

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองหาประสิทธิภาพในการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงสำหรับโหลดก่าเน็ดริงทีเอ็กซ์ที่พัฒนาขึ้นแบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ดังนี้ ส่วนแรกเป็นการทดสอบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงสำหรับโหลดก่าเน็ดริงทีเอ็กซ์ ส่วนที่สองเป็นการทดลองถ่ายภาพรังสีเอ็กซ์ด้วยโหลดก่าเน็ดริงทีเอ็กซ์โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำแบบความถี่ต่ำ ส่วนท้ายเป็นการทดลองถ่ายภาพรังสีเอ็กซ์เปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ต่ำ 100Hz

#### 4.1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงสำหรับโหลดก่าเน็ดริงทีเอ็กซ์

การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงสำหรับโหลดก่าเน็ดริงทีเอ็กซ์นั้น จะเป็นการทดสอบหาประสิทธิภาพของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงสำหรับโหลดก่าเน็ดริงทีเอ็กซ์ที่ขนาดศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าต่างๆ โดยใช้โพลครนิคตัวต้านทานแทนโหลดก่าเน็ดริงทีเอ็กซ์ ซึ่งจะมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

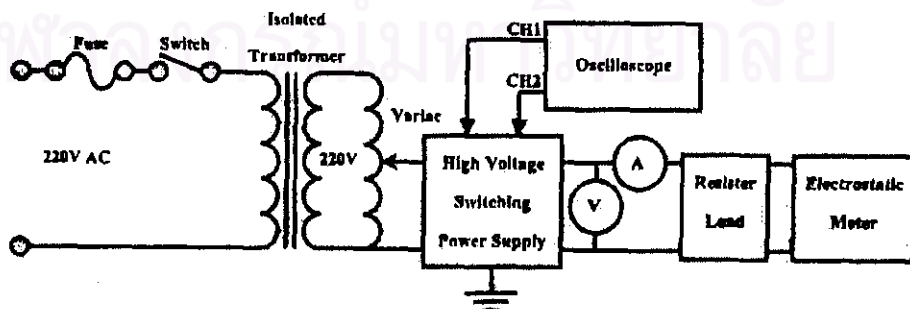
##### ก. อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงสำหรับโหลดก่าเน็ดริงทีเอ็กซ์ที่พัฒนาขึ้น
2. โพลครนิคตัวต้านทานที่ใช้แทนโหลดก่าเน็ดริงทีเอ็กซ์
3. มิเตอร์วัดไฟฟ้าศักดาสูง (Electrostatic Meter) ของ Electrical Instrument Service Model ESH No. ES-12228.
4. อุปกรณ์ปรับค่าศักดาไฟฟ้า (Variac) ของ Matsunaga Co.,Ltd No.4076. ขนาด 4 kVA
5. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Oscilloscope) ของ Tektronix Model TDS360.
6. หม้อแปลงไฟฟ้า 220/220V แบบแยกขด (Isolate Transformer)

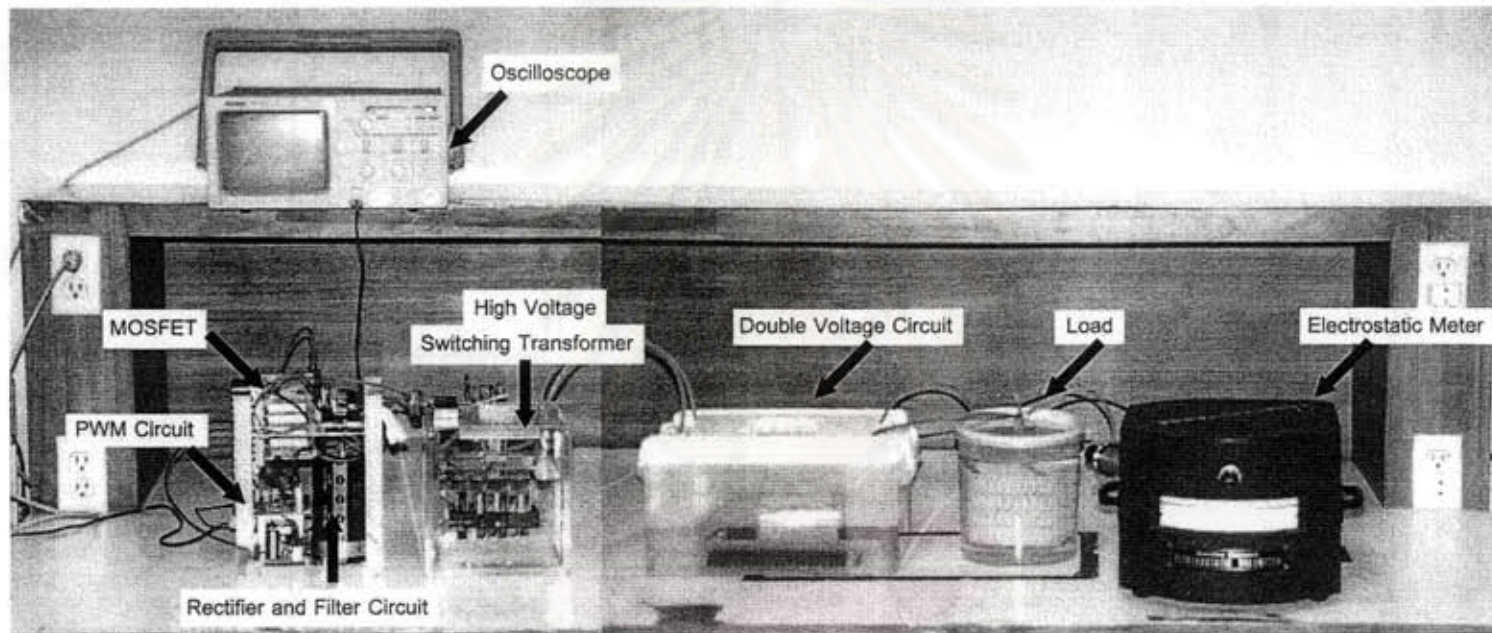
7. มิเตอร์วัดศักดาไฟฟ้า ของ Fluke. Model 73III
8. มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า ของ Yokokawa. Model 7537 04

#### ข. ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ทดสอบการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงดังแผนภาพในรูปที่ 4.1
2. ปรับ Variac ให้ศักดาไฟฟ้าที่จ่ายออกอยู่ที่ตำแหน่ง 0 โวลต์และจ่ายไฟฟ้าเข้า Isolation Transformer
3. จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบโดยปรับ Variac ที่ 20 V ac ใช้ Oscilloscope จับสัญญาณที่ขา 13 ของ IC SG3526 ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมขาเกตของมอสเฟต ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.3
4. จับสัญญาณที่ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) ของมอสเฟต จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.4 แปรเปลี่ยนความถี่เพื่อหาประสิทธิภาพของแกน พบว่าแกนที่ออกแบบทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 6 kHz จึงเลือกความถี่นี้เป็นความถี่สวิตซ์ของวงจร
5. ทดสอบการจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงสุดของระบบโดยเพิ่มศักดาไฟฟ้าด้านทางเข้าจาก 0 จนถึงศักดาไฟฟ้าสูงสุด 220V ac
6. ที่ศักดาไฟฟ้าสูงสุดทดลองโหลดตัวต้านทานและอ่านค่ากระแสไฟฟ้า ได้ผลตามตารางที่ 4.1 และเส้นกราฟที่ 4.5
7. ทดสอบความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าขาเข้าและขาออกที่โหลดขนาด 4, 8, 12, 16, 20  $M\Omega$  และปรับศักดาไฟฟ้าจาก 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 kV ตามลำดับ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2 ถึง 4.6 และเส้นกราฟรูปที่ 4.6 ถึง 4.10 ตามลำดับ

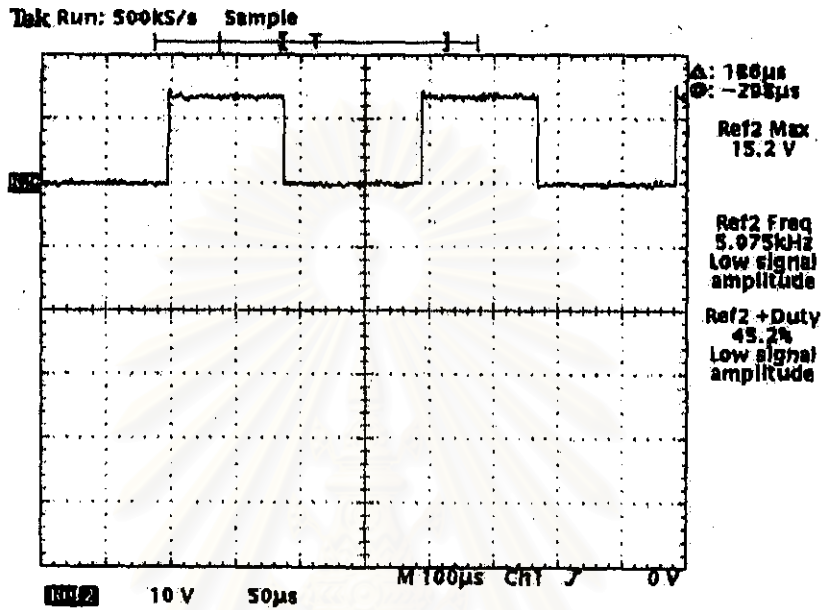


รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบ

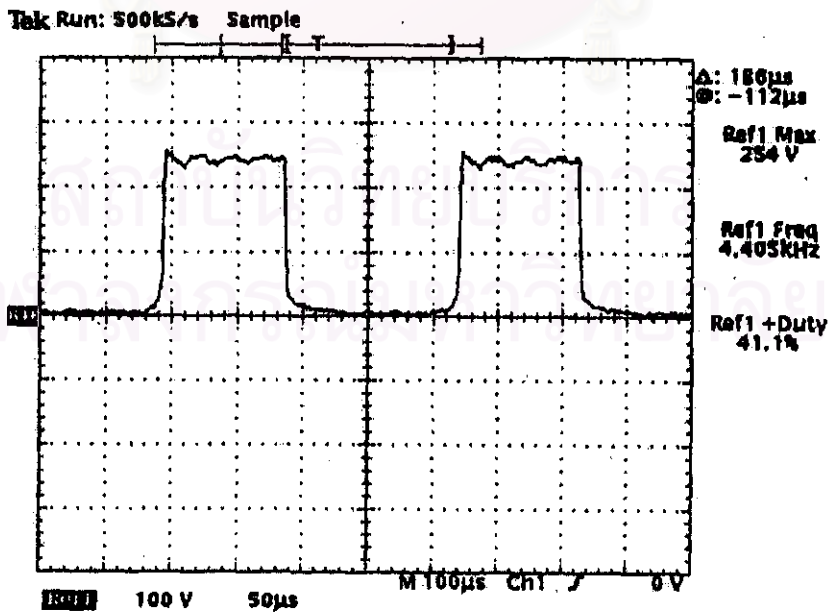


สถาบันวิทยบริการ  
รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์การทดสอบการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ค่าสูง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ก. ผลการทดลอง



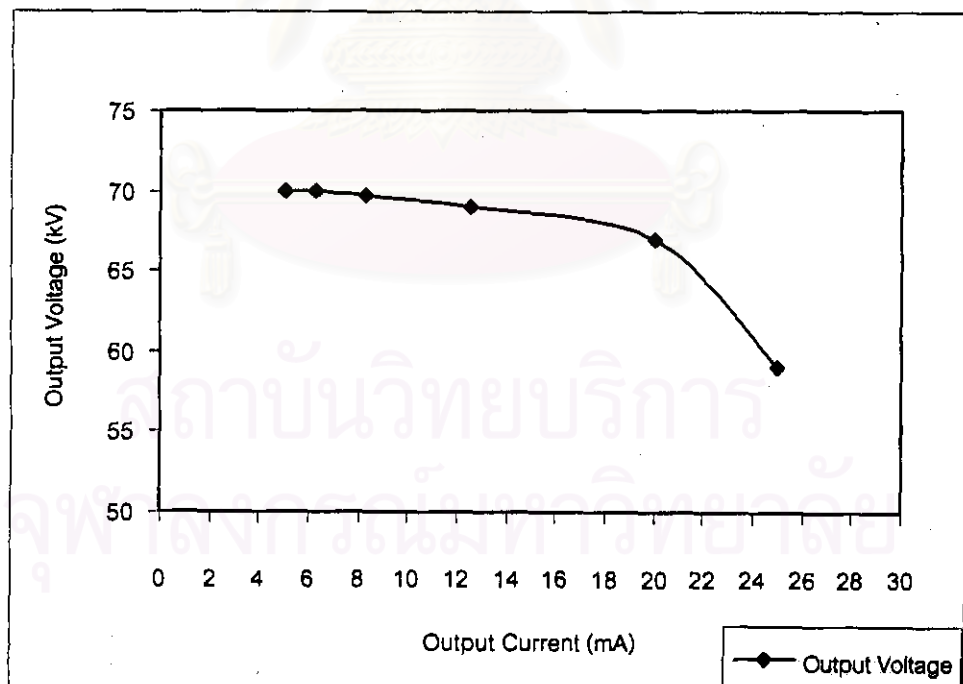
รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณจาก IC SG3526



รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณที่ขาเดรน (D) และขาซอร์ต (S) ของมอสเฟต

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ศักดาไฟฟ้า 70 kV

ลำดับที่	Resister Load (MΩ)	กระแสไฟฟ้าด้านทางออก (mA)	ศักดาไฟฟ้าด้านทางออก (kV)
1	20	5	70
2	16	6.25	70
3	12	8.33	69.7
4	8	12.5	69
5	5	20	67
6	4	25	59



รูปที่ 4.5 เส้นกราฟการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดที่ศักดาไฟฟ้า 70 kV

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่โหลดเท่ากับ 20 M $\Omega$ 

No.	$V_i$ (V)	$V_o$ (kV)	$I_i$ (A)	$I_o$ (mA)	$R_L$ (M $\Omega$ )	$\eta$ (%)
1	30	10	0.28	0.5	20	59.52
2	51	20	0.56	1.0	20	70.03
3	65	30	0.89	1.5	20	77.79
4	84	40	1.30	2.0	20	73.26
5	106	50	1.55	2.5	20	76.08
6	134	60	1.80	3.0	20	74.63
7	176	70	1.92	3.5	20	72.50

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่โหลดเท่ากับ 16 M $\Omega$ 

No.	$V_i$ (V)	$V_o$ (kV)	$I_i$ (A)	$I_o$ (mA)	$R_L$ (M $\Omega$ )	$\eta$ (%)
1	32	10	0.30	0.625	16	65.10
2	53	20	0.65	1.25	16	72.57
3	67	30	0.98	1.875	16	74.30
4	87	40	1.30	2.5	16	75.13
5	110	50	1.53	3.125	16	73.98
6	138	60	1.92	3.75	16	73.44
7	181	70	2.32	4.375	16	72.93

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่โหลดเท่ากับ  $12\text{ M}\Omega$ 

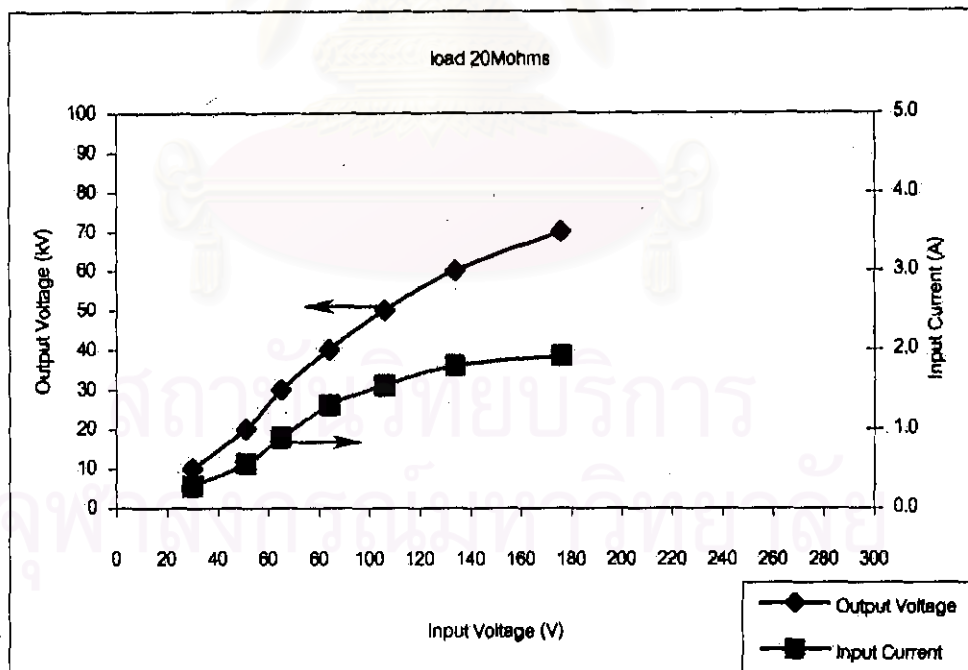
No.	$V_i$ (V)	$V_o$ (kV)	$I_i$ (A)	$I_o$ (mA)	$R_L$ (M $\Omega$ )	$\eta$ (%)
1	39	10	0.39	0.83	12	54.79
2	60	20	0.82	1.67	12	67.75
3	75	30	1.42	2.5	12	70.42
4	93	40	1.98	3.33	12	72.41
5	125	50	2.22	4.17	12	75.08
6	152	60	2.62	5.0	12	75.33
7	193	70	2.78	5.83	12	76.10

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองที่โหลดเท่ากับ  $8\text{ M}\Omega$ 

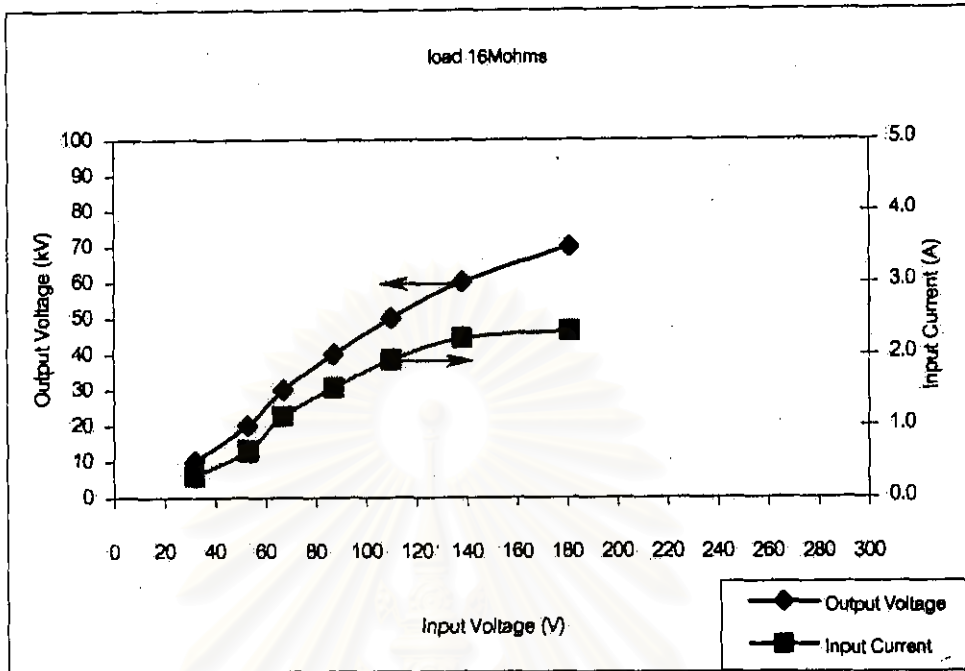
No.	$V_i$ (V)	$V_o$ (kV)	$I_i$ (A)	$I_o$ (mA)	$R_L$ (M $\Omega$ )	$\eta$ (%)
1	42	10	0.45	1.25	8	66.14
2	66	20	1.02	2.5	8	74.27
3	82	30	1.78	3.75	8	77.08
4	115	40	2.23	5.0	8	77.99
5	146	50	2.71	6.25	8	82.37
6	178	60	3.18	7.50	8	79.50
7	220	70	3.5	8.75	8	79.55

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองที่โหลดเท่ากับ  $4\text{ M}\Omega$ 

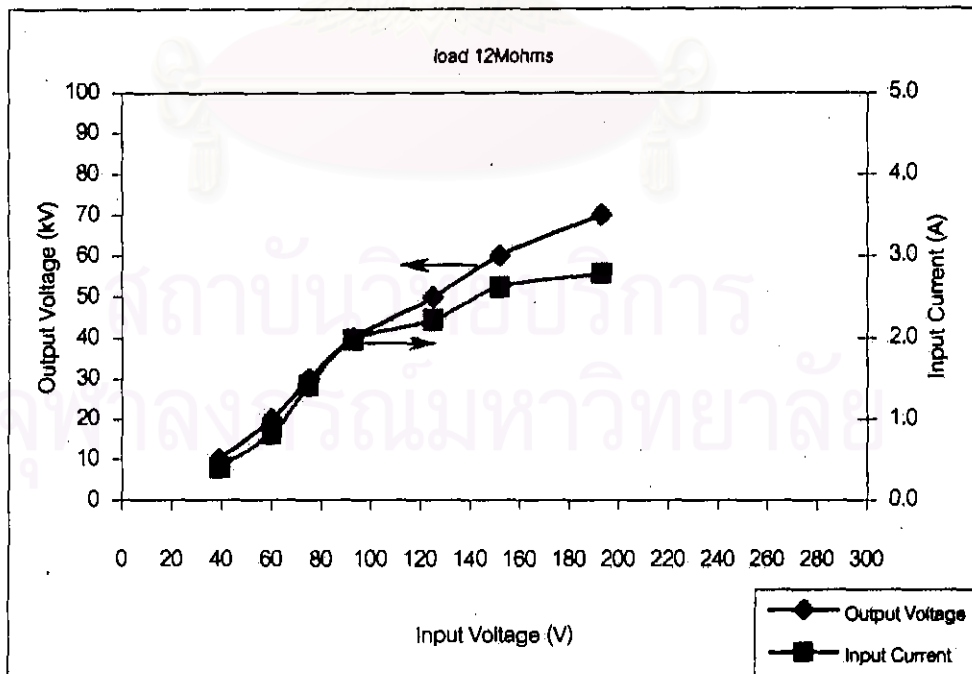
No.	$V_i$ (V)	$V_o$ (kV)	$I_i$ (A)	$I_o$ (mA)	$R_L$ ( $\text{M}\Omega$ )	$\eta$ (%)
1	50	10	0.80	2.5	4	62.5
2	75	20	1.80	5.0	4	74.07
3	125	30	2.40	7.5	4	75
4	159	40	3.18	10.0	4	79.11
5	220	50	3.40	12.5	4	83.56
6	260	60	4.11	15.0	4	84.22
7	280	70	5.17	17.5	4	84.62

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงที่โหลดเท่ากับ  $20\text{ M}\Omega$

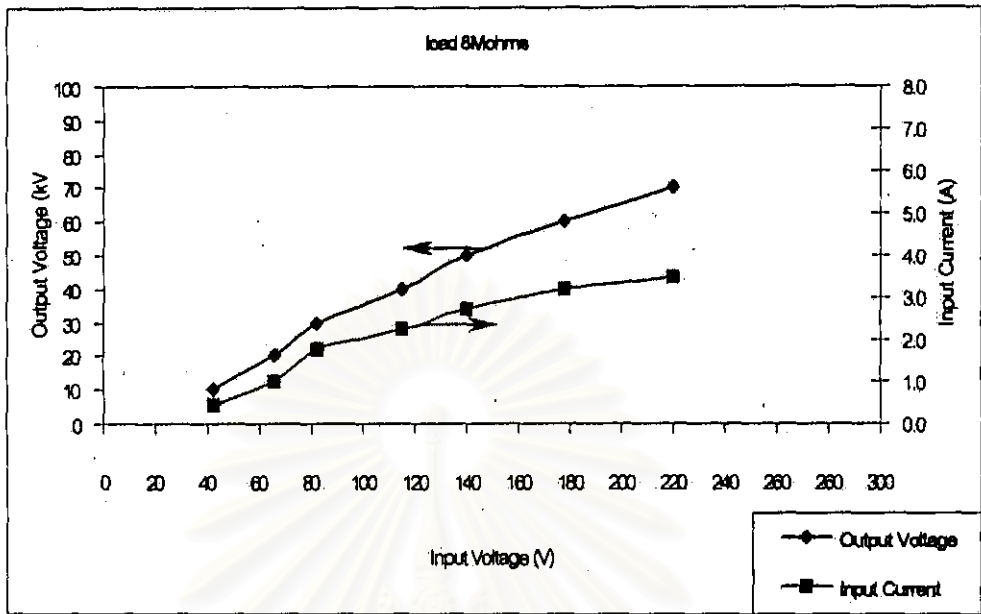




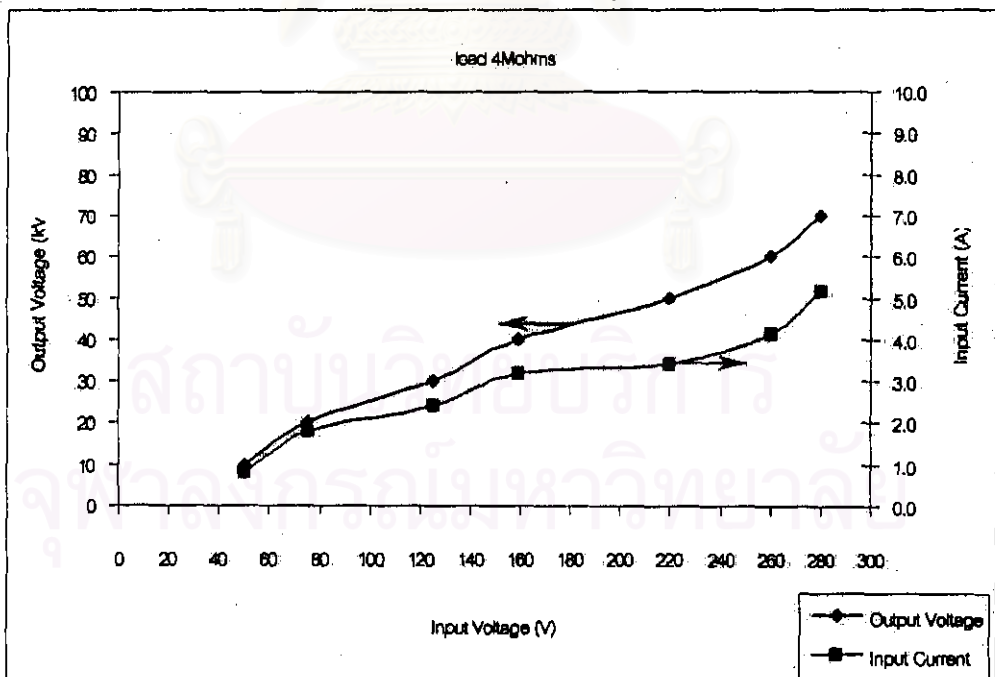
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงที่โหลดเท่ากับ 16 MΩ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงที่โหลดเท่ากับ 12 MΩ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงที่โหลดเท่ากับ 8 MΩ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงที่โหลดเท่ากับ 4 MΩ

#### 4.2 การทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์ด้วยหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า ศักดาสูงแบบสวิตชิง

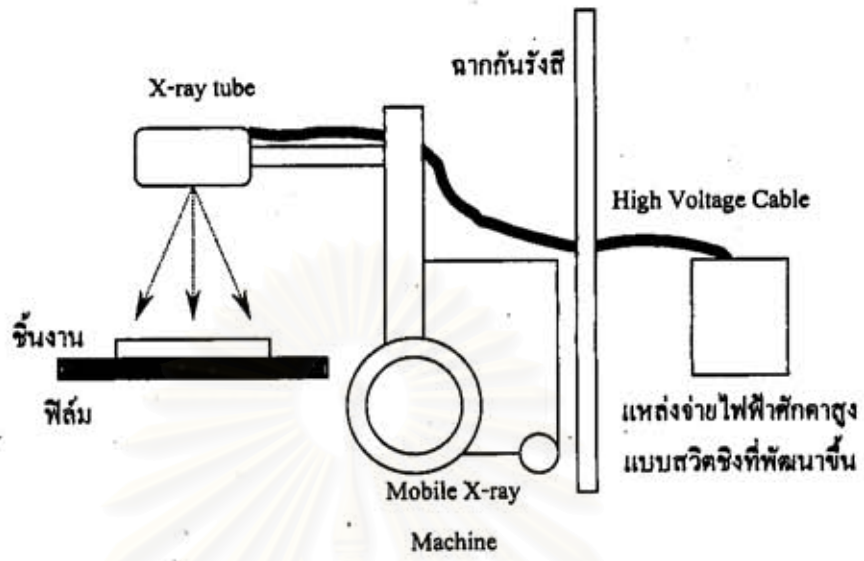
การทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์ด้วยหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า  
ศักดาสูงแบบสวิตชิงนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาค่าจุดได้หลอดความถี่ต่ำของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์  
โดยมีขั้นตอนดังนี้

##### ก. อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

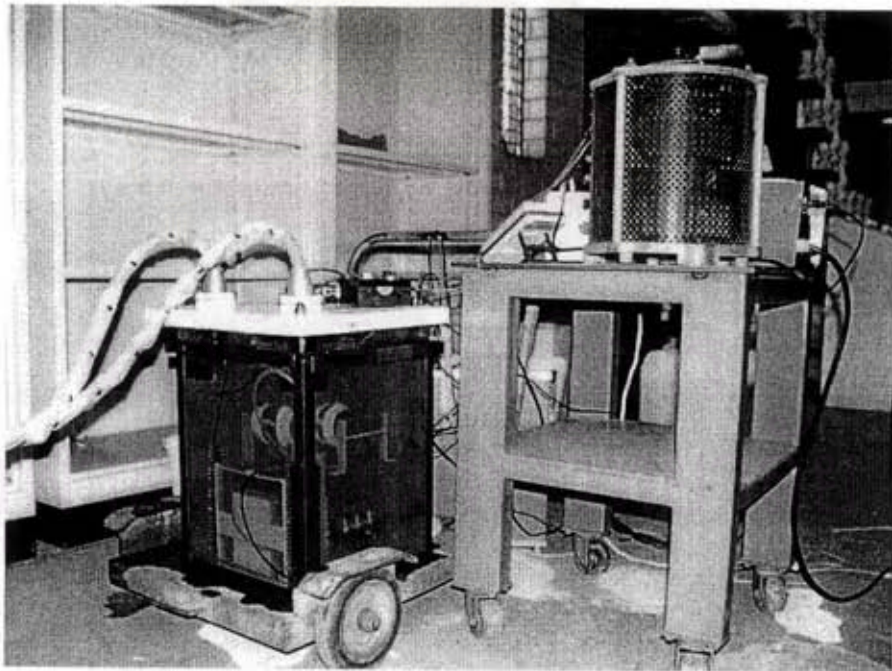
1. แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงที่พัฒนาขึ้น
2. หม้อแปลงไฟฟ้าศักดาค่าจุดได้หลอด
3. อุปกรณ์ปรับค่าศักดาไฟฟ้าของ Matsunaga Co.,Ltd No.4076.  
ขนาด 4 kVA
4. เครื่องอ่านรูปสัญญาณของ Tektronix Model TDS360.
5. หม้อแปลงไฟฟ้า 220/220V แบบแยกขด
6. มิเตอร์วัดศักดาไฟฟ้า ของ Fluke Model 73III
7. มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า ของ Yokokawa. Model 7537 04.
8. ฟิล์มถ่ายภาพของ Fuji ID No. 03E010 New RX ขนาด 35x43cm
9. ชิ้นงานทดสอบ
10. Step Wedge อะลูมิเนียม ชนิดความหนาชั้นละ 1 mm 30 ชั้น
11. IQI DIN62FE IIS07 และ DIN62FE 6 ISO 13
12. เครื่องสแกนความดำภาพที่พัฒนาจาก Densitometer ของ Sakura

##### ข. ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมชิ้นงาน ฟิล์มและจัดระบบการทดลองดังในรูปที่ 4.11 ถึง 4.12
2. ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ระยะห่างระหว่างหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์กับฟิล์มเท่า  
กับ 100 cm โดยไม่มีฟิลเตอร์
3. ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ศักดาไฟฟ้าเท่ากับ  $50 kV_p$  และ  $100 kV_p$  ที่ Exposure  
2.4 mAs
4. ผลของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์แสดงในรูปที่ 4.13 ถึง 4.14



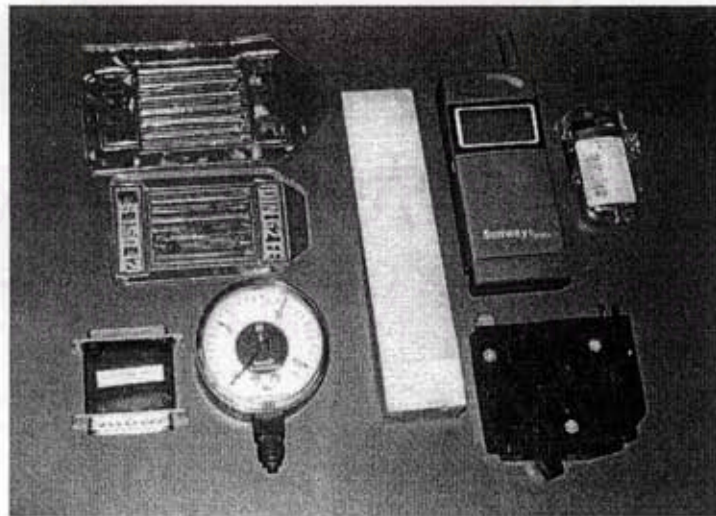
รูปที่ 4.11 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดลอง



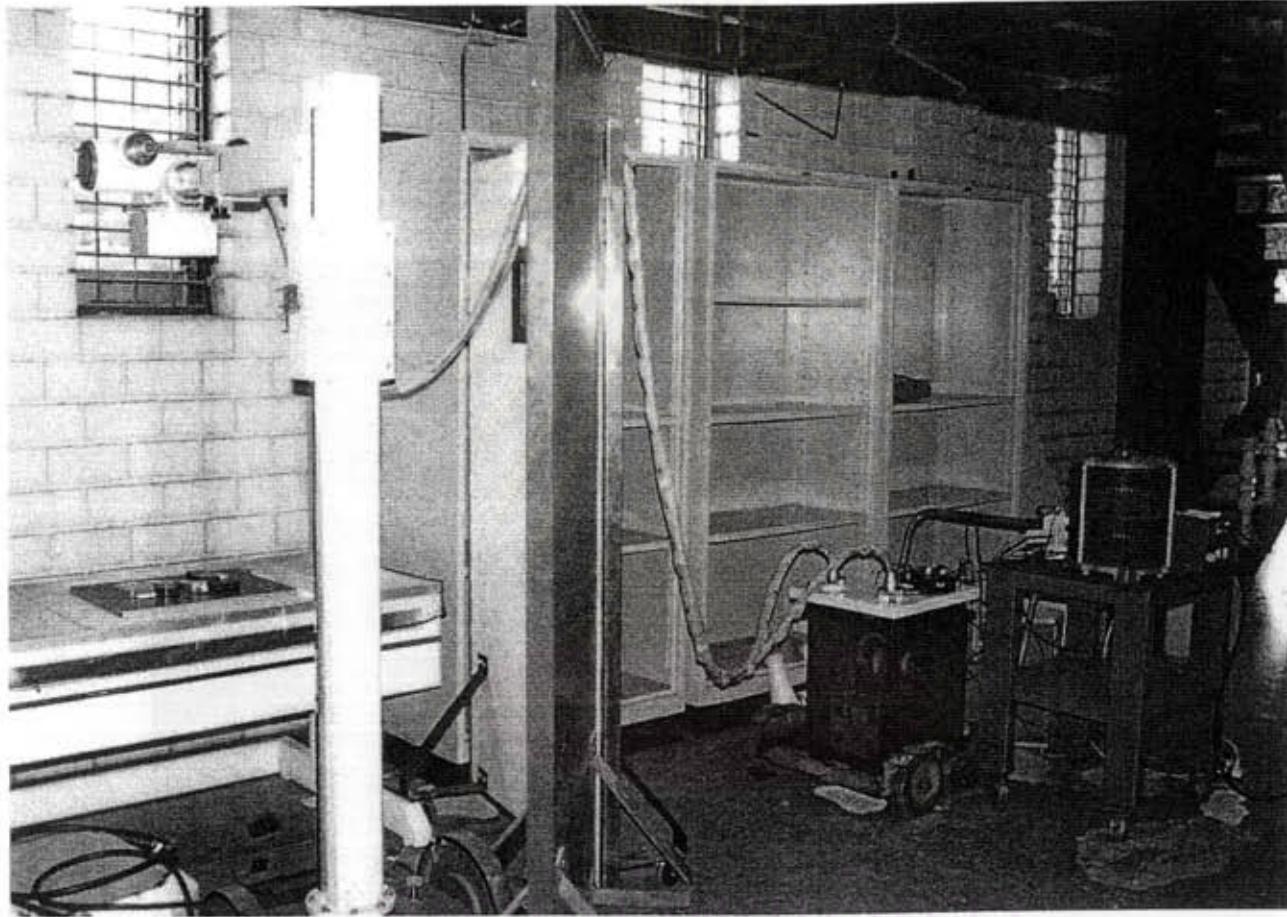
ก. แสดงแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์



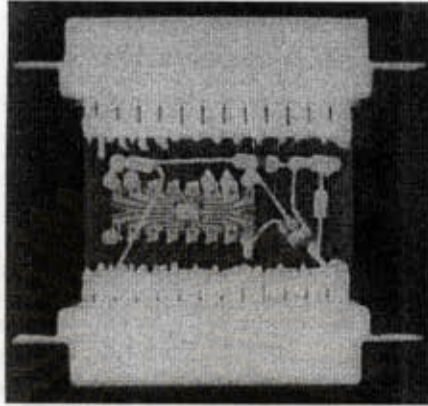
ข. แสดงการจัดวางฟิล์ม ชั้นงานทดสอบและหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

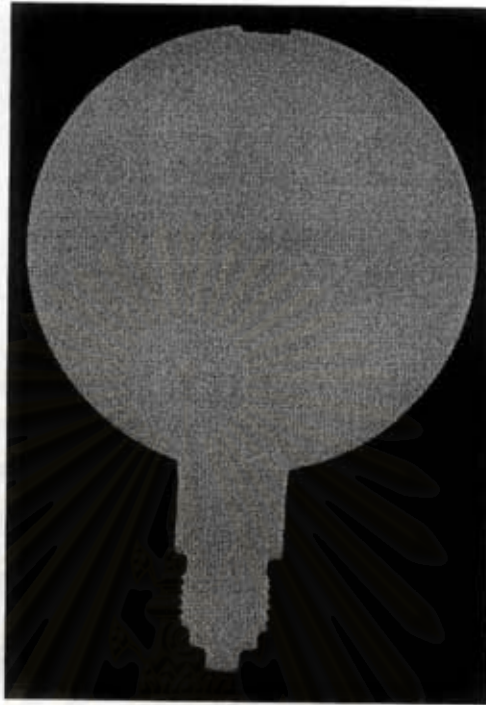


ค. แสดงการจัดวางฟิล์มและชั้นงานทดสอบ



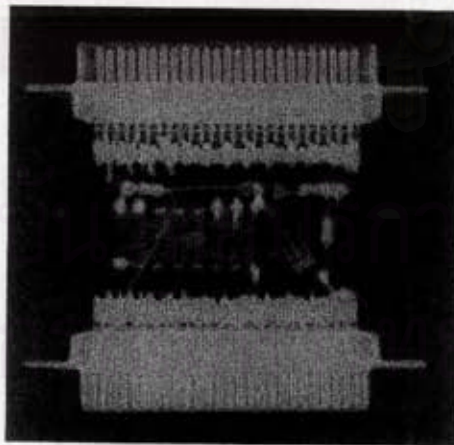
ง. แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลอง  
รูปที่ 4.12 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลอง

**ผลการทดลอง****ก. hardlock****ข. Circuit Breaker**



ก. gage

4.13 ภาพถ่ายชิ้นงานทดสอบที่  $50\text{ kV}_p$  ที่ Exposure  $2.4\text{ mAs}$

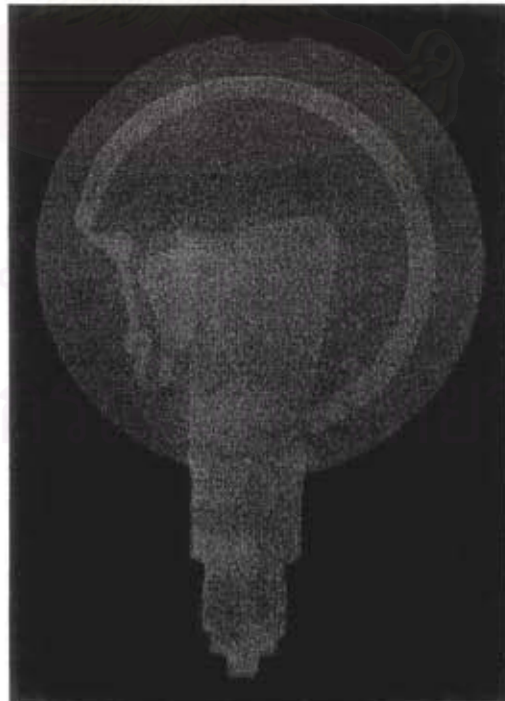


ก. hardlock





ข. Circuit Breaker



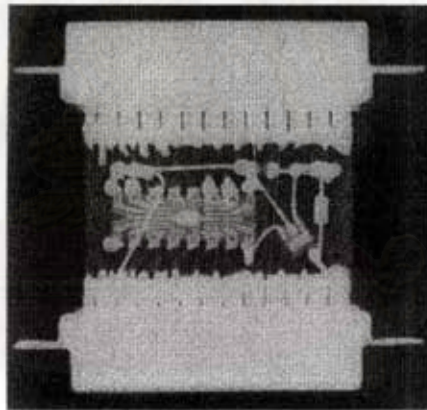
ค. Gage

4.14 ภาพถ่ายชิ้นงานทดสอบที่  $100\text{ kV}_p$  ที่ Exposure  $2.4\text{ mAs}$

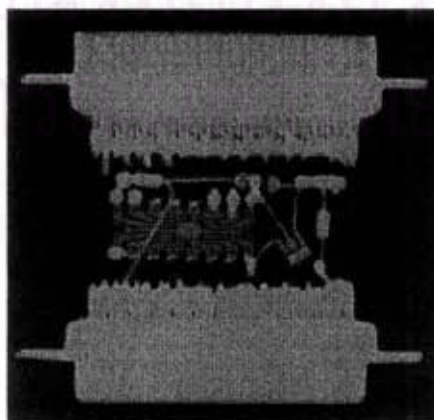
#### 4.3 การทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์เปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบความถี่ต่ำ

##### 4.3.1 การทดลองถ่ายภาพชิ้นงานเปรียบเทียบคุณภาพของภาพ

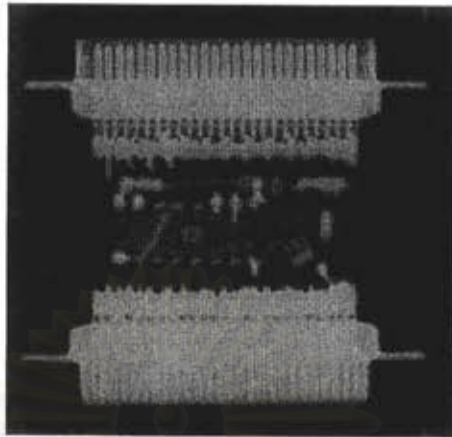
การทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์นี้ใช้ระบบจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตซิงที่พัฒนาขึ้นถ่ายภาพชิ้นงานเปรียบเทียบกับระบบจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบความถี่ต่ำโดยความเอื้อเฟื้อของบริษัท กงศักดิ์ เอกซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด โดยใช้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ชุดเดียวกันที่  $50\text{ kV}_p$  และ  $100\text{ kV}_p$  โดยปรับ  $mAs$  และเปลี่ยนค่าเวลาเพื่อคุณภาพของภาพถ่ายที่ใกล้เคียงกัน พบว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบความถี่ต่ำจะใช้ Exposure สูงกว่า ที่ประมาณ  $8\text{ mAs}$  ดังแสดงภาพเปรียบเทียบในรูปที่ 4.15 ถึง 4.18



ก. ภาพจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตซิง Exposure  $2.4\text{ mAs}$



ข. ภาพจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบความถี่ต่ำ Exposure  $8\text{ mAs}$   
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบภาพถ่าย Hradlock ที่  $50\text{ kV}_p$



ก. ภาพจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิง Exposure 2.4 *mAs*



ข. ภาพจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบความถี่ต่ำ Exposure 8 *mAs*

รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบภาพถ่าย Hardlock ที่ 100 *kV<sub>p</sub>*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. ภาพจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์สูงแบบสวิดซิง Exposure 2.4 *mAs*



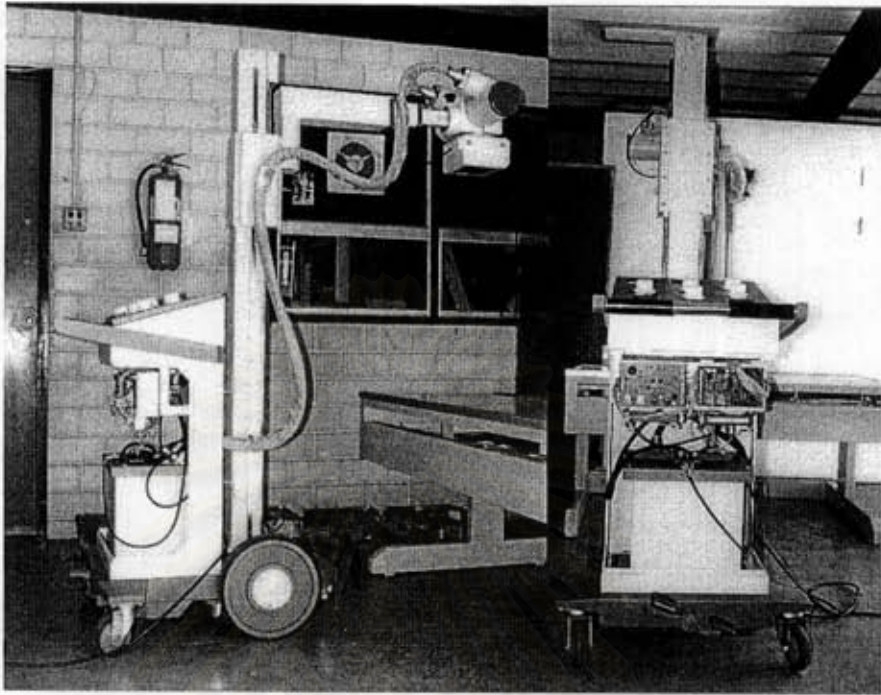
ข. ภาพจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์สูงแบบความถี่ต่ำ Exposure 8 *mAs*  
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบภาพถ่าย Circuit Breaker ที่ 50 *kV<sub>p</sub>*



ก. ภาพจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตซิ่งที่  $100\text{ kV}_p$  Exposure  $2.4\text{ mAs}$



ข. ภาพจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบความถี่ต่ำที่  $100\text{ kV}_p$  Exposure  $8\text{ mAs}$   
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบภาพถ่ายเบรคเกอร์



รูปที่ 4.19 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ซึ่งใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบความถี่ต่ำ

#### 4.3.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายด้วยเครื่องสแกนความดำภาพ

จากภาพถ่ายเปรียบเทียบระหว่างภาพชิ้นงานทดสอบที่ถ่ายด้วยหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ซึ่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงความถี่สูงที่พัฒนาขึ้นและแหล่งจ่ายไฟฟ้าความถี่ต่ำความถี่ต่ำ พบว่า แนวโน้มของภาพค่อนข้างชัดเจนกว่า จึงได้ใช้เครื่องสแกนความดำภาพ เพื่อสร้างสัญญาณ Density Line Profile จากภาพถ่าย IQI DIN62FE IIOS7 ซึ่งถ่ายด้วยเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงที่  $50\text{ kV}$  Exposure  $2.4\text{ mAs}$  และเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แบบความถี่ต่ำที่  $50\text{ kV}$  Exposure  $8\text{ mAs}$  ในรูปที่ 4.20 ได้สัญญาณ Density Line Profile ดังกราฟรูปที่ 4.21 ก. และภาพขยายเส้นกราฟในรูปที่ 4.21 ข.

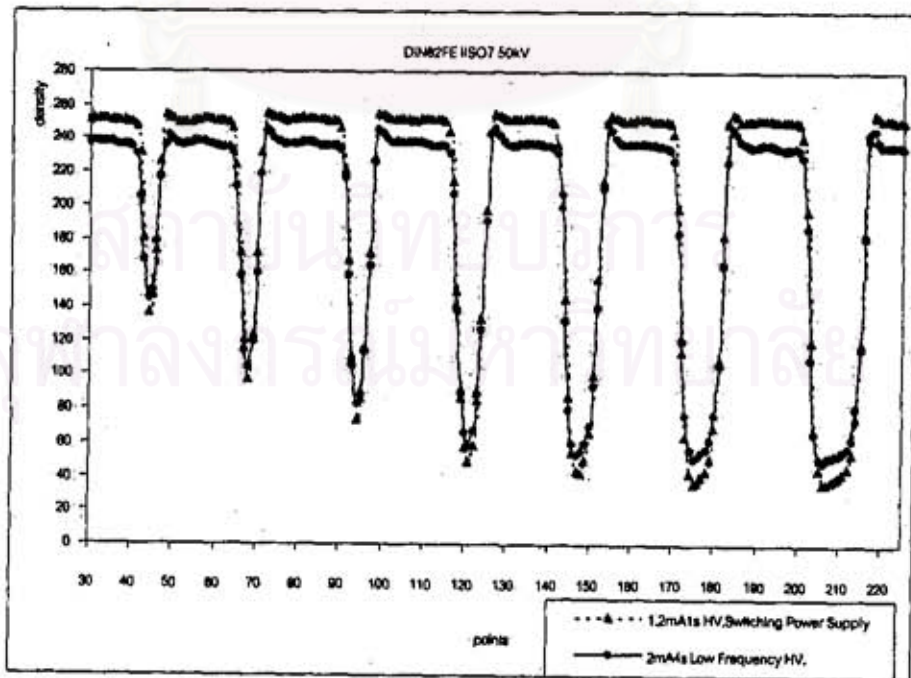


ก. ภาพถ่ายจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าสถิตสูงแบบสวิตชิง

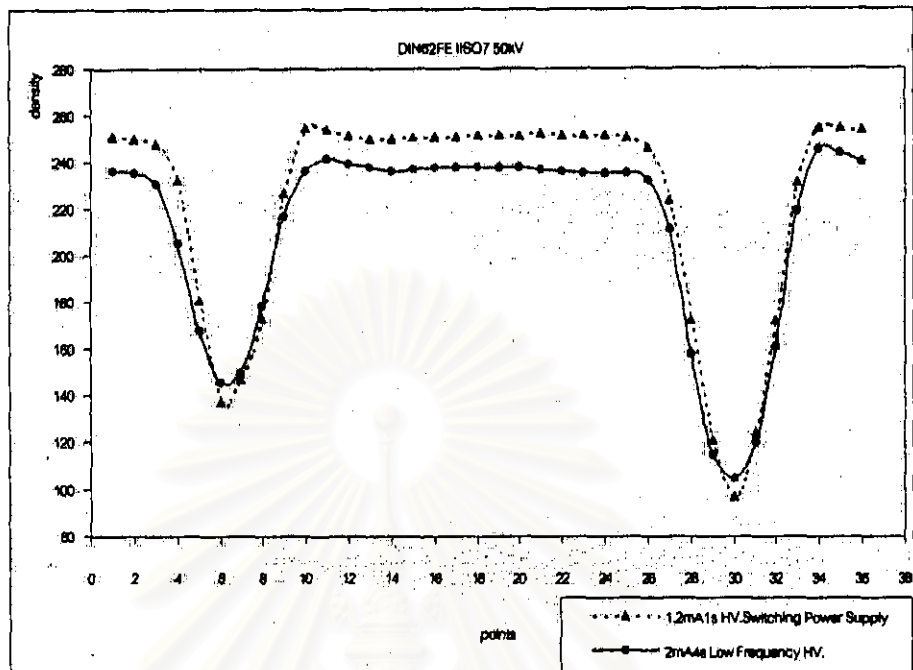


ข. ภาพถ่ายจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แบบความถี่ต่ำ

รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบภาพถ่าย IQI DIN62FE ISO7



ก. กราฟแสดง Density Profile ของฟิล์ม



ข. กราฟขยายแสดงความชันของกราฟ

รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบ Density Profile ของภาพถ่ายรังสีเอกซ์บนฟิล์ม

จากการทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์เปรียบเทียบกันพบความแตกต่าง ดังนี้

1. ในรูปที่ 4.17 ภาพถ่ายที่ให้ความดำฟิล์มใกล้เคียงกัน แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงความถี่สูงใช้เวลาถ่ายภาพสั้นกว่า เนื่องจากให้ศักดาไฟฟ้าสูงต่อเนื่องทำให้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ทำงานเต็มที่ ขณะที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบความถี่ต่ำศักดาไฟฟ้าจะเป็นรูปพัลส์ 100 Hz
2. ในรูปที่ 4.15 และ 4.16 พิจารณาที่รายละเอียดในบริเวณไอซีจะเห็นว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงให้แนวโน้มของรายละเอียดภาพชัดเจนกว่า เนื่องจากสัญญาณศักดาไฟฟ้าด้านทางออกก่อนข้างคงที่ พลังงานเฉลี่ยของรังสีเอกซ์สูงกว่าแบบความถี่ต่ำ
3. จากแนวโน้มของรายละเอียดภาพที่ชัดเจนกว่าจึงได้ใช้เครื่องสแกนความดำฟิล์มสร้าง Density Line Profile ของภาพถ่าย IQI DIN62FE 1ISO7 ที่ถ่ายพร้อมกับชิ้นงาน ได้เส้นกราฟดังรูปที่ 4.21 ก. และ 4.21 ข. จะเห็นว่าในรูป 4.21 ก. ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่ถ่ายด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงให้ความเปรียบต่างของภาพสูงกว่าและรูปที่ 4.21 ข. ภาพขยาย Density Line Profile แสดงให้เห็นถึงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่ถ่ายด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตชิงให้ความคมชัดที่ขอบภาพสูงกว่าจากความชันของสัญญาณ Profile ที่สูงกว่า



4. การที่ใช้เวลาดำเนินการสั้นกว่าจะทำให้ใช้ค่านายการใช้จ่ายของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ได้ต่อเนื่องนานกว่า

5. สามารถถ่ายภาพชิ้นงานได้จำนวนมากขึ้นกว่าการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบความถี่ต่ำเมื่อช่วงเวลาทำงานเท่ากัน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย