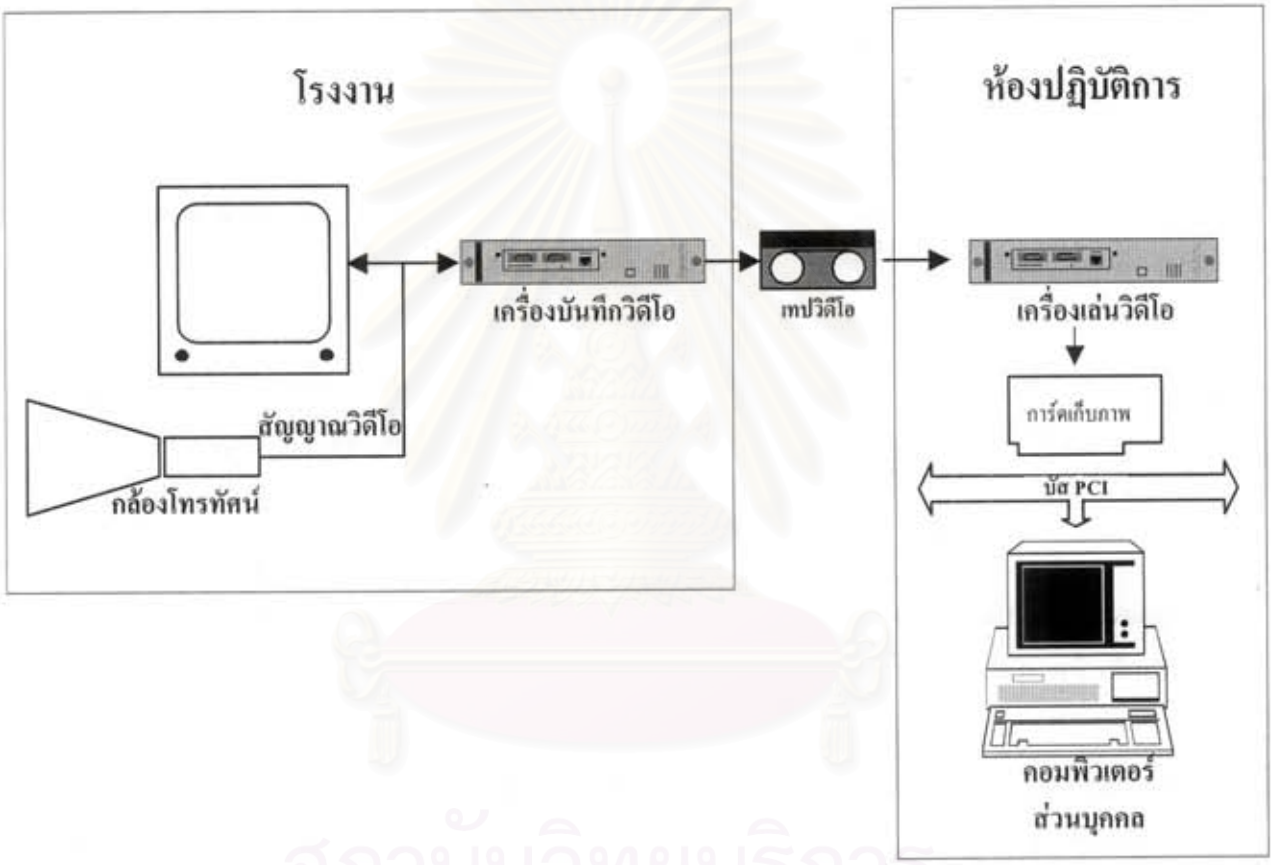
บทที่ 4

การทดลอง

4.1 ระบบการตรวจพินิจโดยสังเขป



รูปที่ 4.1 ระบบการทำงานในการทดลอง

ระบบการตรวจสอบในห้องทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถูกสร้างขึ้นมาโดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนา คือ อุปกรณ์ที่เลือกใช้นั้นล้วนแต่สามารถจัดหาได้โดยง่ายและเป็นเทคโนโลยีเปิดที่ง่ายต่อการศึกษาและการใช้งาน เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีอยู่ทั่วไปซึ่งปัจจุบันความเร็วของการประมวลผลสูงมาก และอุปกรณ์เสริมที่เลือกใช้ คือ การ์ดเก็บภาพ(Frame Grabber Card) ที่มีคลังคำสั่ง(Library)พร้อมใช้งานโดยไม่จำเป็นต้องพัฒนาเองทั้งหมด ระบบการทำงานในห้องทดลองโดยสังเขปอธิบายดังนี้

1. เครื่องบันทึก/เล่นวิดีโอ (Record and Playback VDO) เริ่มแรกของการทดลองคือการบันทึกสัญญาณภาพของล้ออลูมินัมจากโรงงานด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณโทรทัศน์ จากนั้นนำมาแสดงซ้ำอีกครั้งในห้องทดลอง

2. การ์ดเก็บภาพ (Frame Grabber Card) เป็นการ์ดที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณโทรทัศน์เป็นข้อมูลภาพดิจิทัล สำหรับระบบนี้ได้เลือกใช้รุ่น DT3153 (Data Translation,1995) ซึ่งส่งผ่านข้อมูลด้วยสถาปัตกรรมบัสแบบ PCI 32 บิต สามารถรับสัญญาณภาพสีได้ทั้งระบบพัล (PAL) และเอ็นทีเอสซี (NTSC) ไม่มีหน่วยความจำในตัวแต่จะใช้หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแทน

3. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) สุดท้ายข้อมูลภาพจะถูกประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล สำหรับคอมพิวเตอร์ที่ใช้คือรุ่น Pentium-II 400 MHz , RAM 128 Mbyte

4.2 ระบบการประมวลผลภาพเพื่อหารอยตำหนิ

ระบบการประมวลผลภาพในวิทยานิพนธ์นี้สามารถเขียนเป็นผังงานดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยแต่ละกระบวนการอธิบายดังต่อไปนี้

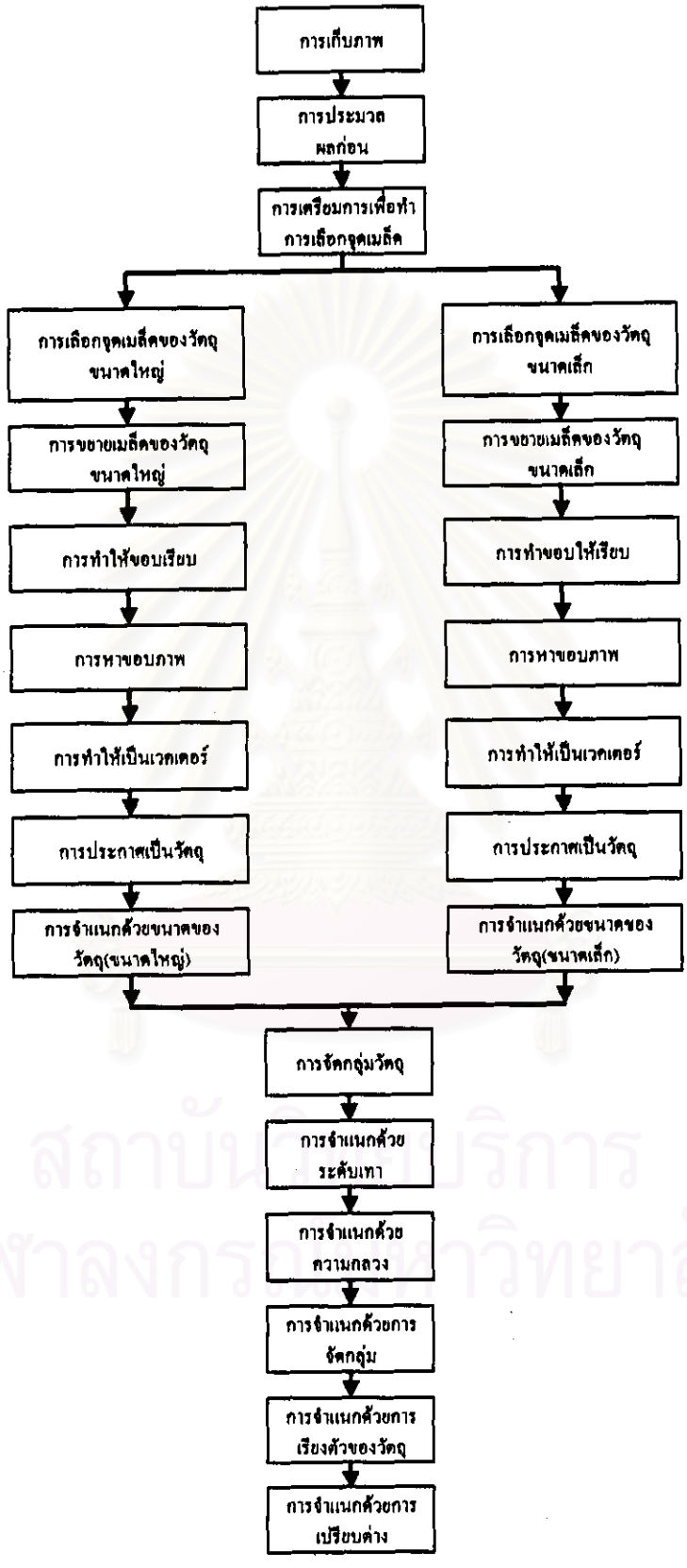
4.2.1 กระบวนการเก็บภาพ(Data Acquisition)

การลดสัญญาณรบกวนนอกจากกระทำในกระบวนการการประมวลผลก่อน(Preprocessing) แล้ว ยังสามารถทำได้ในกระบวนการเก็บภาพด้วย ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกเทคนิคการเก็บภาพซ้ำเพื่อลดสัญญาณรบกวน

การเก็บภาพซ้ำกันแล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นอีกวิธีที่สามารถทำให้สัญญาณที่ไม่ประสงค์และเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวหายไปได้ พบว่าทุกครั้งที่เก็บภาพซ้ำกันอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจะเพิ่มขึ้นในอัตรารากที่สองของ N เมื่อ N คือจำนวนครั้งของการเก็บภาพเสมอ [3],[6] ดังสมการ

$$\frac{SNR_N}{SNR_1} = \sqrt{N} \qquad (4.1)$$

ค่า N ที่ใช้ในการทดลองคือ 25 เนื่องจากมีค่าตรงกับจำนวนเฟรม(Frame)ต่อวินาทีที่เครื่องเล่นวิดีโอส่งภาพออกมา และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจะเพิ่มขึ้น 5 เท่าพอดีโดยคำนวณจากสมการ 4.1



รูปที่ 4.2 ผังงานขั้นตอนการประมวลผลภาพ

4.2.2 กระบวนการประมวลผลก่อน(Preprocessing)

4.2.2.1 การลดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองมัธยฐาน(Median Filter)

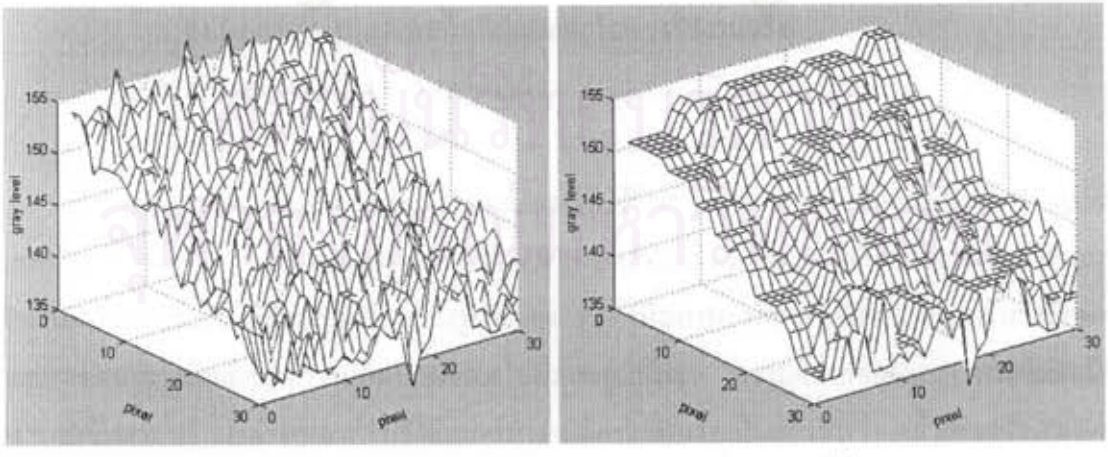
ตัวกรองที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวนในขั้นตอนนี้คือตัวกรองมัธยฐาน ซึ่งเป็นตัวกรองประเภทหนึ่งในตัวกรองที่ไม่เป็นเชิงเส้น กำหนดได้ดังสมการ

$$Med(x_i) = x'_{(n-1)/2} \tag{4.2}$$

เมื่อ x คือชุดของข้อมูล n ตัว , x' คือชุดข้อมูลที่เรียงจากมากไปหาน้อย และ (n-1)/2 คือตำแหน่งของข้อมูลที่นำมาใช้งาน จุดเด่นของตัวกรองชนิดนี้คือ สามารถรักษาขอบภาพได้ดีและในขณะเดียวกันยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นอิมพัลส์(Impulse)ด้วย คุณสมบัติโดยทั่วไปของตัวกรองมีดังนี้

1. กำจัดจุดภาพที่มีลักษณะเป็นอิมพัลส์ได้
2. รักษาขอบของภาพเดิมได้เป็นอย่างดี
3. ทำให้มุมภาพหายไป

แม้ปัญหาของตัวกรองมัธยฐาน จะอยู่ที่ไม่สามารถรักษามุมภาพได้ แต่ไม่ส่งผลเสียในการนำมาใช้กับภาพรังสีเอกซ์ของล้ออลูมินัมเพราะภาพที่ได้ไม่มีส่วนที่คมชัดที่จัดว่าเป็นมุมได้ สัญญาณที่ใช้ในการทดลองเป็นสัญญาณขั้นบันไดที่มีสัญญาณรบกวนซึ่งนำมาจากส่วนหนึ่งของภาพรังสีเอกซ์ของล้ออลูมินัมดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) จากนั้นนำมาผ่านตัวกรองมัธยฐานขนาด 3x3 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือมีสัญญาณรบกวนบางส่วนหายไปดังแสดงในภาพ 4.3 (ข)



(ก) (ข)

รูปที่ 4.3 ตัวกรองมัธยฐาน (ก)กราฟของภาพก่อนการผ่านตัวกรองมัธยฐาน (ข)กราฟของภาพหลังการผ่านตัวกรอง มัธยฐาน

4.2.2.2 การชดเชยภาพ (Image Compensation)

นอกจากสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบสุ่มที่สามารถจำกัดออกไปด้วยการถ่ายภาพซ้ำหรือใช้ตัวกรองบางประเภท เช่น ตัวกรองมัธยฐานซึ่งได้ใช้มาแล้วในกระบวนการก่อนหน้านี้ ยังมีสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์อีกส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นที่บริเวณเดิมของภาพอยู่เสมอ โดยไม่สามารถกำจัดออกด้วยวิธีข้างต้นซึ่งสัญญาณดังกล่าวเกิดจาก

1. ภาคการฉายรังสีเอกซ์ที่ทำงานผิดปกติและผิดในบริเวณที่ซ้ำเดิม

2.ฉากรับรังสีเอกซ์เสื่อมเป็นบริเวณที่แน่นอน

3.ความเสื่อมของอุปกรณ์รับส่งภาพในกล้องจับภาพที่ส่งผลให้เกิดสัญญาณไม่พึงประสงค์เป็นบริเวณที่แน่นอน

สัญญาณที่ไม่พึงประสงค์แต่เกิดขึ้นในบริเวณเดิมเสมอในข้างต้นนี้สามารถทำให้ลดลงได้ด้วยวิธีการชดเชยภาพ ดังสมการ

$$g_s(i,j) = a(i,j) + b(i,j)g_o(i,j) \tag{4.3}$$

กำหนดให้

i,j คือตำแหน่งในแกนนอนและแกนตั้งตามลำดับ

$g_o(i,j)$ คือจุดภาพเริ่มต้น

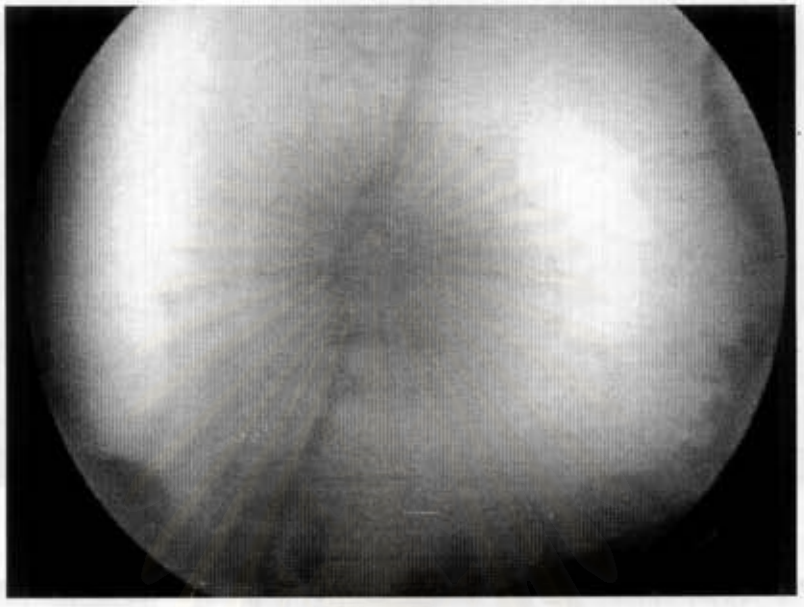
a(i,j) คือค่าออฟเซต(Offset)ที่ได้จากการเก็บภาพขณะที่ไม่มีล้ออลูมินัม

b(i,j) คืออัตราขยาย(Gain)ที่ได้จากการเก็บภาพขณะที่ไม่มีล้ออลูมินัม เมื่อใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์อ่อนที่สุดกับเข้มที่สุดแต่อยู่ในช่วงใช้งานจริง

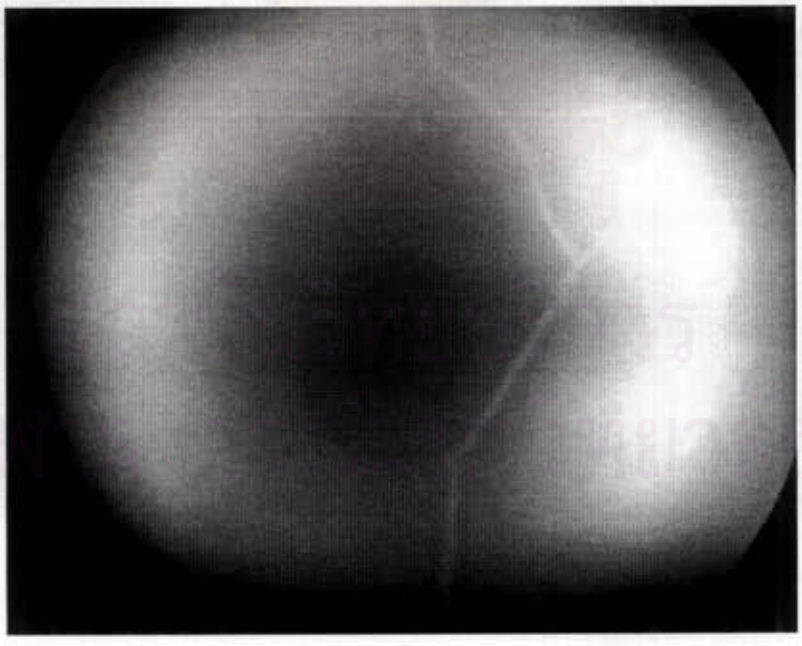
$g_s(i,j)$ คือจุดภาพที่ได้รับการชดเชยแล้ว

ตัวอย่างของภาพรังสีเอกซ์ที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในภาคส่งและรับรังสีเอกซ์เกิดความผิดปกติแสดงในรูปที่ 4.4 (ก) และ 4.4 (ข) โดยรูปที่ 4.4 (ก) แสดงภาพรังสีเอกซ์ที่เกิดจากฉากรับรังสีเอกซ์ทำงานผิดปกติขณะไม่มีล้ออลูมินัม ส่วนรูปที่ 4.4 (ข) เป็นภาพรังสีเอกซ์ที่เกิดจากฉากรับรังสีเอกซ์และหลอดฉายรังสีเอกซ์ที่ทำงานผิดปกติขณะไม่มีล้ออลูมินัม ความผิดปกติดังกล่าวทำให้เกิดเป็นคราบสีเข้มตามบริเวณต่างๆ(ฉากรับรังสีเอกซ์ทำงานผิดปกติ)หรือเป็นเส้นสีสว่างคล้ายรอยร้าว(หลอดฉายรังสีเอกซ์ทำงานผิดปกติ) เพื่อการทดสอบการชดเชยทางภาพจึงได้นำแบบอลูมินัม(Aluminum Template)มาฉายรังสีเอกซ์โดยใช้ภาคส่งและรับรังสีเอกซ์ชุดเดียวกับที่ใช้ในการเก็บภาพ 4.4 (ก) ผล

แสดงในรูปที่ 4.5 (ก) ซึ่งปรากฏทั้งภาพของแบบอลูมินัมและคราบสีเข้มด้วย จากนั้นทำการชดเชยภาพตามสมการ 4.3 ดังผลลัพธ์ในรูปที่ 4.5 (ข) ซึ่งภาพที่ได้ชัดเจนกว่าเดิม



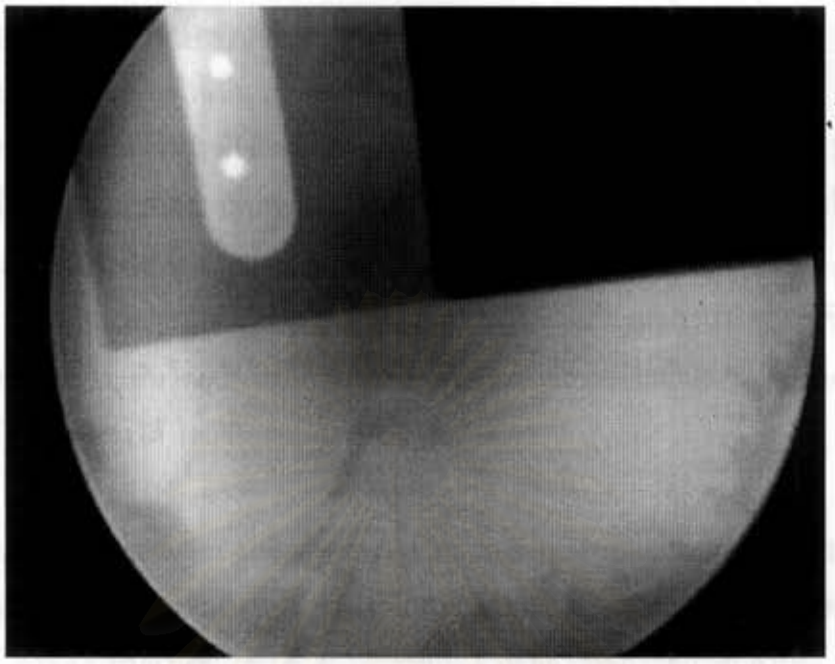
(ก)



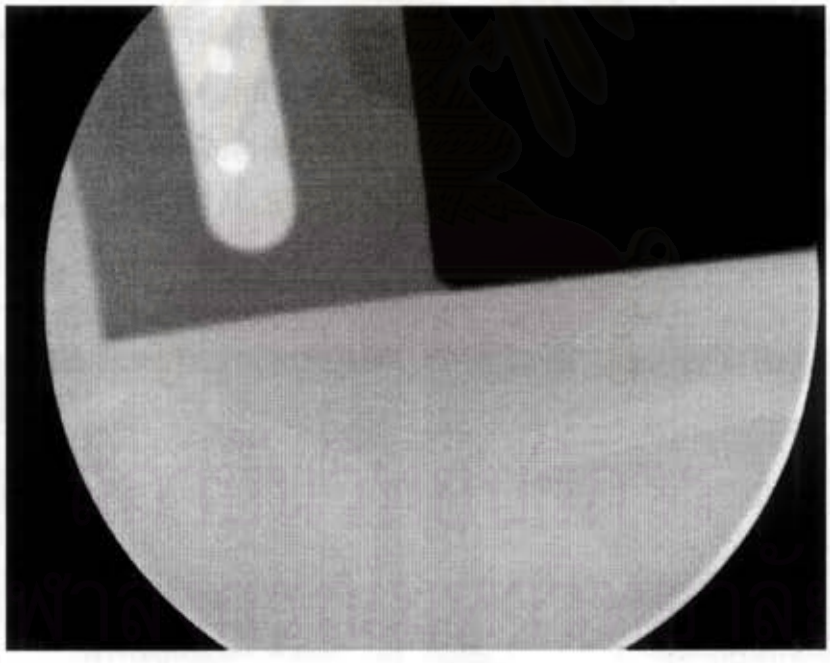
(ข)

รูปที่ 4.4 ความผิดปกติของฉากรับรังสีและหลอดฉายรังสีเอกซ์ (ก) ภาพรังสีเอกซ์ที่เกิดจากฉากรับรังสีเอกซ์ที่ทำงานผิดปกติขณะไม่มีล้ออลูมินัม (ข)ภาพรังสีเอกซ์ที่เกิดจากฉากรับรังสีเอกซ์และหลอดฉายรังสีเอกซ์ที่ทำงานผิดปกติขณะไม่มีล้ออลูมินัม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 การชดเชยภาพ (ก) ภาพรังสีเอกซ์ของแบบอลูมินัมที่เกิดจากฉากรับรังสีเอกซ์ที่ทำงานผิดปกติ (ข)ภาพรังสีเอกซ์ที่ได้รับการชดเชยภาพ

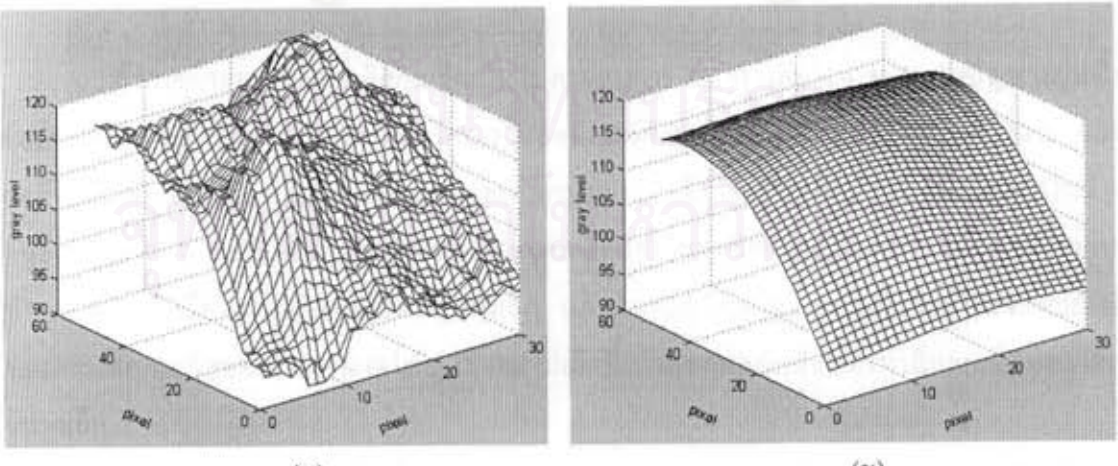
4.2.3 กระบวนการแบ่งส่วน(Segmentation)

4.2.3.1 การทำภาพให้เป็น 2 ระดับ(Binarization)

เนื่องจากกระบวนการที่ใช้ในการตรวจหารอยตำหนิต้องประมวลผลจากภาพ 2 ระดับ แต่ข้อมูลภาพที่ได้จากกระบวนการก่อนหน้านี้ยังเป็นภาพระดับเทา 256 ระดับอยู่ ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของกระบวนการทำภาพให้เป็น 2 ระดับ ซึ่งได้เลือกใช้วิธีเลือกอัตโนมัติของจุดเมล็ด (Automatic Selection of Seed Points)[3] เพื่อใช้หาขีดเริ่มต้น เพราะวิธีนี้ไม่เพียงแต่สามารถหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพื่อแบ่งภาพเป็น 2 ระดับโดยอัตโนมัติเท่านั้นแต่ยังสามารถขยายจุดเมล็ด(Seed Growing) จนได้ขนาดที่แท้จริงของตัวเองได้ โดยขั้นการทำงานอธิบายดังนี้

4.2.3.1.1 การเตรียมการเพื่อการเลือกจุดเมล็ด(Preparation of Seed Points Selection)[3]

การทำงานของการเลือกจุดเมล็ดนี้คือการนำค่าของจุดภาพมาเปรียบเทียบกับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ถ้าค่าของจุดภาพมีค่ามากกว่าให้ค่าที่จุดนั้นเป็น 1 หรือถ้าค่าของจุดภาพมีค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ให้ค่าที่จุดนั้นเป็น 0 ดังนั้นหน้าที่ในขั้นเตรียมการนี้คือการเตรียมข้อมูลที่ใช้เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนและข้อมูลภาพที่ต้องการแบ่งเป็น 2 ระดับ ข้อมูลที่ใช้เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนหามาจากนำภาพเริ่มแรกมาหาค่าเฉลี่ยด้วยขนาดกรอบหน้าต่าง 25x25 ซึ่งต่อไปจะเรียกผลลัพธ์ที่ได้จากการเฉลี่ยนี้ว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเฉลี่ย และเพื่อเพิ่มค่าอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน จึงนำจุดภาพเริ่มแรกมาเฉลี่ยด้วยขนาดกรอบหน้าต่าง 2x2 ซึ่งต่อไปจะเรียกผลลัพธ์ที่ได้จากการเฉลี่ยนี้ว่าค่าจุดภาพเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยทั้ง 2 ภาพใช้ภาพต้นแบบภาพเดียวกัน



(ก) (ข)

รูปที่ 4.6 การเตรียมการเพื่อการเลือกจุดเมล็ด (ก)ภาพของจุดภาพเฉลี่ยขนาดหน้าต่าง 2x2 (ข)ภาพของขีดเริ่มเปลี่ยนเฉลี่ยขนาดหน้าต่าง 25x25

4.2.3.1.2 การเลือกจุดเมล็ดเริ่มต้น(Seed Point Selection)

หลังจากที่ได้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเฉลี่ยกับค่าจุดภาพเฉลี่ยแล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกัน ในการเลือกจุดเมล็ดนี้แบ่งขนาดของวัตถุที่ต้องการหาออกเป็น 2 ขนาดคือ ต้องการเลือกวัตถุขนาดใหญ่กับวัตถุขนาดเล็ก ถ้าต้องการเลือกวัตถุขนาดใหญ่ต้องใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่มีค่าสูง และการเลือกวัตถุขนาดเล็กก็ต้องใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่มีค่าต่ำกว่า

ในการทดลองนี้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของวัตถุขนาดใหญ่และวัตถุขนาดเล็กหาได้จากการนำเอาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเฉลี่ยมาบวกด้วยค่าออฟเซต(Offset) ซึ่งค่าออฟเซตของการเลือกวัตถุขนาดใหญ่จะมากกว่าออฟเซตของการเลือกวัตถุขนาดเล็ก และเรียกค่าออฟเซตนี้ว่าออฟเซตของการเลือกจุดเมล็ดดังสมการ 4.4ก และ 4.4ข

$$S(x,y) = 1 \quad if \quad IM(x,y) \geq TH(x,y) + Offset \qquad (4.4\ ก)$$

$$S(x,y) = 0 \quad if \quad IM(x,y) < TH(x,y) + Offset \qquad (4.4\ ข)$$

กำหนดให้

x,y คือ ตำแหน่งในแกนนอนและแกนตั้งตามลำดับ

S(x,y) คือ ค่าความสว่างของจุดเมล็ด 2 ระดับ ที่ตำแหน่ง x,y

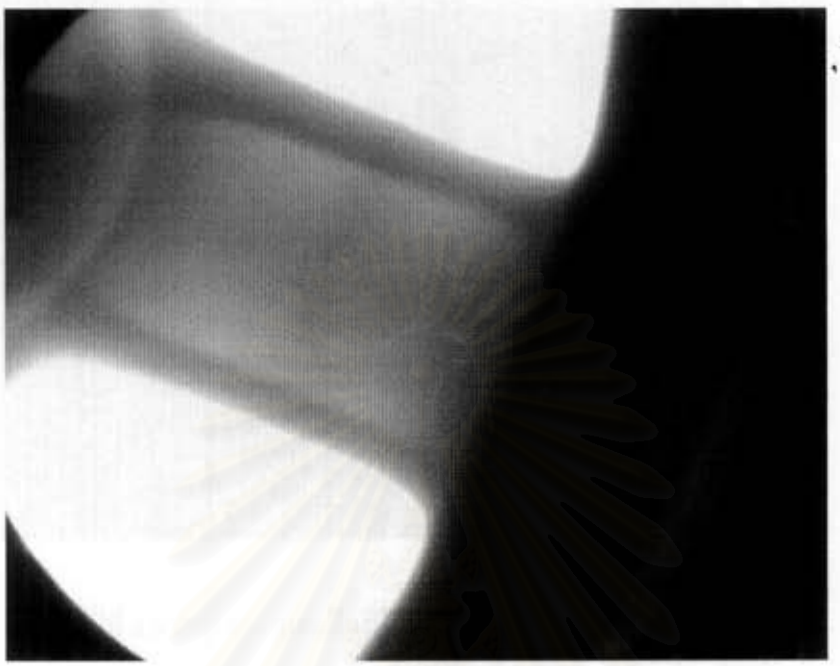
IM(x,y) คือ ค่าความสว่างของจุดภาพเฉลี่ย 256 ระดับ ที่ตำแหน่ง x,y

TH(x,y) คือ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเฉลี่ย 256 ระดับ ที่ตำแหน่ง x,y

Offset คือ ค่าออฟเซตของการเลือกจุดเมล็ด

ถ้าการทำงานของการเลือกเมล็ดเป็นไปตามสมการ 4.4 ก และ 4.4 ข จะพบปัญหาอยู่หนึ่งข้อคือผลลัพธ์ของการเลือกเมล็ดที่ได้จากการใช้ออฟเซตที่มีค่าน้อยจะเป็นเซตรวม(Super Set) ของผลลัพธ์ที่ได้จากการเลือกเมล็ดที่ใช้ออฟเซตที่มีค่ามากกว่า ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงกรณีดังกล่าวในข้างต้นจึงแบ่งการทำงานเป็นลำดับโดยให้การเลือกจุดเมล็ดของวัตถุขนาดใหญ่ทำก่อน แล้วตามด้วยการทำงานของการเลือกจุดเมล็ดของวัตถุขนาดเล็ก และกำหนดเงื่อนไขว่าจุดเมล็ดที่อยู่ในเซตผลลัพธ์ของการเลือกเมล็ดของวัตถุขนาดใหญ่แล้วจะไม่เกิดขึ้นในเซตผลลัพธ์ของการเลือกเมล็ดของวัตถุขนาดเล็ก

ผลลัพธ์ของการใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของวัตถุขนาดใหญ่ แสดงในรูปที่ 4.8 และสำหรับผลลัพธ์ของการใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของวัตถุขนาดเล็ก แสดงในรูป 4.9 โดยใช้ภาพเริ่มแรกเดียวกันคือภาพในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ภาพรังสีเอกซ์ของล้ออลูมินัมหลังจากผ่านกระบวนการก่อนประมวลผล

รูปที่ 4.8 ภาพของจุดเมล็ดที่ใช้ขีดเริ่มต้นสำหรับวัตถุขนาดใหญ่

รูปที่ 4.9 ภาพของจุดเมล็ดที่ใช้ขีดเริ่มต้นสำหรับวัตถุขนาดเล็ก

4.2.3.1.3 การขยายเมล็ด(Seed Growing)

การขยายเมล็ดจะเริ่มต้นจากการนำจุดเมล็ดที่ถูกเลือกมาจากการเลือกจุดเริ่มต้นโดยการหาผลต่างระหว่างจุดเพื่อนบ้านของตัวเองว่ามีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนหยุดขยาย(Stop Growing Threshold) ถ้าผลต่างมีค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนหยุดขยายให้ข้ามไปคำนวณในจุดถัดไป ถ้าผลต่างมีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนหยุดขยายก็กำหนดให้จุดเพื่อนบ้านนั้นเป็นจุดเมล็ดแล้วทำการขยายเมล็ดต่อไปเรื่อยๆจนกระทั่งทั้งภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนหยุดขยายทำได้โดยการนำค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเฉลี่ยบวกกับค่าออฟเซตค่าหนึ่ง โดยจะเรียกค่าออฟเซตนี้ว่าค่าออฟเซตของการหยุดขยายเมล็ด ซึ่งสมการการเปรียบเทียบจะคล้ายกับสมการ 4.4ก และ 4.4ข เพียงแทนค่าออฟเซตของการเลือกเมล็ดด้วยออฟเซตของการหยุดขยายเมล็ด โดยปกติค่าออฟเซตการเลือกเมล็ดจะมีค่ามากกว่าออฟเซตของการหยุดขยายเมล็ด

ผลลัพธ์ของการนำเอาข้อมูลภาพที่แสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 มาผ่านกระบวนการขยายเมล็ดแสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

4.2.3.2 การทำให้ขอบเรียบ(Edge Cleaning)

ถ้านำผลลัพธ์ของการขยายเมล็ดไปใช้ในกระบวนการต่อไปโดยไม่มีการปรับแต่งภาพเลยนั้น คงจะเป็นภาระของกระบวนการต่อไปอย่างมาก ซ้ำอาจทำให้มีความผิดพลาดสูง เพราะเศษเส้นของการขยายจุดเมล็ดที่ยื่นออกมามีมากนั่นเอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับแต่งจุดภาพเหล่านั้นให้อยู่ใน

สภาพพร้อมใช้งาน และต้องไม่ทำให้จุดภาพที่ต้องการหายไปด้วย จากพฤติกรรมของเศษเส้นที่ยื่นมาจนเกินต้องการนี้ จะปรากฏเฉพาะขอบนอกของวัตถุเท่านั้น จึงเป็นเหตุผลให้เลือกใช้ตัวกรองสัณฐาน (Morphological Filter)[ภาคผนวก ข] ในกระบวนการทำให้ขอบของภาพเรียบนี้โดยใช้โครงสร้างองค์ประกอบ (Structure Element) ขนาด 3x3

รูปที่ 4.10 ภาพ 2 ระดับของการขยายเมล็ดของข้อมูลภาพในรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.11 ภาพ 2 ระดับของการขยายเมล็ดของข้อมูลภาพในรูปที่ 4.9

สำหรับกระบวนการที่ต้องการหาวัตถุขนาดใหญ่ ตัวกรองที่เหมาะสมคือ ตัวกรองสัญฐานแบบปิด(Closing) เพราะหลังจากผ่านตัวกรองนี้แล้วกลุ่มจุดภาพที่อยู่ใกล้กันมากจะถูกทำให้รวมกันเป็นกลุ่มใหญ่และจะสามารถผ่านกระบวนการจำแนกด้วยขนาดที่เลือกเฉพาะวัตถุที่มีขนาดใหญ่ได้

สำหรับกระบวนการที่ต้องการหาวัตถุขนาดเล็ก ตัวกรองที่เหมาะสมคือ ตัวกรองสัญฐานแบบเปิด(Opening) เพราะหลังจากผ่านตัวกรองนี้แล้วกลุ่มจุดภาพที่อยู่ใกล้กันมากจะถูกทำให้แยกออกจากกันเป็นกลุ่มเล็กและจะสามารถผ่านกระบวนการจำแนกด้วยขนาดที่เลือกเฉพาะวัตถุที่มีขนาดเล็กได้

ผลลัพธ์ของการนำเอาข้อมูลภาพในรูปที่ 4.10 และ 4.11 มาผ่านกระบวนการทำขอบภาพให้เรียบแสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

รูปที่ 4.12 ภาพแสดงผลการผ่านตัวกรองสัณฐานแบบปิด

4.2.3.3 การหาขอบภาพ(Edge Detection)

หน้าที่ของการหาขอบภาพในวิทยานิพนธ์นี้คือการทำภาพให้เหลือแต่ขอบของวัตถุเรียงกันแทนขอบเขตของวัตถุนั้นๆ วิธีที่ใช้ในการหาขอบภาพที่เลือกใช้นี้ได้ประยุกต์มาจากการทำให้บาง Zhang และ Suen [4] โดยเริ่มจากการทำให้บางของ Zhang และ Suen 1 ครั้งนั่นคือขอบของวัตถุหายไป 1 จุดภาพ จากนั้นนำภาพอินพุตลบด้วยผลลัพธ์ที่ได้จากการทำให้บาง สุดท้ายจะเหลือแต่ขอบของภาพเท่านั้น เขียนเป็นสมการได้ดังสมการ 4.5

รูปที่ 4.13 ภาพแสดงผลการผ่านตัวกรองสัณฐานแบบเปิด

$$E(x,y) = S(x,y) - S'(x,y) \tag{4.5}$$

กำหนดให้

x,y คือ ตำแหน่งในแกนนอนและแกนตั้งตามลำดับ

E(x,y) คือ จุดขอบภาพผลลัพธ์ของการลบกันที่ตำแหน่ง x,y

S(x,y) คือ จุดภาพอินพุตที่ตำแหน่ง x,y

S'(x,y) คือ จุดภาพอินพุตที่ผ่านกระบวนการทำให้บาง 1 ครั้งที่ตำแหน่ง x,y

ผลลัพธ์ของการนำเอาภาพ 4.12 และ 4.13 มาผ่านกระบวนการหาขอบภาพแสดงดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

4.2.4 กระบวนการแทนและการบรรยาย (Representation and Description)

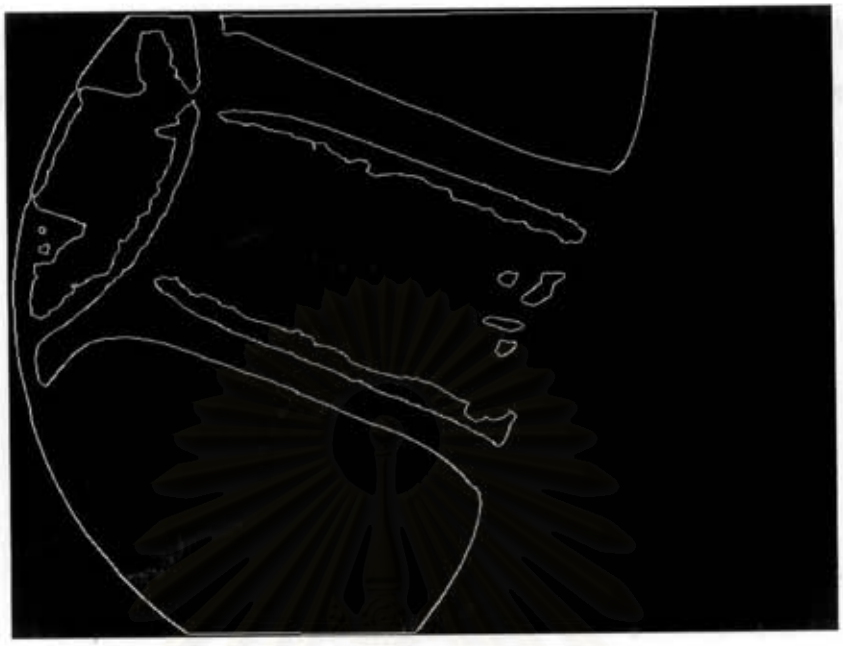
4.2.4.1 การทำให้เป็นเวคเตอร์(Vectorization)

การทำให้เป็นเวคเตอร์คือการเปลี่ยนข้อมูลที่เก็บภาพขนาด 756x536 จุดภาพมาเป็นแถวลำดับ(Array)ของเวคเตอร์ที่เก็บตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายแทน ซึ่งขนาดของแถวลำดับขึ้นอยู่

กับจำนวนของจุดภาพและลักษณะการเรียงตัวของกลุ่มจุดภาพนั้นๆ จุดภาพที่เรียงตัวกันเป็นรอยหยักไปหยักมาหรือมีองศาของเส้นขอบรูปเปลี่ยนไปตลอดเวลาจะใช้จำนวนเวคเตอร์มากกว่ากลุ่มจุดภาพที่เรียงตัวกันเป็นเส้นตรง โดยขนาดของแถวลำดับไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของรูปภาพ ภาพที่ 4.15 และ 4.16 คือภาพที่แสดงจากเวคเตอร์ซึ่งเปลี่ยนมาจากข้อมูลภาพในรูปที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

รูปที่ 4.14 ภาพแสดงผลการหาขอบภาพจากข้อมูลภาพในรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.15 ภาพแสดงผลการหาขอบภาพจากข้อมูลภาพในรูปที่ 4.13



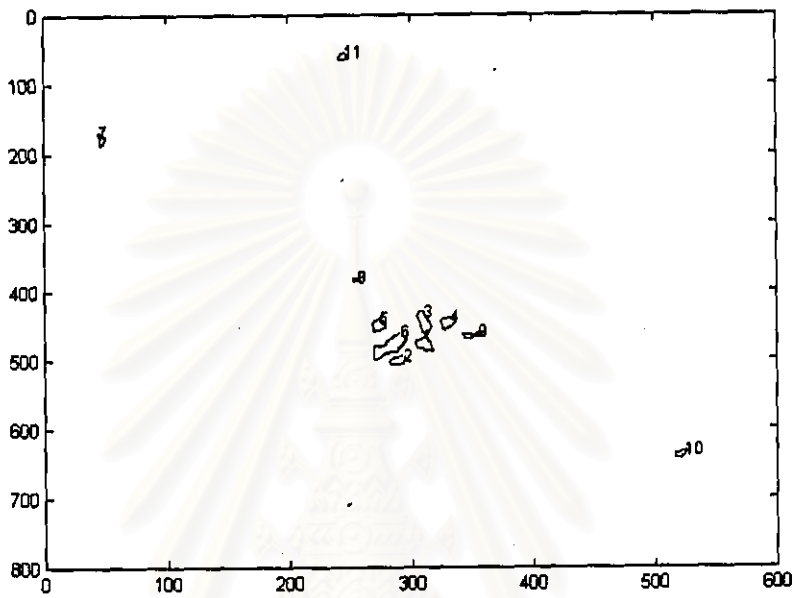
รูปที่ 4.16 ภาพแสดงจากเวคเตอร์ที่ได้จากการเปลี่ยนจุดภาพในรูปที่ 4.14 ให้เป็นเวคเตอร์

รูปที่ 4.17 ภาพแสดงจากเวคเตอร์ที่ได้จากการเปลี่ยนจุดภาพในรูปที่ 4.15 ให้เป็นเวคเตอร์

4.2.4.2 การประกาศเป็นวัตถุ(Object Declaration)

แถวลำดับของเวคเตอร์ที่ได้จากกระบวนการทำให้เป็นเวคเตอร์นั้นยังไม่สามารถนำมาใช้ในการจำแนกได้ เพราะโดยความหมายของเวคเตอร์แล้วเป็นเพียงแค่เส้นตรงเส้นหนึ่งเท่านั้น เพื่อจะ

ใช้เวคเตอร์แทนวัตถุต้องทำการรวมกลุ่มของเวคเตอร์ที่อยู่ติดกันให้เป็นวัตถุ(Object)เดียวกัน และกำหนดหมายเลขให้กับวัตถุนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่แสดง 4.18 ซึ่งใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ในการแสดงผล



รูปที่ 4.18 ภาพแสดงการกำหนดุเวคเตอร์ที่รวมกันเป็นวัตถุ

4.2.4.3 การจำแนกด้วยขนาดของวัตถุ (Size Classification)

ขนาดของวัตถุเป็นตัวแปรหนึ่งของการตัดสินใจว่าวัตถุใดเป็นรอยตำหนิของล้ออลูมินัมหรือไม่ ซึ่งการจำแนกด้วยขนาดนี้ควรจะอยู่ในกระบวนการจำแนก แต่ได้แยกออกมาทำก่อนเนื่องจากสะดวกในการแยกขนาดด้วยเงื่อนไขของการหาวัตถุขนาดใหญ่และวัตถุขนาดเล็กซึ่งได้แยกเป็น2 ทางตั้งแต่กระบวนการเลือกจุดเมล็ดแล้ว อีกทั้งเมื่อวัตถุขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยเวคเตอร์จำนวนมากถูกกำจัดออกไปจะทำให้ลดปริมาณการคำนวณลงไปอย่างมหาศาลในขั้นตอนถัดไป ขนาดของวัตถุที่มีในระบบแบ่งออกเป็น 4 ประเภท

1. วัตถุที่เป็นโครงสร้างหลักของล้อ เช่น ส่วนของดุมล้อ,ก้านล้อ หรือ ขอบล้อเป็นต้น ซึ่งวัตถุประเภทนี้ถือเป็นกลุ่มของวัตถุปกติ เมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของรอยตำหนิที่เกิดขึ้นกับขนาดวัตถุโครงสร้างหลักจะพบว่าวัตถุประเภทโครงสร้างหลักมีขนาดใหญ่กว่ามาก

2. วัตถุที่เกิดจากรอยตำหนิรอยที่มีขนาดใหญ่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มหรือไม่ก็ได้ รูปทรงจะมีหลายแบบแต่โดยมากมักจะอยู่ในรูปทรงที่คล้ายคลึงกับฟองอากาศ

3. รอยตำหนิที่มีขนาดเล็กโดยมากมักจะเกิดขึ้นเป็นกลุ่ม ถ้าเกิดขึ้นเพียงจุดเดียวจะไม่เป็นสาเหตุให้ล้ออลูมินัมนั้นไม่ผ่านการตรวจเนื่องจากไม่เป็นอันตรายต่อล้ออลูมินัม

4. วัตถุอื่นๆที่ไม่สามารถระบุได้ซึ่งอาจจะเกิดจากสัญญาณรบกวน

การหาค่าขนาดของวัตถุโดยประมาณ

$$S=|x_{max}-x_{min}|+|y_{max}-y_{min}| \tag{4.6}$$

กำหนดให้

S คือ ขนาดของวัตถุโดยประมาณ

X_{max} คือ พิกัดที่มีค่าสูงสุดของวัตถุ ในแนวแกน X

X_{min} คือ พิกัดที่มีค่าต่ำสุดของวัตถุ ในแนวแกน X

Y_{max} คือ พิกัดที่มีค่าสูงสุดของวัตถุ ในแนวแกน Y

Y_{min} คือ พิกัดที่มีค่าต่ำสุดของวัตถุ ในแนวแกน Y

การจำแนกวัตถุด้วยขนาดที่คิดว่าเป็นรอยตำหนิแบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขคือ

1. การจำแนกวัตถุที่คิดว่าเป็นรอยตำหนิขนาดใหญ่ นั่นคือ วัตถุนั้นต้องมีขนาดพอสมควรโดยไม่คำนึงถึงการอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ซึ่งจะนำวัตถุที่เป็นผลมาจากการเลือกเมล็ดโดยใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับวัตถุขนาดใหญ่ แล้วจำแนกเอาวัตถุโครงสร้าง(วัตถุที่มีขนาดใหญ่มาก)และวัตถุที่ขนาดเล็กมากออกไป เพราะในการจำแนกด้วยขนาดของรอยตำหนิขนาดใหญ่นี้ต้องการเฉพาะวัตถุที่เป็นรอยตำหนิและถ้าเกิดขึ้นโดยลำพังก็เป็นสาเหตุให้ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเนื่องจากเป็นอันตรายต่อล้ออลูมินัมได้ ซึ่งขนาดของวัตถุต้องใหญ่พอสมควร

2. การจำแนกวัตถุที่คิดว่าเป็นรอยตำหนิขนาดเล็ก นั่นคือ วัตถุนั้นต้องมีขนาดเล็กและเกิดขึ้นรวมกันเป็นกลุ่ม ซึ่งจะนำวัตถุที่เป็นผลมาจากการเลือกเมล็ดโดยใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับวัตถุขนาดเล็ก แล้วจำแนกเอาวัตถุที่มีขนาดใหญ่ออกไปได้แก่วัตถุโครงสร้างหลักของล้ออลูมินัม การจำแนกในขั้นตอนนี้ต้องการเฉพาะวัตถุที่เป็นรอยตำหนิขนาดเล็กเท่านั้นส่วนจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหรือไม่จะพิจารณาในกระบวนการจำแนกด้วยการจัดกลุ่มต่อไป หลังจากการจำแนกด้วยขนาดแล้วได้ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20

4.2.4.4 การจัดกลุ่มวัตถุ(Object Grouping)

ขั้นแรกของกระบวนการจัดกลุ่มวัตถุนี้คือการรวมเอาวัตถุที่ผ่านจากกระบวนการจำแนกด้วยขนาดทั้งที่เป็นวัตถุขนาดเล็กและวัตถุขนาดใหญ่ไว้ด้วยกัน จากนั้นเริ่มการจัดกลุ่มโดยการหาระยะทางระหว่างวัตถุโดยเปรียบเทียบเวคเตอร์ที่อยู่ในวัตถุนั้นกับทุกเวคเตอร์ที่อยู่ในวัตถุอื่น ถ้าเวค

เตอร์ใดของวัตถุหนึ่งอยู่ใกล้กับเวคเตอร์ที่เป็นของวัตถุอื่นจะกำหนดได้ว่าทั้ง 2 วัตถุนั้นอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ดังแสดงการจัดกลุ่มในรูปที่ 4.21

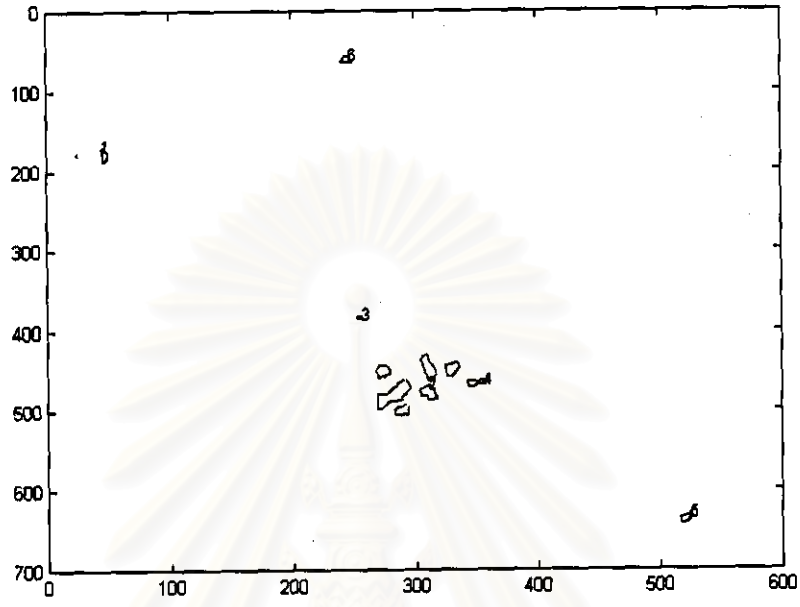
รูปที่ 4.19 ภาพแสดงการจำแนกด้วยขนาดให้เหลือแต่วัตถุขนาดใหญ่

รูปที่ 4.20 ภาพแสดงการจำแนกด้วยขนาดให้เหลือแต่วัตถุขนาดเล็ก

4.2.5 กระบวนการจำแนก (Classification)

ผลลัพธ์ของการจัดกลุ่มของวัตถุซึ่งมีทั้งวัตถุขนาดเล็กและวัตถุขนาดใหญ่ปะปนกันมา และมีวัตถุบางส่วนถูกกำจัดออกไปในกระบวนการจำแนกขนาด อย่างไรก็ตามวัตถุที่เหลืออยู่ในระบบดังรูป

ที่ 4.22 ก็ไม่ใช่ว่าจะเป็นรอยตำหนิเสียทั้งหมด ดังนั้นจะต้องตั้งเงื่อนไขในการจำแนกเพื่อให้แน่ใจว่าวัตถุนั้นเป็นรอยตำหนิที่เป็นอันตรายต่อล้ออลูมินัมจริงๆ



รูปที่ 4.21 ภาพการรวมกลุ่มระหว่างวัตถุขนาดใหญ่และเล็ก

การจำแนกในวิทยานิพนธ์นี้แบ่งเป็น 6 ข้อด้วยกัน แต่ได้ทำการจำแนกด้วยขนาดไปก่อนหน้านี้แล้ว 1 ข้อ ดังนั้นจึงเหลือเพียง 5 ข้อเท่านั้น ดังอธิบายต่อไปนี้

4.2.5.1 การจำแนกด้วยค่าระดับเทา(Gray Level Classification)

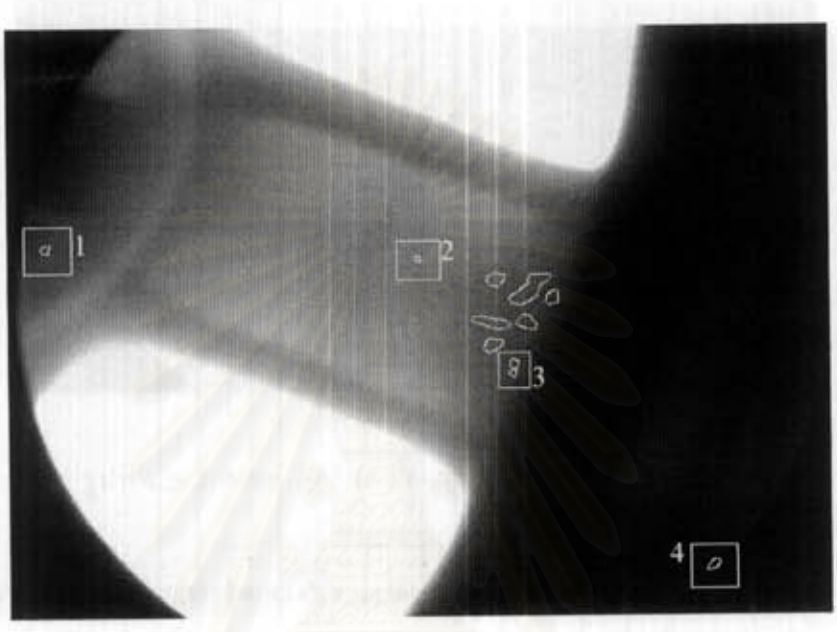
ค่าระดับเทาของวัตถุเป็นเงื่อนไขที่หนึ่งที่ใช้เพื่อการตรวจสอบรอยตำหนิ แม้วัตถุนั้นจะผ่านการเลือกจุดเมล็ดและผ่านการจำแนกด้วยขนาดซึ่งบ่งบอกได้ว่าวัตถุดังกล่าวมีขนาดที่ใกล้เคียงกับรอยตำหนิจริง แต่ถ้าค่าระดับของวัตถุนั้นไม่อยู่ในเกณฑ์ที่สนใจนั่นคือค่าระดับเทาของวัตถุนั้นไม่มากพอก็ไม่สามารถผ่านกระบวนการจำแนกด้วยค่าระดับเทาได้ เพราะเป็นไปได้ที่วัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ผู้ตรวจสอบไม่ต้องการสนใจจึงไม่ได้ปรับความเข้มให้มากพอจนเห็นวัตถุดังกล่าวได้ชัดเจน ดังวัตถุที่ 4 ในรูปที่ 4.22 เมื่อนำมาผ่านกระบวนการจำแนกด้วยค่าระดับเทาแล้ววัตถุนั้นจะหายไปดังผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 4.23

4.2.5.2 การจำแนกความกลวง(Hollow Classification)

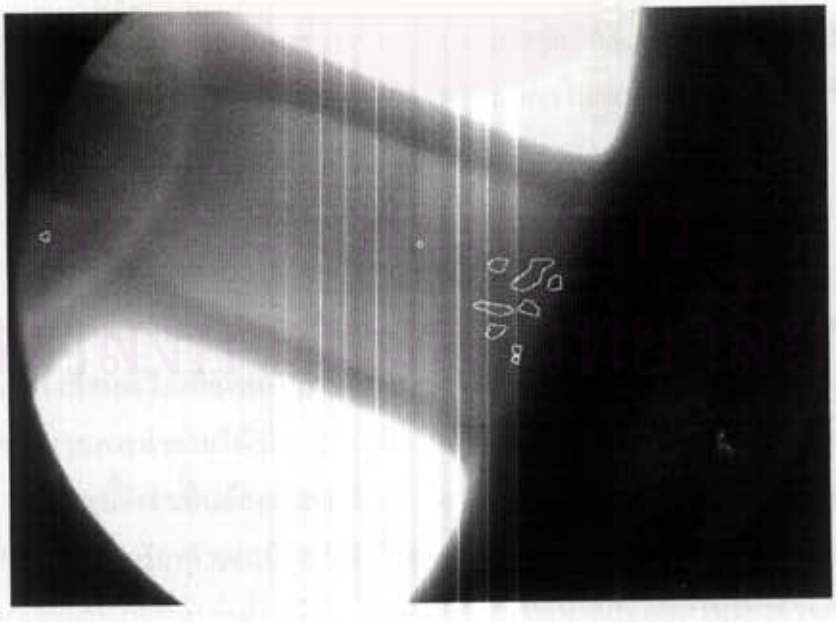
จากวัตถุที่ 1 ในรูปที่ 4.22 ถ้าพิจารณาจากขนาดและค่าระดับเทาของวัตถุแล้วน่าจะเป็นวัตถุรอยตำหนิได้ แต่เมื่อพิจารณาย้อนกลับไปที่รูป 4.12 พบว่าวัตถุดังกล่าวเกิดจากวัตถุที่มีรูกลวงอยู่ด้านใน เมื่อผ่านกระบวนการหาขอบภาพจึงเกิดเป็นขอบเขตของวัตถุขึ้นมา เพื่อกำจัดวัตถุปลอมปนชนิดนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ออกไปจึงต้องนำข้อมูลในรูปที่ 4.12 มาใช้อีกครั้ง โดยพิจารณาว่าถ้าวัตถุใดที่ด้านนอกมีค่าเป็นสีขาว (มีค่าเป็น 1) วัตถุนั้นจะถูกกำจัดออกไป ซึ่งผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 4.24

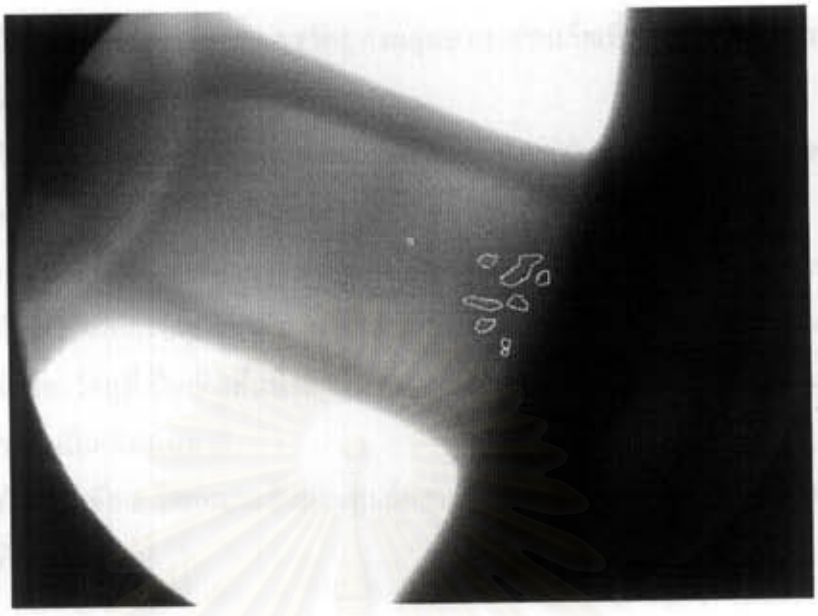


รูปที่ 4.22 วัตถุที่ต้องพิจารณาว่าเป็นรอยตำหนิหรือไม่



รูปที่ 4.23 ภาพของผลลัพธ์เมื่อผ่านการจำแนกด้วยค่าระดับเทา

I 18703124



รูปที่ 4.24 ภาพของผลลัพธ์เมื่อผ่านการจำแนกด้วยความกลวง

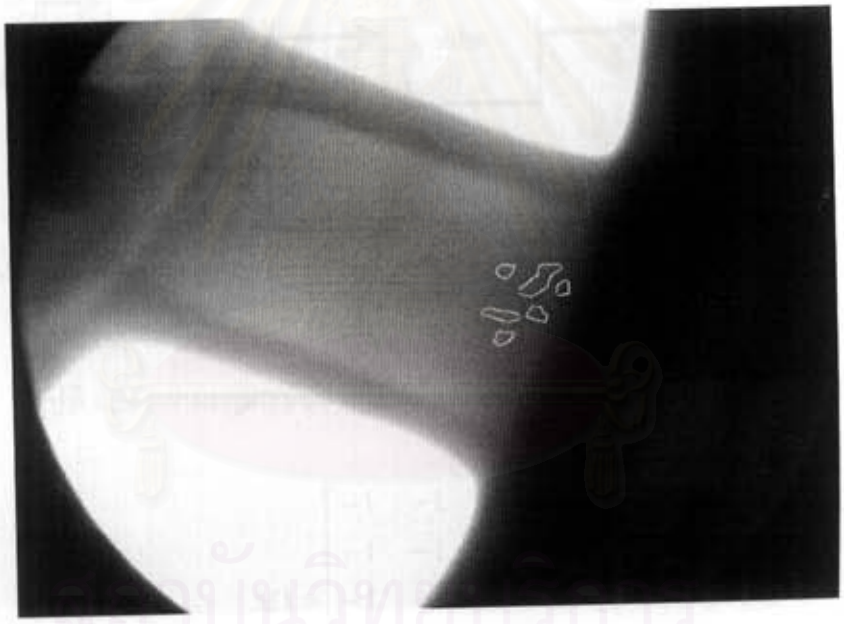
4.2.5.3 การจำแนกด้วยการจัดกลุ่ม(Grouping Classification)

จากการพิจารณาวัตถุที่จะเป็นอันตรายต่อล้ออลูมินัมคือวัตถุนั้นต้องมีขนาดใหญ่พอสมควรที่อยู่เพียงลำพังแล้วเป็นจะเป็นอันตรายต่อล้ออลูมินัมหรือถ้ามีขนาดเล็กก็ต้องอยู่รวมกันเป็นกลุ่มจึงจะเป็นอันตรายเช่นกัน จากวัตถุที่ 2 และ 3 ในรูป 4.12เป็นวัตถุที่มีขนาดเล็กแต่อยู่เพียงลำพัง ดังนั้นวัตถุทั้งสองนี้จึงถูกกำจัดออกไปด้วยกระบวนการจำแนกด้วยการจัดกลุ่ม ดังแสดงผลลัพธ์ในรูปที่ 4.25 นั่นคือถ้าวัตถุใดที่มีขนาดเล็กและอยู่เพียงลำพังให้กำจัดวัตถุนั้นออกไปเพราะว่าวัตถุลักษณะนี้ไม่เป็นอันตรายต่อล้ออลูมินัม

4.2.5.4 การจำแนกด้วยการเรียงตัวของวัตถุ(Object Alignment Classification)

ในการจำแนกด้วยการเรียงตัวของวัตถุนี้มีไว้เพื่อการป้องกันการจำแนกที่ผิดพลาดอันเกิดมาจากความเข้มของรังสีเอกซ์ไม่เพียงพอ ทำให้ภาพของโครงสร้างล้อที่ควรจะเรียงยาวต่อเนื่องเป็นชิ้นเดียวหลังจากกระบวนการทำภาพให้เป็น 2 ระดับ แต่ผลลัพธ์กลายเป็นวัตถุหลายชิ้นวางเรียงกันเป็นเส้นตรงแทน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องจำแนกวัตถุที่จัดกลุ่มกันด้วยลักษณะนี้ออกไป กระนั้นก็ต้องระวังไม่ให้รอยตำหนิที่มีการเรียงตัวเช่นนี้ถูกกำจัดไปด้วย โดยการกำหนดว่าถ้าวัตถุไม่เรียงตรงกันมากจนค่าหนึ่งจึงยังยอมรับให้เป็นรอยตำหนิอยู่ โดยมีขั้นตอนการหาลักษณะการเรียงตัวของวัตถุดังนี้

1. นำตำแหน่งของจุดภาพของวัตถุทั้งกลุ่มมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อได้จุดศูนย์กลางของกลุ่มวัตถุ
2. กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มวัตถุ โดยผ่านจุดศูนย์กลางที่หาได้ในข้อที่ 1 ด้วยความชันของเส้นตรงเท่ากับ 0
3. หาระยะทางตั้งฉากจากจุดทุกจุดของวัตถุที่อยู่ในกลุ่มมายังเส้นตรงที่กำหนดขึ้นในข้อที่ 2 เมื่อครบทุกจุดให้มาหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้ถ้ามีค่ามากแสดงว่ามีลักษณะการเรียงตัวของวัตถุที่เป็นเชิงเส้นน้อย ถ้าผลเฉลี่ยมีค่าน้อยแสดงว่าวัตถุกลุ่มนั้นมีลักษณะความเป็นเชิงเส้นมาก
4. ทำซ้ำในข้อ 3 โดยหมุนเส้นผ่านศูนย์กลางให้ครบ 180 องศา แล้วเลือกค่าความที่น้อยที่สุด

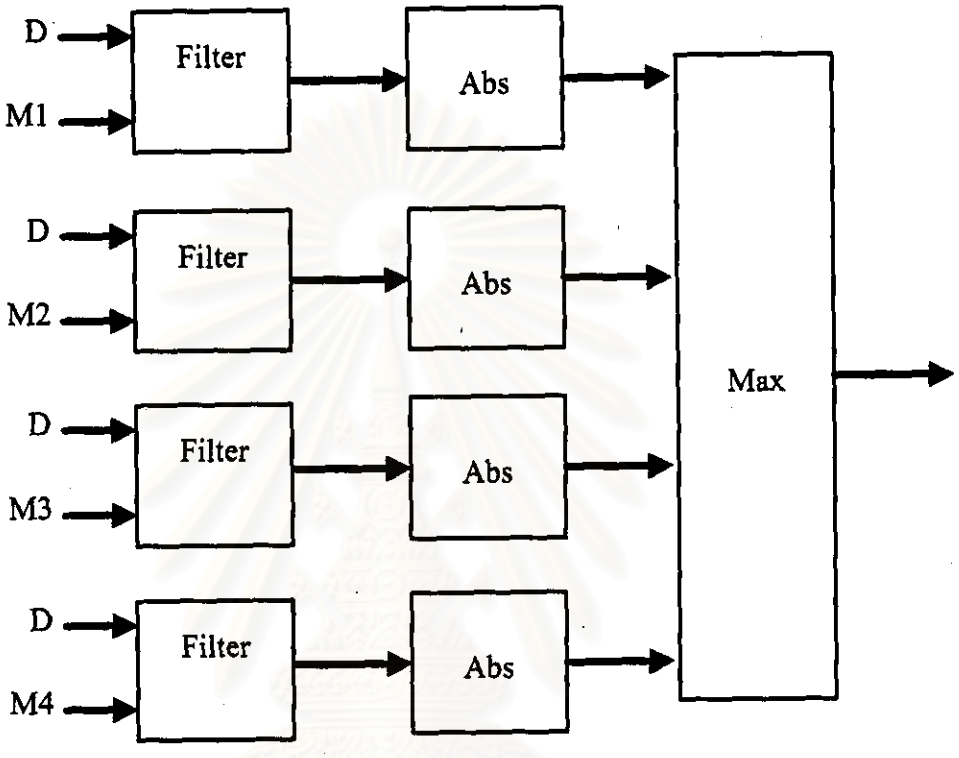


รูปที่ 4.25 ภาพของผลลัพธ์เมื่อผ่านการจำแนกด้วยการจัดกลุ่ม

4.2.5.5 การจำแนกด้วยการเปรียบต่าง (Contrast Classification)

การเปรียบต่างคือค่าความแตกต่างค่าระดับเทาของจุดภาพที่อยู่ใกล้กัน ถ้าภาพใดมีค่าการเปรียบต่างมากนั่นคือมีความแตกต่างของค่าระดับเทาของจุดภาพที่อยู่ในบริเวณที่ใกล้กันมาก ดังนั้นการหาค่าการเปรียบต่างสามารถหาได้จากการใช้ตัวกรองผ่านสูงได้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกนำเอาตัว

กรองผ่านสูงของพรีวิท(Prewitt) มาประยุกต์ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.26 โดย D คือข้อมูลและ M1,M2,M3 และ M4 คือ หน้ากาก(Mask)ของพรีวิท ดังสมการ 4.7 ถึง สมการ 4.10



รูปที่ 4.26 แผนภาพกรอบการใช้หน้ากาก 4 หน้ากากในการหาการเปรียบต่าง

$$M1=\begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -4 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

$$M2=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -4 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$M3 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -4 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$M4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -4 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

4.3 การทดลอง

4.3.1 การทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการจำแนก

ตัวแปรที่ใช้เป็นเงื่อนไขในกระบวนการจำแนกมีทั้งหมด 6 ตัวแปรด้วยกันคือ ขนาด(Size), ค่าระดับเทา(Gray Level), การเปรียบต่าง(Contrast), ความกลวง(Hollow), การจัดกลุ่ม(Grouping) และการเรียงตัว(Alignment) ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะหาจากการนำภาพของล้อออุมินัม 30 ภาพผ่านกระบวนการประมวลผลภาพเพื่อหารอยตำหนิทั้งหมดยกเว้นกระบวนการจำแนกทั้ง 6 การจำแนกผลที่ได้คือวัตถุ(Object)ทั้งหมดที่มีอยู่ในภาพ ซึ่งมีทั้งโครงสร้างหลัก,รอยตำหนิและวัตถุที่เป็นสัญญาณรบกวน จากนั้นให้แยกประเภทของวัตถุด้วยสายตาว่าวัตถุที่ปรากฏเป็นวัตถุประเภทใดใช่รอยตำหนิหรือไม่ ขณะเดียวกันข้อมูลชุดเดียวกันนี้ถูกกำหนดค่าตัวแปรด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้นมา ดังนั้นเมื่ออยู่ในขั้นตอนนี้เราสามารถทราบว่าวัตถุที่มองเห็นด้วยตานั้นมีค่าของตัวแปรเท่าไหร่ สุดท้ายนำค่าของตัวแปรแต่ละประเภทมาทำเป็นสถิติ ค่าทางสถิตินี้จะนำไปใช้เป็นค่ามาตรฐานในการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมต่อไป เพื่อให้การตรวจพินิจครอบคลุมรอยตำหนิมากเท่าที่จะมากได้จึงกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรที่จะใช้เป็นมาตรฐาน คือ ให้ค่าขอบเขตล่างของตัวแปรมีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 3 ของค่าตัวแปรรอยตำหนิที่ได้จากการทดลองและขอบเขตบนของตัวแปรมีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98

4.3.2 การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

เมื่อทราบค่าตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการจำแนกแล้วจึงนำค่าดังกล่าวกำหนดลงในโปรแกรมแล้วทำการทดลองด้วยกระบวนการประมวลผลภาพทั้งหมดอีกครั้ง ด้วยข้อมูลภาพใหม่อีก 25 ภาพ

จากนั้นนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับภาพที่เห็นด้วยตามนุษย์ แล้วเขียนเป็นสถิติเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโปรแกรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย