

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

- 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย
- 3.1.1 หัววัดรังสีแบบ semi-conductor ชนิด HPGe ( high purity germanium )
  - 3.1.2 ภาคขยายส่วนหน้า ( preamplifier ) ; ORTEC model CFG-VT/DWR-30
  - 3.1.3 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง ( high voltage power supply ) สำหรับหัววัดรังสีชนิด HPGe ; CANBERRA model 4261
  - 3.1.4 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องพลังงาน ( multi channel analysis ) หรือ MCA ; CANBERRA SERIES 35 PLUS model 3502
  - 3.1.5 ภาคขยายสัญญาณ ( amplifier ); ( SPECTRO-AMP. ) CANBERRA model 2020
  - 3.1.6 NIM BIN ; EG&G ORTEC และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ; SILICON SR 103
  - 3.1.7 ไมโครคอมพิวเตอร์ ; MINI SYS- 3000SX
  - 3.1.8 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ ( stepping motor driver circuit ) ; ETT จำนวน 2 ชุด และหม้อแปลงไฟ ( transformer ) แบบ output 2 output ( คือ 6V, 2A และ 3.6V, 10A ) จำนวน 1 ตัว
  - 3.1.9 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ( interface card ) ; ETT จำนวน 1 แผ่น สำหรับเชื่อมโยงระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบขับเคลื่อนทั้ง 2 แบบ และสายสัญญาณ 1 เส้น ( ต่อเข้ากับกล่องวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ )
  - 3.1.10 ระบบวัดรังสี XRF ที่ประกอบด้วย เครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและเครื่องเปลี่ยนตัวอย่างที่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับระบบวัด XRF แบบ EDX
  - 3.1.11 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์แบบไอโซโทปรังสี ชนิดวงแหวน ( ring source ) 5 ไอโซโทปที่มีความแรงแรังสีดังนี้
    - Cd-109 ที่มีความแรงแรังสี 2.724 mCi
    - Am-241 ที่มีความแรงแรังสี 30 mCi
    - Co-57 ที่มีความแรงแรังสี 0.148 mCi
    - Pu-238 ที่มีความแรงแรังสี 30 mCi
    - Fe-55 ที่มีความแรงแรังสี 9.45 mCi
  - 3.1.12 โปรแกรม NBSGSC ของ Rainier Software

### 3.2 ขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาระบบ XRF ประกอบด้วย

- การศึกษาผลของระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับหัววัดรังสี โดยใช้แผ่นวงแหวนทองแดง (ที่ตรงกลางใส่ AI ไว้) ที่มีความหนาต่างๆ กันมาวางรองอยู่ระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับหัววัดรังสี
- การศึกษาผลของระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับตัวอย่าง โดยใช้แผ่นวงแหวนที่ทำจาก Acrylic ที่มีความหนาต่างๆ กัน มาวางรองระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับตัวอย่าง
- การออกแบบงานเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น
- การออกแบบงานเปลี่ยนตัวอย่าง
- ระบบควบคุม (ของเครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและเครื่องเปลี่ยนตัวอย่าง)
- การทดสอบระบบ XRF

#### 3.2.1 การศึกษาผลของระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับหัววัด

เนื่องจากต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีหลายไอโซโทป เช่น Cd-109 , Am-241 , Fe-55 , Pu-238 , Co-57 เป็นต้น จึงต้องทำการทดลองหาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นในแต่ละไอโซโทป ซึ่งระยะห่างของแต่ละไอโซโทปรังสีกับหัววัดนั้นจะไม่เท่ากัน โดยจะจัดระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นซึ่งจะเปลี่ยนไอโซโทปรังสีไปเรื่อย ๆ กับสารตัวอย่างโดยมีแผ่นวงแหวนทองแดง (ที่ขอบรูในใส่ AI ไว้) อยู่ตรงกลางระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น แล้วทำการปรับเปลี่ยนความหนาของแผ่นวงแหวนทองแดง จนได้ค่าที่เหมาะสมในแต่ละไอโซโทปรังสีออกมา ซึ่งความหนาของแผ่นวงแหวนทองแดงก็คือระยะห่างระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นนั่นเอง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าจำนวนนับรังสีที่ระยะห่างระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นชนิดต่างๆ

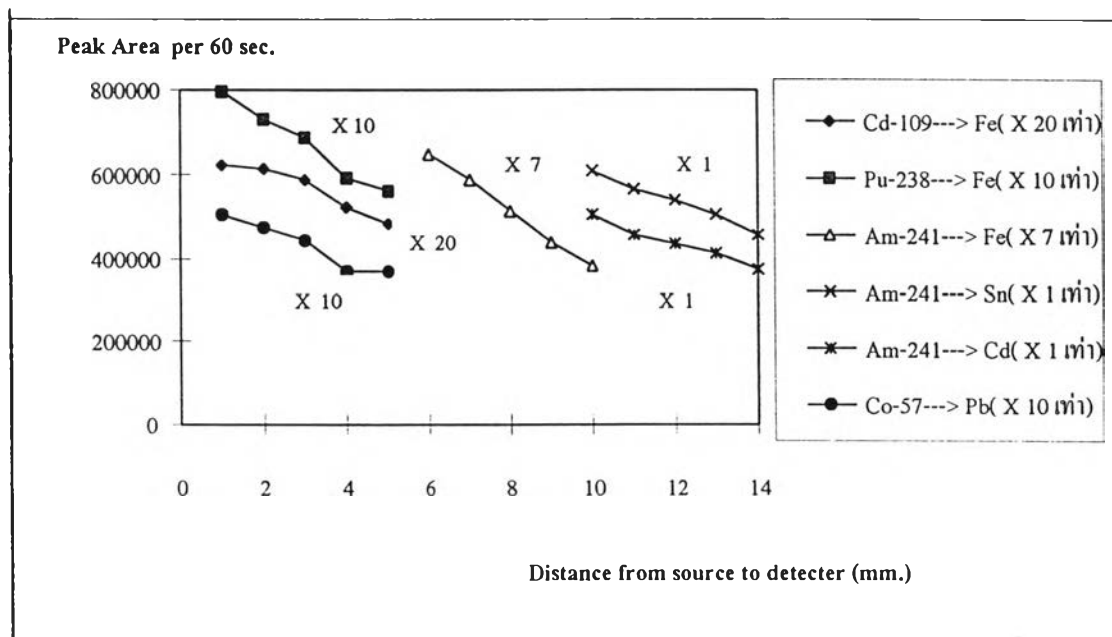
ต้นกำเนิดรังสี	ตัวอย่าง	จำนวนนับสุทธิของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ระยะต่าง ๆ (ต่อ 60 วินาที)				
		1 มม.	2 มม.	3 มม.	4 มม.	5 มม.
Cd-109	Fe	31063	30564	29363	26036	23968
Pu-238	Fe	79402	73058	68791	58993	55797
Co-57	Pb	50379	47180	43968	36684	36674

ตารางที่ 3.2 ค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของเหล็กที่ระยะห่างต่าง ๆ ระหว่างหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสี Am-241

ต้นกำเนิดรังสี	ตัวอย่าง	จำนวนนับสุทธิของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ระยะต่าง ๆ (ต่อ 60 วินาที)				
		6 มม.	7 มม.	8 มม.	9 มม.	10 มม.
Am-241	Fe	92717	83857	73025	62745	54206

ตารางที่ 3.3 ค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของธาตุต่าง ๆ ที่ระยะห่างต่าง ๆ ระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสี Am-241

ต้นกำเนิดรังสี	ตัวอย่าง	จำนวนนับสุทธิของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ระยะต่าง ๆ (ต่อ 60 วินาที)				
		10 มม.	11 มม.	12 มม.	13 มม.	14 มม.
Am-241	Sn	607378	565904	536300	504414	452902
	Cd	504436	435570	434748	410239	370637



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นชนิดต่าง ๆ กับหัววัด

จากรูปที่ 3.1 จะพบว่าระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น จะอยู่ระหว่าง 1-3 mm. ซึ่งเกือบจะทุกไอโซโทปรังสี แต่จะพบว่าในต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นบางไอโซโทปรังสี เช่น Am-241 ที่พลังงาน 60 keV ต้องการระยะห่างระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสี มากถึง 10 mm.

### 3.2.2) การศึกษาผลของระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับตัวอย่าง

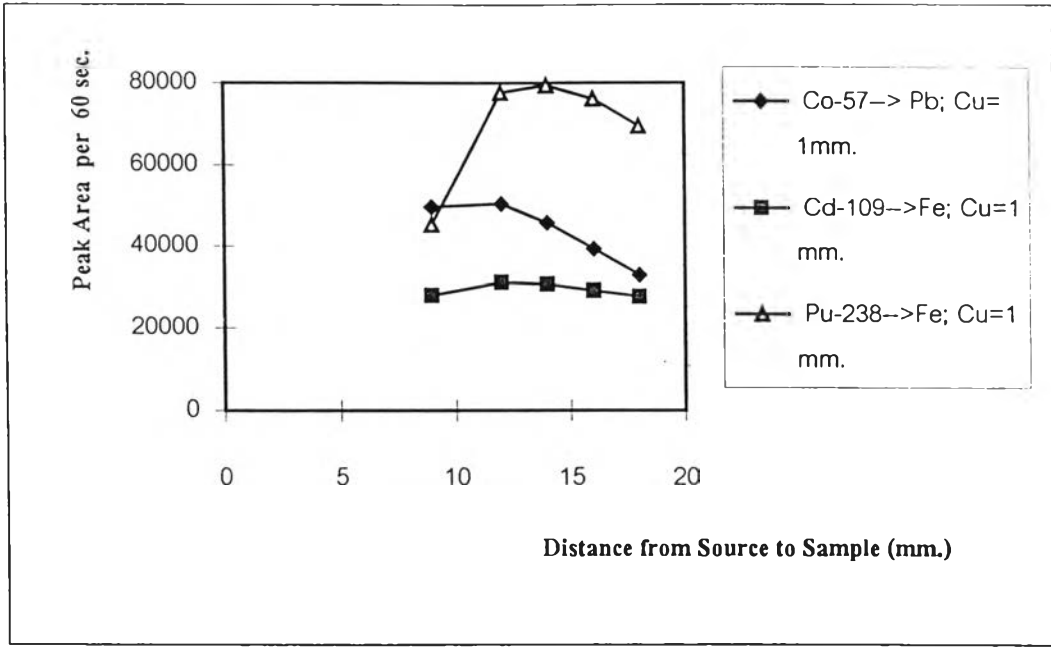
ดังที่ได้ทราบแล้วว่า มีต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นหลายไอโซโทปรังสี ดังนั้นสารตัวอย่างที่จะทำการวิจัยจะต้องเหมาะสมกับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นด้วย โดยจะกำหนด ระยะห่างที่แน่นอนระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับหัววัดโดยมีวงแหวนทองแดงแผ่นที่ความหนา 1 mm. คั่นกลาง และค้อย ๆ ปรับระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับสารตัวอย่างโดยอาศัย แผ่นวงแหวน Acrylic ที่ความหนาต่าง ๆ กัน จนได้ระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละไอโซโทปรังสี

ตารางที่ 3.4 แสดงจำนวนนับที่ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่างชนิดต่าง ๆ โดยที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดเท่ากับ 1 mm.

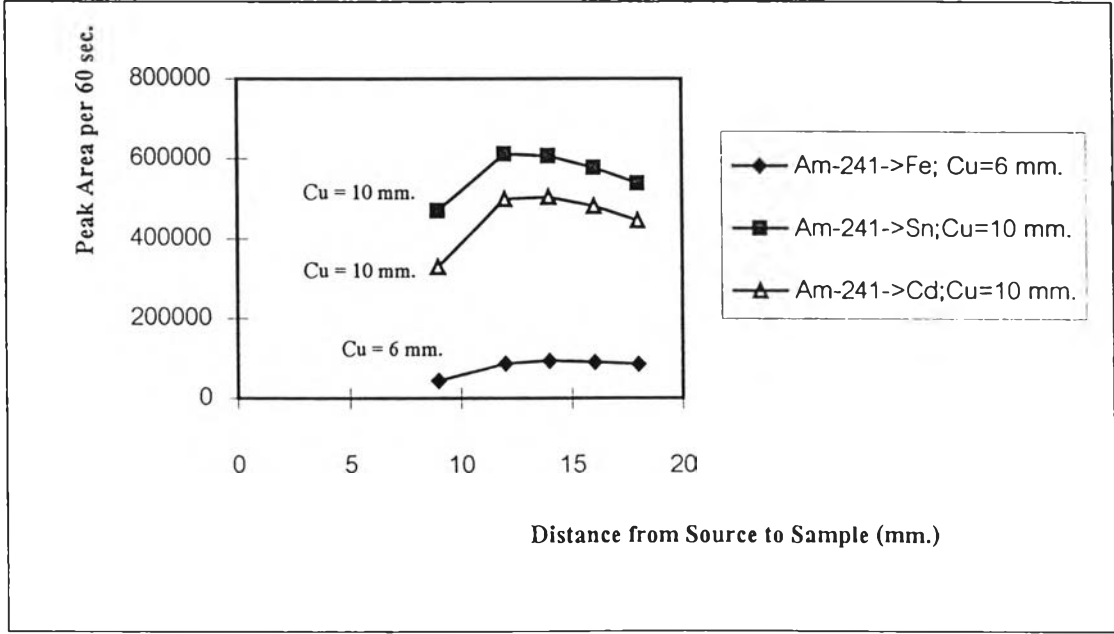
ต้นกำเนิดรังสี	ตัวอย่าง	จำนวนนับสุทธิของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ระยะต่าง ๆ ( ต่อ 60 วินาที )				
		9 มม.	12 มม.	14 มม.	16 มม.	18 มม.
Co-57	Pb	49541	50379	45672	39160	32787
Cd-109	Fe	27894	31063	30550	28916	27560
Pu-238	Fe	45156	77644	79402	76124	69516

ตารางที่ 3.5 จำนวนนับสุทธิที่ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับตัวอย่างชนิดต่าง ๆ โดยที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดมากกว่า 1 mm.

ต้นกำเนิดรังสี	ตัวอย่าง	จำนวนนับสุทธิของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ระยะต่าง ๆ ( ต่อ 60 วินาที )				
		9 มม.	12 มม.	14 มม.	16 มม.	18 มม.
Am-241	Fe	44211	87376	92714	90559	85576
	Sn	469336	611195	607378	577528	538484
	Cd	329019	499182	504436	480184	444709



รูปที่ 3.2 แผนภาพระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่าง โดยที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดเท่ากับ 1 mm.



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับตัวอย่าง

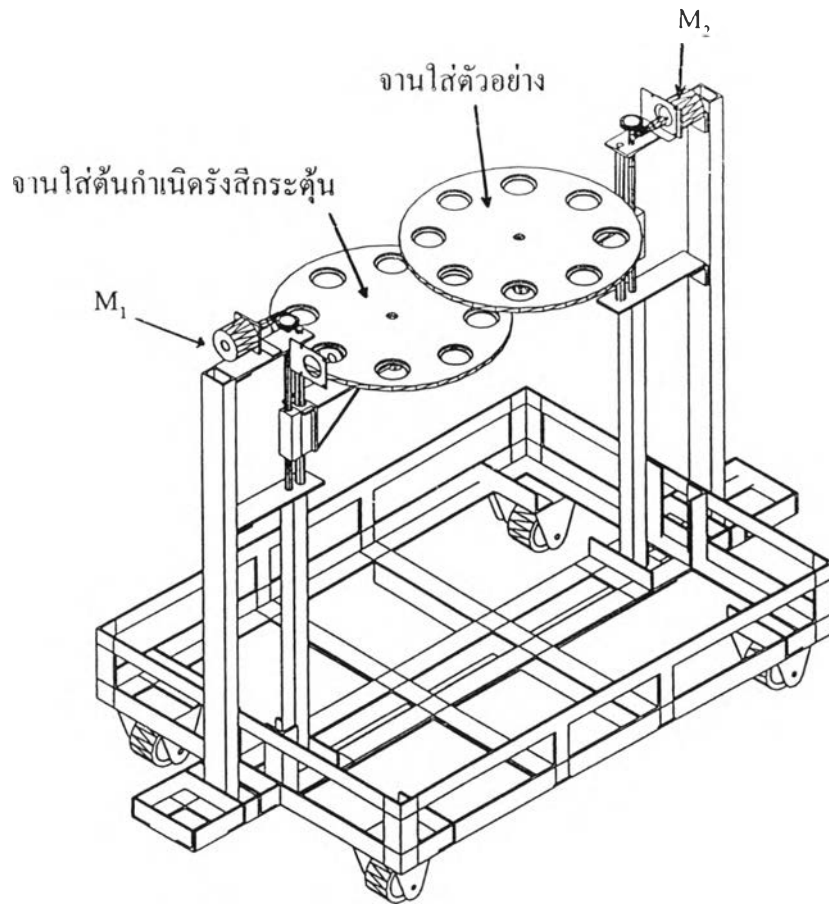
จากรูปที่ 3.2 และ 3.3 พบว่าระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น (ในแต่ละไอโซโทป) กับตัวอย่างจะอยู่ระหว่าง 12-16 mm. ดังนั้นจึงเลือกระยะห่างประมาณ 13-14 mm. เป็นระยะห่างที่เหมาะสมที่สุด

### 3.2.3) การออกแบบเครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและตัวอย่าง

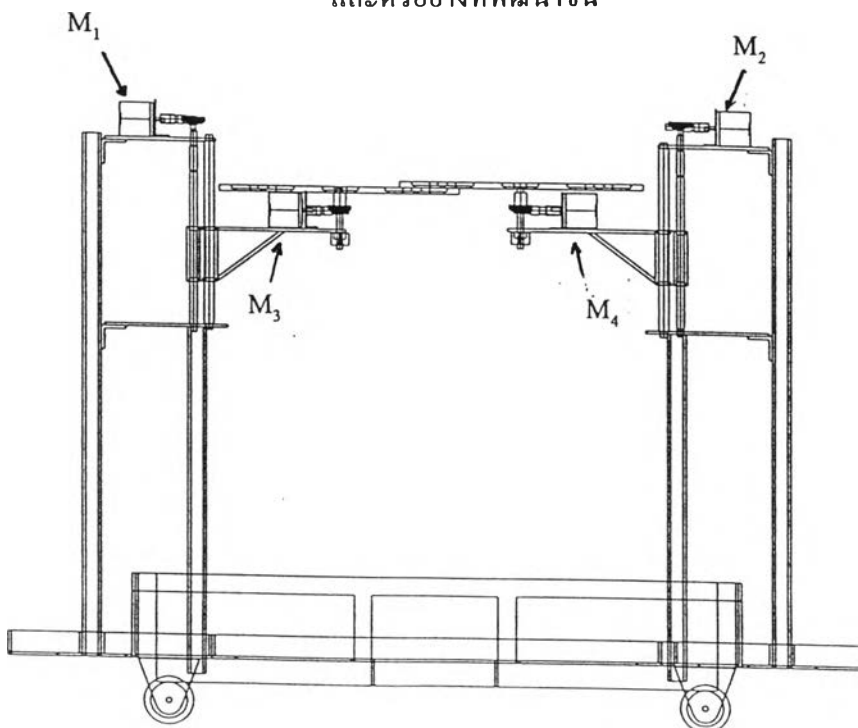
จากผลการศึกษาและการทดลองหาระยะที่เหมาะสมระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น กับหัววัดรังสีและระยะที่เหมาะสมระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ปรากฏว่าในการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละชนิดจะต้องเลือกต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นให้เหมาะสมกับ ตัวอย่าง อีกทั้งระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับตัวอย่างต้องเหมาะสม ดังนั้นเพื่อความคล่องตัวในการจัดระบบการวิเคราะห์ตัวอย่าง จึงได้พัฒนาเครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและตัวอย่างที่สามารถเลือกต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นได้ 8 ชนิด และใส่ตัวอย่างได้ 8 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ก. และ ข. โดยเครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและตัวอย่างที่พัฒนาขึ้น ได้ออกแบบให้มีล้อเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย

การทำงานของเครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและตัวอย่าง รูปที่ 3.4 ข. มอเตอร์  $M_1$  ทำหน้าที่ปรับระยะห่างของงานใส่ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับหัววัดรังสีและ  $M_2$  ทำหน้าที่ปรับระยะห่างของงานใส่ตัวอย่างกับงานใส่ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น ส่วนมอเตอร์  $M_3$  ทำหน้าที่หมุนงานเพื่อเลือกต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่ต้องการจะวิเคราะห์และมอเตอร์  $M_4$  จะใช้หมุนงานตัวอย่างเพื่อเลือกตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยการทำงานของมอเตอร์  $M_1$   $M_2$   $M_3$  และ  $M_4$  จะถูกควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์และในการทำงานจะอาศัยคำสั่งจากคีย์บอร์ดของไมโครคอมพิวเตอร์

ในส่วนของการออกแบบงานใส่ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและงานใส่ตัวอย่างได้เลือกใช้ Acrylic เพื่อลดปัญหาเรื่องน้ำหนักของงาน อีกทั้งยังช่วยไม่ให้เกิดปัญหาเรื่องการกวนของรังสีเอกซ์ เฉพาะตัวที่อาจเกิดขึ้นได้ถ้าใช้วัสดุอื่นที่เป็นโลหะมาทำงาน สำหรับขนาดและรูปแบบของงานใส่ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและงานใส่ตัวอย่าง แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ง.



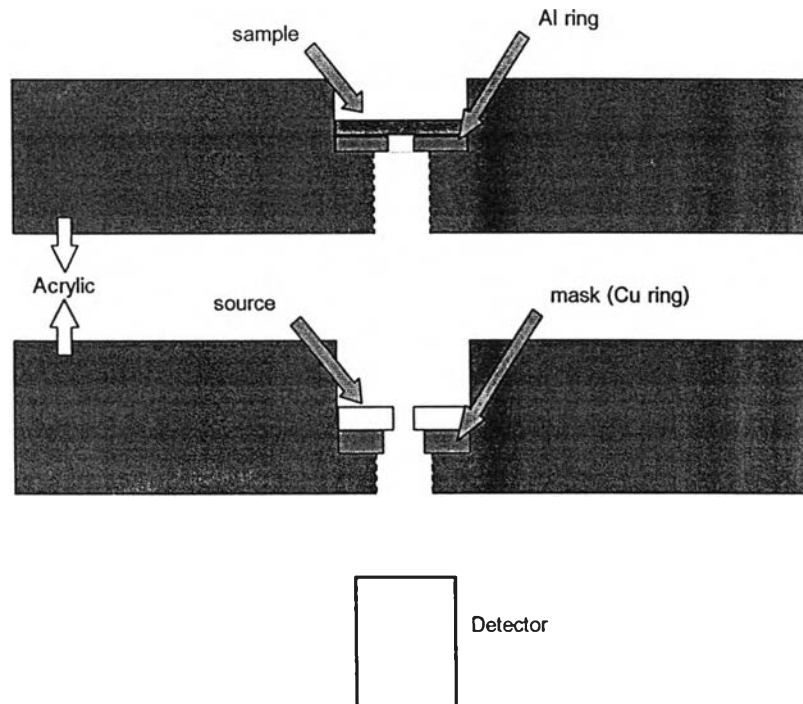
รูปที่ 3.4ก. แสดงโครงสร้างของเครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น  
และตัวอย่างที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.4ข. แสดงการติดตั้งหัววัดรังสีกับเครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น  
และตัวอย่างที่พัฒนาขึ้น

### 3.2.4) การจักระบบวิเคราะห์

การจักระบบการวิเคราะห์ที่เลือกจักระบบการวิเคราะห์แบบโคเอกเซียลจีโอเมตรีคือ มีการจัดวางหัววัดรังสี ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและตัวอย่างอยู่ในแนวเดียวกัน เพื่อให้สอดคล้องกับเทคนิคการใช้งานของหัววัดรังสีที่มีใช้งานอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี



รูปที่ 3.5 แสดงการจักระบบวิเคราะห์แบบโคเอกเซียล

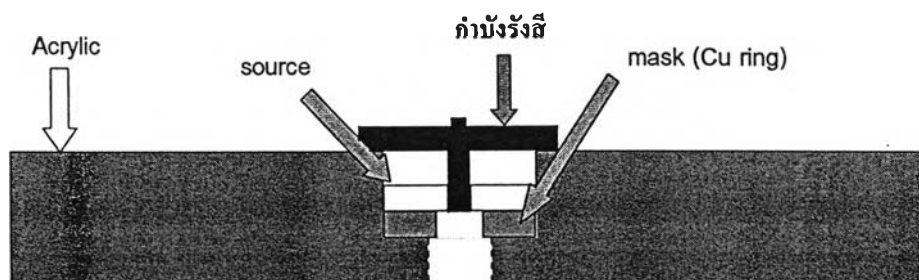
จากรูปที่ 3.5 เป็นการแสดงการทำงานของระบบวัดในแต่ละครั้งของการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยในส่วนของงานใส่ตัวอย่างประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียมแบบวงแหวนเพื่อกำหนดขนาดของพื้นที่ของตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ให้เหมาะสมและในส่วนของงานใส่ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นมีแผ่นวงแหวนทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15 มิลลิเมตร วางอยู่ภายในต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและหัววัดรังสี เพื่อลดพลังงานของต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นที่จะผ่านเข้าหัววัดโดยตรงซึ่งจะมีผลทำให้ วงจรขยายส่วนหน้าเกิดการช้อคจนไม่สามารถทำการวัดได้และขณะเดียวกันก็จะช่วยลดปริมาณของรังสีที่สะท้อนเข้าสู่หัววัดรังสีลงเพื่อช่วยลดค่าเคปไทม์ในขณะที่ทำการวัดรังสีจากตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์อยู่

การนำต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นหลายไอโซโทปมาจัดวางในแผ่นงานเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นทั้งหมดจะก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนกันระหว่างรังสีกระตุ้นของไอโซโทปที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างกับรังสีกระตุ้นจากไอโซโทปรอบข้างและอีกทั้งก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน



ดังนั้นจึงได้ออกแบบกำบังรังสีในส่วนของงานเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นโดยสร้างกำบังรังสีให้ กับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นที่ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวกระตุ้นในการวิเคราะห์ตัวอย่างทุกตัว ซึ่งในการออกแบบกำบังรังสีได้เลือกใช้ค่าพลังงานของรังสีกระตุ้นจากไอโซโทปที่มีพลังงานประมาณ 100 keV มาใช้ในการคำนวณกำบังรังสีสำหรับวัสดุที่ใช้ในการทำกำบังรังสี คือ ตะกั่ว เพราะเป็นธาตุหนัก และมีคุณสมบัติในการกำบังรังสีได้ดี และเป็นที่ยอมรับกันมาก จากการคำนวณพบว่า ต้องใช้ ตะกั่วที่มีความหนาประมาณ 3-5 มม. มาทำกำบังรังสี ซึ่งสามารถกำบังรังสีของ Co-57 ที่มีพลังงาน 122 keV และ 136 keV ได้ถึง ประมาณ 95% การจัดวางระบบการกำบังรังสีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6

โดยตะกั่วที่ใช้เป็นกำบังรังสีจะวางปิดบนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นแบบวงแหวนและมีส่วนของ ตะกั่วส่วนหนึ่งยื่นลงไปปิดช่องกลางของต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นทำให้ปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี กระตุ้นมีค่าลดลงจนไม่สามารถไปรบกวนระบบวิเคราะห์ได้ ทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าถูกต้องมากยิ่งขึ้นและสำหรับแผ่นทองแดงวงแหวนที่ใช้รองต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นก็จะช่วยเป็นตัวกำบัง รังสี จากด้านล่างของต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นซึ่งโดยปกติได้ถูกออกแบบให้สามารถกำบังรังสีจากตัว มันเองได้ระดับหนึ่งแล้ว จึงทำให้ช่วยลดอันตรายกับผู้ใช้งาน ได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.6 แสดงวิธีการกำบังรังสีในส่วนของต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นที่ไม่ได้ถูกใช้งาน

### 3.2.5) ระบบควบคุมการทำงานของระบบกล

ระบบกล 2 ระบบที่ได้สร้างขึ้น คือระบบเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นซึ่งขนาดของ งานเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นสามารถบรรจุต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นได้ 8 ชุด และระบบเปลี่ยน ตัวอย่างซึ่งขนาดของงานเปลี่ยนตัวอย่างสามารถบรรจุตัวอย่างได้ 8 ตัวอย่าง ระบบกลในการเปลี่ยน ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและตัวอย่างถูกควบคุมกำกับการทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยผ่าน คีย์บอร์ดของไมโครคอมพิวเตอร์ การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของระบบขับเคลื่อน เพื่อหาระยะที่เหมาะสมระหว่างหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นหรือต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นกับ

ตัวอย่างกับระบบหมุนเพื่อเปลี่ยนต้นกำเนิดครึ่งสี่กระตุ้นและเปลี่ยนตัวอย่าง อาศัยการทำงานของสเต็ปมอเตอร์เพื่อให้ได้ระยะและตำแหน่งของการหมุนที่แม่นยำยิ่งขึ้น

### 3.2.5.1) ระบบขับเคลื่อน

เนื่องจากงานวิจัยนี้ ต้องการตำแหน่งและระยะที่แน่นอน ดังนั้นจึงเลือกใช้สเต็ปมอเตอร์ มาใช้ในการขับเคลื่อน ( Translation ) และหมุน ( Rotation ) ระบบเปลี่ยนต้นกำเนิดครึ่งสี่และระบบเปลี่ยนตัวอย่าง เพราะสามารถใช้ไมโครคอมพิวเตอร์กำหนดคสตีปในการหมุนแต่ละสเต็ปของตัวสเต็ปมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งระยะได้แน่นอน

#### 3.2.5.1.1) การกระตุ้นเฟสขดลวด สเตเตอร์ ( Stator ) ในสเต็ปมอเตอร์<sup>121</sup>

การที่จะทำให้สเต็ปมอเตอร์หมุนได้นั้น จะต้องกระตุ้นขดลวดสเตเตอร์ให้เรียงลำดับกันให้ต่อเนื่องทางใดทางหนึ่ง ถ้าต้องการให้หมุนกลับก็กระตุ้นเฟสในทิศทางตรงกันข้ามซึ่งการกระตุ้นเฟสสเตเตอร์มี 3 แบบคือ

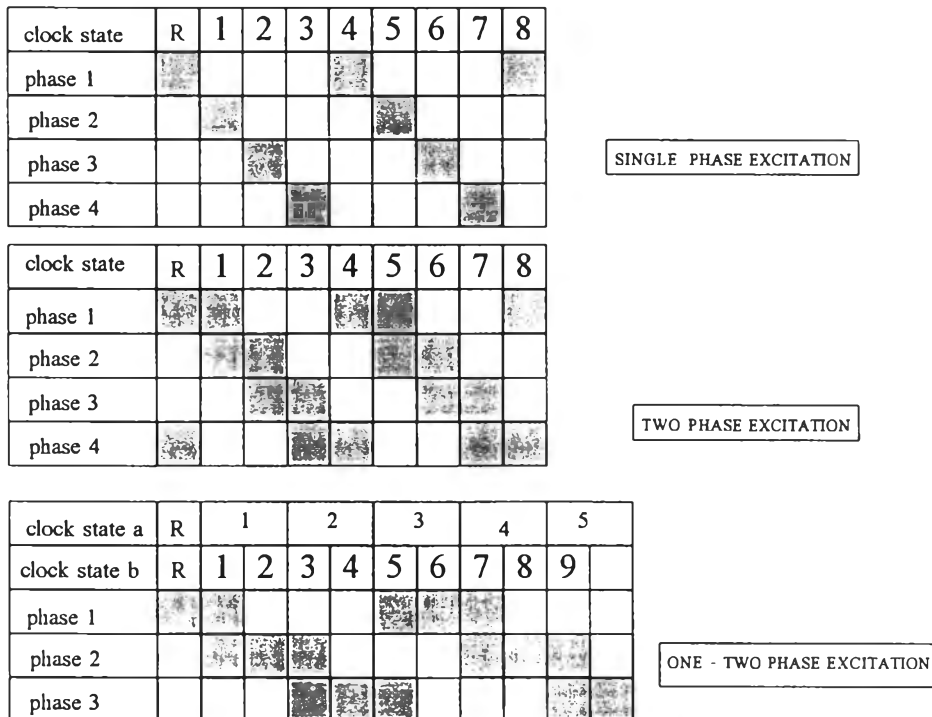
1. การกระตุ้นเฟสเดียวเรียกว่าแบบ single phase excitation หรือเรียกว่าแบบ HALF DRIVE แบบนี้แรงบิดจะน้อย
2. การกระตุ้นสองเฟสเรียกว่าแบบ two phase excitation หรือเรียกว่าแบบ FULL DRIVE แบบนี้แรงบิดจะมาก
3. การกระตุ้นโดยใช้แบบ 1 และ 2 สลับกันเรียกว่า one - two phase excitation ซึ่งแบบนี้แรงบิดเฉลี่ยจะน้อย ดังรูปในหน้าถัดไป

การขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์แบบกระตุ้นสองเฟสจะมีลักษณะเดียวกับแบบเฟสเดียว แต่ในการกระตุ้นแต่ละครั้งจะกระตุ้นพร้อมกันทีเดียวทั้งสองเฟส การเข้าตำแหน่งแต่ละสเต็ปนั้นจะเร็วกว่าแบบเฟสเดียวและแรงบิดมากกว่าแบบเฟสเดียวและความเร็วในการขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์แบบกระตุ้นสองเฟส เพื่อให้ได้แรงบิดสูงที่จะไปขับเคลื่อนระบบเปลี่ยนต้นกำเนิดครึ่งสี่และระบบเปลี่ยนตัวอย่าง

#### 3.2.5.1.2) การทำงานของสเต็ปมอเตอร์

- 1.) การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนแบบ rotation ( หมุนงานเปลี่ยนต้นกำเนิดครึ่งสี่, งานเปลี่ยนตัวอย่าง ) ถูกควบคุมโดยโปรแกรมให้สามารถหมุนระบบโดยมี step angle เท่ากับ 45 องศา

2.) การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนแบบ translation (เคลื่อนที่ขึ้น-ลง) ถูกควบคุมโดยโปรแกรมให้สามารถเคลื่อนที่ไปที่ละ step โดยสามารถเลือก step ของการเคลื่อนที่ได้เป็นระยะ  $x$  mm.



R หมายถึง reset

รูปที่ 3.7 แสดงแผนภาพการเปลี่ยนเฟสของสเต็ปมอเตอร์

### 3.2.5.2) แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ( interface card )

ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณที่มาจากอุปกรณ์ภายนอก เช่น ระบบหาจุดเริ่มต้น ระบบขับเคลื่อน เป็นต้น กับไมโครคอมพิวเตอร์ อาศัยการโอนถ่ายสัญญาณผ่านพอร์ตทางเข้า ( input ) และพอร์ตทางออก ( output ) ของไมโครคอมพิวเตอร์ ในที่นี่ได้เลือกตำแหน่งพอร์ตและหน้าที่ ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงลักษณะตำแหน่งของพอร์ทและหน้าที่

หมายเลขพอร์ท	ชนิดสัญญาณ	หน้าที่
772 (304H)	OUTPUT	ควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ ( translation of source )
773 (305H)	OUTPUT	ควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ ( rotation of sample )
774 (306H)	INPUT	รับสัญญาณจาก opto switch
775 (307H)	OUTPUT	ควบคุมชิป 8255 (ตัวที่ 1)
776 (308H)	OUTPUT	ควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ ( rotation of source )
777 (309H)	OUTPUT	ควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ ( translation of sample )
778 (30A H)	INPUT	รับสัญญาณจาก opto switch
779 (30B H)	OUTPUT	ควบคุมชิป 8255 (ตัวที่ 2)

แผ่นเชื่อมโยงสัญญาณ ( interface card ) มีส่วนสำคัญดังนี้คือ

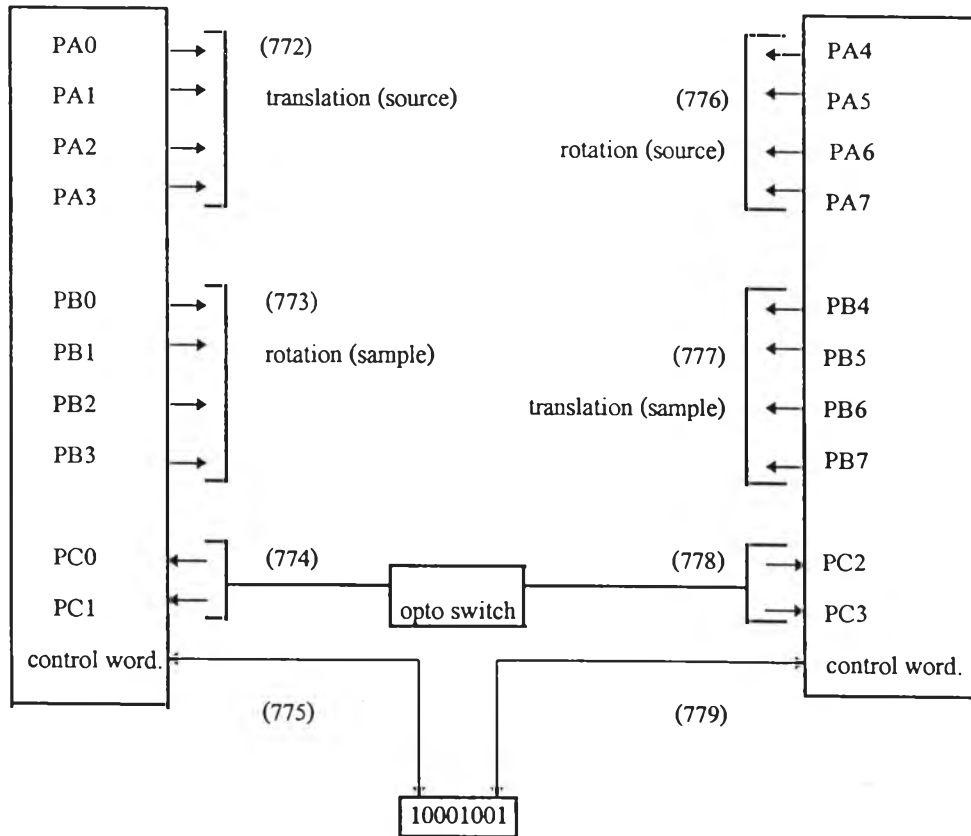
- เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบขับเคลื่อนกับไมโครคอมพิวเตอร์

ระบบขับเคลื่อนของงานเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและงานเปลี่ยนตัวอย่างและหัววัดรังสีประกอบด้วย สเต็ปปีงมอเตอร์ วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์ และ opto switch ทำงานร่วมกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณโดยมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ควบคุมการทำงาน การกำหนดตำแหน่งหมายเลขพอร์ทในไมโครคอมพิวเตอร์กับแผ่นเชื่อมโยงสัญญาณ และลักษณะการต่อสัญญาณควบคุม แสดงดังรูปที่ 3.8



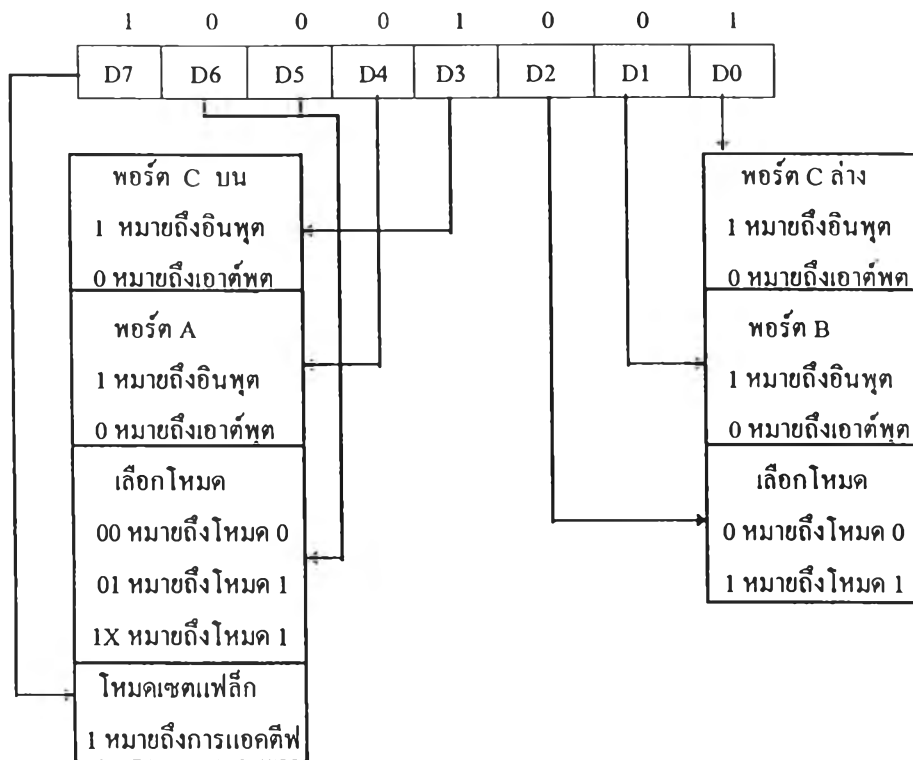
8255 (ตัวที่ 1)

8255 (ตัวที่ 2)



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการต่อสัญญาณควบคุม

ในการใช้งานไอซี 8255 จะต้องโปรแกรม การให้ค่ารหัสบิตต่าง ๆ เข้าไปในรหัสควบคุมแล้วส่งไปยังรีจิสเตอร์ของพอร์ตควบคุม ความหมายของบิตต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงความหมายของบิตต่างๆ ในพอร์ตควบคุม

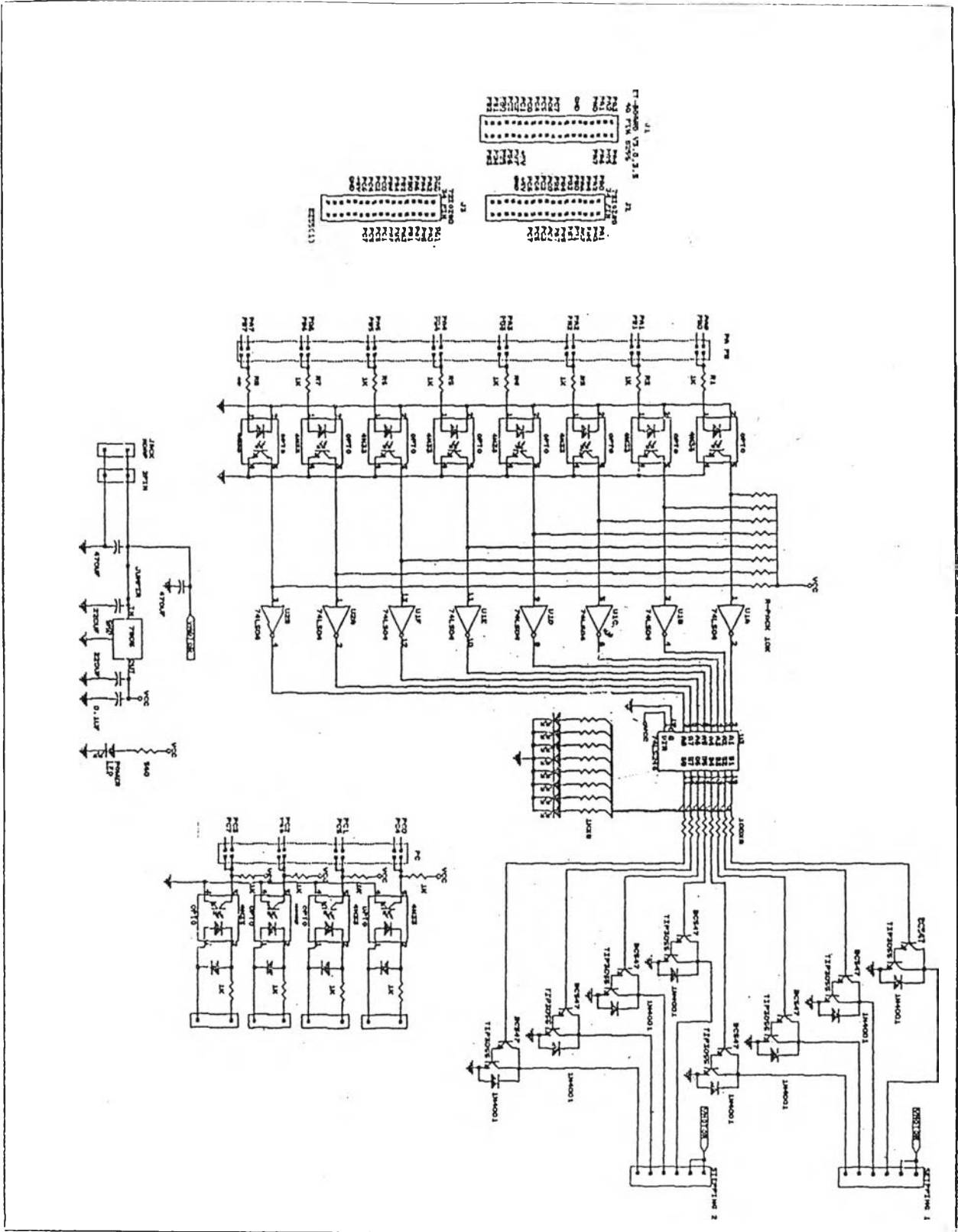
- บิต D7 เป็นบิตที่แสดงรหัสคำสั่งควบคุม (กรณีนี้มีค่าเป็น “1” เป็นการแอกคิฟ)
- บิต D6 และ D5 เป็นการเลือกโหมดของพอร์ต A (กรณีนี้มีค่าเป็น “0”, “0”)
- บิต D4 เป็นการกำหนดอินพุตเอาต์พุตของพอร์ต A (กรณีนี้มีค่าเป็น “0” ทำให้พอร์ต A เป็นเอาต์พุต)
- บิต D3 เป็นการกำหนดอินพุตเอาต์พุตของพอร์ต C บน (กรณีนี้มีค่าเป็น “1” ทำให้พอร์ต C เป็นอินพุต)
- บิต D2 เป็นการเซตโหมดของพอร์ต B (กรณีนี้มีค่าเป็น “0”)
- บิต D1 เป็นการกำหนดอินพุตเอาต์พุตของพอร์ต B (กรณีนี้มีค่าเป็น “0” ทำให้พอร์ต B เป็นเอาต์พุต)
- บิต D0 เป็นการกำหนดอินพุตเอาต์พุตของพอร์ต C ล่าง (กรณีนี้มีค่าเป็น “1” ทำให้พอร์ต C ล่างเป็นอินพุต)

หมายเหตุ: รหัสควบคุมคือ 89H (I37)

จากรูปแสดงให้เห็นว่าพอร์ต A , B และ C ของไอซีหมายเลข 8255 ทั้ง 2 ตัวนั้น จะทำหน้าที่ตามการออกแบบข้างต้นได้จะต้องส่งรหัสควบคุม ( control code) เข้าไปยังพอร์ตควบคุมการทำงานของไอซี 8255 ซึ่งในที่นี้รหัสควบคุมเป็น 10001001 หรือ 89H (137) ซึ่งพอร์ตควบคุมของไอซี 8255 ตัวแรกตรงกับพอร์ตหมายเลข 775 (307H) และพอร์ตควบคุมของไอซี 8255 ตัวที่ 2 ตรงกับพอร์ตหมายเลข 779 (30B H) ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ การส่งรหัสควบคุม 89H (137) นี้ จะทำให้พอร์ต A และ B ทำหน้าที่เป็นพอร์ตเอาต์พุต ที่ส่งสัญญาณควบคุมสเต็ปมอเตอร์ให้เคลื่อนที่แบบ translation และแบบ rotation ตามการออกแบบข้างต้น ส่วนพอร์ต C ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตที่รับสัญญาณตรวจสอบจุดเริ่มต้น (origin point) ของการเคลื่อนที่ทั้ง 2 แบบ จากตัว opto switch ที่นำไปติดตั้งไว้ซึ่งสัญญาณจะถูกส่งเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตหมายเลข 774 (306H) และพอร์ตหมายเลข 778 (30A H) ของไอซี 8255 ตัวที่หนึ่งและสอง ตามลำดับ

วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ (stepping motor driver circuit)

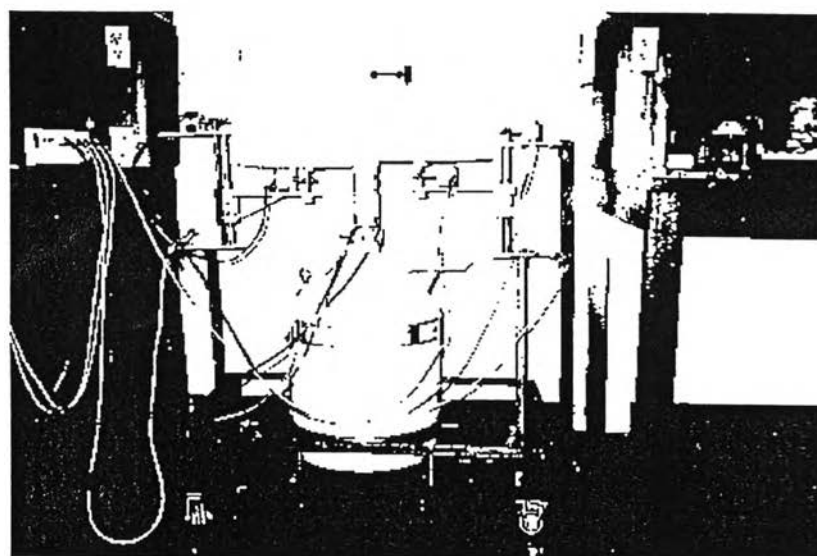
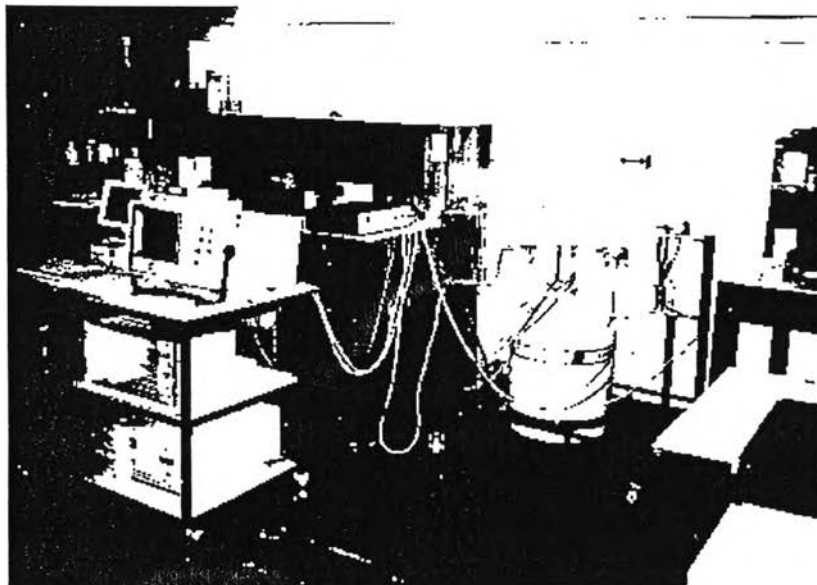
เนื่องจากสัญญาณควบคุมจาก แผ่นวงจรเชื่อมโยงไม่สามารถขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์โดยตรงได้จึงจำเป็นต้องมีวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงวงจรขับสปีดเบี่ยงมอเตอร์



โครงสร้างของเครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและเครื่องเปลี่ยนตัวอย่างมีลักษณะดังรูป 3.11-3.12



รูปที่ 3.11 - 3.12 แสดงภาพของเครื่องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นและเครื่องเปลี่ยนตัวอย่าง

### 3.2.5.3 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

เขียนด้วยภาษาเบสิกใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องเปลี่ยนคั้นกำเนิครึ่งตีกระตุ้น และเครื่องเปลี่ยนตัวอย่าง ดังแสดงในภาคผนวก ค.

### 3.2.6 การทดสอบ

ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.6.1 ทดสอบการวิเคราะห์โดยวิเคราะห์กับ Pb/Sn Alloys ได้ผลดังแสดงใน ตารางที่ 3.7 ส่วนผลการคำนวณจากโปรแกรม NBSGSC แสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ Pb/Sn Alloys ด้วยระบบวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองแบบ EDX

Sample No.	% Pb	% Pb (Known Conc.)	% Error <sup>*</sup> (Pb)	% Sn	% Sn (Known Conc.)	% Error <sup>*</sup> (Sn)
T63	38.367	37	1.367	63.349	63	0.349
	38.919		1.919	63.687		0.687
	38.749		1.749	63.526		0.526
T63a	40.115	37	3.115	62.533	63	0.467
	39.829		2.829	62.138		0.862
	39.353		2.353	61.865		1.135
K50	50.244	50	0.244	49.878	50	0.122
	49.655		0.345	49.438		0.562
	50.341		0.341	49.862		0.138
K40	61.212	60	1.212	40.187	40	0.187
	59.243		0.757	39.978		0.022
	59.843		0.157	39.760		0.24
K100	0	0	0	96.857	100	3.143
	0		0	97.277		2.723
	0		0	96.784		3.216

3.2.6.2 ทดสอบการวิเคราะห์โดยวิเคราะห์กับ Stainless Steel ได้ผลดังแสดงใน ตารางที่ 3.8 ส่วนผลการคำนวณจากโปรแกรม NBSGSC แสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ Stainless Steel ด้วยระบบวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองแบบ EDX

Sample	% Cr	% Cr (Known Conc.)	% Error* (Cr)	% Fe	% Fe (Known Conc.)	% Error* (Fe)	% Ni	% Ni (Known Conc.)	% Error* (Ni)
d189	18.634	18.470	0.164	69.948	70.464	0.516	7.804	8.690	0.886
	19.079		0.609	67.672		2.792	7.533		1.157
	18.443		0.027	73.233		2.769	8.303		0.387
Sc17	16.131	16.270	0.139	75.478	82.55	7.072	N.D.	0.190	N.D.
	16.586		0.316	78.140		4.41	N.D.		N.D.
	15.353		0.917	75.656		6.894	N.D.		N.D.
Lm1811	16.778	17.560	0.782	68.224	66.852	1.372	11.030	11.110	0.08
	16.713		0.847	66.497		0.355	10.589		0.521
	17.192		0.368	70.312		3.46	10.776		0.334

หมายเหตุ : N.D. คือ ไม่สามารถวัดได้ (Not Detectable)

\* คือ % Error ไม่คิดเครื่องหมาย +/-

