บทที่ 3

การพัฒนาอุปกรณ์ และระบบสแกน

3.1 อุ กรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ประกอบด้วย

3.1.1 หัววัดรังสีแกมมาแบบซินทิลเลชัน ชนิดโซเดียมไอโอไดด์(ทัลเลียม) ขนาด 2" x 2" พร้อมหลอดทวีคูณแสง (PMT) BICRON MODEL 2M2/2PB

3.1.2 ฐานหลอด (tube base) พร้อมภาคขยายส่วนหน้า (preamplifier) ORTEC MODEL 276 สำหรับหัววัด NaI (Tl) ขนาด 2" x 2" ORTEC

3.1.3 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (high voltage power supply) สำหรับจ่ายหัววัดรังสี ORTEC MODEL 556

3.1.4 ภาคขยายสัญญาณ (amplifier) ORTEC MODEL 575A และ MODEL 490A

3.1.5 NIM BIN และแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า ORTEC MODEL 4001C

3.1.6 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (multichannel analyzer) CANBERRA SERIES 35 PLUS หรือ SERIES 40

3.1.7 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer) IBM PC/AT 16 บิต ที่แสดงผลบนจอโมโนโครม หรือเครื่องที่มีสมรรถนะเทียบเคียงกัน

3.1.8 ระบบขับเคลื่อนเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการสร้างภาพโทโมกราฟี

3.1.9 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ (stepping motor driver circuit))

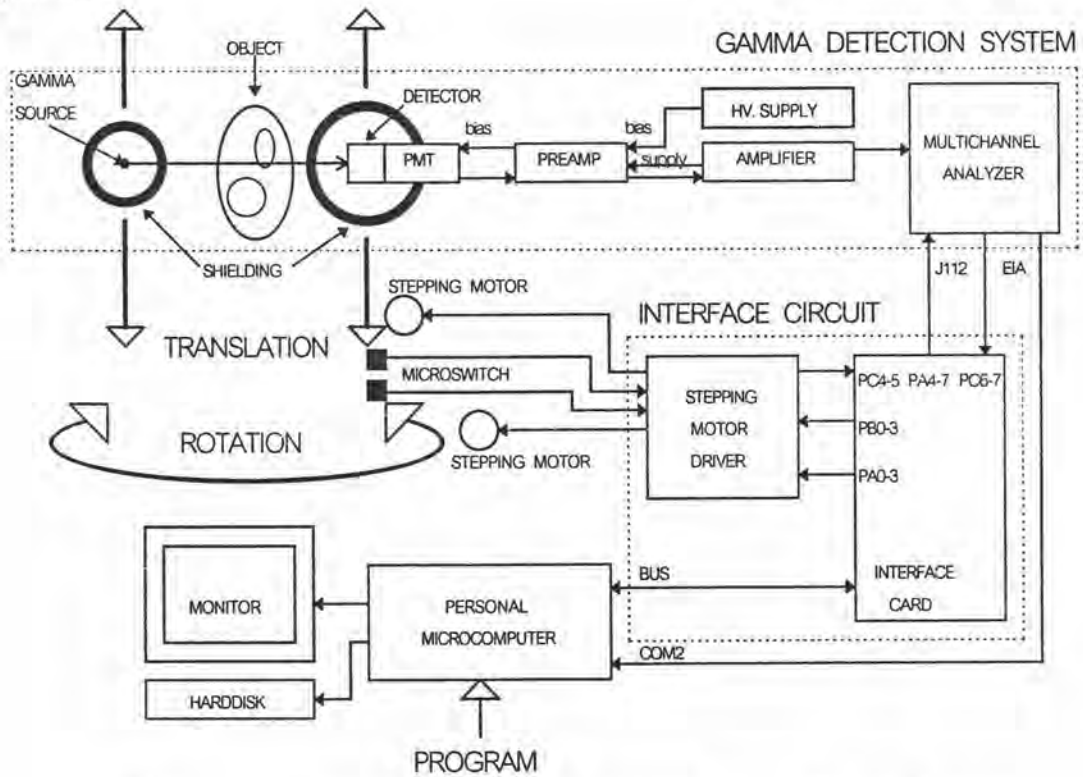
3.1.10 แผ่นวงจรเชื่อมโยง (interface card) สำหรับเชื่อมโยงการทำงาน ระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

3.1.11 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ความแรงรังสี 30 mCi และต้นกำเนิดรังสีแกมมา Ir-192 ความแรงรังสีขณะทำการวิจัย 1 Ci

3.1.12 อุปกรณ์กำบัง และบังคับลำรังสี สำหรับต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสี ทำด้วยตะกั่ว

3.2 ระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงาน

ระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงาน ได้พัฒนาขึ้นมาจากชุดอุปกรณ์คำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเคลื่อนที่[1] ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ระบบวัดรังสีแกมมา ระบบขับเคลื่อน และวงจรเชื่อมโยง ซึ่งส่วนประกอบหลักทั้ง 3 ส่วนนี้ จะทำงานร่วมกันภายใต้การควบคุมของโปรแกรมบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงานแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงาน

จากแผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบจะเห็นได้ว่าระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงานประกอบด้วย ระบบวัดรังสีแกมมาทำหน้าที่วัดความเข้มของรังสีแกมมาที่ผ่านชิ้นงานตัวอย่างในช่วงเวลาที่กำหนด โดยแยกตามพลังงานด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง แล้วส่งผ่านข้อมูลที่วัดได้ของแต่ละพลังงานไปยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ระบบขับเคลื่อนทำหน้าที่ขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสีไปพร้อมกัน ทั้งการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและการหมุนตามที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สั่งงาน วงจรเชื่อมโยงทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องและระบบขับเคลื่อน เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง และการขับเคลื่อน

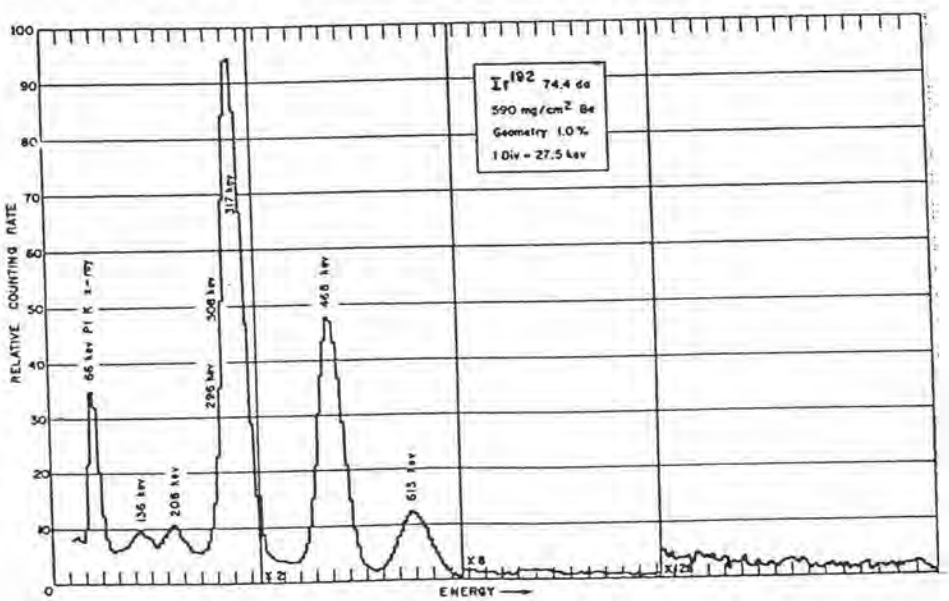
ของระบบสแกน และท้ายที่สุดคือโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมระบบสแกนและแสดงข้อมูลที่ได้แต่ละโพรไฟล์ออกหน้าจอ และเก็บบันทึกข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์

3.3 ระบบวัดรังสีแกมมาหลายพลังงาน

ระบบวัดรังสีแกมมาหลายพลังงานประกอบด้วย ต้นกำเนิดรังสีแกมมา และหัววัดรังสีแกมมา อุปกรณ์กำบัง และบังคับลำรังสี ภาคขยายส่วนหน้า แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง ภาคขยายสัญญาณ และ NIM BIN และเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

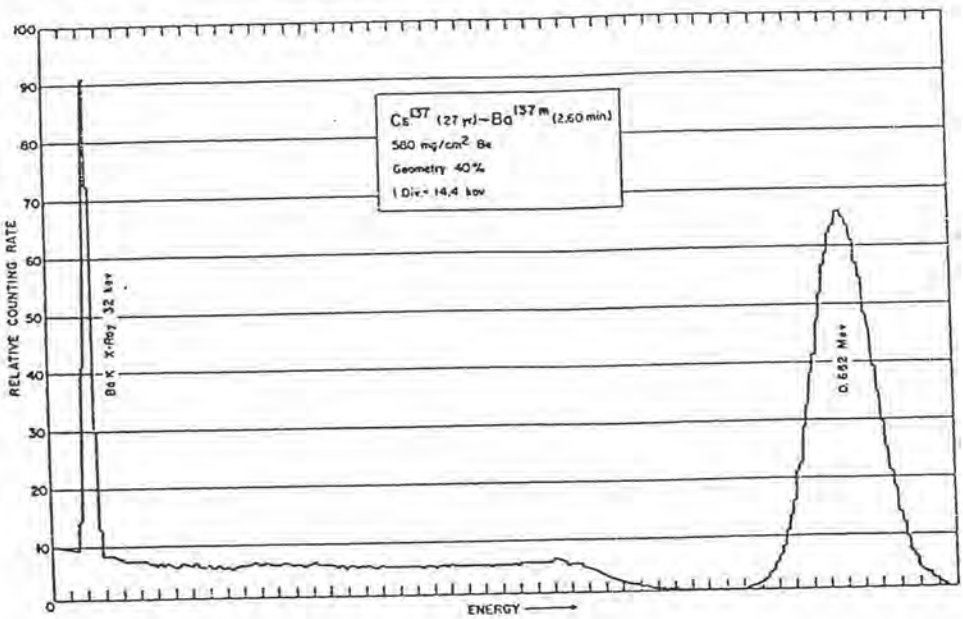
3.3.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือการสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงาน ดังนั้นจึงต้องการต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ให้รังสีแกมมาได้หลายพลังงาน ซึ่งต้องมีค่าพลังงานที่เหมาะสมไม่สูง หรือต่ำเกินไป และมีค่าพลังงานที่ต่างกันมากพอ ที่ระบบวัดรังสีจะสามารถแยกออกจากกันได้ จากคุณสมบัติที่กล่าวมานี้ทำให้ผู้วิจัยเลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Ir-192 ที่ให้รังสีแกมมาพลังงาน 317, 468 และ 613 keV ดังแสดงโดยสเปกตรัมในรูปที่ 3.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Ir-192 เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาโดยทั่วไป ทำให้มีข้อดีคือสามารถจัดหาได้โดยง่าย แต่ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Ir-192 ก็มีข้อเสียที่ค่าครึ่งชีวิต (half life) ค่อนข้างสั้น คือประมาณ 74 วัน ทำให้ความแรงรังสีมีค่าลดลงทุกๆ วัน ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ทำการวิจัยนี้มีความแรงประมาณ 1 Ci ในขณะทำการวิจัย บรรจุใน capsule X441



รูปที่ 3.2 สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแกมมา Ir-192

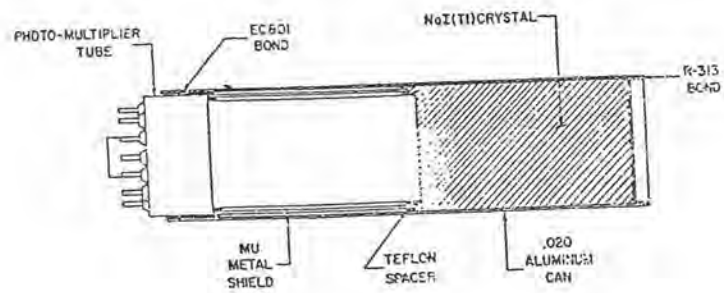
เนื่องจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา Ir-192 ที่ใช้มีความแรงรังสีสูง ดังนั้นในการวิจัยช่วงแรก จึงใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ที่ให้รังสีแกมมาพลังงาน 662 KeV ความแรง 30 mCi เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาในระหว่างการจัด และทดสอบอุปกรณ์ เพื่อลดปริมาณรังสีที่จะได้รับ สเปกตรัมของ Cs-137 ได้แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137

3.3.2 หัววัดรังสีแกมมา

เนื่องจากเป็นระบบวัดรังสีแกมมาหลายพลังงาน หัววัดที่ใช้จึงต้องมีการตอบสนองที่แปรผันโดยตรงกับพลังงานของรังสี เพื่อให้ระบบวัดสามารถแยกแยะจำนวนอนุภาคตามพลังงานได้ หัววัดรังสีที่มีคุณสมบัตินี้ได้แก่หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน ซึ่งที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) และหัววัดรังสีบิสมัทเจอร์มาเนท (bismuth germanate ;BGO) ซึ่งแม้ว่าหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า โดยเฉพาะกับรังสีที่พลังงานสูง แต่ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (energy resolution) สูงกว่า จึงมีความเหมาะสมกับการใช้ในระบบวัดรังสีแกมมาหลายพลังงานมากกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้รังสีแกมมาพลังงานสูงสุด 662 KeV และมีค่าพลังงานที่ต่างกันในแต่ละพลังงานเกินกว่า 100 KeV จึงใช้หัววัดรังสีโซเดียม-ไอโอไดด์ได้อย่างเหมาะสม และเพื่อให้พอดีกับอุปกรณ์กำบังรังสีที่มีอยู่เดิม งานวิจัยนี้จึงใช้หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ขนาด 2 x 2 นิ้ว พร้อมหลอดทวีคูณแสง BICRON MODEL 2M2/2PB

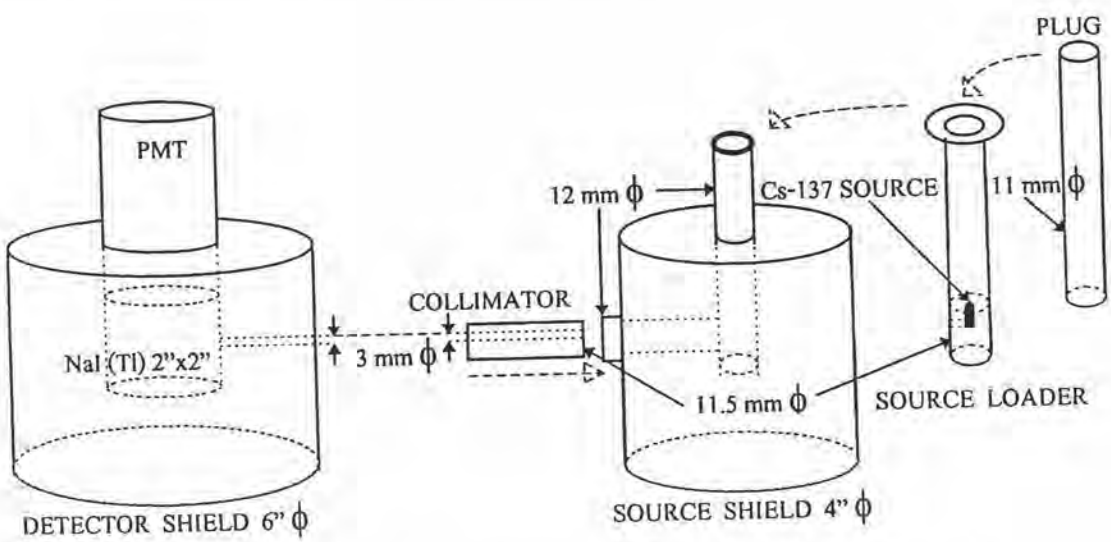


รูปที่ 3.4 หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์

3.3.3 อุปกรณ์กำบัง และบังคับลำรังสี

เนื่องจากลักษณะการทำงานของระบบสแกนที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นระบบสแกนแบบรังสีลำแคบจึงต้องควบคุมลำรังสีให้เป็นลำรังสีแบบแคบหนึ่งลำ โดยการนำวัสดุกำบังรังสีมาขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์บังคับลำรังสี (collimator) เพื่อจำกัดรังสีในทิศทางที่ไม่ต้องการ วัสดุกำบังรังสีที่ใช้คือตะกั่วเนื่องจากมีค่าลดทอนรังสีสูงจึงทำให้อุปกรณ์กำบังรังสีมีขนาดไม่ใหญ่นัก

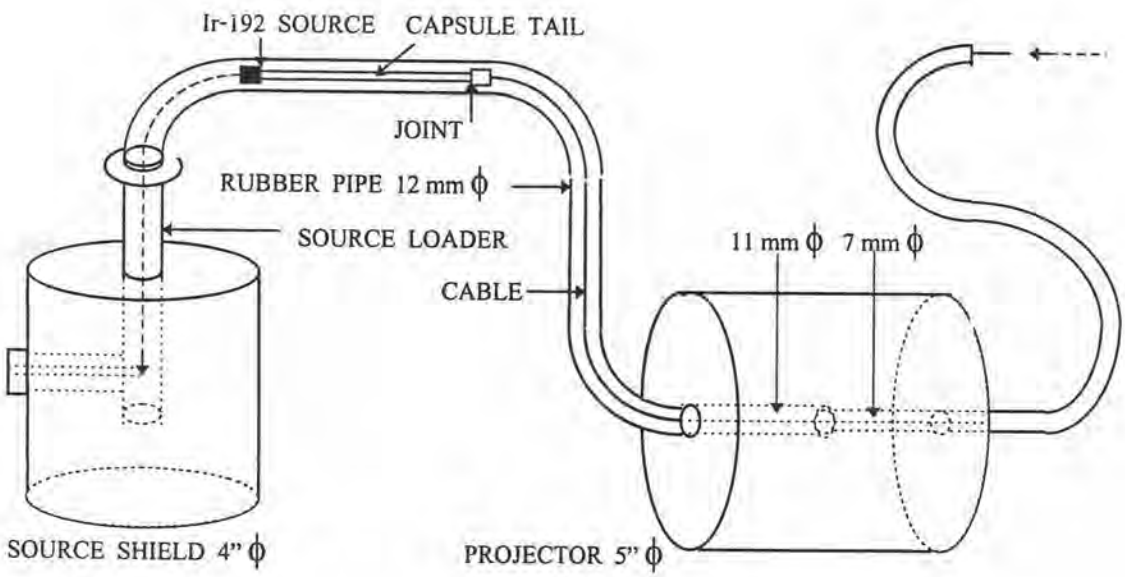
ในระบบสแกนมีการใช้อุปกรณ์กำบัง และบังคับลำรังสีอยู่ 2 ตำแหน่ง คือที่ต้นกำเนิดรังสีแกมมา และที่หัววัดรังสี ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์กำบัง และบังคับลำรังสี สำหรับหัววัดรังสี และต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137

จากรูปจะเห็นได้ว่าต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ถูกบรรจุอยู่ภายในอุปกรณ์บรรจุต้นกำเนิดรังสี (source loader) ซึ่งนำมาประกอบไว้ในอุปกรณ์กำบังรังสีที่ต้นกำเนิดรังสี โดยมีแท่งวัสดุกำบังรังสี (plug) ปิดไว้ด้านบนอีกชั้นหนึ่ง รังสีจึงถูกกำบังในทุกทิศทาง เหลือเพียงลำรังสีแบบแคบหนึ่งลำที่ผ่านช่องของอุปกรณ์บังคับลำรังสี ขนาด 3 มิลลิเมตร ลำรังสีนี้จะไปทะลุผ่านชิ้นงานก่อนเข้าสู่หัววัดรังสี โดยผ่านช่องของอุปกรณ์กำบังรังสีที่หัววัดรังสี ขนาด 3 มิลลิเมตร ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังคับลำรังสีที่หัววัดรังสีอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้หัววัดได้รับเฉพาะรังสีที่ตรงทะลุผ่านชิ้นงานขนาด 3 มิลลิเมตร

ส่วนต้นกำเนิดรังสีแกมมา Ir-192 นั้น เนื่องจากมีความแรงรังสีสูง และบรรจุอยู่ใน capsule X441 ซึ่งมีหางที่ยื่นต่อออกมา การย้ายบรรจุจึงสามารถใช้อุปกรณ์นำบรรจุ (projector) ซึ่งทำด้วยตะกั่ว ทำหน้าที่ย้ายต้นกำเนิดรังสีเข้าสู่อุปกรณ์บรรจุต้นกำเนิดรังสีที่ได้ประกอบอยู่ในอุปกรณ์กำบังรังสีที่ต้นกำเนิดรังสีแล้ว เพื่อหลีกเลี่ยงการเข้าใกล้ต้นกำเนิดรังสีอันจะทำให้ได้รับรังสีปริมาณสูง ดังแสดงวิธีการย้ายต้นกำเนิดรังสีในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การย้ายต้นกำเนิดรังสีแกมมา Ir-192 โดยใช้อุปกรณ์นำบรรจุต้นกำเนิดรังสี

3.3.4 ฐานหลอด และภาคขยายส่วนหน้า

เนื่องจากหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ และหลอดทวีคูณแสงจะสามารถทำงานได้ต่อเมื่อมีศักดาไฟฟ้าป้อนผ่านฐานหลอด ซึ่งภายในฐานหลอดจะมีวงจรภาคขยายส่วนหน้า ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากหัววัดรังสีให้มีขนาดพอเหมาะสำหรับส่งผ่านสายนำสัญญาณไปยังภาคขยายสัญญาณ โดยงานวิจัยนี้ใช้ฐานหลอด ORTEC MODEL 276

3.3.5 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง

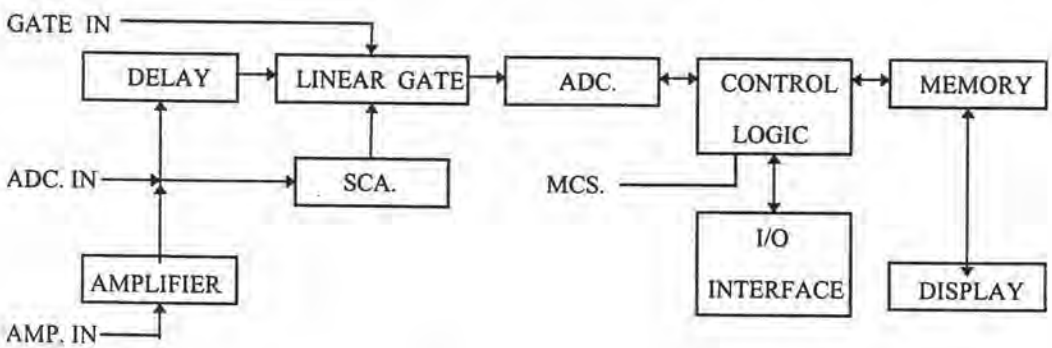
เนื่องจากการทำงานของหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ ต้องการศักดาไฟฟ้าสูงป้อนผ่านฐานหลอด ซึ่งหากศักดาไฟฟ้าสูงมีค่าเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้ความสูงของสัญญาณเปลี่ยนแปลงตาม ทำให้ค่าพลังงานที่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องวิเคราะห์ได้มีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงต้องการแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงที่สามารถจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงได้อย่างเที่ยงตรง แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง ORTEC MODEL 556

3.3.6 ภาคขยายสัญญาณ และ NIM BIN

ภาคขยายสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และแต่งสัญญาณให้อยู่ในรูป semigaussian ก่อนส่งสัญญาณสู่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง เพื่อให้สามารถเลือกอัตราขยายสัญญาณได้ในช่วงกว้าง งานวิจัยนี้จึงมิได้ใช้ภาคขยายสัญญาณที่มีอยู่ภายในเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง แต่ได้ใช้ภาคขยายสัญญาณ ORTEC MODEL 575A ติดตั้งบน NIM BIN ORTEC MODEL 4001C ซึ่งสามารถปรับอัตราขยายสัญญาณได้ตั้งแต่ 5 เท่า จนถึง 1250 เท่า และเนื่องจากต้นกำเนิดรังสี Ir-192 มีความแรงรังสีสูงทำให้สัญญาณเกิดการซ้อนเหลื่อม (pile up) จึงต้องใช้ภาคขยายสัญญาณที่มีค่า shaping time สั้น คือภาคขยายสัญญาณ ORTEC MODEL 490A

3.3.7 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องเป็นอุปกรณ์วัดรังสีพื้นฐาน ของระบบวัดนิวเคลียร์ ทำหน้าที่วิเคราะห์แบ่งแยกความเข้มรังสีออกเป็นช่อง (channel) ตามความสูงของสัญญาณที่ได้รับ ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานของรังสี สามารถแสดงส่วนประกอบภายในของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องได้ด้วยแผนภาพในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงส่วนประกอบภายในเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

จากแผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบจะเห็นได้ว่าเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องมีการรับสัญญาณเข้า 3 จุดคือ ที่ภาคขยายสัญญาณ ที่ ADC in และที่ linear gate เนื่องจากใน

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ภาคขยายสัญญาณจากภายนอก ดังนั้นสายสัญญาณที่ออกจากภาคขยายสัญญาณภายนอกจึงต้องต่อเข้าที่ ADC in สัญญาณจะเข้าสู่ส่วนวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (single channel analyzer ;SCA) ซึ่งคอยควบคุม linear gate ให้คัดเลือกสัญญาณที่ผ่านทางวงจร delay โดยตัดสัญญาณอยู่นอกช่วงพลังงานที่สนใจออกไป จากนั้นส่วน ADC (analog to digital converter) จะทำการแปลงค่าความสูงของสัญญาณเป็นค่าของช่องที่สัญญาณนั้นจะถูกนำไปนับรวมการวิเคราะห์สัญญาณขั้นต่อไปจะควบคุมโดยส่วน control logic ซึ่งสั่งเพิ่มจำนวนนับในส่วนความจำ ตามช่องที่ส่วน ADC ส่งค่ามา แล้วแสดงผลออกหน้าจอเมื่ออยู่ในระหว่างการนับ (collect) หรือหยุดนับเมื่อเวลานับครบตามที่กำหนด รวมทั้งการลบข้อมูลในส่วนความจำทั้งหมด การอ่านข้อมูลออก เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถสั่งได้ ทั้งจากปุ่มกดบนตัวเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องและการควบคุมจากภายนอกผ่านส่วน I/O interface โดยการต่อสาย 25 -pin female D-style เข้าที่พอร์ต J112 ซึ่งมีการจัดตำแหน่งขารับส่งสัญญาณดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยสัญญาณที่ผ่านเข้าออกในแต่ละขาจะเพียงมี 2 สถานะคือ สถานะปกติ กับสถานะกระตุ้น ซึ่งสถานะปกติอาจแสดงด้วยสภาวะทางไฟฟ้าเป็น “high” หรือ “low” ก็ได้ แล้วแต่การกำหนดของแต่ละสัญญาณ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การจัดขารับส่งสัญญาณที่พอร์ต J112 ของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

PIN NUMBER	SIGNAL	NORMAL STATUS	DESCRIPTION
1, 2, 3	GND		GROUND
4	EXT ADV	LOW	MCS EXTERNAL ADVANCE IN
5	EXT TRIG	LOW	MCS ADVANCE TRIGGER IN
6	SCADV	LOW	SAMPLE CHANGER ADVANCE OUT
7	BSYOUT	HIGH	MCA BUSY OUT
8	BSYIN	HIGH	DEVICE BUSY IN
9	COLLECT	HIGH	COLLECT STATUS OUT
10	I/O	HIGH	READOUT STATUS OUT
11	STOPCOL	HIGH	STOP COLLECT IN
12	STARTCOL	HIGH	START COLLECT IN
13	CLRDAT	HIGH	CLEAR DATA IN
15	GATE	LOW	GATE IN
21	AMS	LOW	ABORT MCS SWEEP
22	AOF	LOW	ADDRESS OVERFLOW
23, 24	GND		GROUND
25	STARTIO	HIGH	START READOUT IN

ALL INPUTS	ALL OUTPUTS
HIGH + 2.4 to 5.0 V or open	HIGH +2.4 to 5.0 V at < 0.4 mA (2.4 V)
LOW 0.0 to +3.0 V at < 2mA	LOW 0.0 to 0.5 V at < 0.4 mA

pulse widths > 0.5 μs, except as noted

จากตารางพบว่าคำสั่งที่จำเป็นในการสั่งงานเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องให้สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบต่อเนื่อง ในระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี มีอยู่ 4 คำสั่ง คือ คำสั่งหยุดนับ คำสั่งเริ่มต้นนับ คำสั่งลบข้อมูล และคำสั่งอ่านข้อมูลออก ซึ่งสั่งเข้าที่ขา 11, 12, 13 และ 25 ตามลำดับ ส่วนสัญญาณเอาท์พุตมีอยู่ 2 สัญญาณที่จำเป็น คือสัญญาณแสดงสถานะไม่พร้อมทำงาน และสัญญาณแสดงสถานะการนับของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง ซึ่งส่งออกที่ขา 7 และ 9 ตามลำดับ โดยทั้งสัญญาณอินพุต และเอาท์พุตที่จำเป็นทั้งหมด พบว่ามีสถานะปกติ เป็น "high" และสภานะกระตุ้น เป็น "low" ตัวอย่างเช่น สัญญาณที่ขา 25 ในสถานะปกติจะมีสภาวะเป็น "high" เมื่อต้องการสั่งให้เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องอ่านข้อมูลออก จะสั่งได้โดยการเปลี่ยนสภาวะเป็น "low" ซึ่งการอ่านข้อมูลออกนั้น เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องสามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ได้หลายชนิด เช่น เครื่อง teletype เครื่อง X-Y plotter และเครื่อง digital cassette recorder เป็นต้น แต่สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการส่งข้อมูลออกไปยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงกำหนดให้เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องส่งข้อมูลผ่านพอร์ต EIA ซึ่งเป็นพอร์ตอนุกรม RS-232 ซึ่งมีการจัดตำแหน่งขารับส่งสัญญาณดังแสดงในภาคผนวก ค ส่วนรูปแบบข้อมูลซึ่งสามารถเลือกได้หลายรูปแบบนั้น จะกำหนดให้อยู่ในรูปแบบ ROI BRIEF เนื่องจากข้อมูลที่ต้องการคือความเข้มของรังสีแกมมาพลังงานต่างๆ ที่ผ่านชิ้นงานออกมา ซึ่งก็คือค่าพื้นที่จำนวนนับในช่วงที่สนใจ (region of interest ;ROI) นั้นเอง

3.4 ระบบขับเคลื่อนเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ระบบขับเคลื่อนเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบเคลื่อนที่ [1] ซึ่งพัฒนาโดยภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ทำหน้าที่ขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสีไปพร้อมกันด้วยสเต็ปปิงมอเตอร์ 2 ตัว ซึ่งเป็นสเต็ปปิงมอเตอร์ชนิด VR (variable-reluctance) แบบ 4 เฟส ที่มีความละเอียดของสเต็ปเท่ากับ 1.8 องศา โดยสเต็ปปิงมอเตอร์ตัวหนึ่งจะทำหน้าที่ขับเคลื่อนในแนวเส้นตรง โดยการขับเฟืองตัวหนอนซึ่งประกอบกับแท่นเลื่อน 2 ชุด ซึ่งวางแนวขนานกัน ด้านหนึ่งวางหัววัดรังสี อีกด้านหนึ่งวางต้นกำเนิดรังสี ส่วนสเต็ปปิงมอเตอร์อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่หมุนชุดขับเคลื่อนส่วนแรก ซึ่งมีต้นกำเนิดรังสีแกมมา และหัววัดรังสีวางอยู่ไปด้วยทั้งชุด ดังแสดงในรูปที่ 3.8 จากการทดสอบพบว่าการขับเคลื่อนหมุนให้ครบ 180 องศา ต้องใช้คำสั่งขับเคลื่อน 7600 รอบคำสั่ง ส่วนการขับเคลื่อนในแนวเส้นตรงนั้น พบว่าเมื่อส่งคำสั่งขับเคลื่อน 1000 รอบคำสั่ง จะเกิดการขับเคลื่อนในแนวเส้นตรง 30 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.8 ระบบขับเคลื่อนเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

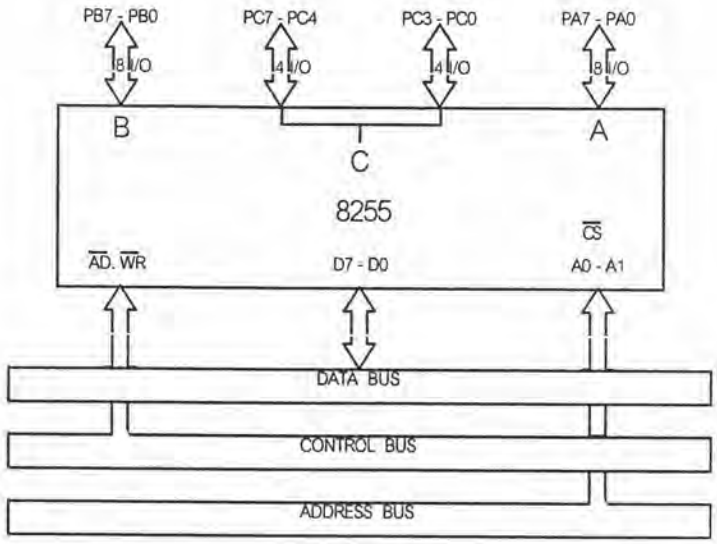
นอกจากนี้บนระบบขับเคลื่อนยังมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ ไมโครสวิตช์ ซึ่งมีติดตั้งอยู่ 2 จุด ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง และการหมุน โดยการส่งสัญญาณเข้าสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทันทีเมื่อสวิตช์ถูกกดจากการขับเคลื่อนเข้าชน จากการทดสอบพบว่าระบบสามารถขับเคลื่อนหมุนจากจุดเริ่มต้นเป็นมุมสูงสุด 200 องศา ส่วนการขับเคลื่อนในแนวเส้นตรงนั้นพบว่า ระบบสามารถขับเคลื่อนจากจุดเริ่มต้นเป็นระยะทางสูงสุด 372 มิลลิเมตร โดยมีระยะทางจากจุดเริ่มต้นถึงแนวศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ 192 มิลลิเมตร

3.5 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

วงจรเชื่อมโยงสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบเคลื่อนที่ [1] ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ และวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

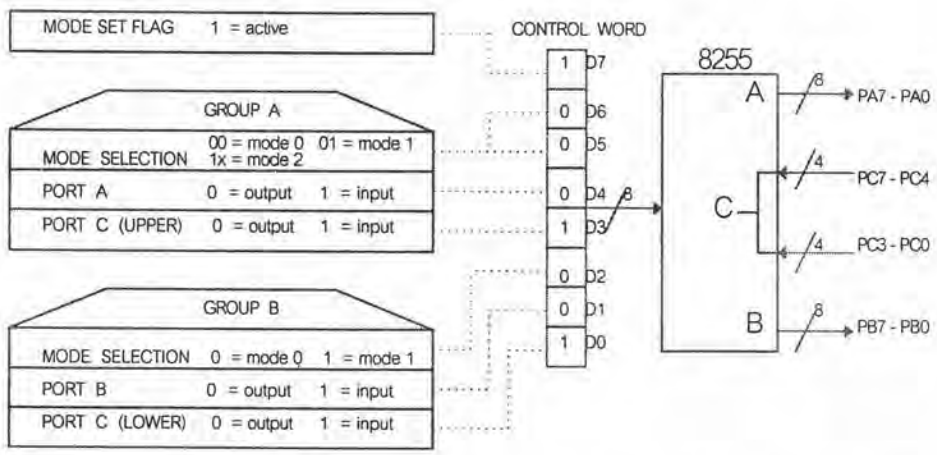
3.5.1 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบขับเคลื่อนและเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง โดยอาศัยการโอนถ่ายสัญญาณผ่านพอร์ตของไอซีหมายเลข 8255 ซึ่งมีพอร์ตให้ใช้งาน 3 พอร์ต ด้วยกัน คือ พอร์ต A พอร์ต B และพอร์ต C ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลแบบขนานได้รวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีพอร์ต D ซึ่งทำหน้าที่เป็นพอร์ตควบคุม สำหรับการทำงานในโหมดอินพุต/เอาต์พุตพื้นฐาน (basic I/O ;mode 0) ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 พอร์ต และการเชื่อมต่อระบบบัส ในโหมดอินพุต/เอาต์พุตพื้นฐาน ของไอซีหมายเลข 8255

การใช้งานไอซีหมายเลข 8255 จะต้องทำการส่งรหัสควบคุม (control code) ให้แก่พอร์ตควบคุมเสียก่อน รหัสควบคุมเป็นคำสั่งขนาด 8 บิต ซึ่งแต่ละบิตมีความหมายในการควบคุมต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้รหัสควบคุม 10001001 (137) ซึ่งการควบคุมไอซีหมายเลข 8255 ด้วยค่ารหัสอื่นมีแสดงในภาคผนวก ค เมื่อทำการโอนถ่ายสัญญาณผ่านพอร์ตของไอซีหมายเลข 8255 แล้ว จะทำให้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สามารถรับส่งสัญญาณเพื่อควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้ โดยได้เลือกหมายเลขพอร์ต 300H-31FH ซึ่งเป็นพอร์ตของการ์ดโปรโตไทป์ (prototype) ที่มิได้ใช้งาน เป็นตำแหน่งอ้างแอดเดรสของโปรแกรมในไมโคร-คอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.10 รูปแบบของรหัสควบคุมที่ใช้ และการทำงานของไอซีหมายเลข 8255

ตารางที่ 3.2 การจัดตำแหน่งหมายเลขพอร์ตที่ใช้อ้างอิงภายในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

เลขพอร์ต	พอร์ต 8255	ชนิดสัญญาณ	หน้าที่
300H (768)	พอร์ต A	สัญญาณขาออก	ควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ที่ทำการขับเคลื่อนในแนวเส้นตรง และสั่งงานเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
301H (769)	พอร์ต B	สัญญาณขาออก	ควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ที่ทำการขับเคลื่อนหมุน
302H (770)	พอร์ต C	สัญญาณขาเข้า	รับสัญญาณจากไมโครสวิตช์ และรับค่าสถานะจากเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
303H (771)	พอร์ต D	สัญญาณขาเข้า	รับค่ารหัสควบคุมไอซี 8255

3.5.2 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์

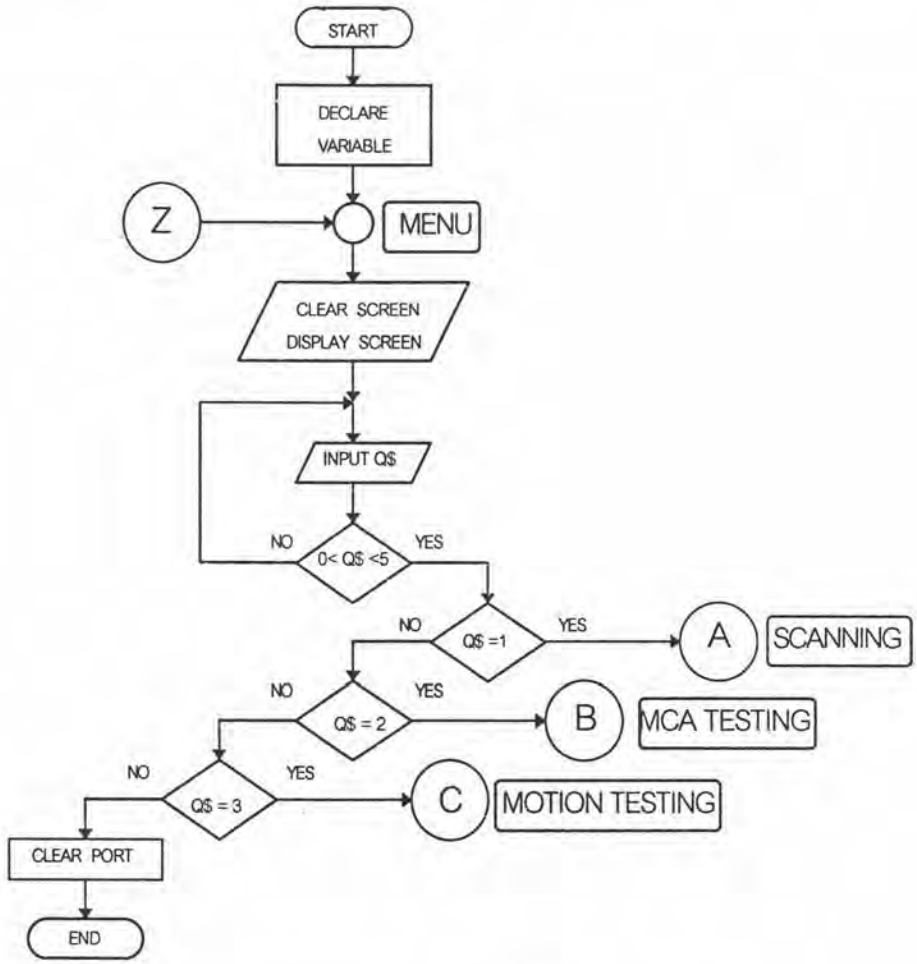
เนื่องจากสัญญาณที่ส่งจากแผ่นวงจรเชื่อมโยงเป็นสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม จึงไม่สามารถนำไปใช้ขับเคลื่อนสเต็ปปิงมอเตอร์ได้โดยตรงเพราะไม่สามารถจ่ายกระแสได้เพียงพอ จะต้องใช้วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N3055 จำนวน 2 ชุด ชุดละ 4 ตัวทำหน้าที่ส่งกระแสให้สเต็ปปิงมอเตอร์แต่ละเฟส โดยสัญญาณควบคุมจากแผ่นวงจรเชื่อมโยงจะถูกส่งเข้าสู่ไอซีหมายเลข 74LS244 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรบัฟเฟอร์ จากนั้นสัญญาณเอาท์พุตจะถูกส่งต่อไปยังทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N2222 และเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N3055 ซึ่งจะส่งกระแสจากภาคจ่ายไฟที่แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ขับ field coil ของสเต็ปปิงมอเตอร์

3.6 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

โปรแกรมควบคุมระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเขียนขึ้นด้วยภาษา QuickBASIC ซึ่งมีรูปแบบโครงสร้างของตัวภาษาคล้ายกับภาษาคอมพิวเตอร์ชั้นสูงอื่นๆ ทั่วไป ทั้งยังสามารถจัดการ และควบคุมการกำหนดใช้ I/O และการจัดหน้าจอได้โดยสะดวก จึงเหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งโปรแกรมจะต้องทำหน้าที่ควบคุมเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ให้สามารถสั่งการ และรับข้อมูลจากระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ผ่าน I/O และแสดงผลการทำงานสู่หน้าจอ

โปรแกรมควบคุมระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีประกอบด้วยโปรแกรม 3 ส่วนหลัก คือ โปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โปรแกรมทดสอบระบบขับเคลื่อน และโปรแกรมทดสอบการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์กับ

เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง ซึ่งรวมไว้อยู่ภายในโปรแกรมเดียวกัน สามารถเรียกใช้ได้โดยผ่านโปรแกรมเมนูหลัก ดังแสดงแผนภาพการทำงานในรูปที่ 3.11 และผลการแสดงทางจอภาพ ในรูปที่ 3.12

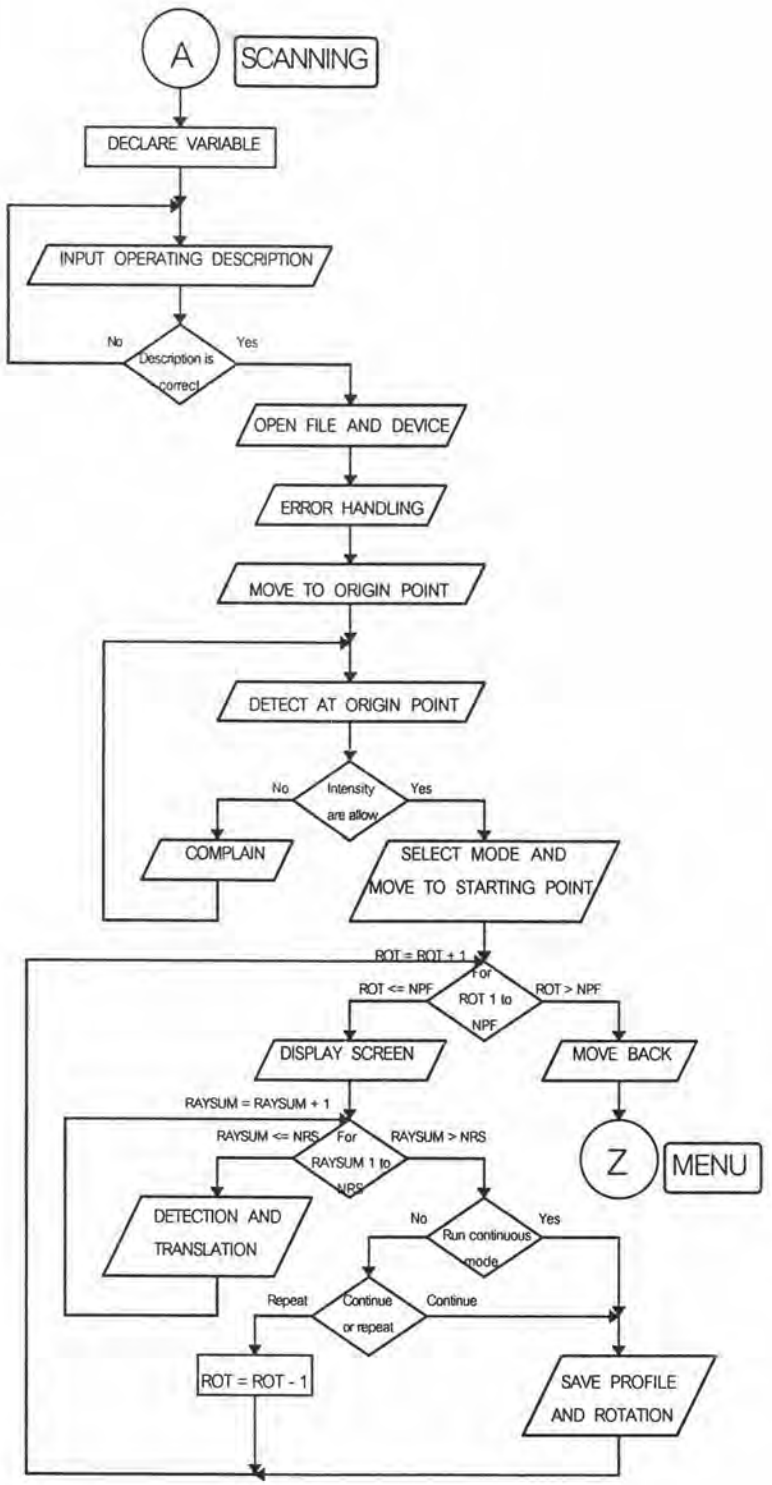


รูปที่ 3.11 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมเมนูหลัก

รูปที่ 3.12 ผลทางจอภาพของโปรแกรมเมนูหลัก

3.6.1 โปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

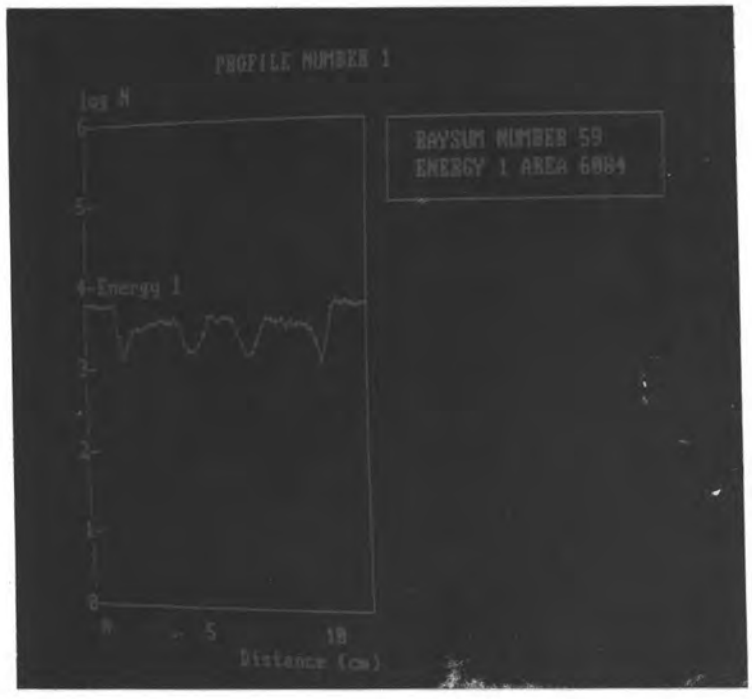
การทำงานของโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเริ่มต้นจากการป้อนรายละเอียดในการทำงานทั้งหมดให้โปรแกรมทราบ โปรแกรมจะเริ่มต้นสั่งงานให้ระบบขับเคลื่อนทำการขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสีแกมมา และหัววัดรังสี ไปยังตำแหน่งเริ่มต้น ซึ่งมีไมโครสวิตช์เป็นตัวกำหนด จากนั้นจะทดสอบความพร้อมของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง โดยการสั่งงานให้เริ่มนับเพื่อหาค่าความเข้มรังสีที่เข้าสู่หัววัดโดยยังไม่ผ่านชิ้นงาน หากค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โปรแกรมจะให้เลือกระบบการทำงานเป็นแบบต่อเนื่องหรือไม่ เมื่อได้เลือกแล้วระบบจะทำการสแกนโพรไฟล์แรก โดยจะเริ่มจากการขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสี ไปยังตำแหน่งเริ่มต้นของการสแกน โปรแกรมจะสั่งงานให้ลบข้อมูลที่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง ก่อนทำการนับเพื่อหาค่าความเข้มรังสีที่ผ่านชิ้นงาน ณ จุดนั้นๆ ข้อมูลที่วัดได้ของแต่ละพลังงานจะถูกส่งผ่านเข้าพอร์ตอนุกรม 2 (serial port ;COM 2) ซึ่งโปรแกรมจะเก็บค่าไว้ในตัวแปรก่อน และแสดงค่าที่ได้ในแต่ละจุดเป็นโพรไฟล์ออกทางจอภาพ จากนั้นจึงเคลื่อนต้นกำเนิดรังสีแกมมา และหัววัดรังสี ไปยังตำแหน่งที่จะวัดต่อไป ทำดังนี้จนครบทุกตำแหน่งตลอดโพรไฟล์ แล้วจึงเขียนข้อมูลเก็บลงไฟล์ข้อมูลในลักษณะจัดเรียงตามลำดับ (sequential) แต่หากระบบการทำงานเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง โปรแกรมจะให้เลือกว่าจะสแกนใหม่หรือจะสแกนต่อไป ถ้าหากต้องการสแกนใหม่โปรแกรมจะยังไม่เขียนข้อมูลเก็บลงไฟล์ และจะทำการสแกนโพรไฟล์เดิมซ้ำใหม่อีกครั้ง แต่หากต้องการสแกนต่อไปโปรแกรมจะให้เลือกระบบการทำงานใหม่อีกครั้ง ในการสแกนโพรไฟล์ถัดไปหลังจากหมุนระบบสแกนไปเป็นมุมที่ต้องการแล้ว การสแกนจะกระทำในทิศทางย้อนกลับ เมื่อสแกนจนกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้นเป็นอันจบโพรไฟล์ที่สอง ข้อมูลจะถูกเขียนเพิ่มต่อลงในไฟล์ข้อมูลเดิม เมื่อทำการการสแกนสลับไปมาในมุมต่อๆ ไปจนได้โพรไฟล์ของชิ้นงานตัวอย่างครบ 180 องศา จึงจะทำให้ได้ไฟล์ข้อมูลที่สมบูรณ์สามารถนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานตัวอย่างได้ ดังแสดงแผนภาพการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟในรูปที่ 3.13 ส่วนผลการแสดงทางจอภาพของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 3.14 ถึงรูปที่ 3.19



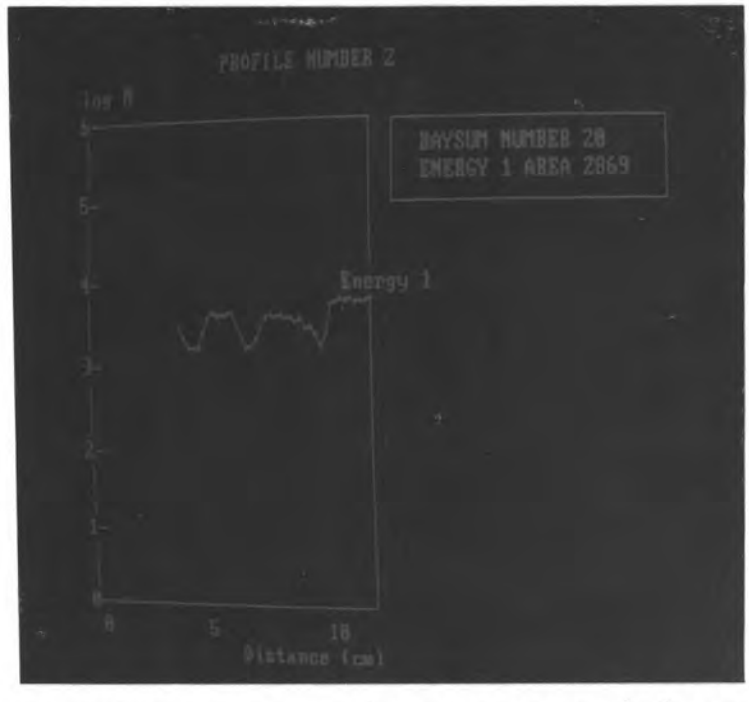
รูปที่ 3.13 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

รูปที่ 3.14 ผลการแสดงทางจอภาพของโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ในขั้นการป้อนรายละเอียดในการทำงานทั้งหมดให้โปรแกรม

รูปที่ 3.15 ผลการแสดงทางจอภาพของโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี หลังจากโปรแกรมได้รับค่าความเข้มรังสีที่เข้าสู่หัววัดโดยยังไม่ผ่านชิ้นงาน

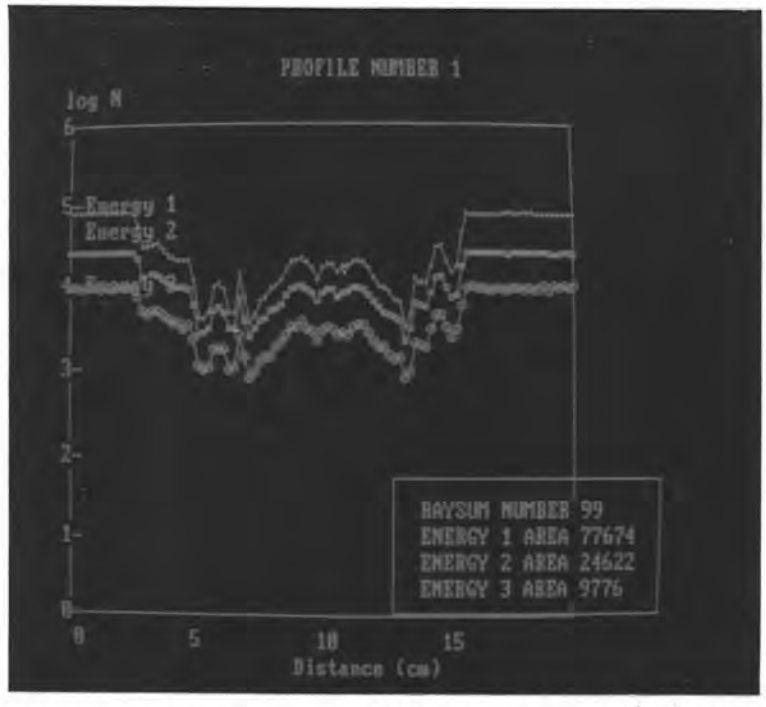


รูปที่ 3.16 ผลการแสดงทางจอภาพของโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี หลังจากการเก็บข้อมูลตลอดโพรไฟล์ที่ 1 แล้วเสร็จ



รูปที่ 3.17 ผลการแสดงทางจอภาพของโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ระหว่างการเก็บข้อมูลในโพรไฟล์ที่ 2 ซึ่งการสแกนจะกระทำในทิศทางย้อนกลับ

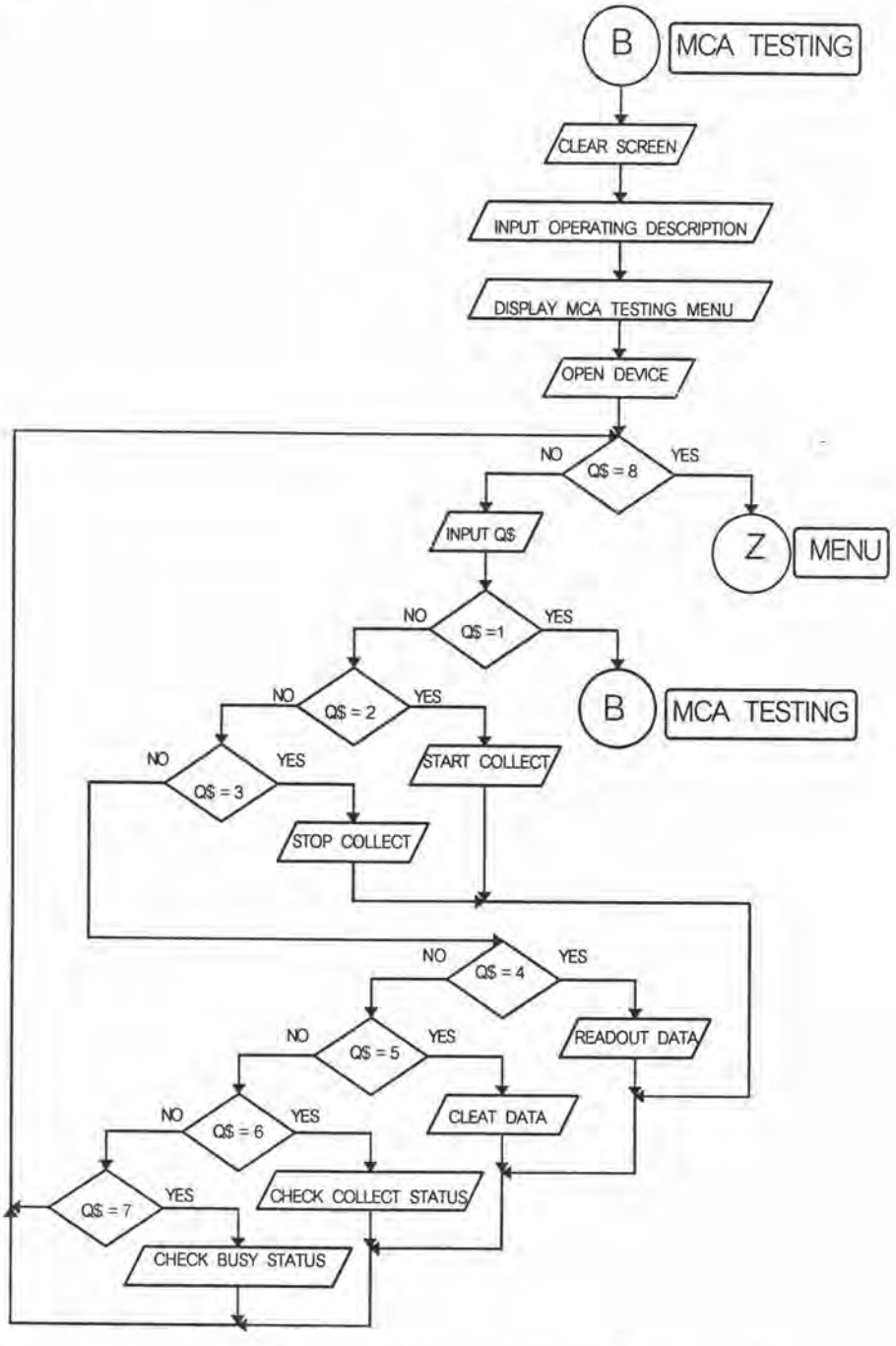
รูปที่ 3.18 ผลการแสดงทางจอภาพของโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาหลายพลังงาน หลังจากโปรแกรมได้รับค่าความเข้มรังสีที่เข้าสู่หัววัดโดยยังไม่ผ่านชิ้นงาน



รูปที่ 3.19 ผลการแสดงทางจอภาพของโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาหลายพลังงาน หลังจากการเก็บข้อมูลตลอดโพรไฟล์ที่ 1 แล้วเสร็จ

3.6.2 โปรแกรมทดสอบเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

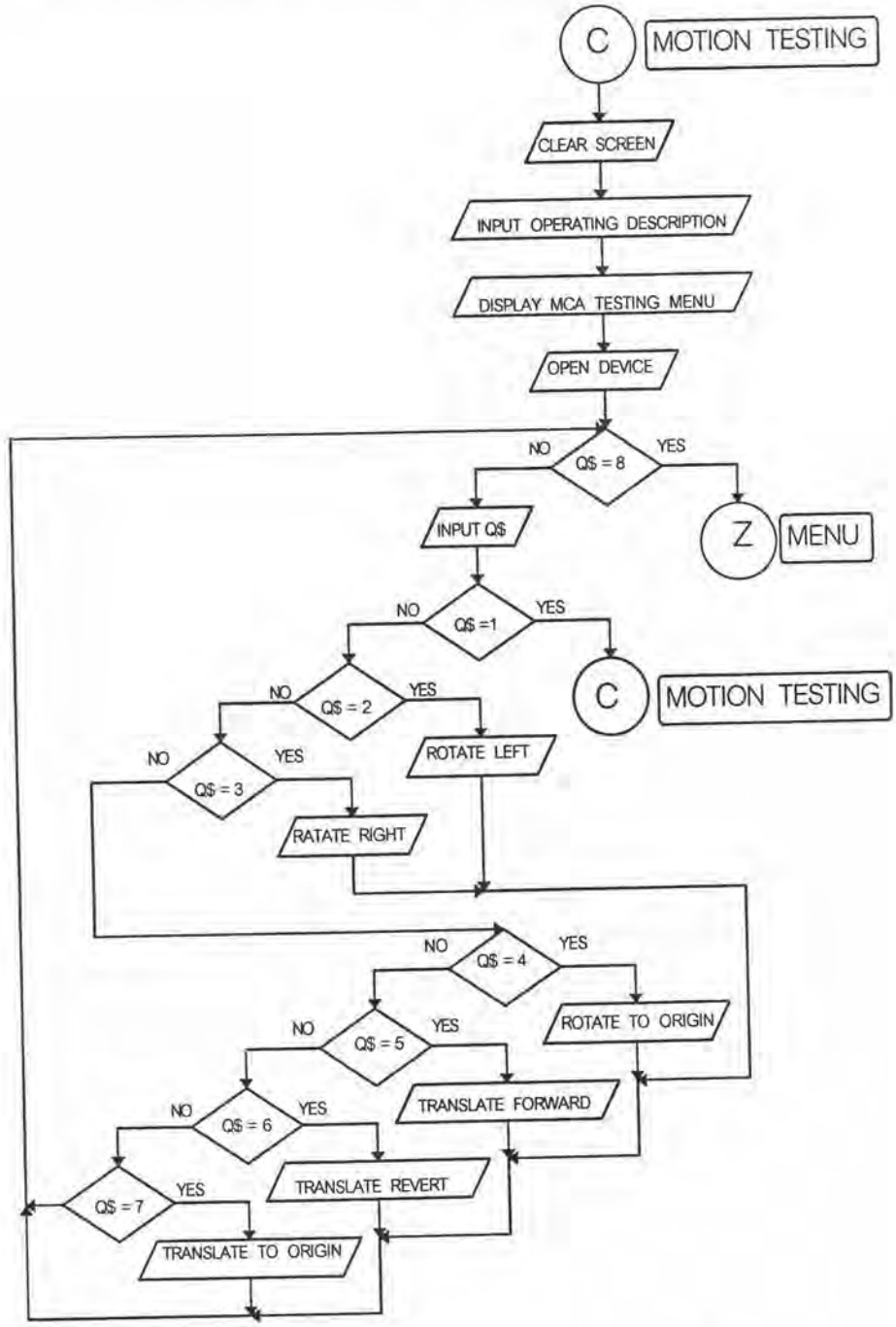
การทำงานของโปรแกรมทดสอบเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องเริ่มต้นทำงานจากการเปิดหน้าจอใหม่แล้วรับการป้อนรายละเอียดในการทำงานที่จำเป็น ก่อนจะแสดงเมนู และเปิดการเชื่อมโยงกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง ให้พร้อมรับส่งข้อ มูลกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นโปรแกรมจะรอรับคำสั่ง และทำงานตามที่แสดงในเมนู ังแสดงแผนภาพการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมทดสอบเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

3.6.3 โปรแกรมทดสอบระบบขับเคลื่อน

การทำงานของโปรแกรมทดสอบระบบขับเคลื่อนเริ่มต้นทำงานจากการเปิดหน้าจอใหม่ แล้วรับการป้อนรายละเอียดในการทำงานที่จำเป็น ก่อนจะแสดงเมนู และเปิดการเชื่อมโยงกับระบบขับเคลื่อน ให้พร้อมรับส่งข้อมูลกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นโปรแกรมจะรอรับคำสั่ง และทำงานตามที่แสดงในเมนู ดังแสดงแผนภาพ ารทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมทดสอบระบบขับเคลื่อน