptprim(B,2).	100.00	44.01
180	ด	deg(3,A,B,[],C,D) :- not have0011(B), headzone(B,0), headprim (B,12), enptzone(B,1).	100.00	9.01
181	ต	toa(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,0), headprim(B,12), upperyuk (D), enptzone(B,1), havemember(B,0,1,1).	100.00	46.30
182	ถ	tung(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), not sizemore1_2(A), headzone(B,3), headprim_0110(B), memberzone(B,1,1), memberzone(B,1,4), memberzone(B,2,1), memberzone(B,3,3), cntstzone0(B,0).	100.00	175.20
183	ท	tahan(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), headzone(B,2), headprim(B,12), enptprim(B,5), cntenpt(B,3).	100.00	511.06
184	ธ	tong(3,A,B,C,D,E) :- headprim_040510(B), sizeless0_7(A), enpt_topright(B), nozone4(C).	99.81	4.17
185	น	nuu(3,A,B,[z4],C,D) :- headzone(B,2), enptzone(B,4).	100.00	5.38
186	บ	bimai(3,A,B,C,D,E) :- not have4044(B), headzone(B,2), headprim(B,12), cntcircenpt(B,1), memberzone(B,3,4).	100.00	39.71
187	ป	pla(2,A,B,C,D,C) :- headzone(B,2), headprim(B,12).	100.00	0.91
188	ผ	peung(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,11), memberzone(B,0,0).	100.00	7.62

ตารางที่ 3.5 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา (วินาที)
189	ฝ	fa(2,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,11).	100.00	1.18
190	พ	pan(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,12), enptprim (B,1), enptprim(B,6), cntenpt(B,5).	100.00	88.31
191	ฟ	fan(2,A,B,C,D,E) :- enptprim(B,1), enptprim(B,6).	100.00	0.95
192	ภ	sampoa(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim_0009(B), memberzone(B,1,4).	100.00	25.60
193	ม	mar(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,12), enptzone (B,4), enptprim(B,1), havemember(B,2,3,3).	100.00	62.63
194	ย	yag(3,A,B,C,D,E) :- havemember(B,4,2,2), cntstzone1(B,0).	100.00	75.20
195	ร	rua(3,A,B,C,D,E) :- headprim_0009(B), headzone_34(B), sizeless0_7(A), enpt_topright(B).	100.00	24.22
196	ฤ	rue(4,A,B,C,D,E) :- headprim(B,10).	100.00	0.96
197	ล	ling(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), headzone(B,3), topleft_tail(B), upperyuk(E).	100.00	28.65
199	ว	van(3,A,B,[],[],C) :- headzone(B,4), topleft_tail(B).	100.00	3.37
200	ศ	sala(3,A,B,C,C,D) :- enptzone(B,0), enptzone(B,1), enptzone (B,3), enptprim(B,6), begendzone(B,0,1).	100.00	18.81
201	ษ	ruesi(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,12), enptzone (B,0), enptzone(B,1), circenptzone(B,0).	100.00	28.47
202	ส	sua(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), enptzone (B,1), enpt_topright(B), memberzone(B,1,2).	100.00	27.41
203	ห	heep(3,A,B,C,D,[z1]) :- not topright_tail(B), not nozone(C), not nozone([z1]), memberzone(B,2,3).	100.00	83.71
204	ฬ	chula(3,A,B,C,D,E) :- headprim(B,12), enptzone(B,1), topright_tail(B), memberzone(B,0,4), havemember(B,5,1,1).	100.00	151.26
205	อ	ang(3,A,B,C,D,E) :- headprim(B,11), cntcircenpt(B,1), topleft_tail(B).	100.00	15.22

ตารางที่ 3.5 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา(วินาที)
206	ฮ	huug(3,A,B,C,D,E) :- not sizemore1_2(A), enptzone(B,1), memberzone(B,2,2), memberzone(B,5,5), cntprim12(B,0).	100.00	16.97
207	ฯ	paiyan(3,B,C,D,E,F) :- headzone(C,2), headprim(C,12), bottomright_tail(C), nozone0(D), nozone3(D).	100.00	106.99
208	ะ	sra_at(3,A,B,[],C,[]) :- headzone(B,2), cntprim6(B,0).	100.00	0.83
209	ั	mi_hanka(1,A,B,C,D,C) :- enptprim(B,1), sizemore1_45(A), havezone(D,z6), cntprim2(B,0).	100.00	3.05
210	า	sra_ar(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), enptzone(B,1), cntcircenpt(B,0), bottomright_tail(B).	100.00	26.43
212	ิ	sra_ei(1,A,B,C,C,C) :- circenptzone(B,6), sizemore1_2(A), cntprim1(B,0).	100.00	1.68
213	ี	sra_ee(1,A,B,C,C,C) :- circenptzone(B,6), cntenpt(B,2), sizemore1_2(A), havemember(B,1,6,6).	100.00	1.20
214	ึ	sra_eut(1,A,B,[z6,z6],[z6],C) :- havemember(B,2,6,6).	100.00	1.96
215	ื	sra_eu(1,A,B,C,D,E) :- cntcircenpt(B,0), cntenpt(B,3), sizemore1_2(A).	99.62	1.79
216	ุ	sra_ut(5,A,B,C,C,C).	100.00	0.58
217	ู	sra_uu(5,A,B,C,D,C) :- enptprim(B,1).	100.00	0.78
224	เ	sra_a(3,A,B,[],[],[]) :- headzone(B,3).	100.00	0.70
226	โ	sra_o(2,A,B,[],C,[z6]) :- havemember(B,0,6,6), havemember (B,7,6,6).	100.00	3.82
227	ไ	sra_aio(2,A,B,C,D,E) :- headzone(B,4), circenptzone(B,6).	100.00	2.31
228	ใ	sra_aim(2,A,B,C,D,E) :- cntcircenpt(B,1), havemember (B,4,6,6).	100.00	3.10
230	ๆ	yamok(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), enptzone(B,1), circenptzone(B,2), cntenpt(B,2), memberzone(B,2,1).	100.00	349.40
231	็	mi_tikoo(1,A,B,C,D,E) :- not sizemore1_45(A), enptprim(B,1), cntenpt_14(B), begendzone(B,6,6), havezone(E,z6).	100.00	6.29

ตารางที่ 3.5 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา(วินาที)
232	◌ั	mi_ek(1,A,B,C,C,C) :- cntcircenpt(B,0).	100.00	0.95
233	◌ิ	mi_to(1,A,B,C,D,[]) :- not sizemore1_45(A), headprim(B,12).	100.00	1.30
234	◌ี	mi_tee(1,A,B,C,D,E) :- headprim_0110(B), enptprim(B,1), sizemore1_2(A), havemember(B,2,6,6), havezone(E,z6).	100.00	7.07
235	◌ึ	mi_jatva(1,A,B,C,D,E) :- enptprim(B,0), havezone(C,z6).	100.00	3.65
236	◌ื	karan(1,A,B,C,C,C) :- headprim(B,9), havemember(B,0,6,6).	100.00	1.88
237	◌ุ	sra_am(1,A,B,C,C,C) :- not sizemore1_2(A), headprim(B,10).	100.00	0.90
240	๐	num_0(3,A,B,[],[],[]) :- headzone(B,0).	100.00	0.63
241	๑	num_1(3,A,B,[],C,D) :- headzone(B,0), enptzone(B,4).	100.00	3.75
242	๒	num_2(3,A,B,C,D,[z1,z0]) :- headzone(B,0).	100.00	1.20
243	๓	num_3(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), memberzone(B,1,4), havezone(E,z1), havezone(E,z2).	100.00	100.40
244	๔	num_4(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,0), headprim(B,11), enptzone(B,1), enptprim(B,7), cntenpt(B,3).	100.00	31.72
245	๕	num_5(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,0), headprim(B,11), memberzone(B,0,2).	100.00	77.24
246	๖	num_6(3,A,B,C,D,[z0]) :- headzone(B,3), headprim(B,12).	100.00	6.86
247	๗	num_7(3,A,B,C,[z4,z0],D) :- headzone(B,3).	100.00	3.22
248	๘	num_8(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,4), enptzone(B,1), begendzone(B,4,1), havezone(D,z3).	100.00	1.05
249	๙	num_9(3,A,B,C,D,E) :- havemember(B,11,3,3).	100.00	69.34

หมายเหตุ : การเรียนรู้ในกลุ่มที่ 1 กำหนดให้ PROGOL สร้างกฎซึ่งครอบคลุมตัวอย่างลบได้ประมาณ 0.02 % ของตัวอย่างลบทั้งหมด

ตารางที่ 3.6 ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ CORDIA และ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา(วินาที)
161	ก	kai(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,1), cntprim4 (B,0).	100.00	14.19
162	ข	khai(3,A,B,C,D,E) :- not headyuk(D), headzone(B,2), enptprim (B,1), circenptzone(B,2), cntcircenpt(B,1), right_line(B), memberzone(B,4,1), headprim_0910(B), cntstzone5(B,0).	100.00	201.38
163	ฃ	khud(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,10), enptzone (B,4), begendzone(B,2,1), memberzone(B,2,1), memberzone (B,4,1), havemember(B,7,2,2), headprim_0910(B), headprim_1011(B).	99.91	166.83
164	ค	khay(3,A,B,[z3],C,D) :- not upperyuk([z3]), not upperyuk(C), headzone(B,0), enptprim(B,6).	100.00	10.39
165	ฅ	khon(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), headzone(B,0), headprim(B,11), enptzone(B,3), havemember(B,0,2,2), upperyuk(D).	100.00	205.57
166	ฆ	rakung(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,10), enptzone(B,4), memberzone(B,0,0), memberzone(B,0,4), memberzone(B,3,3).	100.00	120.98
167	ง	ngoo(3,A,B,[],[z4],[]) :- headzone(B,1).	100.00	1.03
168	จ	jan(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), enptzone(B,2), cntprim9(B,0), cntprim10(B,0), cntprim11(B,0), cntstzone3 (B,0), memberzone(B,4,4).	99.72	137.88
169	ฉ	ching(3,A,B,C,D,E) :- enptzone(B,4), cntcircenpt(B,1), topleft_tail(B), havezone(D,z3).	99.81	130.49
170	ช	chang(3,A,B,C,D,E) :- not headyuk(C), not headyuk(D), headzone(B,2), enptzone(B,0), enptzone(B,1), topright_tail(B), havemember(B,0,2,2).	100.00	65.34

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ CORDIA และ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา(วินาที)
171	ซ	soo(3,A,B,C,D,E) :- not nozone(C), not nozone(E), not sizemore1_2(A), headprim(B,10), enptzone(B,1), enptzone(B,2), cntstzone5(B,0), memberzone(B,4,4), havezone(C,z1), havezone(D,z2).	99.81	356.35
172	ฌ	kacher(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), enptzone(B,0), enptzone(B,4), memberzone(B,3,0).	100.00	181.36
173	ญ	ying(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), enptprim(B,1), right_line(B), begendzone(B,3,1), nozone0(C), nozone0(D), nozone0(E), cntsection_l20(B), cntprim4(B,0).	100.00	183.98
174	ฎ	chada(4,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,9), cntzone_le3(E).	99.72	25.20
175	ฏ	patak(4,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,9), cntcircenpt(B,1), cntzone_ge3(D).	99.53	31.86
176	ฐ	than(3,A,B,C,D,E) :- enptzone(B,1), memberzone(B,2,1), memberzone(B,2,2), memberzone(B,4,4), havemember(B,0,1,1), headprim_0312(B).	99.91	166.60
177	ฑ	monto(3,A,B,C,D,E) :- not nozone(C), not nozone(D), not nozone(E), headzone(B,2), headprim(B,10), enptzone(B,1), enptprim(B,6), cntprim4(B,0).	100.00	147.94
178	ฒ	putoa(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,0), enptzone(B,4), right_line(B), memberzone(B,2,2), memberzone(B,3,3), memberzone(B,4,1).	100.00	83.75
179	ณ	nen(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), enptzone(B,4), enptprim(B,2), begendzone(B,3,1), memberzone(B,3,2).	100.00	73.56
180	ด	deg(3,A,B,[],C,D) :- not have0011(B), headzone(B,0), headprim(B,12), enptzone(B,1), enptprim(B,6).	99.91	40.04
181	ต	toa(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,0), enptzone(B,1), enptprim(B,6), topline(B), nozone3(C), cntstzone0(B,3).	99.72	234.29

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ CORDIA และ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา (วินาที)
182	ถ	tung(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), not sizemore1_2(A), headzone(B,3), headprim_0110(B), memberzone(B,1,1), memberzone(B,1,4), memberzone(B,2,1), memberzone(B,3,3), cntstzone0(B,0).	100.00	175.91
183	ท	tahan(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), not nozone(C), headzone(B,2), headprim(B,12), enptprim(B,5), cntenpt(B,3), memberzone(B,1,1).	100.00	128.29
184	ธ	tong(3,A,B,C,D,E) :- sizeless0_7(A), enpt_topright(B), nozone0(C), nozone4(C), nozone4(E), headprim_040510(B).	99.91	37.52
185	น	nuu(3,A,B,[z4],C,D) :- headzone(B,2), headprim(B,12), enptzone(B,4).	100.00	17.63
186	บ	bimai(3,A,B,C,D,E) :- not have4044(B), headzone(B,2), headprim(B,12), cntcircenpt(B,1), right_line(B), memberzone(B,2,3), memberzone(B,3,4).	100.00	106.06
187	ป	pla(2,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,12), memberzone(B,3,4).	100.00	11.14
188	ผ	peung(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,11), memberzone(B,0,4).	100.00	68.66
189	ฝ	fa(2,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,11).	100.00	1.94
190	พ	pan(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,12), enptzone(B,1), enptzone(B,4), enptprim(B,1), enptprim(B,6), cntenpt(B,5).	100.00	73.94
191	ฟ	fan(2,A,B,C,D,E) :- enptzone(B,2), enptzone(B,4), enptprim(B,1), enptprim(B,6).	100.00	2.79
192	ภ	sampoa(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), headzone(B,3), headprim_0009(B).	99.25	32.59

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ CORDIA และ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา(วินาที)
193	ม	mar(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,12), enptzone (B,4), enptprim(B,1), memberzone(B,0,4), havemember (B,1,4,1), havemember(B,7,0,4).	99.91	121.81
194	ย	yag(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), enptzone(B,4), enptprim (B,0), enptprim(B,1), memberzone(B,3,4).	100.00	75.51
195	ร	rua(3,A,B,C,D,E) :- headprim_0009(B), headzone_34(B), sizeless0_7(A), enpt_topright(B).	100.00	130.61
196	ฤ	rue(4,A,B,C,D,E) :- headprim(B,10).	100.00	1.93
197	ล	ling(3,A,B,C,D,E) :- not topright_tail(B), headzone(B,3), enptprim(B,6), cntprim9(B,0), cntprim11(B,0), topleft_tail(B), upperyuk(E).	99.91	170.93
199	ว	van(3,A,B,[],[],C) :- headzone(B,4), topleft_tail(B).	100.00	6.37
200	ศ	sala(3,A,B,C,D,E) :- enptzone(B,0), enptzone(B,1), enptzone (B,3), enptprim(B,6), enpt_topright(B), memberzone(B,1,4), memberzone(B,2,1), havemember(B,6,1,4).	100.00	76.01
201	ษ	ruesi(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,12), enptzone (B,0), enptzone(B,1), circenptzone(B,0).	100.00	40.94
202	ส	sua(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), enptzone (B,1), memberzone(B,1,2), havemember(B,0,1,1).	99.91	97.06
203	ห	heep(3,A,B,C,D,[z1]) :- not topright_tail(B), not nozone(C), headzone(B,2), memberzone(B,2,3).	99.72	66.05
204	ฬ	chula(3,A,B,C,D,E) :- headprim(B,12), enptzone(B,1), enptprim (B,5), topright_tail(B), memberzone(B,0,4), havemember (B,3,1,1).	100.00	93.41
205	อ	ang(3,A,B,C,D,E) :- headprim(B,11), cntcircenpt(B,1), topleft_tail(B), memberzone(B,1,2).	99.81	83.30

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ CORDIA และ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา (วินาที)
206	ฮ	huug(3,A,B,C,D,E) :- not nozone(C), not sizemore1_2(A), enptzone(B,1), cntprim10(B,0), cntprim12(B,0), memberzone (B,5,5).	99.62	161.62
207	ฯ	paiyan(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), headprim(B,12), enptzone(B,1), cntcircenpt(B,1), bottomright_tail(B), nozone0 (C), nozone3(C).	100.00	114.64
208	ะ	sra_at(3,A,B,[],C,[]) :- headzone(B,2), cntprim6(B,0).	100.00	7.19
209	ั	mi_hanka(1,A,B,C,D,C) :- enptprim(B,1), sizemore1_45(A), cntsection_g3(B), cntprim2(B,0).	100.00	10.01
210	า	sra_ar(3,A,B,[],C,D) :- headzone(B,2), enptzone(B,1), cntcircenpt(B,0), bottomright_tail(B).	100.00	15.34
212	ิ	sra_ei(1,A,B,C,C,C) :- circenptzone(B,6), sizemore1_2(A), cntprim0(B,0), cntprim1(B,0).	100.00	3.37
213	ี	sra_ee(1,A,B,C,C,C) :- circenptzone(B,6), cntenpt(B,2), sizemore1_2(A), havemember(B,1,6,6), cntprim0(B,0).	100.00	3.50
214	ึ	sra_eut(1,A,B,[z6,z6],C,D) :- sizemore1_2(A), havemember (B,3,6,6).	100.00	3.57
215	ื	sra_eu(1,A,B,C,D,E) :- cntcircenpt(B,0), sizemore1_2(A), havemember(B,4,6,6), havemember(B,7,6,6), havezone(C,z6).	99.34	9.69
216	ุ	sra_ut(5,A,B,C,C,C) :- cntsection(B,2).	100.00	1.88
217	ู	sra_uu(5,A,B,C,D,C) :- enptprim(B,1).	100.00	1.26
224	เ	sra_a(3,A,B,[],[],[]) :- headzone(B,3), headprim(B,10).	100.00	2.18
226	โ	sra_o(2,A,B,C,D,[z6]) :- havemember(B,0,6,6), havemember (B,7,6,6).	100.00	3.45
227	ไ	sra_aio(2,A,B,C,[],D) :- headzone(B,4), circenptzone(B,6).	100.00	2.61
228	ใ	sra_aim(2,A,B,C,D,E) :- cntcircenpt(B,1), havemember (B,4,6,6).	100.00	8.95

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ CORDIA และ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา (วินาที)
230	·ๆ	yamok(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,2), enptzone(B,1), circenptzone(B,2), cntcircenpt(B,1), bottomright_tail(B), memberzone(B,1,4), memberzone(B,2,1), cntprim2(B,0), cntprim4(B,0), cntstzone0(B,0).	100.00	273.49
231	๎	mi_tikoo(1,A,B,C,D,E) :- not sizemore1_45(A), enptprim(B,1), cntenpt_14(B), begendzone(B,6,6), havemember(B,0,6,6), havezone(D,z6), havezone(E,z6), headprim_0111(B).	99.91	17.23
232	·ั	mi_ek(1,A,B,C,C,C) :- cntcircenpt(B,0).	100.00	1.31
233	๊	mi_to(1,A,B,C,D,[]) :- not sizemore1_45(A), headprim(B,12).	100.00	2.56
234	๋	mi_tee(1,A,B,C,D,E) :- headprim_0110(B), enptprim(B,1), sizemore1_2(A), havemember(B,2,6,6), havezone(E,z6).	99.81	15.65
235	·็	mi_jatva(1,A,B,C,D,E) :- not nozone(C), enptprim(B,0), cntprim5(B,0).	100.00	9.35
236	·์	karan(1,A,B,C,C,C) :- headprim(B,9), havemember(B,0,6,6).	100.00	2.82
237	·ิ	sra_am(1,A,B,C,C,C) :- not sizemore1_2(A), headprim(B,10).	100.00	133.58
240	๐	num_0(3,A,B,[],[],[]) :- headzone(B,0).	100.00	0.98
241	๑	num_1(3,A,B,[],C,D) :- headzone(B,0), enptzone(B,4).	100.00	5.71
242	๒	num_2(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,0), begendzone(B,0,2), memberzone(B,0,1).	100.00	62.83
243	๓	num_3(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,10), cntenpt(B,3), bottomright_tail(B), memberzone(B,1,4), havezone(E,z1), havezone(E,z2).	100.00	119.14
244	๔	num_4(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,0), headprim(B,11), enptzone(B,1), enptprim(B,7), cntenpt(B,3).	100.00	55.30
245	๕	num_5(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,0), headprim(B,11), enptzone(B,1), begendzone(B,0,1), memberzone(B,0,2).	100.00	83.80
246	๖	num_6(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), headprim(B,12).	100.00	9.35
247	๗	num_7(3,A,B,C,[z4,z0],D) :- headzone(B,3).	100.00	1.69

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ผลที่ได้จากการเรียนรู้ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย รูปแบบ CORDIA และ EUCROSIA ขนาด 48, 36, 32, 28, 24, 22 และ 20

รหัสแอสกี	ตัวอักษร	อนุประโยคที่ได้จากการเรียนรู้	ความถูกต้อง(%)	ใช้เวลา (วินาที)
248	๘	num_8(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,4), enptzone(B,1), begendzone(B,4,1), havezone(D,z3).	100.00	48.39
249	๙	num_9(3,A,B,C,D,E) :- headzone(B,3), enptzone(B,1), right_line(B), begendzone(B,3,1), memberzone(B,0,0), memberzone(B,0,1).	100.00	53.97

หมายเหตุ : การเรียนรู้ในกลุ่มที่ 2 กำหนดให้ PROGOL สร้างกฎซึ่งครอบคลุมตัวอย่างลบได้ประมาณ 0.06 % ของตัวอย่างลบทั้งหมด

ในบทนี้ได้กล่าวถึง โครงสร้างของระบบงาน เริ่มจากการนำข้อมูลภาพของตัวอักษรมาผ่านการประมวลผลขั้นต้น โดยการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน และการวิเคราะห์หาลักษณะสำคัญของตัวอักษร หลังจากนั้นจึงแปลงข้อมูลลักษณะสำคัญของตัวอักษรที่ได้ ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลส่วนย่อยของตัวอักษร ระดับของตัวอักษร ขนาดของตัวอักษร เขตที่มีจุดทางแยก เขตที่มีส่วนหยักขึ้น และส่วนหยักลง ข้อมูลดังกล่าวใช้เป็นข้อมูลแสดงลักษณะของตัวอักษรให้กับ PROGOL รวมทั้ง ได้แสดงรายละเอียดของความรู้ส่วนหลังที่ใช้ด้วย ในส่วนท้ายของบทแสดงให้เห็นกฎที่ได้จากการเรียนรู้ ซึ่งใช้นิยามลักษณะของตัวพิมพ์อักษรภาษาไทยแต่ละตัว กฎที่ได้จะใช้ในการทดสอบการรู้จำตัวอักษร ซึ่งจะกล่าวถึงในบทถัดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย