

บทที่ 4

ผลการพัฒนาระบบสร้างภาพสองมิติ

ระบบสร้างภาพฉายสองมิติที่ประกอบสำเร็จแล้วได้นำมาทดสอบการทำงานตามขั้นตอนต่อไป

1. ทดสอบการทำงานของระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน
2. ทดสอบการทำงานของระบบเชื่อมโยงสัญญาณ
3. ทดสอบการทำงานของระบบสร้างภาพ

4.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.1 ไมโครคอมพิวเตอร์แบบ IBM PC XT/AT ที่แสดงผลบนจอภาพสี มีความละเอียดของจอภาพในภาวะกราฟฟิก 640 X 480 จุด ผ่านการ์ด VGA หรือเครื่องที่มีสมรรถนะเทียบเคียงกัน

4.1.2 NIM BIN และแหล่งจ่ายไฟฟ้า ORTEC Model 4001C

4.1.3 อุปกรณ์ขยายส่วนหน้าพร้อมฐาน PMT ORTEC Model 276

4.1.4 หัววัดเรืองรังสี NaI(Tl) ขนาด 1" x 1" BICRON Model GV-109

4.1.5 อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์และอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานช่องเดี่ยว
ORTEC Model 590A

4.1.6 เรตมิเตอร์ ORTEC Model 541

4.1.7 อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าสัปดาห์สูง CANBERRA Model 3002

4.1.8 ต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรง 100 มิลลิคูรี

4.1.9 ระบบขับเคลื่อนชิ้นงานที่สร้างขึ้น

4.1.10 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณที่พัฒนาขึ้น (ITF NT2611)

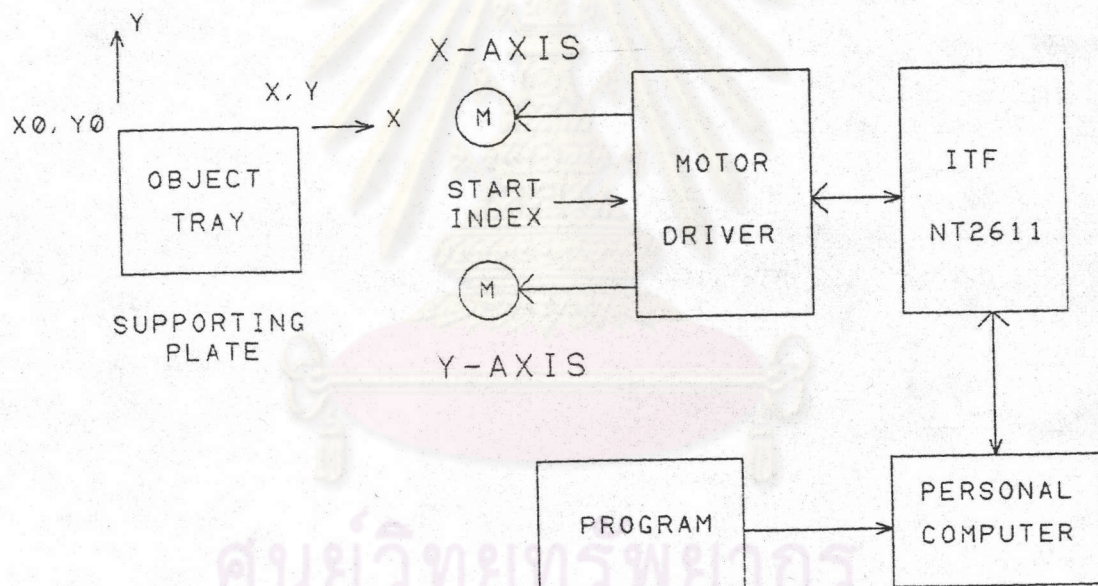
4.1.11 IQI แบบเส้นลาดสำหรับทดสอบคุณภาพของภาพ

4.1.12 Step wedge ทำด้วยอะลูมิเนียมขนาด 15 ชั้น หน้าชั้นละ 1 มิลลิเมตร

4.1.13 เครื่องอ่านรูปสัญญาณ TEKTRONIX Model 465B

4.2 การทดสอบการทำงานของระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน

การทดสอบนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของระบบกล ซึ่งควบคุมด้วยโปรแกรมผ่านแผ่นเชื่อมโยงสัญญาณ ทั้งการเริ่มต้นตำแหน่งโคออดิเนต (0,0) และการเคลื่อนที่ของแผ่นรองรับชิ้นทดสอบบนระนาบแกน X และ แกน Y



รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน

4.2.1 ขั้นตอนการทดสอบ

4.2.1.1 ติดตั้งแผ่นวางจรรยาเชื่อมโยงสัญญาณ ITF 2611 ลงในช่องเสียบของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และจัดอุปกรณ์ทดลอง ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 4.1

4.2.1.2 ทดสอบการเริ่มต้นของระบบขับเคลื่อน ก่อนเริ่มเก็บข้อมูลที่

ตำแหน่ง (0,0)

4.2.1.3 ใช้โปรแกรมทดสอบการทำงานของระบบขับเคลื่อนขึ้นงาน จาก

ตำแหน่ง (0,0) ไปยังตำแหน่ง (100,100) และวัดระยะทางทั้งแกน x และแกน Y

```

program test_XY ;
uses crt;
const n      : byte = 50;
var  x,y     : byte ;
begin
port[771] := 137; delay(10); { Program Control Port }
      { Program Driving Motor-X }
for x := 1 to n do
begin
port[768]:=10; delay(10); port[768]:=6; delay(50);
port[768]:= 5; delay(10); port[768]:=9; delay(50);
end;
      { program Driving Motor-Y }
for y := 1 to n do
begin
port[769]:=10; delay(10); port[769]:=6; delay(10);
port[769]:= 5; delay(10); port[769]:=9; delay(10);
end;
end.

```

4.2.1.4 แปรเปลี่ยนความเร็วในการสแกนระบบขับเคลื่อนและเก็บข้อมูล

4.2.2 ผลการทดสอบ

4.2.2.1 การทดสอบการเริ่มต้น และการใช้คำสั่งให้ระบบกลเคลื่อนตัว

ในแกน X และ Y เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ดังนี้

แนวแกน X วัดระยะทางที่เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้น

เท่ากับ 10 เซนติเมตร

แนวแกน Y วัดระยะทางที่เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้น

เท่ากับ 10 เซนติเมตร

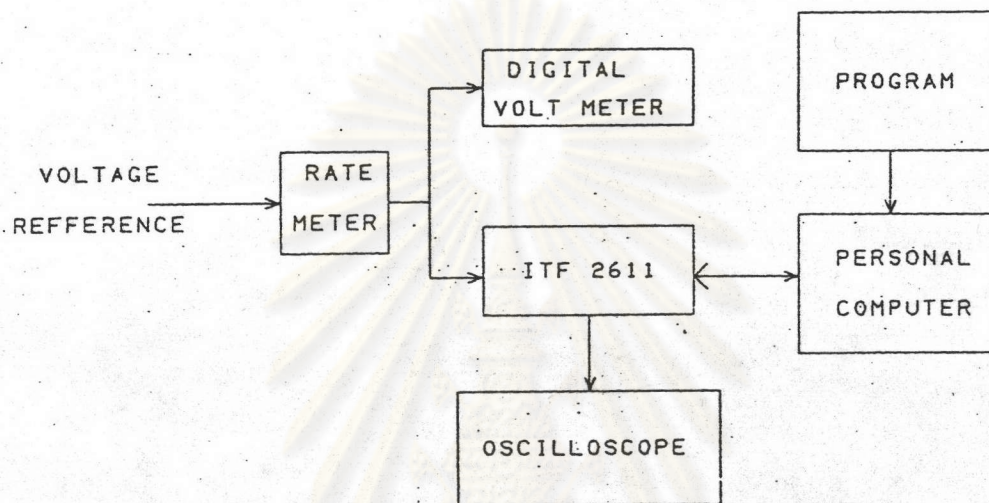
4.2.2.2 ความเร็วในการสแกนของระบบขับเคลื่อนสามารถแปรเปลี่ยนได้

จาก 6 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วของระบบขับเคลื่อนในการหาตำแหน่งเริ่มต้นที่

(0,0) และสามารถเลือกแปรเปลี่ยนความเร็วให้ช้ากว่านี้ได้ตามต้องการจากโปรแกรม

4.3 การทดสอบการทำงานของระบบเชื่อมโยงสัญญาณ

เป็นการทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมของระบบขับเคลื่อนและการแปลงสัญญาณเชิงอุปมานเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขที่ประกอบบนแผ่นเชื่อมโยงสัญญาณ เพื่อตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นและความถูกต้องของระบบเมื่อทำงานร่วมกับไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.2 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1. จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 4.2
2. ใช้โปรแกรมอ่านข้อมูลจากพอร์ตแปลงสัญญาณ ดังนี้

```

program read_data_from_ADC ;
uses crt;
var vratemeter : integer;

begin
repeat
begin
Vratemeter := port[772];
writeln('data from ADC is ', Vratemeter);
delay (500);
end;
until keypressed;
end.
  
```


3. แปรเปลี่ยนค่าศักดาไฟฟ้าอ้างอิงจาก 0 ถึง 100 มิลลิโวลต์ เพื่อทดสอบหาความเป็นเชิงเส้นของการแปลงสัญญาณของ ADC
4. ปรับค่าศักดาไฟฟ้าอ้างอิงที่ 50 มิลลิโวลต์ และอ่านค่าซ้ำกัน 10 ครั้ง เพื่อทดสอบความถูกต้องในการแปลงสัญญาณ
5. ใช้โปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนสเตปมอเตอร์เพื่อตรวจสอบรูปสัญญาณที่ส่งให้วงจรขับเคลื่อน 4 เฟส ดังนี้

```

program Driving_Stepping_motor;
uses crt;
var loop : integer;

begin
port[771] := 137;
begin
for loop := 1 to 80 do
begin
port[768] := 6; delay(100);
port[768] := 5; delay(100);
port[768] := 9; delay(100);
port[768] := 10; delay(100);
end;
end.

```

4.3.2 ผลการทดลอง

4.3.2.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นและความถูกต้องของวงจรแปลงสัญญาณดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ โดยมีความเป็นเชิงเส้น 0.999 ความคลาดเคลื่อน $\pm 2.52\%$ และความแม่นยำจากการอ่านค่าซ้ำกัน 10 ครั้ง คลาดเคลื่อน $\pm 2.57\%$

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นและความถูกต้อง

ครั้งที่	ศักดาไฟฟ้า (mV)	ค่าเชิงตัวเลข	ครั้งที่	ศักดาไฟฟ้า (mV)	ค่าเชิงตัวเลข
1	0.1	0	7	60.0	154
2	10.0	21	8	70.0	177
3	20.0	50	9	80.0	200
4	30.0	75	10	90.0	225
5	40.0	100	11	100.0	251
6	50.0	125			

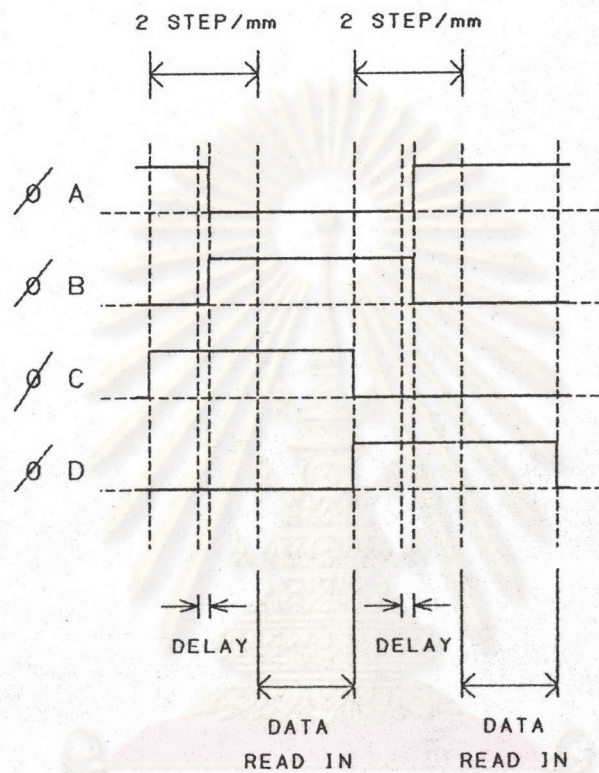
$$y\text{-Intercept} = -1.126, \quad R^2 = 0.999, \quad \text{Error} = \pm 2.52 \%$$

ตารางที่ 4.2 ผลทดสอบความแม่นยำ

ครั้งที่	ค่าที่อ่านได้	ครั้งที่	ค่าที่อ่านได้
1	128	6	130
2	125	7	130
3	125	8	131
4	125	9	131
5	132	10	129

$$\bar{X} = 128.6, \quad \text{S.D.} = 2.57 \%$$

4.3.2.2 ผลตรวจวัดสัญญาณควบคุมระบบขับเคลื่อน รูปสัญญาณนี้
สร้างจากการควบคุมของโปรแกรม ผ่านแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณก่อนเข้าวงจรขับเคลื่อนของ
สเตปปีงมอเตอร์ของแกน X เพื่อบังคับให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณควบคุมสเตปปีงมอเตอร์

4.4 การทดสอบการทำงานของระบบสร้างภาพ

เป็นการทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมด ในการสร้างภาพฉายสองมิติจากการ
ส่งผ่านรังสีแกมมา 60 keV

4.4.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ประกอบระบบสร้างภาพทั้งหมดเข้าด้วยกัน ดังแผนภาพรูปที่ 3.1
2. ติดตั้งหัววัดรังสี และปรับเทียบระบบวัดนิวเคลียร์ให้วิเคราะห์เฉพาะ

พลังงาน 60 keV

3. เลือกใช้ช่องบังคับรังสีที่หัววัด ขนาด 3 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ

4. ปรับแนวลำรังสีระหว่างต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสี ให้ได้ศูนย์กลางเดียวกันโดยอ่านค่าความแรงรังสีสูงที่สุดจากเรตมิเตอร์ขณะที่ไม่มีชิ้นงานบนแผ่นรองรับชิ้นงานดังนี้ เมื่อใช้ช่องบังคับลำรังสีขนาด 3 มิลลิเมตร อัตรานับรังสีที่อ่านได้ 400 ครั้งต่อวินาที และเมื่อใช้ช่องบังคับลำรังสีขนาด 1 มิลลิเมตร อัตรานับรังสีที่อ่านได้ 110 ครั้งต่อวินาที ค่าแบคกราวด์ 30 ครั้งต่อนาที

5. ใช้ตัวอย่างชิ้นงานสเตปเวดจ์ (Step wedge) อะลูมิเนียมขนาดความหนา 1 มิลลิเมตรต่อขั้น จำนวน 15 ขั้น เพื่อตรวจสอบความสามารถในการแยกแยะระดับคอนทราสต์และขั้นตอนทดสอบ IQI สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสี (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง.) ในการตรวจสอบคุณภาพของภาพ

6. ใช้โปรแกรมเก็บข้อมูลและสร้างภาพที่พัฒนาขึ้น เพื่อทดสอบการสร้างภาพโดยใช้เวลาในการสแกน 5.48 เซนติเมตรต่อนาที 3.2 เซนติเมตรต่อนาที และเลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเรตมิเตอร์ 3 %, 10 % และ 15 % เปรียบเทียบกัน

7. เปรียบเทียบการสร้างภาพโดยใช้ข้อมูลจากการวัดรังสีในลักษณะลอกการิทึม และภาพจากการนำข้อมูลผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อปรับข้อมูลในลักษณะเชิงเส้น

4.4.2 ผลการสร้างภาพ

คุณภาพของภาพที่สร้างขึ้นในสภาพตัวแปรต่างๆกันแสดงในรูปที่ 4.5 ถึง 4.12 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการทดลองใช้ช่องบังคับลำรังสี 3 มิลลิเมตร สร้างภาพโดยเลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรานับรังสีจากเรตมิเตอร์ 3 เปอร์เซ็นต์ 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาสแกน 35 นาที พบว่า

รูปที่ 4.5 ภาพที่ได้จากการใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรานับรังสี 3 เปอร์เซ็นต์ ให้ภาพที่มีรายละเอียด มีลักษณะเป็นริ้ว เนื่องจากเรตมิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไม่ทันต่ออัตรานับรังสีที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับความเร็วในการสแกนที่ใช้ ซึ่งจาก

ความสัมพันธ์ของสมการ $\%std = \sqrt{r/2RC}$ (7) เมื่อ $r =$ อัตรานับรังสีเฉลี่ย และ RC คือ ความไวในการตอบสนองอัตรานับรังสี หรือ time constant เมื่อพิจารณาระดับคอนทราสต์ของ step wedge จะเห็นความแตกต่างของระดับคอนทราสต์ 7 ระดับ

รูปที่ 4.6 ภาพที่ได้จากการใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรานับรังสี 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มความไวของการตอบสนองผลการวัดอัตรานับรังสี. ภาพที่ได้มีรายละเอียดชัดเจนขึ้น

รูปที่ 4.7 ภาพที่ได้จากการใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรานับรังสี 15 เปอร์เซ็นต์ จะให้ภาพที่มีรายละเอียดชัดเจนกว่าการใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 10 เปอร์เซ็นต์

2. ผลการทดลองใช้ช่องบังคัมลาร์รังสี 1 มิลลิเมตร สร้างภาพโดยเลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรานับรังสี 3 เปอร์เซ็นต์ 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาสแกน 35 นาที เปรียบเทียบกับการใช้ช่องบังคัมลาร์รังสี 3 มิลลิเมตร ได้ผลดังนี้

รูปที่ 4.8 การใช้ช่องบังคัมลาร์รังสีเล็กลง อัตรานับรังสีที่วัดได้จะลดลง ดังนั้นเมื่อใช้เวลาในการสแกนเท่ากับช่องบังคัมลาร์รังสีขนาด 3 มิลลิเมตร และใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3 เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ปรากฏจะมีลักษณะเลอะเลือน และระดับคอนทราสต์เหมือนกัน

รูปที่ 4.9 ภาพที่ได้จากการใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณวัดรังสี 10 เปอร์เซ็นต์ จะให้ภาพที่ชัดเจนขึ้น และมีคอนทราสต์ดีกว่ารูปที่ 4.7 ซึ่งให้ช่องบังคัมลาร์รังสีขนาด 3 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.10 เมื่อใช้สภาวะการสร้างภาพเช่นเดียวกับรูปที่ 4.9 แต่ใช้เวลาสร้างภาพนานกว่า ความชัดเจนของภาพจะไม่แตกต่างกันมากนัก

รูปที่ 4.11 จากการทดลองในรูปที่ 4.10 จึงลดเวลาลงเป็น 35 นาที หรือที่ความเร็วในการสแกน 5.48 เซนติเมตรต่อนาที และใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 15 เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ได้จะมองเห็นเส้นลวดทดสอบ IQI หมายเลข 6 ได้ชัดเจนกว่าภาพในรูปที่ 4.9

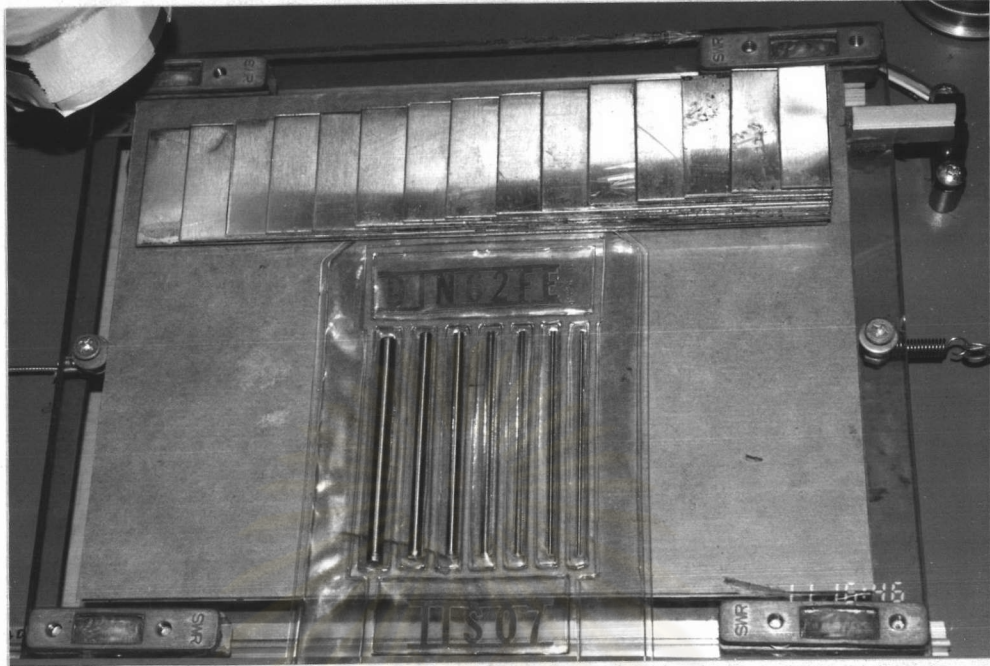
รูปที่ 4.12 การพิจารณาคุณภาพของภาพที่ได้จากการสร้างภาพในสภาพที่แสดงคอนทราสต์ด้วยระดับของสี 16 ระดับ และแสดงข้อมูลภาพในแบบลอการิทึมจะทำให้แยกความแตกต่างได้ยาก เมื่อทดลองปรับสเกลของระดับคอนทราสต์ของข้อมูลให้เป็นเชิงเส้นภาพจากรูปที่ 4.10 จะแยกความแตกต่างของเส้นลวดทดสอบหมายเลข 6 ได้ชัดเจนกว่า

3. ผลของการจัดระดับต่ำสุดของคอนทราสต์ และปรับแก้ความสัมพันธ์ของสีในระดับคอนทราสต์ต่างๆ ให้มีโทนสีไล่กัน จะช่วยให้อ่านภาพได้สะดวกขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางที่นำมาสร้างเป็นภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.15

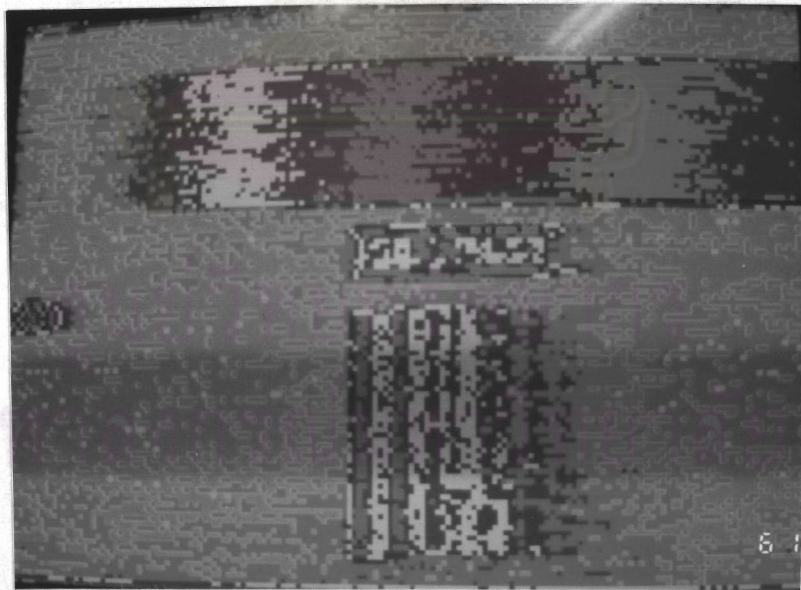
รูปที่ 4.13 เป็นการเปรียบเทียบการปรับระดับคอนทราสต์และแสดงผลในลักษณะเชิงเส้นเปรียบเทียบกับการแสดงผลลักษณะลอการิทึม ในรูปที่ 4.13 ก แสดงภาพแบบลอการิทึมด้วยข้อมูลที่เก็บโดยตรง และรูปที่ 4.13 ข เมื่อตัดระดับคอนทราสต์ด้านต่ำออก ในขณะที่รูปที่ 4.13 ค แสดงภาพแบบเชิงเส้นด้วยข้อมูลที่เก็บได้โดยตรง เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.13 ง เมื่อตัดระดับคอนทราสต์ด้านต่ำออกจะมีความชัดเจนขึ้น

รูปที่ 4.13 แสดงภาพที่สร้างจากสิ่งของบรรจุในกล่องกระดาษซึ่งจะมองเห็นขอบกล่องและวัสดุภายในในระดับคอนทราสต์ต่างกัน ลำดับภาพบนจอภาพจัดกระบวนการเดียวกันกับรูปที่ 4.12

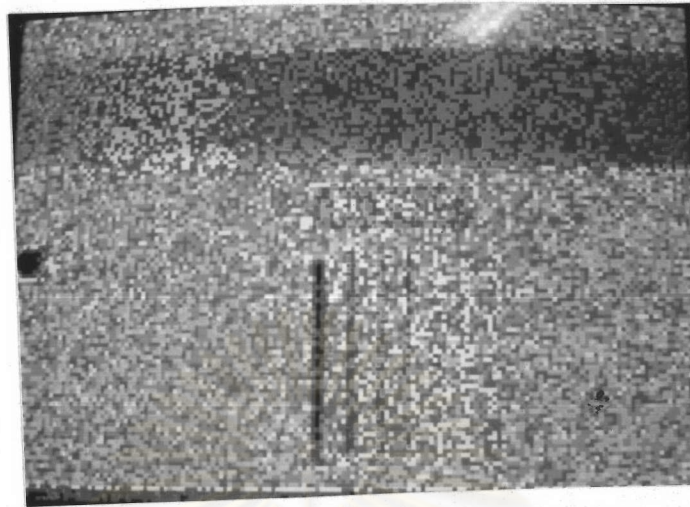
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



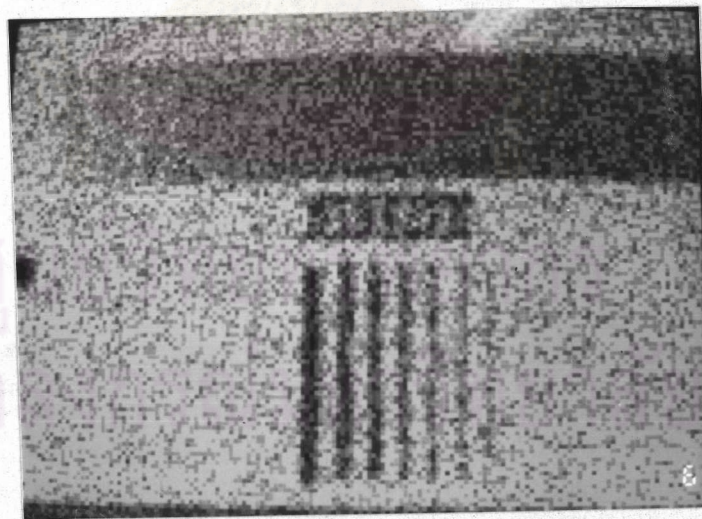
รูปที่ 4.4 step wedge และเส้นลวดทดสอบ IQI ที่นำมาสแกนเพื่อทดสอบคุณภาพของภาพ



รูปที่ 4.5 ภาพจากการทดสอบคุณภาพของภาพโดยใช้ข้อมูลวัดลักษณะลอการิทึม
เมื่อใช้ช่องบั้งค้ำลำรังสี 3 มิลลิเมตร, std 3%,
ความเร็วในการสแกน 5.48 cm/min, ใช้เวลาสแกน 35 นาที



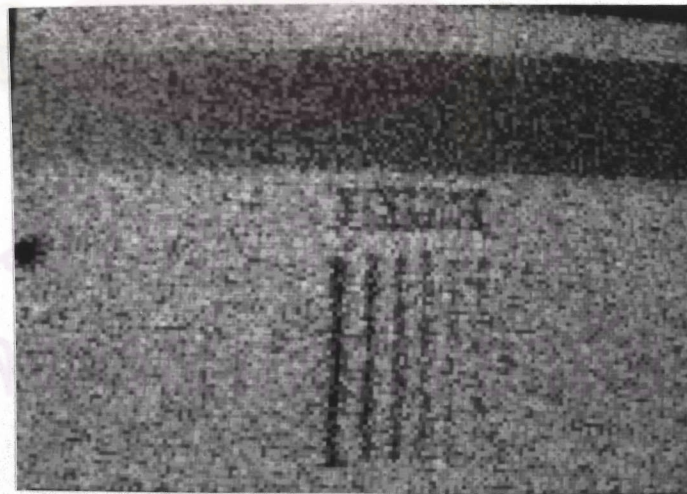
รูปที่ 4.6 ภาพจากการทดสอบคุณภาพของภาพโดยใช้ข้อมูลวัดลักษณะลอกการิทึม
เมื่อใช้ช่องบังค้ำลำรังสี 3 มิลลิเมตร, std 10%
ความเร็วในการสแกน 5.48 cm/min, ใช้เวลาสแกน 35 นาที



รูปที่ 4.7 ภาพจากการทดสอบคุณภาพของภาพโดยใช้ข้อมูลวัดลักษณะลอกการิทึม
เมื่อใช้ช่องบังค้ำลำรังสี 3 มิลลิเมตร, std 15%
ความเร็วในการสแกน 5.48 cm/min, ใช้เวลาสแกน 35 นาที



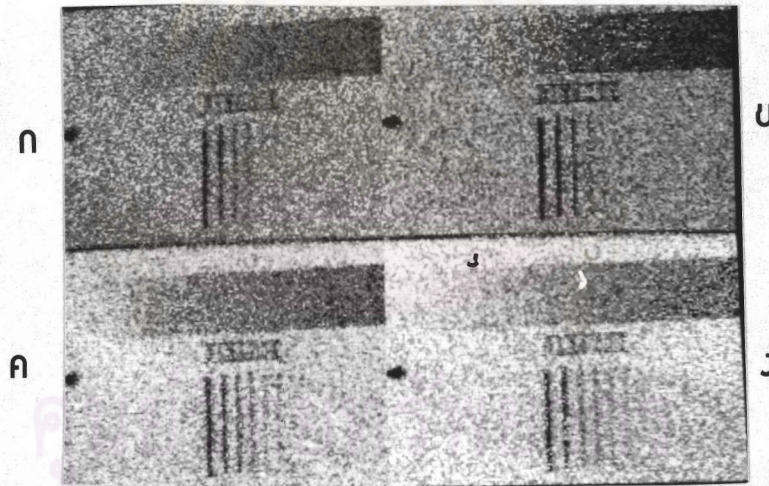
รูปที่ 4.8 ภาพจากการทดสอบคุณภาพของภาพโดยใช้ข้อมูลวัตุลักษณะลอกการิทึม
เมื่อใช้ช่องบังคับลำรังสี 1 มิลลิเมตร, std 3%
ความเร็วในการสแกน 5.48 cm/min, ใช้เวลาสแกน 35 นาที



รูปที่ 4.9 ภาพจากการทดสอบคุณภาพของภาพโดยใช้ข้อมูลวัตุลักษณะลอกการิทึม
เมื่อใช้ช่องบังคับลำรังสี 1 มิลลิเมตร, std 10%
ความเร็วในการสแกน 5.48 cm/min, ใช้เวลาสแกน 35 นาที



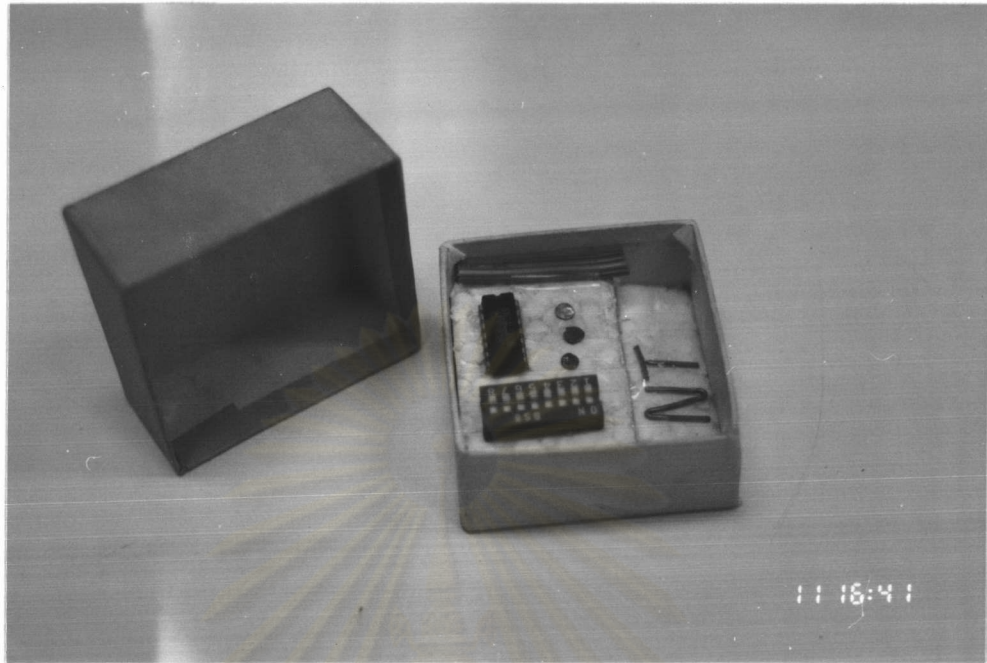
รูปที่ 4.12 ภาพจากการทดสอบคุณภาพของภาพจากข้อมูลวัดลักษณะเชิงเส้น
เมื่อใช้สภาวะสร้างภาพเช่นเดียวกับรูปที่ 4.11



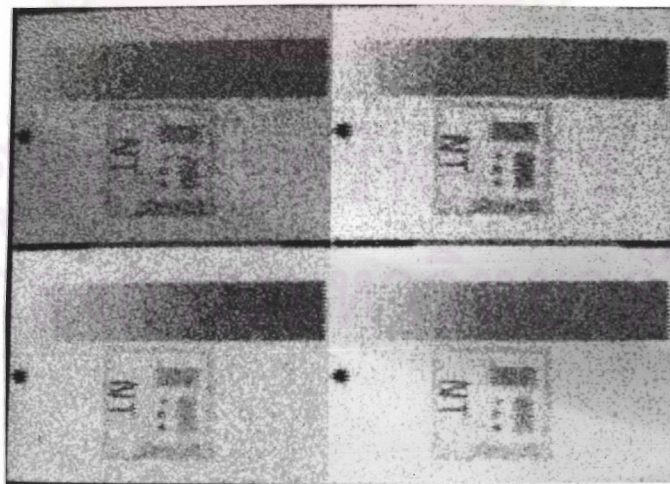
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพเมื่อใช้ช่องบังค้ำลำรังสี 1 mm,

std 15%, ความเร็วในการสแกน 5.48 cm/min, ใช้เวลาสแกน 35 นาที

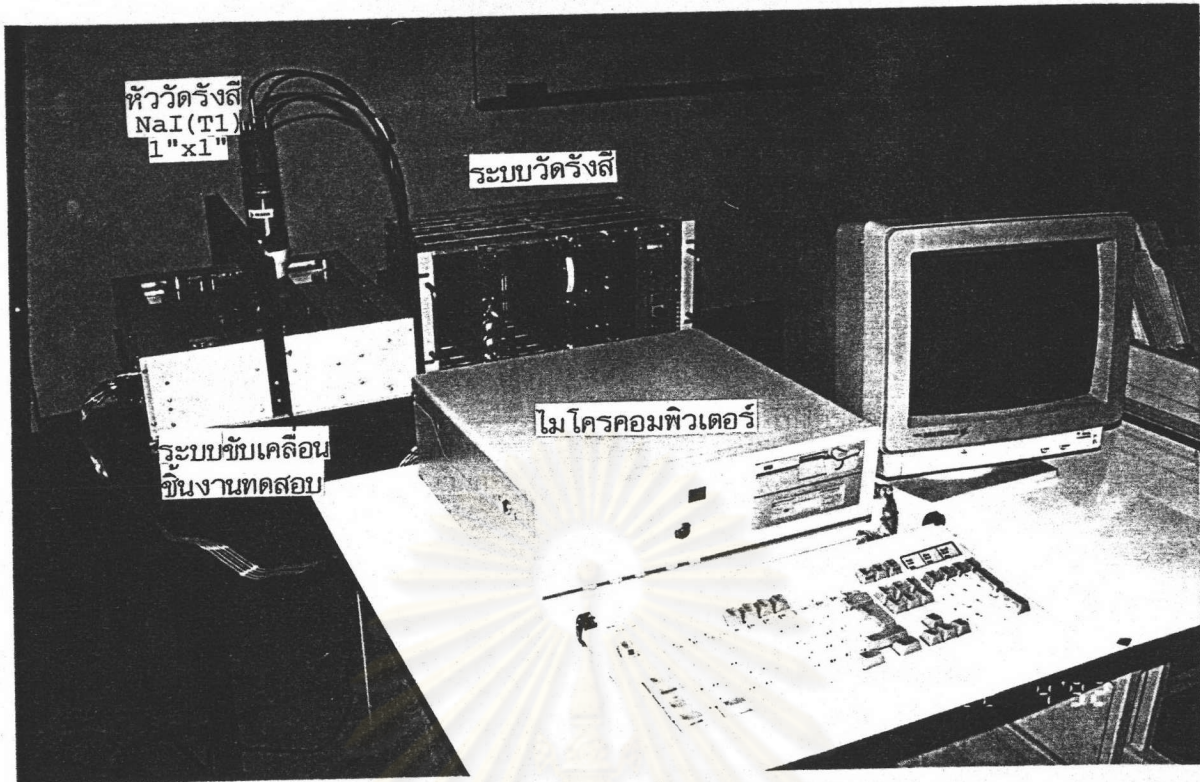
- ก. แสดงภาพด้วยระดับคอนทราสต์แบบลอการิทึม จากข้อมูลที่ได้โดยตรง
- ข. แสดงภาพด้วยระดับคอนทราสต์แบบลอการิทึม ตัดระดับคอนทราสต์ด้านต่ำ
- ค. แสดงภาพด้วยระดับคอนทราสต์แบบเชิงเส้น จากข้อมูลที่ได้โดยตรง
- ด. แสดงภาพด้วยระดับคอนทราสต์แบบเชิงเส้น ตัดระดับคอนทราสต์ด้านต่ำ



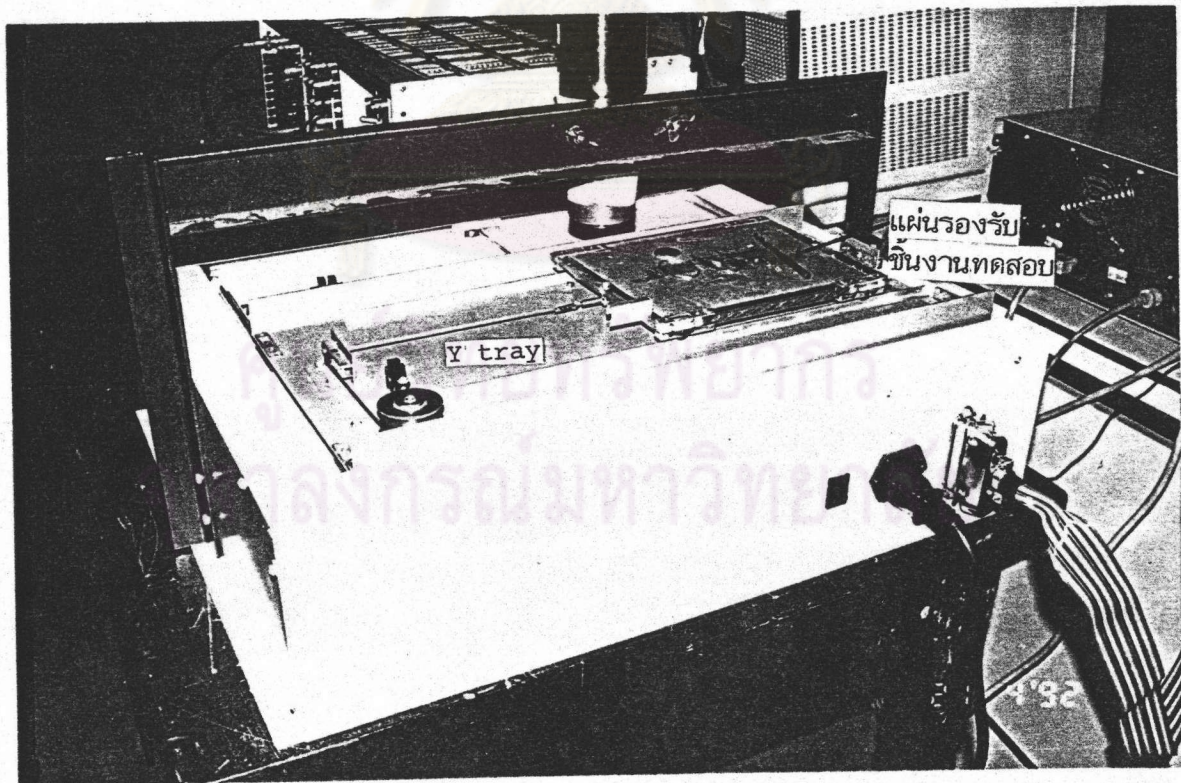
รูปที่ 4.14 แสดงวัตถุภายในกล่องพลาสติกปิด



รูปที่ 4.15 ภาพจากการสแกนหาวัตถุภายในกล่องพลาสติกปิด



รูปที่ 4.16 ระบบขับเคลื่อนชิ้นงานที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 4.17 ระบบสร้างภาพฉายสองมิติขณะทำการทดสอบ