บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาระบบ

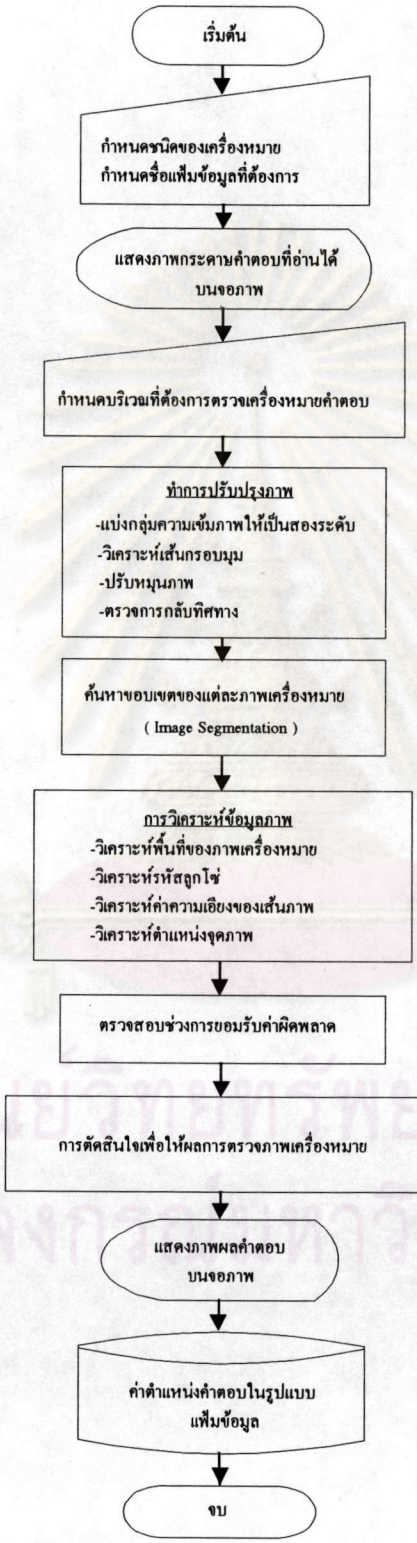
งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบตรวจเครื่องหมายคำตอบแบบปรนัยจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์ จัดทำเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์เครื่องหมายคำตอบที่เขียนด้วยลายมือ โดยมีวิธีการคือ มีแบบฟอร์มกระดาษคำตอบที่สร้างจากการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ทั่วไป เพื่อกำหนดขอบเขตที่สามารถทำเครื่องหมายคำตอบได้ รวมทั้งส่วนที่บอกถึงตัวอย่างการทำเครื่องหมายคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นกระดาษคำตอบที่มีการทำเครื่องหมายคำตอบแล้วจะถูกอ่านโดยเครื่องสแกนเนอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพส่งไปวิเคราะห์โดยระบบโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น ผลการวิเคราะห์และการรู้จำที่ได้ออกมาจะเป็นตำแหน่งของภาพเครื่องหมายนั้น ๆ

ในรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงผังการทำงานของโปรแกรมตรวจเครื่องหมายคำตอบโดยรวมที่ได้พัฒนาขึ้น โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการกำหนดชนิดของเครื่องหมายที่ต้องการตรวจ ชื่อของแฟ้มข้อมูลภาพการอ่านข้อมูลจากเครื่องสแกนเนอร์และการกำหนดบริเวณที่จะทำการค้นหาเพื่อตรวจเครื่องหมายคำตอบ จากนั้นระบบจะอ่านข้อมูลภาพเข้ามาในหน่วยความจำ ซึ่งข้อมูลจะมีอยู่ด้วยกันอยู่สองแบบ กล่าวคือ ข้อมูลภาพกระดาษคำตอบที่ยังไม่มีการทำเครื่องหมายคำตอบเพื่อใช้สำหรับการอ้างอิง และข้อมูลภาพกระดาษคำตอบที่ทำเครื่องหมายคำตอบแล้วที่ต้องการให้ระบบทำการตรวจหาตำแหน่งเครื่องหมาย เมื่อได้ข้อมูลจะทำการแสดงภาพข้อมูลบนจอภาพเพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพข้อมูลเริ่มต้น จากนั้นจะผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุงภาพ การวิเคราะห์ลักษณะสำคัญและนำค่าข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้เรียนรู้ไว้เพื่อให้ได้ผลการรู้จำ

3.1 การออกแบบ

การออกแบบระบบตรวจเครื่องหมายคำตอบแบบปรนัยจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์ที่ทำการวิจัยและพัฒนาในครั้งนี้ ประกอบไปด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1. การนำเข้าข้อมูลภาพเครื่องหมายจากเครื่องสแกนเนอร์เพื่อการเรียนรู้และการรู้จำ
2. การปรับปรุงข้อมูลภาพกระดาษคำตอบ
   - การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพและกำจัดสัญญานรบกวน



รูปที่ 3.1 แสดงผังการทำงานของระบบตรวจเครื่องหมายคำตอบ

- การแก้ไขความเอียงของภาพกระดาษคำตอบ
- การตรวจสอบการกลับทิศทางของกระดาษคำตอบ
- การค้นหาขอบเขตของแต่ละภาพเครื่องหมาย

3. การวิเคราะห์ลักษณะสำคัญของภาพเครื่องหมายที่เกิดจากเส้นตรง
   - การหาค่าความเอียงของภาพเครื่องหมาย
   - การหาจุดตำแหน่งที่เป็นส่วนประกอบของภาพเครื่องหมาย
   - การวิเคราะห์ส่วนที่นอกเหนือจากภาพเครื่องหมาย
   - การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายกากบาท
   - การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายถูก
4. การวิเคราะห์ลักษณะสำคัญของภาพเครื่องหมายที่เกิดจากเส้นโค้ง
   - การหาระยะเส้นรอบวงของภาพเครื่องหมายวงกลม
   - การหาพื้นที่ของภาพเครื่องหมายวงกลม
   - การหาค่าความแตกต่างของภาพเครื่องหมายวงกลม
   - การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายวงกลมแบบล้อมรอบคำตอบ
   - การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายวงกลมระบายทึบ
5. การให้ผลลัพธ์การรู้จำภาพเครื่องหมายคำตอบ

3.2 การนำเข้าข้อมูลภาพเครื่องหมายแบบดิจิตอล

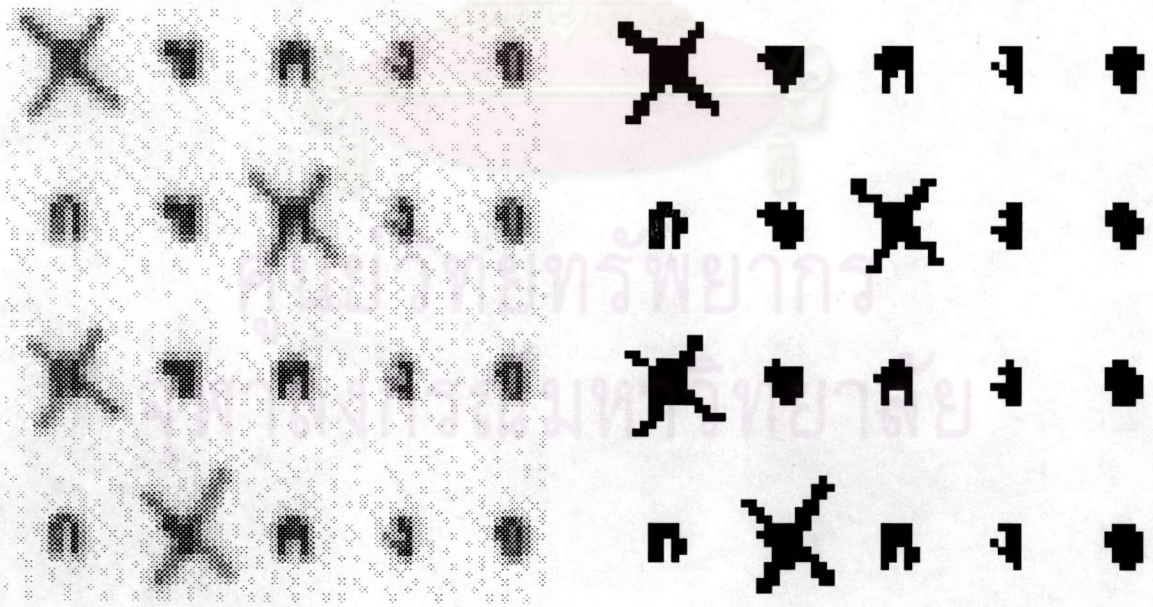
ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องสแกนเนอร์ ชนิดที่รับข้อมูลเข้าทีละ 1 หน้ากระดาษเป็นอุปกรณ์รับข้อมูลที่มีความละเอียดขนาด 100 จุดต่อนิ้ว และมีระดับความเทา 16 ระดับซึ่งมีโปรแกรมชื่อ DESK SCAN (โปรแกรมควบคุมเครื่องสแกนเนอร์ของเครื่องรุ่น HP DESK JET-C) เป็นโปรแกรมจัดการในการสแกนข้อมูลเข้า ข้อมูลที่ได้จากการสแกนนั้นจะถูกเก็บในลักษณะบิตอิมเมจ (bit image file) มีรูปแบบเป็นแฟ้มข้อมูลพีซีเอ็กซ์ (PCX) ค่าความเข้มของสีเทาที่ใช้เป็น 16 ระดับทั้งนี้เพื่อทำให้สามารถวิเคราะห์คำตอบในกรณีที่มีการทำเครื่องหมายคำตอบด้วยสีที่ค่อนข้างจางหรือมีการลบแก้ไขและใช้เพื่อเป็นข้อมูล ในส่วนเปรียบเทียบของการปรับปรุงข้อมูลภาพดิจิตอลที่เหมาะสม ค่าความละเอียดของภาพในการวิจัยเลือกใช้ขนาด 100 dpi (dot per inch) ซึ่งเป็นความละเอียดที่เหมาะสมกับขนาดของเส้นของภาพเครื่องหมายคำตอบที่เขียนด้วยปากกาหรือดินสอขนาด 0.3 มิลลิเมตรถึงขนาด 0.7 มิลลิเมตร สามารถแทนความหนาของเส้นด้วยจุดภาพที่ได้จากการสแกนข้อมูลเฉลี่ยประมาณ 4 จุดภาพ

การนำเข้าข้อมูลมี 2 ลักษณะคือ ในตอนแรกจะนำเข้าข้อมูลที่เป็นภาพกระดาษคำตอบที่ยังไม่มีการทำเครื่องหมายคำตอบใด ๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และการลบภาพกระดาษคำตอบที่มีการทำเครื่องหมายเพื่อให้เหลือข้อมูลภาพเฉพาะส่วนของเครื่องหมายคำตอบที่ได้เขียนลงไป จากนั้นจึงนำเข้าภาพกระดาษคำตอบที่มีการทำเครื่องหมายแล้วและต้องการตรวจเข้าไปตามลำดับทีละแฟ้มข้อมูล

3.3 การปรับปรุงข้อมูลภาพกระดาษคำตอบ

3.3.1 การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพและกำจัดสัญญาณรบกวน

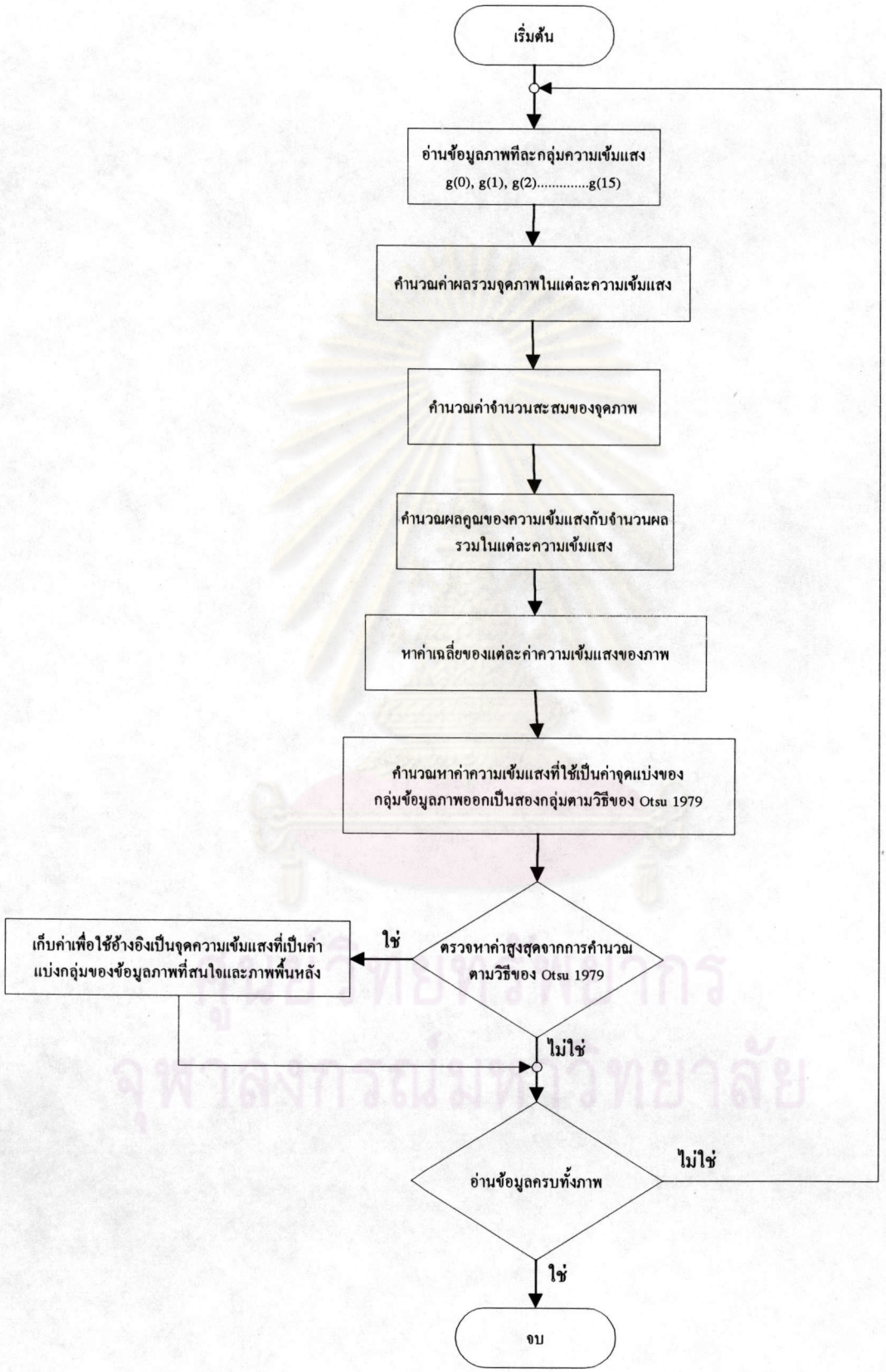
ข้อมูลภาพเครื่องหมายคำตอบจะถูกปรับปรุงโดยแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพและกำจัดสัญญาณรบกวนตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 2.2.2 โดยที่ใช้ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของข้อมูลค่าความเข้มแสงที่อยู่ในช่วงปานกลาง ซึ่งเป็นวิธีการตามแบบของ Otsu 1979 เพื่อปรับข้อมูลภาพให้เหมาะสมในการวิเคราะห์ในขั้นตอนการรู้จำและจากการพัฒนาระบบโปรแกรมทำให้สามารถได้ผลดังรูปที่ 3.2 โดยที่รูปที่ 3.2 (ก) แสดงข้อมูลภาพขนาดความเข้ม 16 ระดับที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์โดยตรง และเมื่อผ่านขั้นตอนการแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพตามวิธีการที่กล่าวมาจะได้ผลตามรูปที่ 3.2 (ข) ซึ่งสามารถกำจัดสัญญาณได้และปรับความเข้มของจุดภาพในกรณีที่มีความเข้มของสีเทาต่ำ



(ก) ข้อมูลภาพที่ได้จากการสแกน (ข) ข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับปรุง

รูปที่ 3.2 การปรับปรุงข้อมูลภาพกระดาษคำตอบ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

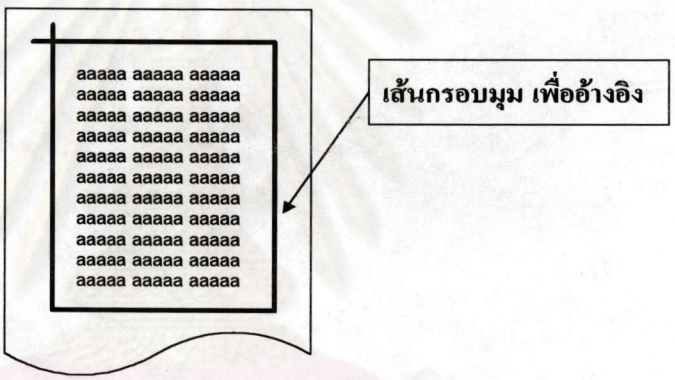


รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการหาค่าขีดแบ่งของกลุ่มข้อมูลจุดภาพตามวิธีของ Otsu 1979

3.3.2 การแก้ไขความเอียงของภาพกระดาษคำตอบ

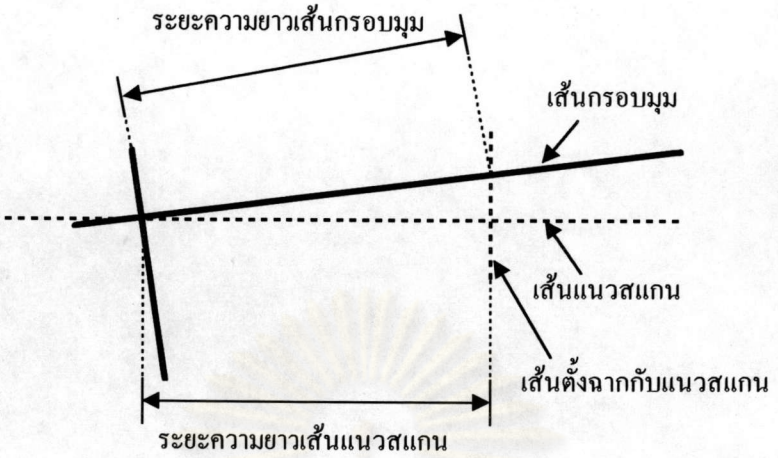
ในขั้นตอนการนำกระดาษคำตอบเข้าเครื่องสแกนเนอร์ถ้ามีการเอียง จะทำให้ข้อมูลภาพที่ได้ไม่เรียงอยู่ในแนวเส้นสแกน เป็นผลทำให้การวิเคราะห์เพื่อการรู้จำในด้านการเปรียบเทียบตำแหน่งของข้อมูลจุดภาพเกิดความผิดพลาด ดังนั้นจึงต้องมีการแก้ไขด้วยวิธีการหมุนภาพ (image rotation) เพื่อให้ข้อมูลภาพอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับแนวเส้นสแกน ตามวิธีการในหัวข้อ 2.4 เพื่อคำนวณตำแหน่งจุดภาพใหม่ตามค่ามุมที่เอียงไปจากแนวเส้นสแกน

วิธีการวิเคราะห์ว่าภาพกระดาษคำตอบมีค่ามุมเอียงของภาพไปจากแนวเส้นสแกนกี่องศาจะทำได้โดยอาศัยการเปรียบเทียบเส้นกรอบมุมในกระดาษคำตอบที่ระบุไว้เพื่อการอ้างอิงซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เส้นกรอบมุมของกระดาษคำตอบ

จากรูป เส้นกรอบมุมของกระดาษคำตอบที่ใช้เพื่ออ้างอิง ประกอบไปด้วยเส้นกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบตัวเลือกคำตอบ และที่มุมบนด้านซ้ายจะมีเส้นที่ตัดกัน ซึ่งเส้นกรอบมุมนี้ใช้ประโยชน์เพื่อการวิเคราะห์อยู่ 2 อย่างคือ ตรวจการกลับทิศทางของภาพกระดาษคำตอบ และค่ามุมที่เอียงไปจากแนวเส้นสแกนของภาพกระดาษคำตอบ ตัวอย่างการกลับทิศทางของภาพกระดาษคำตอบ เช่น การกลับของหัวกระดาษคำตอบจากด้านบนเป็นด้านล่าง ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีผลทำให้การรู้จำภาพเครื่องหมายผิดพลาดได้ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดวิธีการตรวจการกลับทิศทางในหัวข้อ 3.3.3 ส่วนการตรวจสอบค่ามุม ของภาพกระดาษคำตอบที่เอียงไปจากแนวเส้นสแกนทำโดยใช้หลักการคำนวณค่ามุมจากความยาวระยะเส้นแนวสแกนและความยาวระยะเส้นกรอบมุมที่มีจุดปลายที่แนวเส้นตั้งฉากกับเส้นแนวสแกน ดังรูปที่ 3.5 และค่ามุมหาได้ดังสมการ 3.1



รูปที่ 3.5 ระยะความยาวของเส้นกรอบมุมและเส้นแนวสแกน

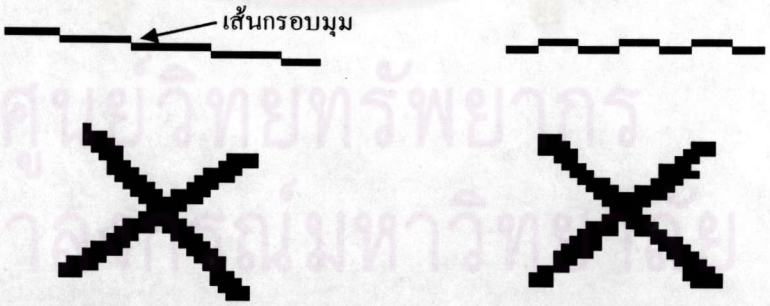
$$\theta = \arccos\left(\frac{\text{ระยะความยาวเส้นแนวสแกน}}{\text{ระยะความยาวเส้นกรอบมุม}}\right) \qquad (3.1)$$

โดยที่

θ = ค่ามุมที่เอียง

A = ระยะความยาวเส้นแนวสแกน

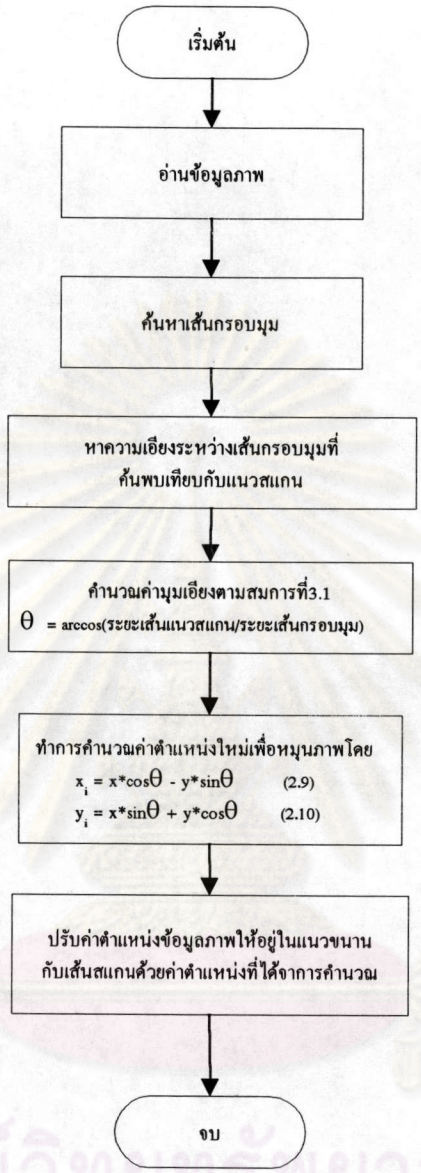
B = ระยะความยาวเส้นกรอบมุม



(ก) ภาพเครื่องหมายและเส้นกรอบมุม ก่อนการหมุนภาพ

(ข) ภาพเครื่องหมายและเส้นกรอบมุม หลังการหมุนภาพ

รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบผลการหมุนภาพเครื่องหมายกากบาทในกระดาษคำตอบ



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการปรับหมุนภาพกระดาษคำตอบ

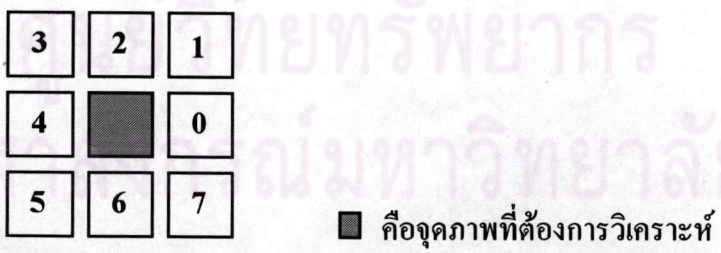
วิธีการคำนวณที่นำมาทำการหมุนภาพกระดาษคำตอบที่ใช้ในการวิจัยทำให้ได้ผลดังรูปที่ 10 โดยรูปที่ 3.6 (ก) เป็นภาพที่เอียง ซึ่งเห็นได้จากเส้นกรอบมุมด้านบนมีลักษณะเอียง และรูปที่ 3.6 (ข) เป็นภาพที่ผ่านการหมุนให้อยู่ในแนวขนานกับแนวเส้นสแกนแล้ว โดยในรูปตัวอย่างค่ามุมเอียงที่คำนวณได้เท่ากับ 6.18 องศา จากผลของภาพที่ผ่านการหมุนแล้วมีบางส่วนขาดหายทั้งนี้เนื่องจากค่าผิดพลาดในการปัดเศษทางคณิตศาสตร์และค่าผิดพลาดปกติของสมการที่ใช้ ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะทำการชดเชยค่าในขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าช่วงการยอมรับได้เพื่อการตัดสินใจผลการรู้จำ ในการปรับหมุนภาพนี้ใช้เวลาในการคำนวนมากในการวิจัยนี้ได้กำหนดว่ากรณีที่ภาพเอียงน้อยกว่า 1 องศาจะทำการข้ามขั้นตอนการปรับภาพเพื่อผลทางทางความเร็วในการทำการรู้จำ

3.3.3 การตรวจสอบการกลับทิศทางของภาพกระดาษคำตอบ

การตรวจสอบการกลับทิศทางของกระดาษทำโดยการตรวจสอบที่เส้นกรอบมุมในส่วนของมุมบนด้านซ้ายของภาพกระดาษคำตอบที่ทำไว้เพื่ออ้างอิง ซึ่งได้กำหนดลักษณะเฉพาะเป็นเส้นตัดกัน ดังรูปที่ 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพในส่วนนี้ใช้ลักษณะสำคัญอยู่ 2 อย่างเพื่อจะทำให้ทราบได้ว่าเป็นภาพของส่วนที่ใช้เพื่อการอ้างอิงซึ่งลักษณะสำคัญนั้นประกอบไปด้วยจุดตัดของเส้นกรอบมุมและความยาวของปลายเส้นกรอบมุมที่ตัดกัน ขั้นตอนการวิเคราะห์เริ่มจากค้นหาจุดภาพที่เป็นส่วนประกอบของเส้นกรอบมุมในด้านแนวตั้ง และมีการเก็บข้อมูลตำแหน่งไว้ในตัวแปรเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลของเส้นกรอบมุมในด้านแนวนอน จากนั้นทำการค้นหาตำแหน่งของจุดที่ตัดกันของเส้นกรอบมุม รวมทั้งตรวจสอบความยาวของปลายเส้นกรอบมุมที่ตัดกันว่ามีความยาวอยู่ในช่วง 5 ถึง 10 จุดภาพหรือไม่ ซึ่งค่าความยาวนี้เป็นข้อกำหนดที่การวิจัยได้กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการอ้างอิง

3.3.4 การค้นหาขอบของภาพเครื่องหมาย

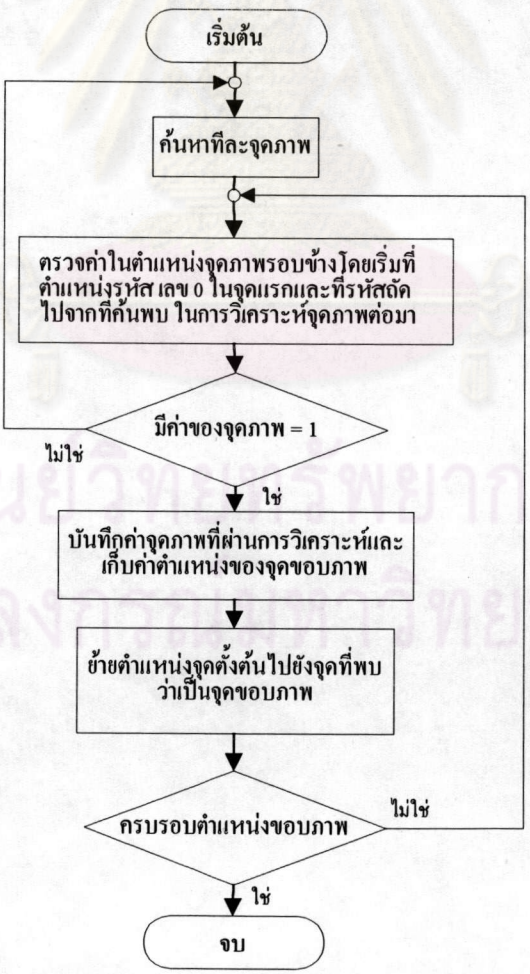
การค้นหาขอบเขตของภาพเครื่องหมาย (image segmentation)[1] ทำโดยการพิจารณาแต่ละจุดภาพที่เป็นส่วนประกอบของภาพเครื่องหมาย ซึ่งข้อมูลจุดภาพเหล่านี้ได้ถูกแยกกลุ่มจากที่เป็นภาพพื้นของกระดาษคำตอบตามวิธีการของ Otsu 1979 ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.3 การวิเคราะห์เพื่อค้นหาตำแหน่งจุดข้อมูลภาพที่เป็นขอบของภาพเครื่องหมาย ทำโดยตรวจสอบค่าจุดภาพรอบ ๆ คือจุดภาพด้านบน จุดภาพด้านล่าง จุดภาพด้านข้างและด้านเฉียงทั้ง 4 ด้าน ดังที่แสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งค่าตัวเลข 0 ถึง 7 เป็นรหัสลูกโซ่



รูปที่ 3.8 การค้นหาตำแหน่งจุดข้อมูลภาพที่เป็นขอบของภาพเครื่องหมาย

การค้นหาตำแหน่งจุดข้อมูลภาพที่เป็นส่วนขอบของภาพเครื่องหมายทำได้โดยตรวจค่าของจุดข้อมูลภาพในตำแหน่งที่เลขรหัส 0 เรียงตามลำดับจนถึงเลขรหัส 7 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อพบว่าจุดภาพมีค่าข้อมูลเป็น 1 แสดงว่าที่ตำแหน่งจุดภาพนั้นเป็นส่วนของภาพเครื่องหมาย และเนื่องจาก

การวิเคราะห์ได้เริ่มจากส่วนจุดข้อมูลภาพที่เป็นภาพพื้นหลัง การที่พบจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 ซึ่งเป็นจุดภาพอยู่ในกลุ่มของภาพเครื่องหมายจะแสดงว่า ที่ตำแหน่งนั้นเป็นส่วนขอบของภาพ จากนั้นทำการเลื่อนตำแหน่งของจุดภาพที่ทำการวิเคราะห์ไปยังตำแหน่งที่ค้นพบเพื่อทำการวิเคราะห์ในจุดภาพถัดไป แต่การตรวจค่าของจุดข้อมูลภาพซึ่งในตอนแรกทำการตรวจที่ตำแหน่งที่เลขรหัส 0 จะถูกเปลี่ยนไปเริ่มที่ตำแหน่งที่มีเลขรหัสถัดจาก ค่าเลขรหัสที่ตรงข้ามกับตำแหน่งรหัสที่ค้นพบ และทำการวิเคราะห์แบบเดียวกันนี้จนกว่าค่าตำแหน่งครบรอบกับจุดภาพที่เป็นจุดตั้งต้น ในแต่ละจุดภาพที่เป็นขอบของภาพนั้นจะทำการแก้ค่าเพื่อทำให้รู้ว่าเป็นส่วนที่ได้ผ่านการวิเคราะห์ไปแล้ว ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ค่า 0 แทนค่าจุดภาพที่เป็นภาพพื้นหลัง ค่า 1 แทนจุดภาพที่เป็นส่วนของภาพเครื่องหมาย และส่วนของจุดภาพที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วจะใช้ค่า 5 โดยทั้งหมดนี้กำหนดเพื่อให้เหมาะสมต่อการพัฒนาระบบโปรแกรม ผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหาตำแหน่งจะได้เป็นค่าตำแหน่งเก็บไว้ในตัวแปรที่เรียงจากจุดเริ่มต้นจนครบรอบของขอบภาพเครื่องหมายนั้นๆ



รูปที่ 3.9 ผังการทำงานของการค้นหาตำแหน่งขอบภาพ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหาตำแหน่งจะเป็นค่าตำแหน่งเก็บไว้ในตัวแปรเรียงจากจุดเริ่มต้นจนครบรอบของขอบภาพเครื่องหมายนั้นๆ

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะสำคัญของภาพเครื่องหมายที่สร้างจากเส้นตรง

3.4.1 การวิเคราะห์หาค่าความเอียงของเส้นภาพเครื่องหมาย

การวิเคราะห์หาค่าความเอียงของเส้นภาพเครื่องหมายจะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณค่าความเอียง ในระนาบ x,y ซึ่งวิธีการคำนวณทำได้ดังสมการที่ 3.2

$$\text{ค่าความเอียง (slope)} = \frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} \qquad (3.2)$$

โดยที่

x_1 = ค่าตำแหน่งในแนวแกน x ที่เป็นจุดเริ่มต้น

x_2 = ค่าตำแหน่งในแนวแกน x ที่เป็นจุดปลาย

y_1 = ค่าตำแหน่งในแนวแกน y ที่เป็นจุดเริ่มต้น

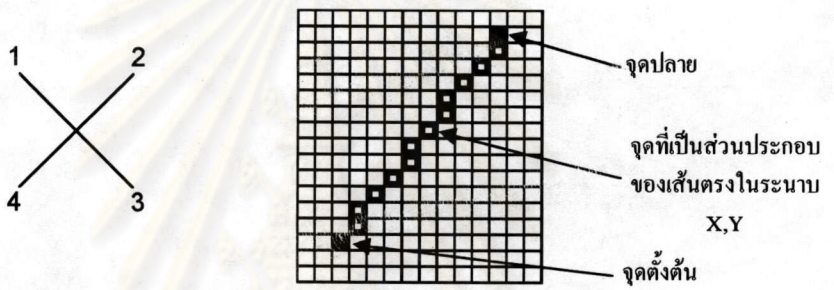
y_2 = ค่าตำแหน่งในแนวแกน y ที่เป็นจุดปลาย

ค่าความเอียงในกรณีที่มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าค่าตำแหน่งของจุดภาพที่นำมาคำนวณนั้นอยู่ในแนวลาดชันเป็น 45 องศาโดยที่ค่าเครื่องหมายบวก (+) หรือลบ (-) จะเป็นการบอกทิศทางของการเอียงว่า มีการเอียงในแนวด้านซ้ายหรือด้านขวา ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ค่าความเอียงเพื่อเป็นการวัดในส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพเครื่องหมายกากบาทและเครื่องหมายถูกว่ามีค่าความเอียงอยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้หรือไม่ ซึ่งถ้าค่าที่คำนวณได้มากกว่าหรือน้อยกว่าจะถือว่าภาพเครื่องหมายนั้น ไม่ใช่ภาพของเครื่องหมายที่ถูกต้องและสมบูรณ์

3.4.2 การค้นหาตำแหน่งจุดภาพที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องหมาย

ในขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งจุดภาพที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องหมายนี้ใช้วิธีการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.5 โดยทำการหาตำแหน่งที่เป็นเส้นตรงที่ได้จากการคำนวณ มาเพื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งของจุดภาพที่เป็นส่วนของภาพเครื่องหมายที่จะทำการรู้จำ โดยที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายของ

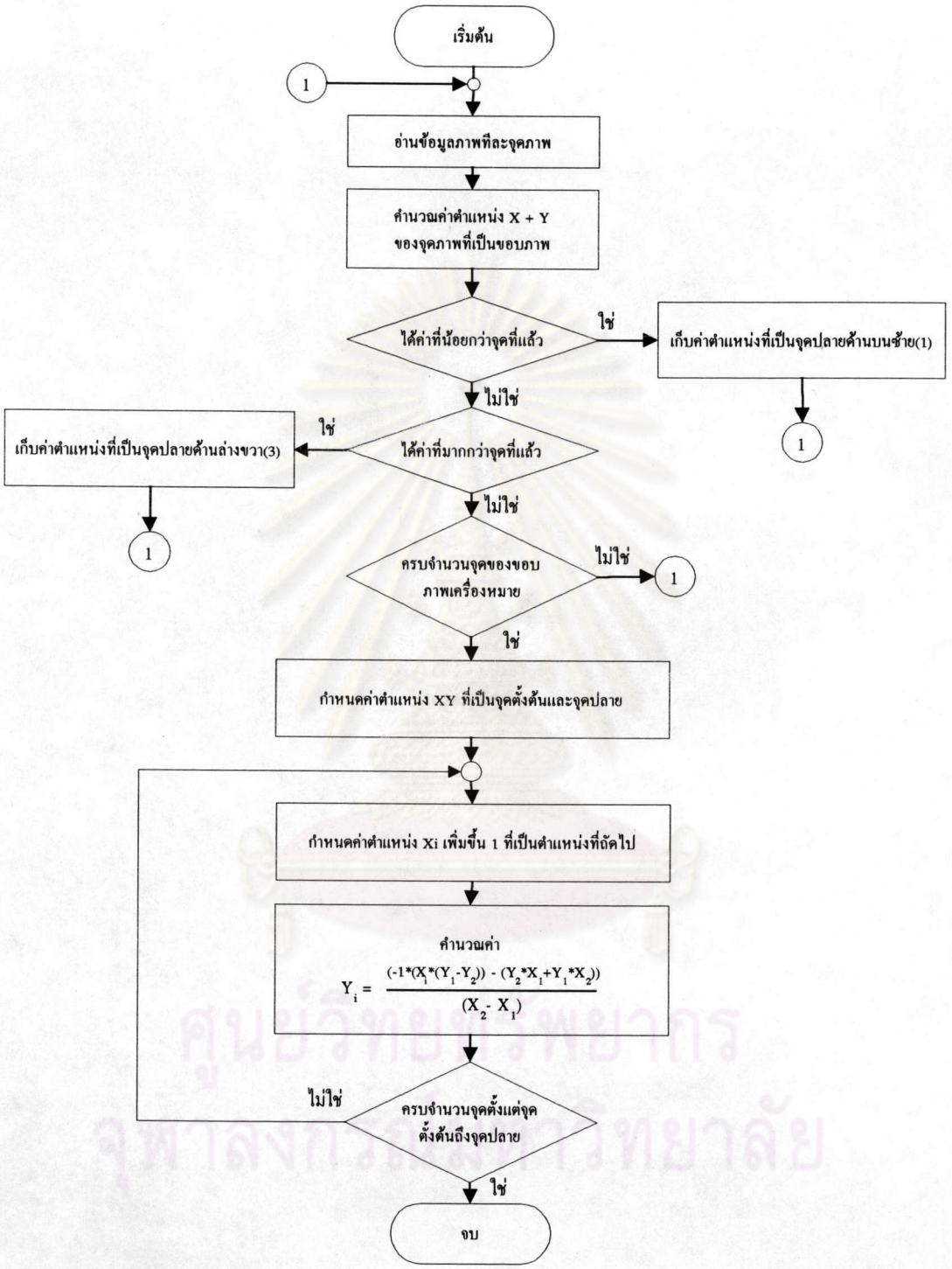
ภาพที่ทำการวิเคราะห์นั้นมีตำแหน่งตั้งต้นและจุดปลายที่เท่ากัน ในรูปที่ 3.10 แสดงรายละเอียดจุดภาพที่ประกอบเป็นเส้นตรงในระนาบ x,y ในรูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการหาตำแหน่งจุดตั้งต้น จุดปลาย และส่วนประกอบของเส้นตรงในกรณีเอียงในแนวด้านซ้าย ซึ่งทิศทางการเอียงของเส้นตรงนี้สามารถหาได้จากการลบค่าตำแหน่งในแนวแกน x ของจุดปลายภาพด้านบนและจุดปลายภาพด้านล่าง ค่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่า บวก แสดงว่าเป็นเส้นตรงที่เอียงด้านซ้าย ในทางกลับกันผลลัพธ์ที่มีค่าเป็น ลบ แสดงว่าเป็นเส้นตรงที่เอียงด้านขวา โดยที่รูปที่ 3.12 แสดงขั้นตอนการหาตำแหน่งจุดตั้งต้นจุดปลาย และส่วนประกอบของเส้นตรงในกรณีเอียงในแนวด้านขวาโดยที่หมายเลข 1 2 3 4 เป็นการบอกชื่อหมายเลขประจำตำแหน่งของจุดปลายทั้ง 4 ของภาพเครื่องหมายดังรูปที่ 3.10 (ก)



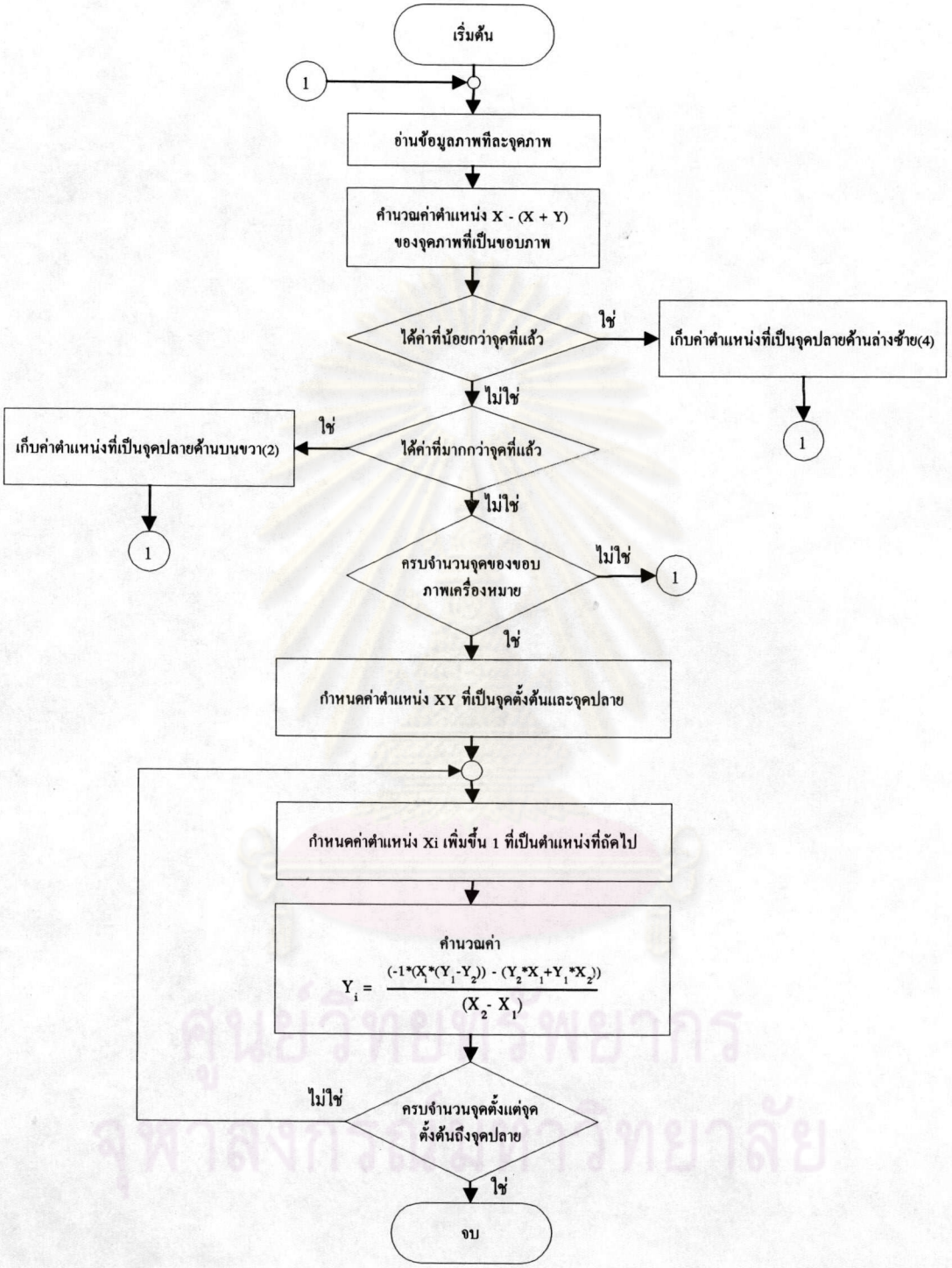
(ก) หมายเลขของจุดปลายภาพ (ข) รายละเอียดของจุดภาพ

รูปที่ 3.10 จุดภาพที่เป็นส่วนประกอบของเส้นตรงในระนาบ XY

จากการที่สามารถคำนวณหาตำแหน่งจุดภาพของเส้นตรงในทางทฤษฎี ทำให้นำค่าข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งจุดภาพที่เป็นเส้นของภาพเครื่องหมายคำตอบว่า กับค่าตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณในทางทฤษฎี ว่ามีค่าตำแหน่งที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยค่าความแตกต่างนี้เรียกว่า ค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าที่ได้นี้นำมาเป็นค่าที่ใช้เพื่อวิเคราะห์ว่ามีการขีดเส้นตรงที่เป็นส่วนประกอบของภาพเครื่องหมายบนระนาบ xy หรือไม่ ในการวิจัยนี้ได้ใช้หลักการดังกล่าวมาวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายอยู่ 2 ชนิดคือ ภาพเครื่องหมายกากบาทและภาพเครื่องหมายถูก โดยที่การวิเคราะห์จะใช้ตำแหน่งของจุดภาพที่เป็นจุดปลายทั้งสองด้านของภาพเครื่องหมาย มาเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบ ซึ่งตำแหน่งจุดปลายของข้อมูลภาพนั้นสามารถหาได้จากการนำค่าตำแหน่งของแนวแกนนอน (x) และแนวแกนตั้ง (y) มาบวกกัน แล้วพิจารณาที่ค่าผลลัพธ์ของการบวกค่าตำแหน่งนี้ถ้ามีค่าน้อยที่สุด แสดงว่าเป็นตำแหน่งของจุดเริ่มต้นซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่มุมบนด้านซ้ายและถ้าค่ามากที่สุดแสดงว่าเป็นตำแหน่งของจุดปลายของภาพเครื่องหมายซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่มุมล่างด้านขวา โดยค่าตำแหน่งที่นำมาคำนวณนี้เป็นค่าของตำแหน่งจุดภาพที่เป็นขอบของภาพ



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการหาตำแหน่งจุดตั้งต้นจุดปลายและส่วนประกอบของเส้นตรงแบบเอียงด้านซ้าย



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการหาตำแหน่งจุดตั้งต้นจุดปลายและส่วนประกอบของเส้นตรงแบบเอียงด้านขวา

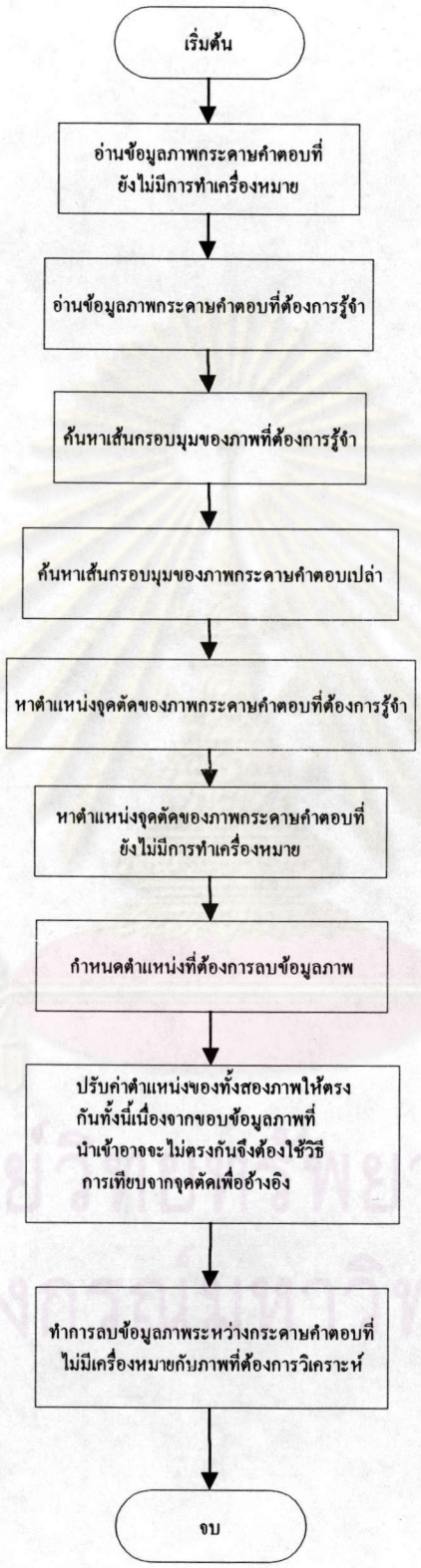
จากการวิเคราะห์ที่กล่าวมาทำให้สามารถทราบได้ว่ามีส่วนจุดภาพของเส้นตรงอยู่ในแนวตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์อยู่แต่เนื่องจากภาพเครื่องหมายซึ่งถูกสร้างด้วยการเขียนจากปากกาหรือดินสอทั่วไปทำให้มีขนาดของเส้นภาพเครื่องหมายที่ประกอบด้วยจุดภาพที่ได้จากการรับข้อมูลโดยเครื่องสแกนเนอร์ที่การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดไว้ 100 จุดต่อนิ้ว ทำให้ได้จำนวนจุดภาพที่รวมเป็นเส้นภาพของเครื่องหมายมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 4 จุดภาพ ด้วยลักษณะเฉพาะดังกล่าวและความต้องการให้ได้ความถูกต้องของการที่วิเคราะห์ว่ามีการเขียนเส้นตรงในแนวระนาบที่ทำการวิเคราะห์อยู่ จะใช้วิธีการคำนวณหาตำแหน่งเส้นตรงในทางทฤษฎีจำนวน 5 เส้นมาเพื่อทำการเปรียบเทียบแบบปิดทับกับเส้นภาพเครื่องหมายที่ต้องการวิเคราะห์ จากนั้นทำการตรวจดูในส่วนจุดภาพที่แตกต่างว่ามีจำนวนอยู่ในค่าช่วงการยอมรับได้หรือไม่ ในกรณีที่มีจำนวนที่อยู่ในช่วงค่าการยอมรับได้แสดงว่าได้มีการขีดเส้นตรงที่สมบูรณ์และเป็นส่วนของภาพเครื่องหมาย ในส่วนของจำนวนเส้นตรงที่นำมาเปรียบเทียบแบบนำมาปิดทับกันนั้นได้ใช้วิธีการเลือกจำนวนจากเส้นภาพปกติที่มีความหนา 4 จุดภาพ เมื่อเลือกใช้ตำแหน่งจุดภาพที่เป็นแกนกลางมาเป็นจุดอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบ และทำการปิดทับของข้อมูลภาพเพื่อตรวจดูส่วนที่เหลือนั้น ด้วยค่าจำนวน 5 เส้นภาพจะสามารถครอบคลุมภาพเส้นตรงของเครื่องหมายนั้นได้อย่างเพียงพอ

3.4.3 <u>การวิเคราะห์ส่วนจุดภาพที่นอกเหนือจากภาพเครื่องหมาย</u>

หลังจากข้อมูลภาพเครื่องหมายผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์ว่ามีข้อมูลลักษณะสำคัญตรงตามข้อกำหนดและมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงการยอมรับได้ ในขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ในส่วนจุดภาพของเครื่องหมายที่เป็นส่วนที่นอกเหนือจากจุดภาพเครื่องหมายที่สมบูรณ์ โดยเป็นการใช้วิธีการทางด้านการประมวลผลข้อมูลภาพทางด้านดิจิตอล (digital image processing) มาทำการลบข้อมูลภาพระหว่างภาพ 2 ภาพ (image subtraction)[10] ซึ่งข้อมูลที่นำมาลบกันนั้นประกอบไปด้วย

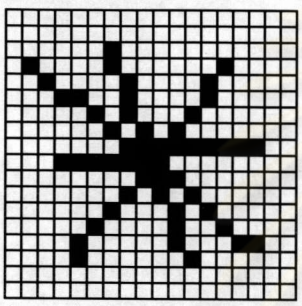
1. ข้อมูลจุดภาพเครื่องหมายคำตอบที่ทำการวิเคราะห์
2. ข้อมูลจุดภาพส่วนประกอบของเครื่องหมายคำตอบที่ได้จากการคำนวณ
3. ข้อมูลจุดภาพที่เป็นภาพพื้นของกระดาษคำตอบ (ที่เป็นอักษรตัวเลือกต่าง ๆ)

ผลลัพธ์ของข้อมูลจุดภาพที่ได้จากการลบภาพจะเป็นส่วนเกินที่ทำให้ภาพนั้นไม่ใช่เป็นภาพของเครื่องหมายคำตอบ เนื่องจากมีจุดภาพส่วนประกอบมากเกินกว่าภาพเครื่องหมายที่สมบูรณ์ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการเก็บข้อมูลตัวอย่าง มาวิเคราะห์ค่าลักษณะสำคัญและนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนเกินเฉลี่ยเพื่อที่จะคำนวณหาค่าสูงสุดและต่ำสุดมากำหนดเป็นค่าช่วงการยอมรับได้ในส่วนของจุดภาพที่นอกเหนือจากภาพเครื่องหมาย

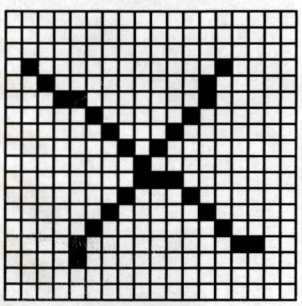


รูปที่ 3.13 ผังขั้นตอนการลบข้อมูลภาพระหว่างกระดาษคำตอบว่างกับกระดาษคำตอบที่ทำการวิเคราะห์เพื่อการรู้จำ

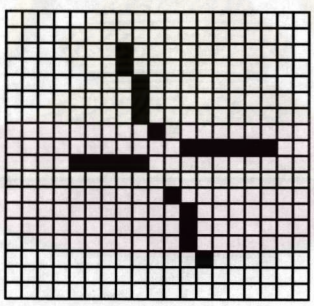
ขั้นตอนการเก็บข้อมูลตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าลักษณะสำคัญและนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนเกินนี้ เป็นการเรียนรู้เพื่อเก็บค่าช่วงการยอมรับได้มาเป็นข้อมูลเพื่อการอ้างอิง และในการวิเคราะห์ว่าส่วนข้อมูลภาพที่เกินนั้นใช้ วิธีการการลบข้อมูลภาพซึ่งได้กล่าวรายละเอียดของทฤษฎีในหัวข้อ 2.2.7 การลบข้อมูลภาพด้วยวิธีการดังกล่าว ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.14 (ค) โดยในรูปที่ 3.14 (ก) แสดงรูปภาพเครื่องหมายที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งมีส่วนภาพที่เป็นส่วนประกอบที่นอกเหนือจากภาพเครื่องหมายปกติ และในรูปที่ 3.14 (ข) แสดงข้อมูลภาพเครื่องหมายที่ได้จากการคำนวน



(ก) ภาพเครื่องหมายที่ทำการวิเคราะห์



(ข) ข้อมูลภาพที่ได้จากการคำนวณ



(ค) ภาพผลลัพธ์จากการลบข้อมูลภาพ

รูปที่ 3.14 การลบภาพเครื่องหมายที่ต้องการวิเคราะห์กับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

3.4.4 <u>การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายกากบาท</u>

การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายกากบาทอาศัยวิธีการที่กล่าวมาในเบื้องต้น และค่าลักษณะสำคัญของภาพเครื่องหมายกากบาทซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้อยู่ 3 ลักษณะคือ

- ลักษณะสำคัญที่ 1 คือ จำนวนจุดภาพที่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณกับตำแหน่งจุดภาพของเส้นทแยงด้านขวาของเครื่องหมายกากบาทและทำให้ค่าตัวเลขอยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิงเป็นขีดแบ่งความสมบูรณ์ของเครื่องหมาย

- ลักษณะสำคัญที่ 2 คือ จำนวนจุดภาพที่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณกับตำแหน่งจุดภาพของเส้นทแยงด้านซ้ายของเครื่องหมายกากบาทและทำให้ค่าตัวเลขอยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิงเป็นขีดแบ่งความสมบูรณ์ของเครื่องหมาย
- ลักษณะสำคัญที่ 3 คือ จำนวนจุดภาพเฉลี่ยที่เหลือหลังจากเปรียบเทียบตำแหน่งกับเครื่องหมายกากบาทที่ได้จากการคำนวณที่มีความหนาของเส้นภาพขนาด 5 จุดภาพและทำให้อยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิง

<u>ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายกากบาท</u>

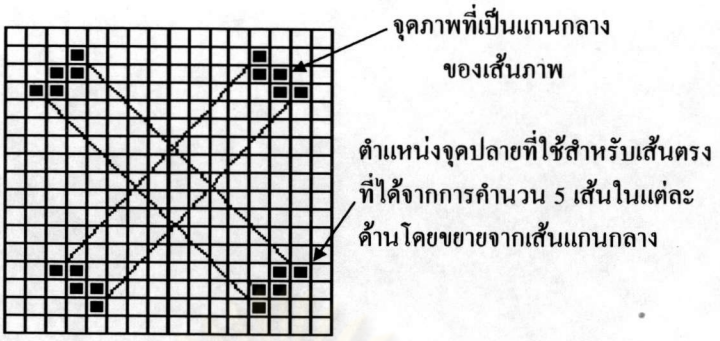
1. ทำการหาตำแหน่งที่เป็นขอบเขตของภาพเครื่องหมายและค้นหาตำแหน่งจุดภาพที่เป็นเส้นขอบของภาพเครื่องหมายพร้อมทั้งสร้างรหัสลูกโซ่

2. ค้นหาตำแหน่งจุดปลายของแต่ละเส้นตรงที่ประกอบเป็นภาพเครื่องหมายกากบาทซึ่งวิธีการใช้การบวกค่าตำแหน่ง xy เพื่อเปรียบเทียบค่าสูงสุดต่ำสุดและนำไปกำหนดเป็นจุดปลายเพื่อใช้เป็นตำแหน่งในการอ้างอิงในขั้นตอนการวิเคราะห์ต่อไป โดยที่ตำแหน่งจุดปลายมีการกำหนดหมายเลขชื่อของด้านปลายไว้ตามลำดับกล่าวคือ มุมปลายบนด้านซ้ายกำหนดให้เป็นมุมปลายหมายเลข 1 มุมบนปลายด้านขวากำหนดให้เป็นมุมปลายหมายเลข 2 มุมล่างปลายด้านขวากำหนดให้เป็นมุมปลายหมายเลข 3 มุมล่างปลายด้านซ้ายกำหนดให้เป็นมุมปลายหมายเลข 4 ดังรูปที่ 3.16 (ก)

3. ทำการหาส่วนประกอบของเส้นตรงตามแนวเส้นเอียงทั้งสองที่ประกอบเป็นเครื่องหมายกากบาท โดยทำการวิเคราะห์ค่าตำแหน่งระหว่างภาพเครื่องหมาย และตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณหาตำแหน่งที่เป็นส่วนประกอบของเส้นตรงในทฤษฎี โดยใช้จุดตำแหน่งมุมปลายทั้ง 4 เป็นจุดตั้งต้นและจุดปลาย ซึ่งการวิเคราะห์ได้ทำการคำนวณหาตำแหน่งของจุดภาพของเส้นตรงจำนวน 5 เส้นในระนาบ xy เพื่อให้ครอบคลุมความหนาของเส้นภาพเครื่องหมายตามเหตุผลที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.4.2 ตำแหน่งที่ใช้เป็นจุดปลายของเส้นตรง 5 เส้นนี้จะเป็นดังรูปที่ 3.16 (ข) และในกรณีถ้าจุดปลายของเส้นตรงนั้นมีตำแหน่งนอกเหนือจากขอบเขตภาพเครื่องหมายการวิเคราะห์จะใช้วิธีปรับค่าตำแหน่งให้เท่ากับตำแหน่งขอบเขต เมื่อสามารถสร้างภาพเส้นตรงทั้ง 5 ในแต่ละด้านได้แล้วจากนั้นทำการคำนวณค่าความความผิดพลาดโดยนับจำนวนจุดภาพที่ไม่ถูกปิดทับ เมื่อเปรียบเทียบกับภาพจุดภาพที่ได้จากการคำนวน ดังรูปที่ 3.16 (ค)

4. ตำแหน่งจุดภาพใดที่ผ่านการวิเคราะห์และได้ผลลัพธ์ถูกต้องเมื่อเทียบกับข้อมูลอ้างอิงจะทำการตัดออกไปจากการพิจารณาเพื่อขจัดปัญหาออกไปทีละส่วนซึ่งทำโดยการลบข้อมูลภาพในตำแหน่ง จุดภาพที่ตรงกันกับตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณและถือว่าเป็นจุดภาพนั้นมีความถูกต้องเพราะว่ามีค่าตำแหน่งตรงกับตำแหน่งภาพที่ได้จากการคำนวณ

I17465795



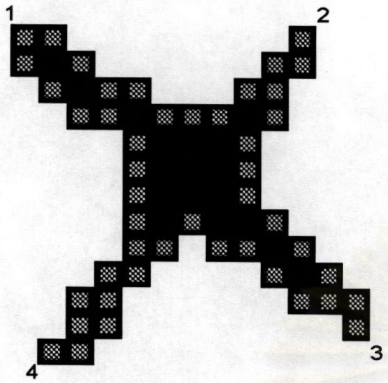
รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งจุดปลายของเส้นตรงที่ได้จากการคำนวน

5. ทำการลบข้อมูลภาพตามวิธีการในหัวข้อ 3.4.3 เพื่อลบข้อมูลระหว่างภาพกระดาษ คำตอบที่ยังไม่มีการทำเครื่องหมายคำตอบใด ๆ กับข้อมูลภาพกระดาษคำตอบที่ทำการวิเคราะห์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการตัดข้อมูลภาพที่เป็นส่วนของกระดาษคำตอบทิ้งไป ซึ่งข้อมูลภาพเหล่านี้ได้แก่ภาพของตัวอักษร เช่น ก ข ค ง หรืออักษรอื่น ๆ เป็นต้น ข้อมูลนี้ถ้าไม่มีการตัดออกจะมีผลทำให้การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายที่ไม่สมบูรณ์ทำได้ยาก เพราะไม่สามารถทำการแยกได้ว่าจุดภาพส่วนใดเป็นส่วนนอกเหนือจากภาพเครื่องหมายที่สมบูรณ์

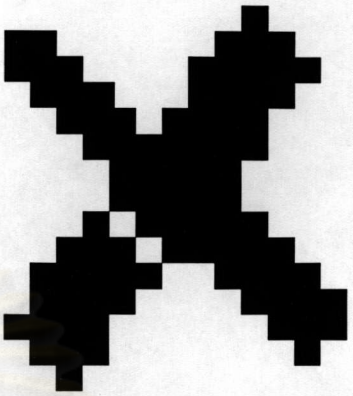
6. หลังจากผ่านขั้นตอนที่กล่าวมาจำนวนจุดภาพที่ยังเหลืออยู่นั้นแสดงว่าถ้ามีจำนวนมากกว่าค่าช่วงการยอมรับได้จะถือว่าภาพนั้นไม่ใช่ภาพเครื่องหมายคำตอบที่สมบูรณ์

7. จากข้อมูลที่ได้ในแต่ละขั้นตอนจะนำมาตัดสินในการรู้จำว่าภาพเครื่องหมายนั้นเป็นของเครื่องหมายคำตอบที่สมบูรณ์และมีส่วนลักษณะสำคัญต่าง ๆ เป็นไปตามข้อกำหนดที่มีอยู่ในข้อมูลอ้างอิง

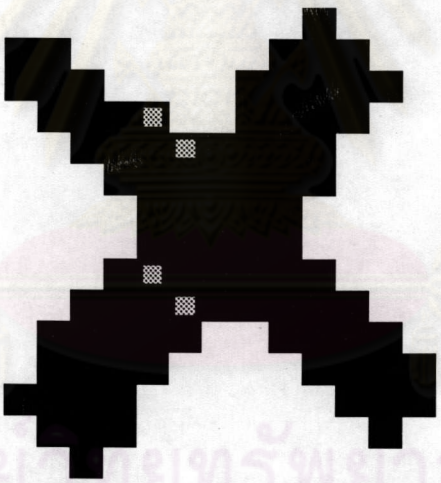
ในรูปที่ 3.16 (ก) แสดงในส่วนของภาพเครื่องหมายกากบาทที่ขีดทับบนอักษรตัวเลือก ก จุดภาพที่มีสีจางรอบข้างคือตำแหน่งจุดภาพที่มีรหัสลูกโซ่ ซึ่งจุดเหล่านี้คือจุดภาพที่เป็นขอบของภาพเครื่องหมาย รูปที่ 3.16 (ข) แสดงภาพเครื่องหมายที่สร้างขึ้นจากสมการเส้นตรงโดยมีจุดปลาย 5 จุด ตามที่ได้กล่าวรายละเอียดมาแล้ว รูปที่ 3.16 (ค) แสดงผลการปิดทับภาพเครื่องหมายด้วยเส้นส่วนประกอบของเส้นตรงที่ได้จากการคำนวณ และจุดภาพสีจางที่เหลืออยู่นั้นจะเป็นส่วนที่การคำนวณหาตำแหน่งเส้นตรงในแนวระนาบ xy ด้วยสมการเส้นตรงไม่สามารถครอบคลุมเนื่องจากการปัดเศษของค่าตัวเลขทศนิยมให้เป็นค่าตำแหน่งในระนาบ xy ซึ่งจุดภาพที่เหลือนี้ถือว่าเป็นค่าผิดพลาดที่อยู่ในช่วงค่ายอมรับได้ โดยดูจากการเรียนรู้จากภาพเครื่องหมายตัวอย่าง



(ก) ภาพเครื่องหมายกากบาทที่ขีดทับบนอักษรตัวเลือก ก



(ข) ภาพเครื่องหมายที่สร้างจากสมการเส้นตรงโดยใช้จุดปลาย 5 จุด



(ค) ผลการปิดทับภาพเครื่องหมายด้วยเส้นส่วนประกอบของเส้นตรงที่ได้จากการคำนวณ

รูปที่ 3.16 แสดงการวิเคราะห์ตำแหน่งจุดภาพเครื่องหมายกากบาท

3.4.5 การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายถูก

การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายถูกใช้วิธีการคล้ายกับการวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายกากบาท แต่ภาพเครื่องหมายถูกประกอบไปด้วยเส้นตรงแบบเอียงยาว และเส้นตรงแบบเอียงสั้นมาประกอบกันที่มุมทางด้านล่างข้างซ้ายทำให้ช่วงค่าตำแหน่งจุดตั้งต้นและจุดปลายไม่เท่ากัน ค่าลักษณะสำคัญของภาพเครื่องหมายถูกในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้อยู่ 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

- ลักษณะสำคัญที่ 1 คือ จำนวนจุดภาพที่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณกับตำแหน่งจุดภาพของเส้นทแยงด้านขวาของเครื่องหมายถูกและทำให้ค่าตัวเลขอยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิงเป็นขีดแบ่งความสมบูรณ์ของเครื่องหมาย
- ลักษณะสำคัญที่ 2 คือ จำนวนจุดภาพที่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณกับตำแหน่งจุดภาพของเส้นทแยงด้านซ้ายของเครื่องหมายถูกและทำให้ค่าตัวเลขอยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิงเป็นขีดแบ่งความสมบูรณ์ของเครื่องหมาย
- ลักษณะสำคัญที่ 3 คือ จำนวนจุดภาพเฉลี่ยที่เหลือหลังจากเปรียบเทียบตำแหน่งกับเครื่องหมายถูกที่ได้จากการคำนวณที่มีความหนาของเส้นภาพขนาด 5 จุดภาพและทำให้อยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายถูก

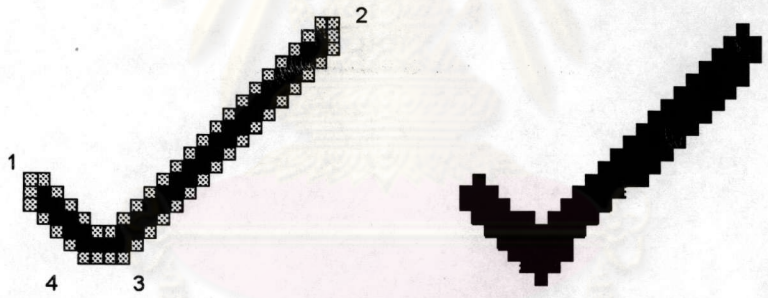
1. ทำการค้นหาตำแหน่งจุดภาพที่เป็นขอบเขตของภาพเครื่องหมายถูก และค้นหาเส้นขอบของภาพเครื่องหมายพร้อมทั้งสร้างรหัสลูกโซ่

2. หาจุดปลายของแต่ละเส้นตรงที่ประกอบเป็นภาพเครื่องหมายถูก ซึ่งใช้วิธีการบวกค่าตำแหน่ง xy เพื่อเปรียบเทียบค่าสูงสุดและต่ำสุด แล้วนำไปกำหนดเป็นตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดปลายในการใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ตำแหน่งจุดภาพของเส้นตรง โดยตำแหน่งจุดปลายของภาพเครื่องหมายต่าง ๆ นั้นมีการกำหนดหมายเลขชื่อของด้านปลายไว้ตามลำดับเช่นเดียวกับเครื่องหมายกากบาทคือ มุมปลายบนด้านซ้ายกำหนดให้เป็นมุมปลายหมายเลข 1 มุมบนปลายด้านขวากำหนดให้เป็นมุมปลายหมายเลข 2 มุมล่างปลายด้านขวากำหนดให้เป็นมุมปลายหมายเลข 3 มุมล่างปลายด้านซ้ายซึ่งเป็นแนวตรงกับจุดของมุมปลายหมายเลข 2 กำหนดให้เป็นมุมปลายหมายเลข 4 การหาค่าตำแหน่งของมุมนี้ใช้วิธีประมาณจากความหนาของเส้นภาพเครื่องหมายคำตอบเปรียบเทียบกับจุดปลายภาพหมายเลข 3 ค่าที่ใช้คือ ค่าสองจุดภาพ ซึ่งกำหนดมาจากการที่เส้นภาพเครื่องหมายมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 4 จุดภาพตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4.2 รายละเอียดของหมายเลขเป็นดังรูปที่ 3.17 (ก)

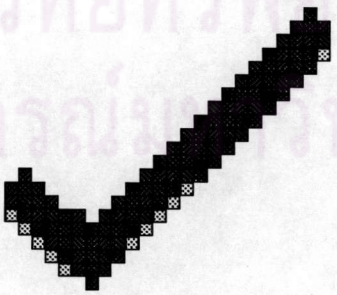
3. การค้นหาตำแหน่งส่วนประกอบของเส้นตรงตามแนวเส้นเอียงทั้งสองที่ประกอบเป็นเครื่องหมายถูก โดยทำการวิเคราะห์ค่าตำแหน่งระหว่างภาพเครื่องหมาย และตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณเพื่อหาตำแหน่งส่วนประกอบของเส้นตรง โดยใช้จุดตำแหน่งมุมปลายทั้ง 4 เป็นค่าตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งการวิเคราะห์ได้ทำการคำนวณหาตำแหน่งของเส้นตรงจำนวน 5 เส้นในระนาบ xy เพื่อครอบคลุมความหนาของเส้นภาพเครื่องหมายตามเหตุผลที่กล่าวในหัวข้อ 3.4.2 และทำการคำนวณค่าความผิดพลาด

4. ตำแหน่งจุดภาพใดที่ผ่านการวิเคราะห์และได้ผลลัพธ์ถูกต้องเมื่อเทียบกับข้อมูลอ้างอิงจะทำการตัดออกไปจากการพิจารณา เพื่อขจัดปัญหาออกไปทีละส่วน ซึ่งทำโดยการลบข้อมูลภาพในตำแหน่งจุดภาพที่ตรงกันกับตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ และถือว่าจุดภาพนั้นมีความถูกต้องเพราะว่ามีค่าตำแหน่งตรงกับตำแหน่งภาพที่ได้จากการคำนวณ

5. จากข้อมูลที่ได้ในแต่ละขั้นตอน จะนำมาตัดสินการรู้จำว่าภาพเครื่องหมายนั้นเป็นเครื่องหมายคำตอบที่สมบูรณ์และมีส่วนลักษณะสำคัญต่าง ๆ เป็นไปตามข้อกำหนดที่มีอยู่ในข้อมูลอ้างอิงหรือไม่



(ก) ภาพเครื่องหมายถูกที่ต้องการวิเคราะห์ (ข) ภาพเครื่องหมายที่สร้างจากสมการเส้นตรงโดยใช้จุดปลาย 5 ชุด



(ค) ผลการปิดทับภาพเครื่องหมายด้วยเส้นส่วนประกอบของเส้นตรงที่ได้จากการคำนวณ

รูปที่ 3.17 แสดงการวิเคราะห์ตำแหน่งจุดภาพของเครื่องหมายถูก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 3.17 (ก) แสดงในส่วนของภาพเครื่องหมายถูก ซึ่งในจุดรอบข้างเป็นตำแหน่งที่มีการเข้ารหัสลูกโซ่และตำแหน่งจุดเหล่านี้คือ จุดตำแหน่งของเส้นขอบภาพเครื่องหมายถูก รูปที่ 3.17 (ข) แสดงภาพเครื่องหมายที่สร้างขึ้นจากสมการเส้นตรงโดยมีจุดปลาย 5 จุดตามที่ได้กล่าวรายละเอียดไว้แล้ว ในรูปที่ 20 (ค) แสดงผลของภาพที่ถูกปิดทับด้วยเส้นตรง 5 เส้นที่ได้จากการคำนวณ

3.5 การวิเคราะห์ลักษณะสำคัญของภาพเครื่องหมายที่เกิดจากเส้นโค้ง

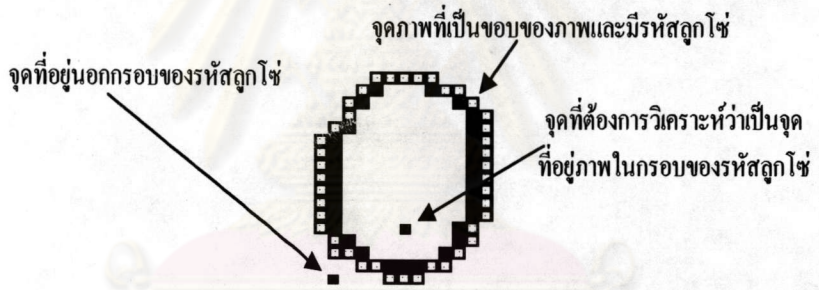
3.5.1 การหาค่าระยะของเส้นรอบวงของภาพเครื่องหมายวงกลม

ใช้วิธีการของการนับจำนวนของรหัสลูกโซ่ในการหาค่าระยะเส้นรอบวงของภาพเครื่องหมายคำตอบ โดยใช้การแทนค่ารหัสลูกโซ่ที่มีค่า 0 2 4 6 ให้มีค่าระยะของเส้นรอบวงเท่ากับ 1 หน่วย และค่ารหัสลูกโซ่ที่มีค่า 1 3 5 7 ให้มีค่าระยะของเส้นรอบวงเท่ากับ $\sqrt{2}$ ซึ่งเป็นไปตามวิธีการคำนวณหาความยาวด้านของรูปสามเหลี่ยม ตัวอย่างการคำนวณหาระยะเส้นรอบวงของภาพเครื่องหมายวงกลมเป็นดังรูปที่ 3.18 ซึ่งจากรูปได้รหัสลูกโซ่ โดยเริ่มจากจุดบนสุดด้านซ้ายและเรียงตามลำดับมาในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ข้อมูลภาพตัวอย่างรูปนี้ได้ค่าเส้นรอบวงเท่ากับ 42.97 หน่วย

รูปที่ 3.18 การหาค่าระยะเส้นรอบวงของภาพเครื่องหมายคำตอบแบบวงกลมล้อมรอบอักษรตัวเลือกคำตอบ

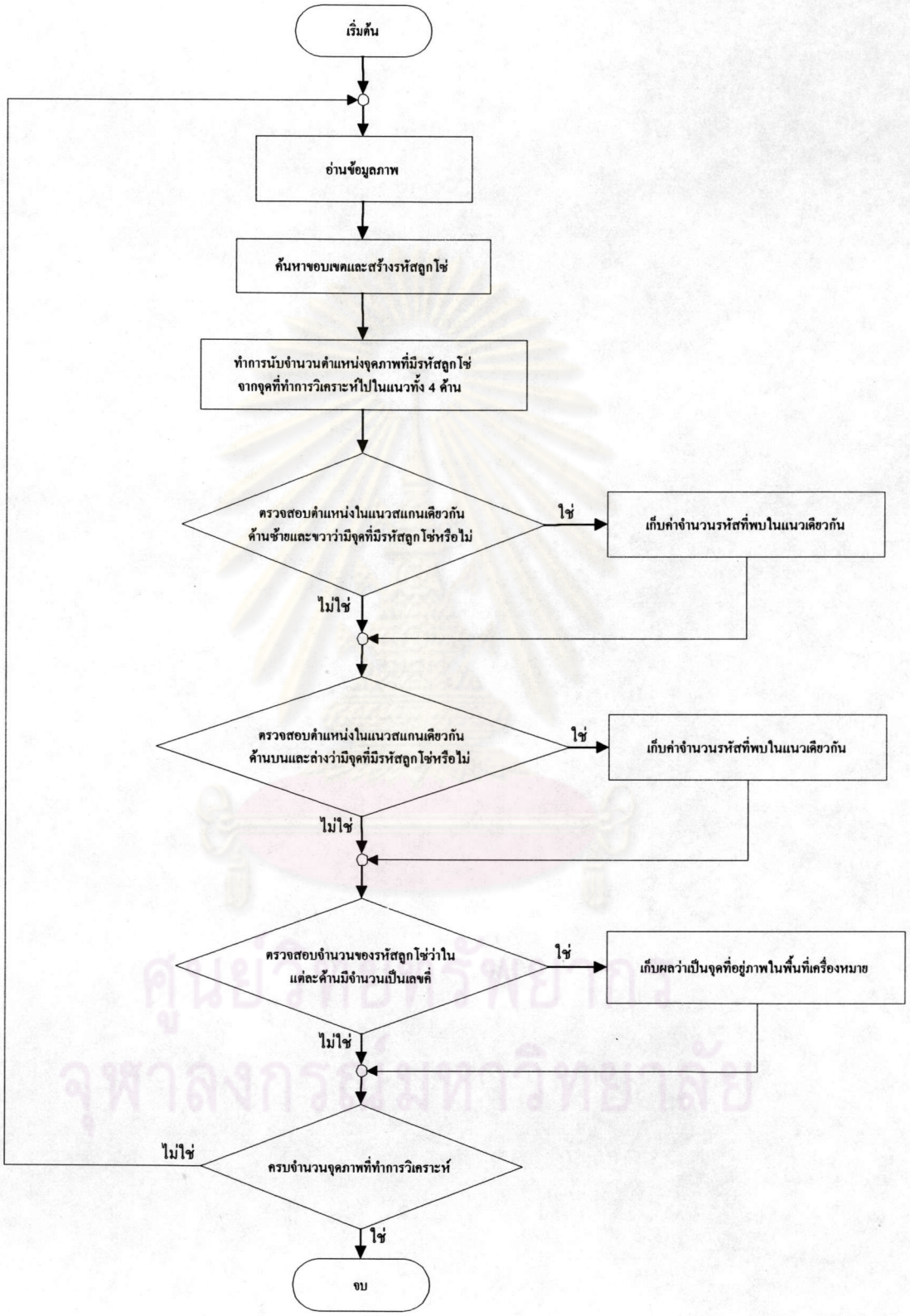
3.5.2 การหาพื้นที่ภายในของภาพเครื่องหมาย

ในการวิจัยนี้ใช้วิธีการหาพื้นที่ภายในของภาพเครื่องหมาย โดยใช้รหัสลูกโซ่ที่เป็นขอบของภาพเครื่องหมาย และทำการกำหนดค่าคงที่ค่าหนึ่งสำหรับเปลี่ยนข้อมูลจุดภาพที่ตำแหน่งนั้น ๆ เพื่อแสดงว่าได้ผ่านการวิเคราะห์และทำการนับจำนวนหน่วยพื้นที่ไปแล้ว ซึ่งในการวิจัยเลือกใช้ค่า 5 โดยการกำหนดค่าใหม่นี้ทำหลังจากที่มีการแบ่งข้อมูลภาพให้เป็น 2 กลุ่มคือ ค่า 0 สำหรับข้อมูลภาพพื้นของกระดาษคำตอบ และค่า 1 สำหรับข้อมูลภาพเครื่องหมายคำตอบ การแก้ไขค่าเริ่มจากตำแหน่งของรหัสลูกโซ่ที่พบก่อน และตรวจนับจำนวนของรหัสลูกโซ่อื่น ๆ ที่อยู่ในแนวเดียวกันทั้งด้านซ้าย ขวา บน และด้านล่างของจุดภาพที่ทำการวิเคราะห์ มีจำนวนรหัสลูกโซ่เป็นเลขคี่มากกว่า 1 ด้าน แสดงว่าตำแหน่งจุดภาพนั้นอยู่ภายในเส้นกรอบภาพเครื่องหมายและเป็นจุดภาพส่วนที่เป็นพื้นที่ของภาพเครื่องหมายนั้น และในกรณีถ้ามีด้านใดด้านหนึ่งไม่มีรหัสลูกโซ่ในแนวเดียวกันแสดงว่าตำแหน่งจุดภาพนั้นอยู่นอกกรอบภาพ



รูปที่ 3.19 การหาพื้นที่ของภาพเครื่องหมาย

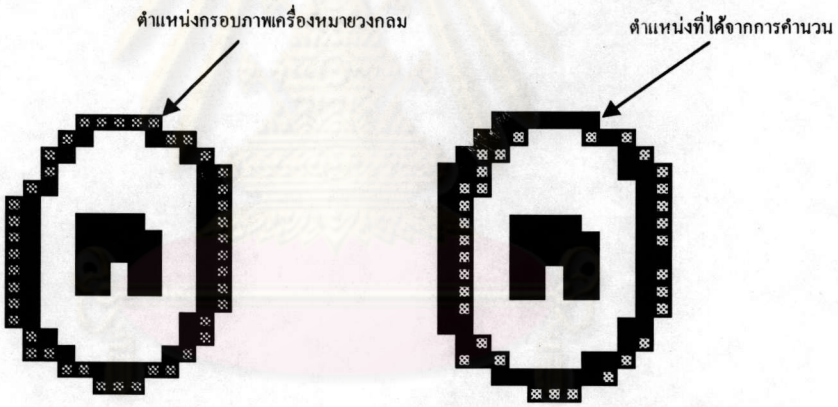
จากรูปที่ 3.19 เห็นได้ว่าจุดภาพที่ทำการวิเคราะห์ว่าอยู่ในกรอบของภาพเครื่องหมายนั้นในแนวระนาบด้านบนและล่าง มีจุดภาพที่เป็นขอบภาพที่มีรหัสลูกโซ่อยู่เป็นจำนวนคี่ ส่วนของด้านซ้ายและด้านบนมีอยู่เป็นจำนวนคี่ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดแสดงว่าเป็นจุดที่อยู่ในกรอบภาพและมีค่าเป็น 1 หน่วยพื้นที่ กรณีจุดภาพตัวอย่างที่อยู่นอกกรอบของรหัสลูกโซ่นั้นมีจำนวนจุดภาพที่เป็นขอบภาพและมีรหัสลูกโซ่อยู่เป็นจำนวนคี่ทั้งสองด้านแต่อีกสองด้านไม่มี จุดภาพที่เป็นขอบภาพที่มีรหัสลูกโซ่ซึ่งแสดงว่าเป็นตำแหน่งจุดภาพที่อยู่นอกกรอบของภาพ ขั้นตอนของการหาพื้นที่ภายในเครื่องหมายนี้ได้แสดงในรูปแบบผังการทำงานดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ผังขั้นตอนการหาพื้นที่ภายในของภาพเครื่องหมาย

3.5.3 <u>การหาตำแหน่งจุดภาพเครื่องหมายวงกลมเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ</u>

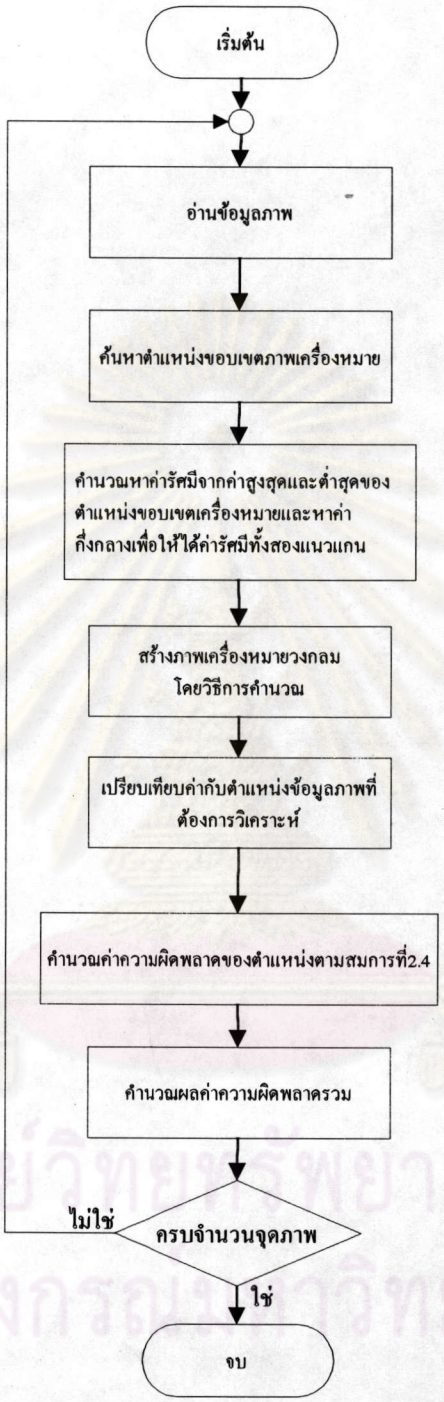
ในการวิเคราะห์นี้อาศัยวิธีการคำนวณหาตำแหน่งจุดภาพที่เป็นเส้นรอบวงของวงกลมโดยใช้ค่ารัศมีและตำแหน่งจุดศูนย์กลาง ซึ่งได้มาจากการหาตำแหน่งจุดปลายของภาพเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายกากบาทการคำนวณหาตำแหน่งเส้นรอบวง ทำได้ดังสมการที่ 2.2 และสมการที่ 2.3 จากนั้นทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติตามวิธีการในหัวข้อ 2.2.5 เพื่อหาค่าความแตกต่างของตำแหน่งจุดภาพ ของภาพที่ทำการวิเคราะห์กับค่าตำแหน่งจุดภาพที่ได้จากการคำนวณ การหาค่าความแตกต่างนี้ใช้วิธีการคำนวณหาค่าระยะห่างในระนาบ xy ตามสมการที่ 2.4 เป็นตัววัด ซึ่งค่าความแตกต่างที่ได้คือค่าผิดพลาด (error) ซึ่งจากวิธีการดังกล่าวนี้ทำให้ได้ค่าความผิดพลาดของแต่ละตำแหน่งจุดภาพและเมื่อนำค่าผิดพลาดนั้นมารวมกัน สามารถนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ค่าช่วงการยอมรับได้ในขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนของการหาตำแหน่งจุดภาพเครื่องหมายวงกลมเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณได้แสดงในรูปแบบผังการทำงานดังรูปที่ 3.22



(ก) ภาพเครื่องหมายวงกลมที่ทำการวิเคราะห์ (ข) ภาพวงกลมที่ได้จากการคำนวณ

รูปที่ 3.21 เปรียบเทียบตำแหน่งจุดภาพของวงกลมกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

จากรูปที่ 3.21 แสดงให้เห็นในส่วนของการวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายวงกลมด้วยวิธีการเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดภาพโดยที่ในรูป 3.21 (ก) เป็นภาพเครื่องหมายคำตอบที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งเป็นเครื่องหมายวงกลมล้อมรอบอักษรตัวเลือกคำตอบ ก จุดภาพสีจางที่อยู่รอบข้างแสดงให้เห็นถึงส่วนที่เป็นขอบของภาพเครื่องหมาย รูปที่ 3.21 (ข) แสดงให้เห็นถึงภาพเครื่องหมายวงกลมที่ได้จากการคำนวณโดยที่เส้นภาพสีทึบจะเป็นตำแหน่งจุดภาพที่คำนวณได้ นำมาซ้อนทับบนภาพเครื่องหมายที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งมีจุดภาพเป็นสีจาง ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่าง



รูปที่ 3.22 ผังขั้นตอนการหาค่าผิดพลาดของตำแหน่งจุดภาพของเครื่องหมายวงกลม เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

3.5.4 การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายวงกลมรอบอักษรตัวเลือกคำตอบ

การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายวงกลมรอบอักษรตัวเลือกคำตอบ ใช้วิธีการตรวจสอบตำแหน่งขอบของภาพและการนับพื้นที่เป็นหลักในการวิเคราะห์ ค่าลักษณะสำคัญของภาพเครื่องหมายวงกลมในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้อยู่ 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

- ลักษณะสำคัญที่ 1 คือ ค่าระยะความแตกต่างต่ำสุดโดยเฉลี่ยของจุดภาพของเครื่องหมายวงกลมเปรียบเทียบกับตำแหน่งของวงกลมที่ได้จากการคำนวณและทำให้อยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิงเป็นค่าช่วงการยอมรับได้
- ลักษณะสำคัญที่ 2 คือ ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ของวงกลมเปรียบเทียบกับความยาวเส้นรอบวง
- ลักษณะสำคัญที่ 3 คือ จำนวนจุดภาพเฉลี่ยที่เหลือหลังจากเปรียบเทียบตำแหน่งกับเครื่องหมายวงกลมที่ได้จากการคำนวณและมีความหนาของเส้นภาพขนาด 5 จุดภาพและทำให้อยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิงเป็นค่าช่วงการยอมรับได้

ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายวงกลมรอบอักษรตัวเลือกคำตอบ

1. ทำการเริ่มหาจุดที่เป็นขอบเขตของภาพเครื่องหมายและทำการค้นหาตำแหน่งที่เป็นเส้นขอบของภาพเครื่องหมายพร้อมทั้งสร้างรหัสลูกโซ่

2. ค้นหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพเครื่องหมายโดยคำนวณได้จากค่ากึ่งกลางของตำแหน่งที่เป็นกรอบของภาพเครื่องหมาย

3. คำนวณหาค่ารัศมีเพื่อใช้ในขั้นตอนการเปรียบเทียบตำแหน่งของข้อมูลภาพเครื่องหมายที่ทำการวิเคราะห์กับค่าตำแหน่งของภาพที่ได้จากการคำนวณ โดยหาค่ารัศมีในแนวแกนตั้ง (X) และรัศมีในแนวแกนนอน (Y) ซึ่งหาได้จากค่าระยะของตำแหน่งจากจุดกึ่งกลางถึงตำแหน่งที่เป็นขอบของภาพและมีค่าต่ำสุดของแต่ละแนวแกนของภาพ

4. คำนวณหาค่าความแตกต่างของตำแหน่งจุดภาพที่ประกอบกันเป็นวงกลม ว่ามีค่าผิดพลาดไปจากค่าตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณเท่าใด โดยวิธีการในหัวข้อ 3.3.5 นำค่าของผลลัพธ์ที่ได้มาพิจารณาค่าช่วงการยอมรับได้ของค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้ เพื่อตัดสินใจผลการรู้จำในส่วนของขั้นตอนแรก

5. จากค่าผลลัพธ์ที่ได้มาในข้อที่ 1. นำมาคำนวณหาค่าอัตราส่วนของเส้นรอบวงเปรียบเทียบกับค่าพื้นที่ ซึ่งวิธีการเป็นไปตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.4 มีหลักสำคัญคือการคำนวณค่าอัตราส่วนของผลคูณของ 4π กับค่าพื้นที่ของวงกลมเปรียบเทียบกับค่ากำลังสองของเส้นรอบวงของวงกลม

นั้น โดยถ้าได้ค่าผลลัพธ์ที่มีค่าใกล้เคียง 1 มากเท่าใด แสดงว่าภาพวงกลมนั้นมีความสมบูรณ์ของความกลมมีสูง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการตัดสินใจผลคำตอบในขั้นที่สอง

6. ทำการลบข้อมูลภาพเพื่อวิเคราะห์ส่วนที่นอกเหนือกว่าภาพเครื่องหมาย ซึ่งเป็นวิธีการคล้ายกับการคำนวณเพื่อลบข้อมูลภาพของภาพเครื่องหมายกากบาท แต่แตกต่างกันที่วิธีการหาค่าตำแหน่งจุดภาพที่ได้จากการคำนวณ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลภาพเครื่องหมายวงกลมล้อมรอบอักษรตัวเลือกคำตอบนี้ มีการคำนวณค่าตำแหน่งเส้นรอบวงของวงกลมจำนวน 4 เส้นเพื่อตรวจนับการปิดทับกับตำแหน่งจุดข้อมูลภาพของเครื่องหมายที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นค่าผิดพลาดและนำไปตรวจสอบช่วงค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ จากนั้นทำการลบข้อมูลภาพพื้นของกระดาษคำตอบที่เป็นอักษรตัวเลือกคำตอบออกหลังจากการกระทำกับข้อมูลภาพตามขั้นตอนที่กล่าวมาทำให้เหลือข้อมูลจุดภาพที่เป็นส่วนเกิน เพื่อวิเคราะห์ว่าจำนวนจุดภาพที่ผิดพลาดว่ามีค่าอยู่ในช่วงยอมรับได้หรือไม่

7. เมื่อผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่กล่าวมามีข้อมูลลักษณะสำคัญเป็นไปตามข้อกำหนดเมื่อเทียบกับข้อมูลอ้างอิง ถือได้ว่า ภาพเครื่องหมายที่ทำการวิเคราะห์นั้นเป็นภาพเครื่องหมายคำตอบที่สมบูรณ์

3.5.5 <u>การวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายวงกลมทึบ</u>

ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพเครื่องหมายวงกลมทึบนี้จะใช้วิธีการเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายวงกลมล้อมรอบอักษรตัวเลือกคำตอบ แต่ไม่ทำในขั้นตอนการลบข้อมูลภาพที่เป็นอักษรตัวเลือกคำตอบ เนื่องจากข้อมูลภาพในส่วนนี้จะถูกทับด้วยการระบายทึบในการทำเครื่องหมายคำตอบอยู่แล้ว ส่วนภายในของเครื่องหมายวงกลมมีการตรวจนับจำนวนจุดภาพที่ไม่สามารถปิดทับด้วยตำแหน่งจุดภาพที่ได้จากการคำนวณเช่นเดียวกัน ค่าลักษณะสำคัญของภาพเครื่องหมายวงกลมทึบในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้อยู่ 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

- ลักษณะสำคัญที่ 1 คือ ค่าระยะความแตกต่างต่ำสุดโดยเฉลี่ยของจุดภาพของเครื่องหมายวงกลมเปรียบเทียบกับตำแหน่งของวงกลมที่ได้จากการคำนวณและทำให้อยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิงเป็นค่าช่วงการยอมรับได้
- ลักษณะสำคัญที่ 2 คือ ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ของวงกลมเปรียบเทียบกับความยาวเส้นรอบวง
- ลักษณะสำคัญที่ 3 คือ จำนวนจุดภาพเฉลี่ยที่เหลือหลังจากการวิเคราะห์แบบการปิดทับด้วยภาพเครื่องหมายวงกลมทึบที่ได้จากการคำนวน ซึ่งภาพวงกลมแบบทึบนี้ใช้วิธีการคำนวนเพื่อสร้างภาพวงกลมปกติแต่ทำการลดค่ารัศมีลงทีละ 1 จนทำให้ได้ภาพวงกลมทึบ จากนั้นทำให้อยู่ในรูปค่าร้อยละเพื่อใช้อ้างอิงเป็นค่าช่วงการยอมรับ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพเครื่องหมายวงกลมทึบ

1. เริ่มทำการค้นหาจุดที่เป็นกรอบของภาพเครื่องหมายและทำการค้นหาตำแหน่งเส้นขอบของภาพเครื่องหมายพร้อมทั้งสร้างรหัสลูกโซ่

2. ค้นหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพเครื่องหมายโดยหาได้จากค่ากึ่งกลางของตำแหน่งที่เป็นขอบของภาพเครื่องหมาย

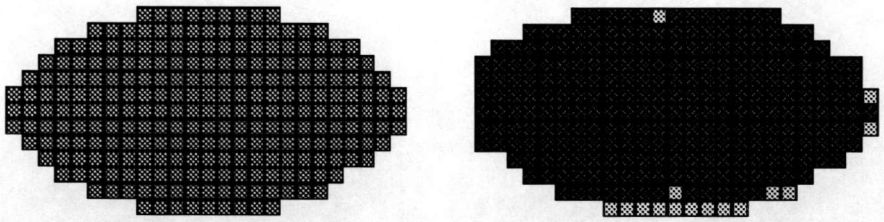
3. คำนวณหาค่ารัศมีเพื่อใช้ในขั้นตอนการเปรียบเทียบตำแหน่งของข้อมูลภาพที่ทำการวิเคราะห์กับค่าตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ โดยหาค่ารัศมีในแนวแกนตั้ง (X) และรัศมีในแนวแกนนอน (Y) ซึ่งหาได้จากค่าระยะของตำแหน่งจากจุดกึ่งกลาง ถึงตำแหน่งที่เป็นขอบของภาพและมีค่าต่ำสุดของแต่ละแนวแกนของภาพ

4. คำนวณหาค่าความแตกต่างของตำแหน่งจุดภาพที่ประกอบกันเป็นวงกลมว่ามีค่าผิดพลาดไปจากค่าตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณเท่าใดโดยวิธีการในหัวข้อ 3.3.5 นำค่าของผลลัพธ์ที่ได้มาพิจารณาค่าช่วงการยอมรับได้ของค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้ เพื่อตัดสินใจผลการรู้จำในส่วนขั้นแรก

5. จากค่าผลลัพธ์ที่ได้มาในข้อที่ 1 นำมาคำนวณหาค่าอัตราส่วนของเส้นรอบวงเปรียบเทียบกับค่าพื้นที่ ซึ่งวิธีการเป็นไปตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.4 ซึ่งมีหลักสำคัญคือ การคำนวณค่าอัตราส่วนของ ผลคูณของ 4π กับค่าพื้นที่ของวงกลม เปรียบเทียบกับค่ากำลังสองของ เส้นรอบวงของวงกลมนั้น ซึ่งถ้าได้ค่าผลลัพธ์ที่มีค่าใกล้เคียง 1 มากเท่าใดแสดงว่า ภาพวงกลมนั้นมีความสมบูรณ์ของความกลมสูง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการตัดสินผลคำตอบในขั้นตอนที่สอง

6. ทำการลบข้อมูลภาพเพื่อวิเคราะห์ส่วนที่นอกเหนือจากภาพเครื่องหมายวงกลมทึบโดยการคำนวณตำแหน่งจุดภาพที่ประกอบเป็นวงกลมทึบ และนำมาเทียบกับข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์ว่ามีตำแหน่งจุดภาพที่ไม่ตรงกันจำนวนเท่าใด ซึ่งจำนวนจุดเหล่านี้คือค่าผิดพลาดที่ใช้วัดความสมบูรณ์ของภาพเครื่องหมายวงกลมทึบ การคำนวณหาตำแหน่งจุดภาพที่ประกอบเป็นวงกลมทึบทำได้โดยนำค่ารัศมีในแนวแกนตั้ง แนวแกนนอนและค่ามุมมาแทนค่าในสมการที่ 2.9 และ 2.10 ซึ่งทำให้ได้ค่าตำแหน่งของเส้นรอบวงของวงกลมที่ได้จากการคำนวณ จากนั้นทำการลดค่าของรัศมีลงทีละ 1 จนกว่าเหลือค่ารัศมีเท่ากับ 1 ซึ่งทำให้ได้ค่าตำแหน่งจุดภาพของวงกลมทึบที่มาจากการคำนวณเพื่อนำไปเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดได้

7. ผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่กล่าวมา ถ้ามีค่าของข้อมูลลักษณะสำคัญเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อมูลอ้างอิง แสดงว่าภาพเครื่องหมายที่ทำการวิเคราะห์นั้นเป็นเครื่องหมายวงกลมทึบที่สมบูรณ์



(ก) ภาพวงกลมทึบที่ทำการวิเคราะห์ (ข) ภาพการปิดทับด้วยจุดภาพที่ได้จากการคำนวณ

รูปที่ 3.23 แสดงการวิเคราะห์ตำแหน่งจุดภาพเครื่องหมายวงกลมทึบ

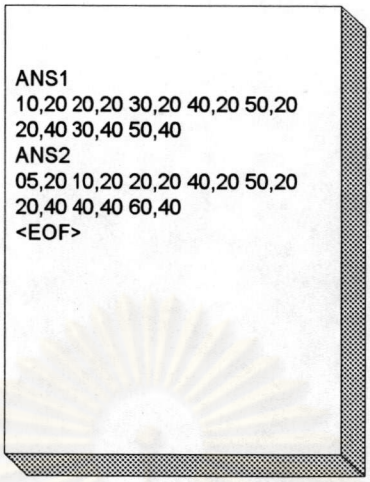
จากรูปที่ 3.23 (ก) แสดงในส่วนของภาพเครื่องหมายวงกลมทึบที่ทำการวิเคราะห์และในรูปที่ 3.23 (ข) แสดงภาพที่ทำการปิดทับด้วยจุดภาพของวงกลมทึบที่ได้จากการคำนวณ การวิเคราะห์ทำโดยตรวจนับจำนวนจุดภาพที่ไม่ปิดทับกัน ซึ่งค่าจำนวนนี้คือค่าความผิดพลาด รูปที่ 3.23 (ข) ในจุดภาพที่เป็นสีจางแสดงว่า จุดภาพที่ตำแหน่งนั้นเป็นจุดที่ผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้มีค่าผิดพลาดปกติรวมอยู่ด้วยซึ่งเกิดจากการคำนวณปัดเศษของจุดทศนิยม โดยที่ค่าผิดพลาดนี้ถืออยู่ในส่วนที่ยอมรับได้

3.6 การให้ผลลัพธ์ของการรู้จำเครื่องหมายคำตอบ

หลังจากการวิเคราะห์ และได้ข้อมูลตำแหน่งของภาพเครื่องหมายทั้งหมด จะให้ข้อมูลผลลัพธ์ออกมาเป็นลักษณะต่างๆดังนี้

1. รูปภาพเครื่องหมายคำตอบตามตำแหน่งที่รู้จำได้บนจอภาพ ดังแสดงตัวอย่างในภาคผนวก ค. ซึ่งเป็นชนิดเครื่องหมายคำตอบแบบกากบาท โดยเป็นรูปภาพของกระดาษคำตอบเช่นเดียวกับครั้งแรกในการใช้งานระบบที่แสดงเพื่อให้ทราบว่า เป็นภาพที่อ่านได้จากแฟ้มข้อมูล แต่ในส่วนนี้จะเพิ่มความแตกต่างของสีภาพ เพื่อบอกให้รู้ว่าที่ตำแหน่งนั้นมีการรู้จำภาพเครื่องหมายคำตอบได้

2. ค่าตำแหน่งของเครื่องหมายคำตอบบนระนาบ xy ในแฟ้มข้อมูลเพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์ผลต่อ ภายในแฟ้มข้อมูลประกอบไปด้วยชื่อแฟ้มข้อมูลที่นำข้อมูลมาทำการรู้จำภาพของเครื่องหมายคำตอบ ข้อมูลค่าตำแหน่งของภาพเครื่องหมายในแนวนอน (X) เครื่องหมายจุลภาคเพื่อแบ่งตัวเลขตำแหน่ง ข้อมูลค่าตำแหน่งของภาพเครื่องหมายในแนวตั้ง (Y) ที่ระบบสามารถทำการรู้จำภาพเครื่องหมายได้



รูปที่ 3.24 รายละเอียดภายในแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ของการรู้จำภาพเครื่องหมาย

จากรูปที่ 3.24 ซึ่งแสดงรายละเอียดภายในแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ของการรู้จำภาพเครื่องหมายโดยในข้อมูลแต่ละส่วนมีความหมายดังนี้ ANS1 คือชื่อแฟ้มข้อมูลที่นำมาทำการรู้จำซึ่งเป็นชื่อตามที่ผู้ใช้งานกำหนดขึ้นในการเก็บข้อมูลภาพเครื่องหมาย ค่าตัวเลข 10,20 คือตำแหน่งในระนาบ xy ที่สามารถทำการรู้จำภาพเครื่องหมายได้โดยค่าตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่จุดกึ่งกลางของภาพเครื่องหมายนั้น ๆ ลักษณะข้อมูลจะเป็นเช่นนี้เรียงกันจนจบแฟ้มข้อมูลซึ่งจะมีรหัส <EOF> เป็นตัวปิดท้าย

3.7 การออกแบบฟอร์มกระดาษคำตอบ

การออกแบบกระดาษคำตอบเพื่อให้สามารถใช้ได้กับระบบการรู้จำเครื่องหมายคำตอบแบบปรนัยด้วยข้อมูลจากเครื่องสแกนเนอร์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำได้หลายรูปแบบภายในข้อกำหนดเพื่อเป็นขอบเขตของวิธีการวิเคราะห์และการอ้างอิงโดยข้อกำหนดของรูปแบบของกระดาษคำตอบจะประกอบไปด้วยรายละเอียดดังนี้ คือ

1. เส้นกรอบมุม ซึ่งใช้เพื่ออ้างอิงขอบเขตทั้งหมดและเพื่อเปรียบเทียบว่าภาพกระดาษคำตอบนั้นเอียงจากแนวสแกนมากน้อยเท่าใด

2. จุดตัดกันของเส้นกรอบมุมที่อยู่มุมบนด้านซ้าย ซึ่งต้องมีความยาวไม่ต่ำกว่า 5 จุดภาพ ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามขนาดที่กำหนดทั้งสองปลาย ส่วนในกรณียาวเกินไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้

3. บริเวณที่จะใช้ทำเครื่องหมายควรมีลักษณะกรอบสี่เหลี่ยม ทั้งนี้เพื่อง่ายต่อการกำหนดบริเวณขอบเขตที่ต้องการรู้จำภาพเครื่องหมายคำตอบและช่วยลดเวลาที่ใช้ในการรู้จำได้เนื่องจากสามารถตัดข้อมูลส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป

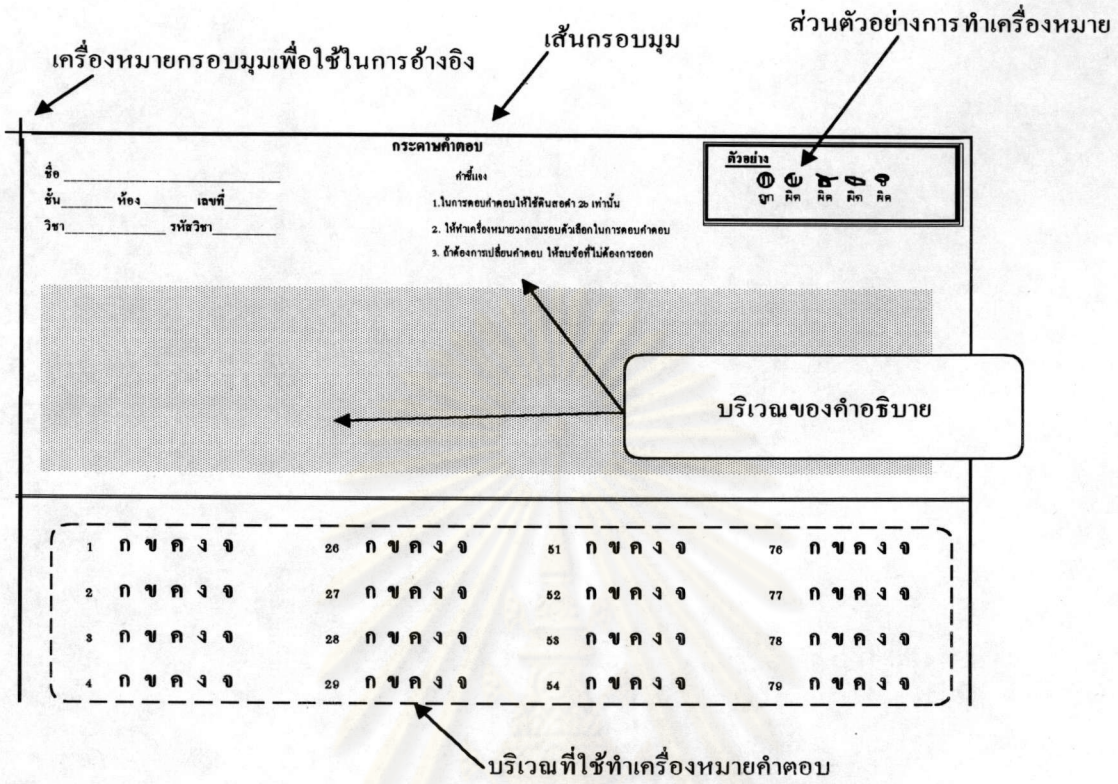
4. ตำแหน่งที่จะทำเครื่องหมายคำตอบต้องไม่มีส่วนที่เป็นภาพที่ทำการรบกวนภาพเครื่องหมาย ยกเว้นตัวเลือกคำตอบ เช่น กขคง ABCD และแนวกรอบสำหรับให้ทำเครื่องหมายวงกลมทึบเป็นต้น

ในรูปที่ 3.25 เป็นตัวอย่างการการออกแบบกระดาษคำตอบให้ผู้ตอบทำเครื่องหมายทับไปบนอักษรตัวเลือกคำตอบ ซึ่งสามารถทำเครื่องหมายกากบาท หรือเครื่องหมายวงกลมรอบอักษรตัวเลือกคำตอบ นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบเป็นแบบสอบถามความคิดเห็นดังตัวอย่างในรูปที่ 3.26 หรือออกแบบในลักษณะการรับข้อมูลคำตอบแบบทำเครื่องหมายถูกหน้าข้อความที่เป็นความจริงเป็นต้น

ภาพสีพื้นและสีของแบบฟอร์มของของกระดาษคำตอบสามารถใช้ได้แบบเดียวกับงานพิมพ์ทั่วไปซึ่งไม่จำเป็นต้องมีสีพื้นที่เป็นสีเขียวอ่อนดังเช่น กระดาษคำตอบแบบตรวจด้วยคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สีของภาพเป็นเพียงส่วนหนึ่งที่นำมาช่วยในการตัดสินใจเพื่อการรู้จำ ซึ่งไม่ใช่ปัจจัยหลักดังนั้น จึงสามารถใช้ระบบโปรแกรมสำนักงานทั่วไปในการออกแบบตามเงื่อนไขที่กำหนด

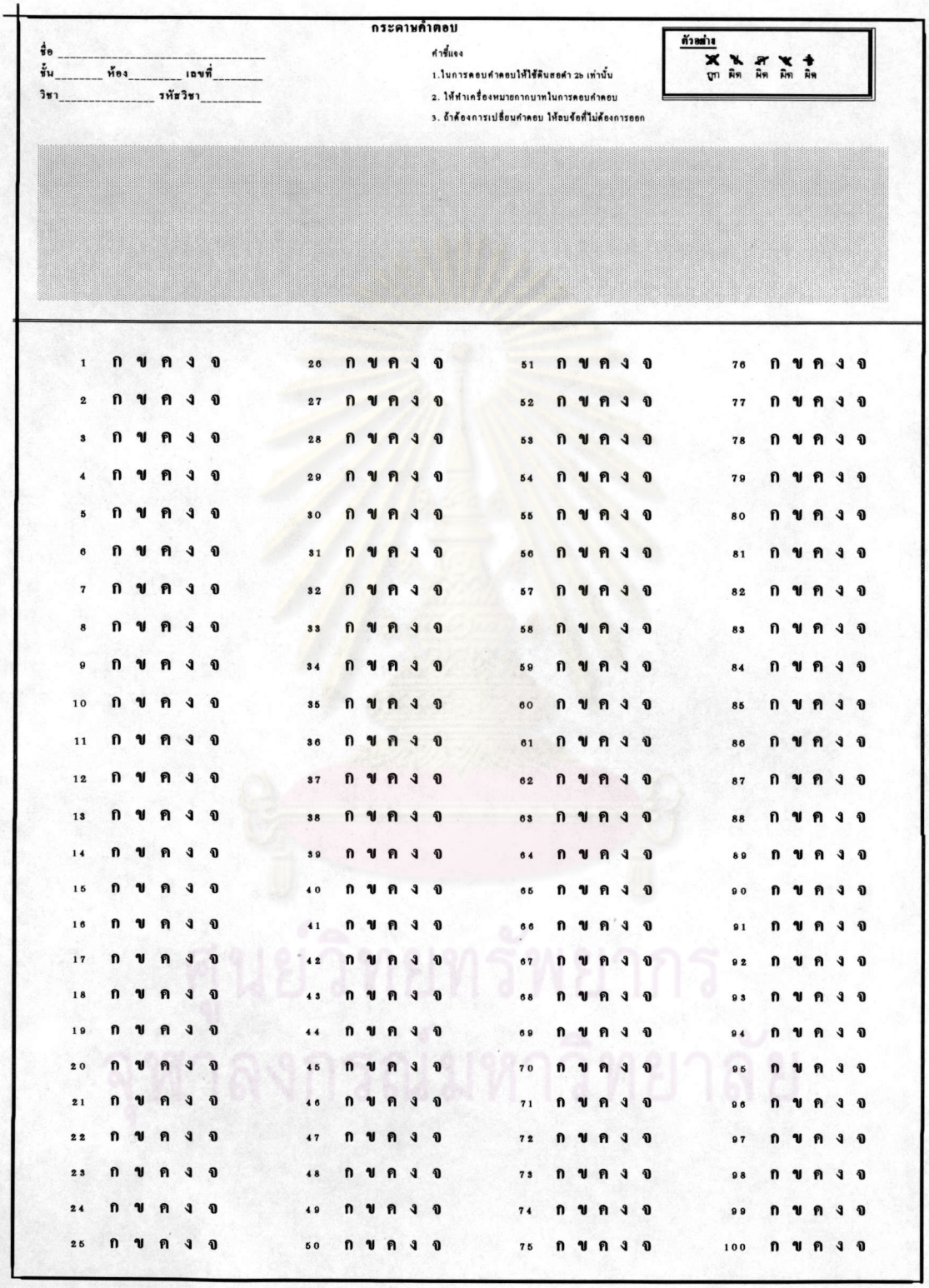
ในรูปที่ 3.27 แสดงภาพตัวอย่างกระดาษคำตอบที่ใช้สำหรับเครื่องหมายกากบาท รูปที่ 3.28 แสดงภาพตัวอย่างกระดาษคำตอบที่ใช้สำหรับเครื่องหมายถูก รูปที่ 3.29 แสดงภาพตัวอย่างกระดาษคำตอบที่ใช้สำหรับเครื่องหมายวงกลมล้อมรอบอักษรตัวเลือกคำตอบ รูปที่ 3.30 แสดงภาพตัวอย่างกระดาษคำตอบที่ใช้สำหรับเครื่องหมายวงกลมทึบ ซึ่งเป็นลักษณะกระดาษคำตอบของแบบสอบถามความคิดเห็น ภาพกระดาษคำตอบที่นำมาแสดงเป็นตัวอย่างทั้งหมดได้นำมาใช้ในการทดสอบสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.25 ตัวอย่างการออกแบบกระดาษคำตอบ

รูปที่ 3.26 ตัวอย่างกระดาษคำตอบในรูปแบบสอบถามความคิดเห็น



กระดาษคำตอบ

ชื่อ _____

ชั้น_____ ห้อง_____ เลขที่_____

วิชา_____ รหัสวิชา_____

คำชี้แจง

1.ในการตอบคำตอบให้ใช้ดินสอดำ 2b เท่านั้น

2. ให้ทำเครื่องหมายกากบาทในการตอบคำตอบ

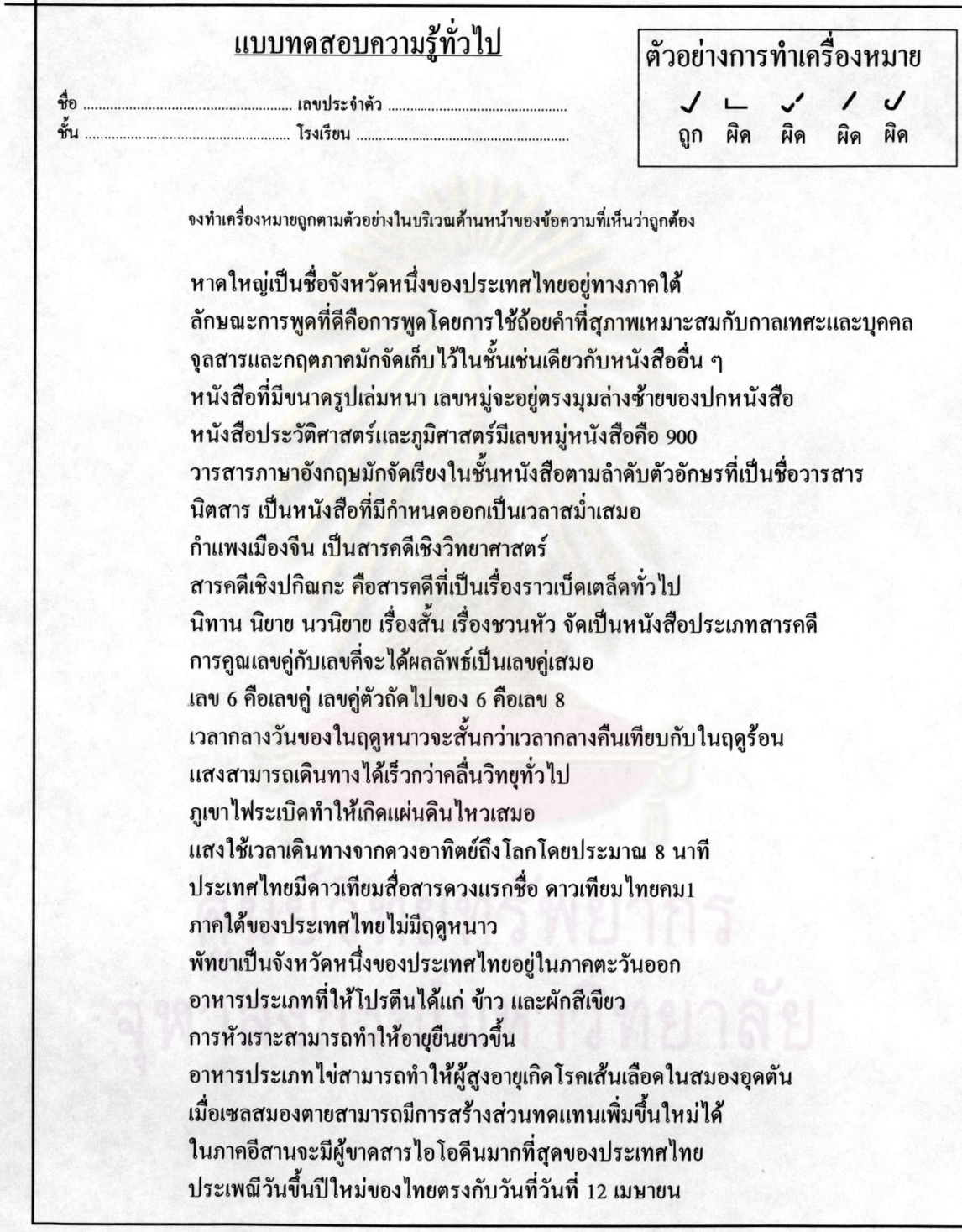
3. ถ้าต้องการเปลี่ยนคำตอบ ให้ลบข้อที่ไม่ต้องการออก

ตัวอย่าง

ถูก ผิด ผิด ผิด ผิด

1 ก ข ค ง จ	26 ก ข ค ง จ	51 ก ข ค ง จ	76 ก ข ค ง จ
2 ก ข ค ง จ	27 ก ข ค ง จ	52 ก ข ค ง จ	77 ก ข ค ง จ
3 ก ข ค ง จ	28 ก ข ค ง จ	53 ก ข ค ง จ	78 ก ข ค ง จ
4 ก ข ค ง จ	29 ก ข ค ง จ	54 ก ข ค ง จ	79 ก ข ค ง จ
5 ก ข ค ง จ	30 ก ข ค ง จ	55 ก ข ค ง จ	80 ก ข ค ง จ
6 ก ข ค ง จ	31 ก ข ค ง จ	56 ก ข ค ง จ	81 ก ข ค ง จ
7 ก ข ค ง จ	32 ก ข ค ง จ	57 ก ข ค ง จ	82 ก ข ค ง จ
8 ก ข ค ง จ	33 ก ข ค ง จ	58 ก ข ค ง จ	83 ก ข ค ง จ
9 ก ข ค ง จ	34 ก ข ค ง จ	59 ก ข ค ง จ	84 ก ข ค ง จ
10 ก ข ค ง จ	35 ก ข ค ง จ	60 ก ข ค ง จ	85 ก ข ค ง จ
11 ก ข ค ง จ	36 ก ข ค ง จ	61 ก ข ค ง จ	86 ก ข ค ง จ
12 ก ข ค ง จ	37 ก ข ค ง จ	62 ก ข ค ง จ	87 ก ข ค ง จ
13 ก ข ค ง จ	38 ก ข ค ง จ	63 ก ข ค ง จ	88 ก ข ค ง จ
14 ก ข ค ง จ	39 ก ข ค ง จ	64 ก ข ค ง จ	89 ก ข ค ง จ
15 ก ข ค ง จ	40 ก ข ค ง จ	65 ก ข ค ง จ	90 ก ข ค ง จ
16 ก ข ค ง จ	41 ก ข ค ง จ	66 ก ข ค ง จ	91 ก ข ค ง จ
17 ก ข ค ง จ	42 ก ข ค ง จ	67 ก ข ค ง จ	92 ก ข ค ง จ
18 ก ข ค ง จ	43 ก ข ค ง จ	68 ก ข ค ง จ	93 ก ข ค ง จ
19 ก ข ค ง จ	44 ก ข ค ง จ	69 ก ข ค ง จ	94 ก ข ค ง จ
20 ก ข ค ง จ	45 ก ข ค ง จ	70 ก ข ค ง จ	95 ก ข ค ง จ
21 ก ข ค ง จ	46 ก ข ค ง จ	71 ก ข ค ง จ	96 ก ข ค ง จ
22 ก ข ค ง จ	47 ก ข ค ง จ	72 ก ข ค ง จ	97 ก ข ค ง จ
23 ก ข ค ง จ	48 ก ข ค ง จ	73 ก ข ค ง จ	98 ก ข ค ง จ
24 ก ข ค ง จ	49 ก ข ค ง จ	74 ก ข ค ง จ	99 ก ข ค ง จ
25 ก ข ค ง จ	50 ก ข ค ง จ	75 ก ข ค ง จ	100 ก ข ค ง จ

รูปที่ 3.27 **ตัวอย่างกระดาษคำตอบสำหรับใช้เครื่องหมายกากบาทที่ใช้ในงานวิจัย (ขนาดย่อ** 15%)



แบบทดสอบความรู้ทั่วไป

ชื่อ ..... เลขประจำตัว .....
ชั้น ..... โรงเรียน .....

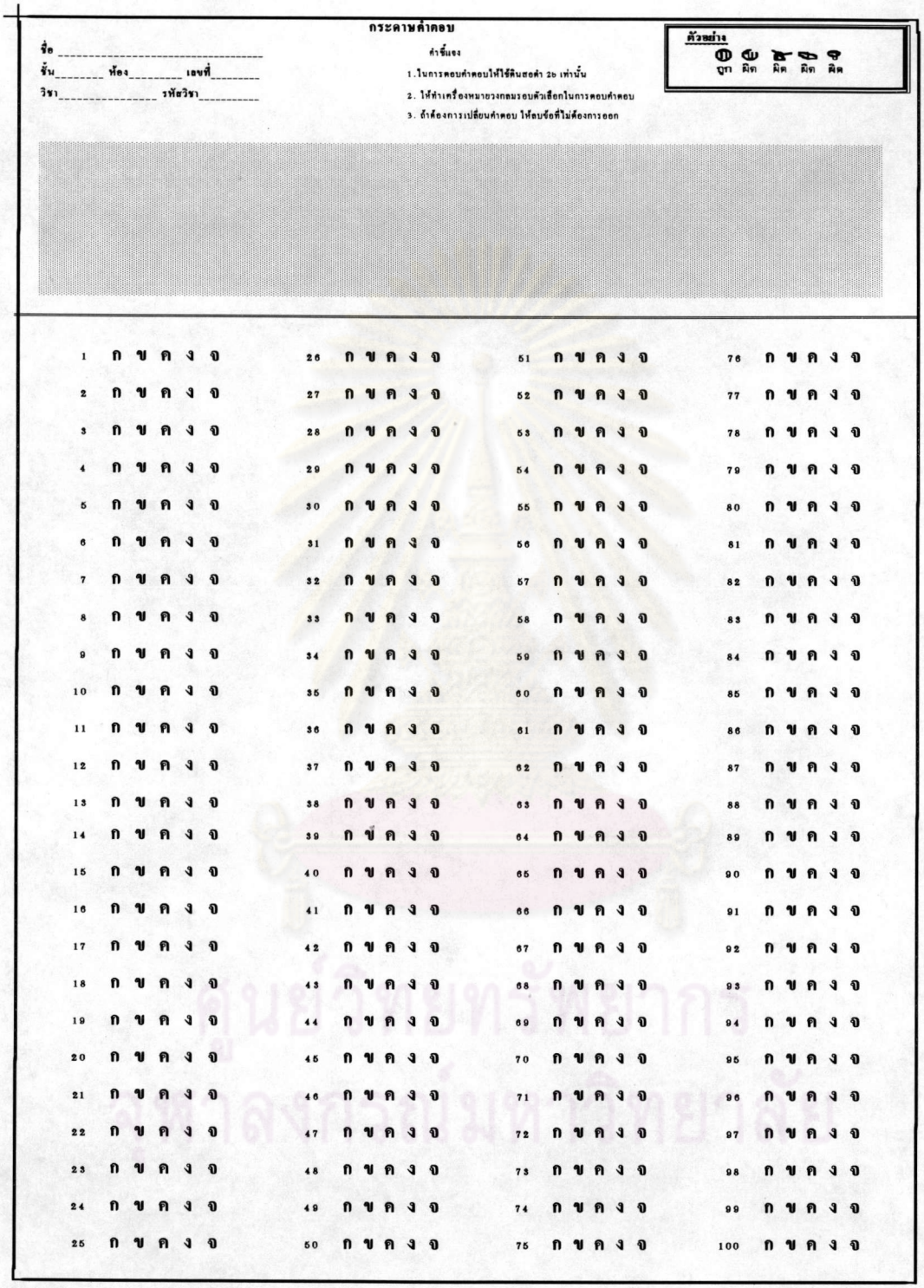
ตัวอย่างการทำเครื่องหมาย

✓	⌙	✓	/	✓
ถูก	ผิด	ผิด	ผิด	ผิด

จงทำเครื่องหมายถูกตามตัวอย่างในบริเวณด้านหน้าของข้อความที่เห็นว่าถูกต้อง

หาดใหญ่เป็นชื่อจังหวัดหนึ่งของประเทศไทยอยู่ทางภาคใต้
ลักษณะการพูดที่ดีคือการพูดโดยการใช้ถ้อยคำที่สุภาพเหมาะสมกับกาลเทศะและบุคคล
จุลสารและกฤตภาคมักจัดเก็บไว้ในชั้นเช่นเดียวกับหนังสืออื่น ๆ
หนังสือที่มีขนาดรูปเล่มหนา เลขหมู่จะอยู่ตรงมุมล่างซ้ายของปกหนังสือ
หนังสือประวัติศาสตร์และภูมิศาสตร์มีเลขหมู่หนังสือคือ 900
วารสารภาษาอังกฤษมักจัดเรียงในชั้นหนังสือตามลำดับตัวอักษรที่เป็นชื่อวารสาร
นิตสาร เป็นหนังสือที่มีกำหนดออกเป็นเวลาสม่ำเสมอ
กำแพงเมืองจีน เป็นสารคดีเชิงวิทยาศาสตร์
สารคดีเชิงปกิณกะ คือสารคดีที่เป็นเรื่องราวเบ็ดเตล็ดทั่วไป
นิทาน นิยาย นวนิยาย เรื่องสั้น เรื่องชวนหัว จัดเป็นหนังสือประเภทสารคดี
การคูณเลขคู่กับเลขคี่จะได้ผลลัพธ์เป็นเลขคู่เสมอ
เลข 6 คือเลขคู่ เลขคู่ตัวถัดไปของ 6 คือเลข 8
เวลากลางวันของในฤดูหนาวจะสั้นกว่าเวลากลางคืนเทียบกับในฤดูร้อน
แสงสามารถเดินทางได้เร็วกว่าคลื่นวิทยุทั่วไป
ภูเขาไฟระเบิดทำให้เกิดแผ่นดินไหวเสมอ
แสงใช้เวลาเดินทางจากดวงอาทิตย์ถึงโลกโดยประมาณ 8 นาที
ประเทศไทยมีดาวเทียมสื่อสารดวงแรกชื่อ ดาวเทียมไทยคม1
ภาคใต้ของประเทศไทยไม่มีฤดูหนาว
พัทยาเป็นจังหวัดหนึ่งของประเทศไทยอยู่ในภาคตะวันออก
อาหารประเภทที่ให้โปรตีนได้แก่ ข้าว และผักสีเขียว
การหัวเราะสามารถทำให้อายุยืนยาวขึ้น
อาหารประเภทไข่สามารถทำให้ผู้สูงอายุเกิดโรคเส้นเลือดในสมองอุดตัน
เมื่อเซลสมองตายสามารถมีการสร้างส่วนทดแทนเพิ่มขึ้นใหม่ได้
ในภาคอีสานจะมีผู้ขาดสารไอโอดีนมากที่สุดของประเทศไทย
ประเพณีวันขึ้นปีใหม่ของไทยตรงกับวันที่วันที่ 12 เมษายน

รูปที่ 3.28 ตัวอย่างกระดาษคำตอบสำหรับใช้เครื่องหมายถูกที่ใช้ในงานวิจัย (ขนาดย่อ 15%)



กระดาษคำตอบ

ชื่อ _____

ชั้น_____ ห้อง_____ เลขที่_____

วิชา_____ รหัสวิชา_____

คำชี้แจง

1. ในการตอบคำตอบให้ใช้ดินสอดำ 2b เท่านั้น
2. ให้ทำเครื่องหมายวงกลมรอบตัวเลือกในการตอบคำตอบ
3. ถ้าต้องการเปลี่ยนคำตอบ ให้ลบข้อที่ไม่ต้องการออก

ตัวอย่าง ① ② ③ ④ ⑤ ถูก ผิด ผิด ผิด ผิด

1 ก ข ค ง จ	26 ก ข ค ง จ	51 ก ข ค ง จ	76 ก ข ค ง จ
2 ก ข ค ง จ	27 ก ข ค ง จ	52 ก ข ค ง จ	77 ก ข ค ง จ
3 ก ข ค ง จ	28 ก ข ค ง จ	53 ก ข ค ง จ	78 ก ข ค ง จ
4 ก ข ค ง จ	29 ก ข ค ง จ	54 ก ข ค ง จ	79 ก ข ค ง จ
5 ก ข ค ง จ	30 ก ข ค ง จ	55 ก ข ค ง จ	80 ก ข ค ง จ
6 ก ข ค ง จ	31 ก ข ค ง จ	56 ก ข ค ง จ	81 ก ข ค ง จ
7 ก ข ค ง จ	32 ก ข ค ง จ	57 ก ข ค ง จ	82 ก ข ค ง จ
8 ก ข ค ง จ	33 ก ข ค ง จ	58 ก ข ค ง จ	83 ก ข ค ง จ
9 ก ข ค ง จ	34 ก ข ค ง จ	59 ก ข ค ง จ	84 ก ข ค ง จ
10 ก ข ค ง จ	35 ก ข ค ง จ	60 ก ข ค ง จ	85 ก ข ค ง จ
11 ก ข ค ง จ	36 ก ข ค ง จ	61 ก ข ค ง จ	86 ก ข ค ง จ
12 ก ข ค ง จ	37 ก ข ค ง จ	62 ก ข ค ง จ	87 ก ข ค ง จ
13 ก ข ค ง จ	38 ก ข ค ง จ	63 ก ข ค ง จ	88 ก ข ค ง จ
14 ก ข ค ง จ	39 ก ข ค ง จ	64 ก ข ค ง จ	89 ก ข ค ง จ
15 ก ข ค ง จ	40 ก ข ค ง จ	65 ก ข ค ง จ	90 ก ข ค ง จ
16 ก ข ค ง จ	41 ก ข ค ง จ	66 ก ข ค ง จ	91 ก ข ค ง จ
17 ก ข ค ง จ	42 ก ข ค ง จ	67 ก ข ค ง จ	92 ก ข ค ง จ
18 ก ข ค ง จ	43 ก ข ค ง จ	68 ก ข ค ง จ	93 ก ข ค ง จ
19 ก ข ค ง จ	44 ก ข ค ง จ	69 ก ข ค ง จ	94 ก ข ค ง จ
20 ก ข ค ง จ	45 ก ข ค ง จ	70 ก ข ค ง จ	95 ก ข ค ง จ
21 ก ข ค ง จ	46 ก ข ค ง จ	71 ก ข ค ง จ	96 ก ข ค ง จ
22 ก ข ค ง จ	47 ก ข ค ง จ	72 ก ข ค ง จ	97 ก ข ค ง จ
23 ก ข ค ง จ	48 ก ข ค ง จ	73 ก ข ค ง จ	98 ก ข ค ง จ
24 ก ข ค ง จ	49 ก ข ค ง จ	74 ก ข ค ง จ	99 ก ข ค ง จ
25 ก ข ค ง จ	50 ก ข ค ง จ	75 ก ข ค ง จ	100 ก ข ค ง จ

รูปที่ 3.29 ตัวอย่างกระดาษคำตอบสำหรับใช้เครื่องหมายวงกลมที่ใช้ในงานวิจัย (ขนาดย่อ 15%)

แบบสอบถามความคิดเห็น

ให้ทำเครื่องหมายตามตัวอย่างในช่องที่ตรงกับหมายเลขโดยค่าตัวเลขมากคือมีคุณภาพดีมาก

ตัวอย่างการทำเครื่องหมาย

ถูก ผิด ผิด ผิด ผิด

	1	2	3	4	5	6
1.ระยะเวลาที่ระบบใช้งานได้ปกติ	○	○	○	○	○	○
2.ประสิทธิภาพของการรับแจ้งบริการ	○	○	○	○	○	○
3.ประสิทธิภาพของการบริการแก้ไขปัญหาทางโทรศัพท์	○	○	○	○	○	○
4.คุณภาพการติดตั้งระบบ	○	○	○	○	○	○
5.การรายงานความคืบหน้าในช่วงระหว่างเวลาของการแก้ไขปัญหา	○	○	○	○	○	○
6.เจ้าหน้าที่บริการของเรามีความจัดเจนในการให้บริการ	○	○	○	○	○	○
7.คุณภาพซอฟท์แวร์	○	○	○	○	○	○
8.คุณภาพโดยรวมของการแก้ปัญหา	○	○	○	○	○	○
9.ความรวดเร็วในการเริ่มต้นแก้ไขปัญหาด้านซอฟท์แวร์เมื่อได้รับแจ้ง	○	○	○	○	○	○
10.ระยะเวลาที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาด้านซอฟท์แวร์	○	○	○	○	○	○
11.คุณภาพของการบริการจัดเตรียมซอฟท์แวร์รุ่นใหม่ๆที่ได้รับ	○	○	○	○	○	○
12.คุณภาพการบริการซอฟท์แวร์อื่นๆ	○	○	○	○	○	○
13.คุณภาพเครื่องคอมพิวเตอร์(Hardware)ของDigital	○	○	○	○	○	○
14.คุณภาพโดยรวมของการบำรุงรักษาเครื่องคอมพิวเตอร์	○	○	○	○	○	○
15.ความรวดเร็วในการเริ่มต้นแก้ไขปัญหาเครื่องคอมพิวเตอร์	○	○	○	○	○	○
16.ความพร้อมของอุปกรณ์ทดแทนและอะไหล่ในระหว่างการซ่อม	○	○	○	○	○	○
17.คุณภาพของอุปกรณ์ทดแทนและอะไหล่ที่ใช้	○	○	○	○	○	○
18.ระยะเวลาที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาเครื่องคอมพิวเตอร์	○	○	○	○	○	○
19.คุณภาพการบริการเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ	○	○	○	○	○	○
20.ความเข้าใจที่มีต่อความต้องการด้านธุรกิจของท่าน	○	○	○	○	○	○
21.ความสะดวกในการติดต่อกับหน่วยงานบริการของ	○	○	○	○	○	○
22.ประสิทธิภาพโดยรวมในการติดต่อสื่อสาร	○	○	○	○	○	○
23.ความถี่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้บริหารกับท่าน	○	○	○	○	○	○
24.ความถูกต้องและตรงต่อเวลาในการจัดการเกี่ยวกับสัญญาบริการ	○	○	○	○	○	○
25.ความถูกต้องและตรงต่อเวลาในการจัดการเกี่ยวกับการวางบิล	○	○	○	○	○	○

รูปที่ 3.30 ตัวอย่างกระดาษคำตอบที่ใช้เครื่องหมายวงกลมทึบที่ใช้ในงานวิจัย (ขนาดย่อ 15%)