บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และการออกแบบระบบเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์ม

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ ประกอบด้วย

3.1.1 สแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา (gray scale handheld scanner)

3.1.2 แผงวงจรเชื่อมโยง (interface circuit) สำหรับเชื่อมโยงไมโครคอมพิวเตอร์กับสแกนเนอร์

3.1.3 อุปกรณ์กลสำหรับระบบกลขับเคลื่อนฟิล์ม ได้แก่

3.1.3.1 สเต็ปปิงมอเตอร์แบบ 4 เฟส ที่มีความละเอียดของสเต็ปเท่ากับ 1.8 องศา 1ตัว

3.1.3.2 ball screw พร้อม shaft 1ชุด

3.1.3.3 slide shaft และ slide bush 1 ชุด

3.1.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับประกอบวงจรต่างๆ ได้แก่

3.1.4.1 วงจรเชื่อมโยงระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบขับเคลื่อนฟิล์ม

3.1.4.2 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์

3.1.4.3 วงจรควบคุมแสงของหลอดทังสเตนฮาโลเจน

3.1.5 หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten halogen lamp) ขนาด 220 โวล์ท 1000 วัตต์ และแผ่นสะท้อนแสง

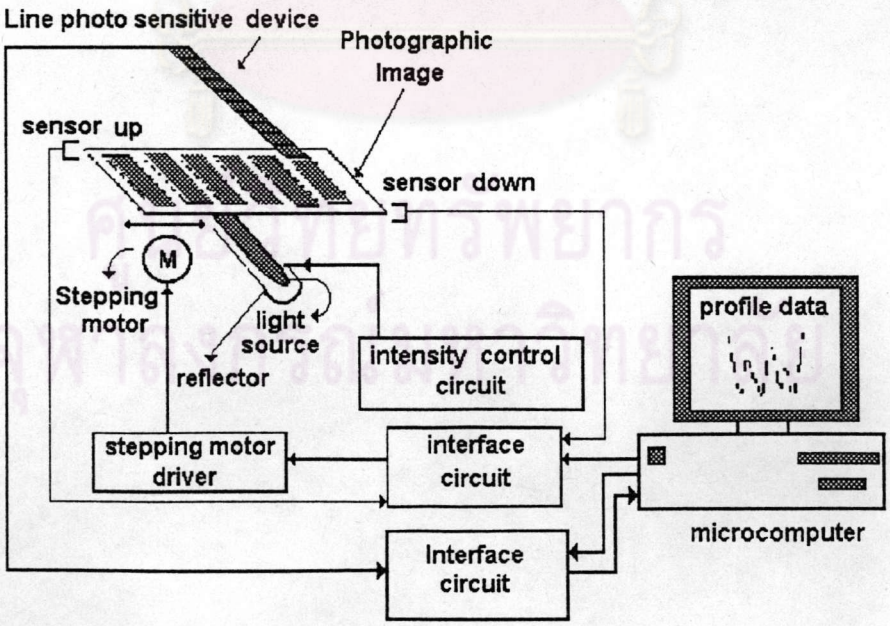
3.1.6 ไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC/AT ที่ ใช้หน่วยประมวลผลกลางเบอร์ 80486 โดยมีหน่วยความจำไม่ต่ำกว่า 4 เมกกะไบต์ และมีการ์ดแสดงผลแบบ VGA (Video Graphic Adapter)

3.2 การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ระบบเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่พัฒนาขึ้น ได้ออกแบบให้ใช้กับภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มของวัตถุตัวอย่างขนาดเล็กที่มีน้ำหนักไม่มากนัก การออกแบบแบ่งได้ เป็น 3 ส่วน คือ อุปกรณ์อ่านข้อมูลโพรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์ม อุปกรณ์กลขับเคลื่อนฟิล์ม และ

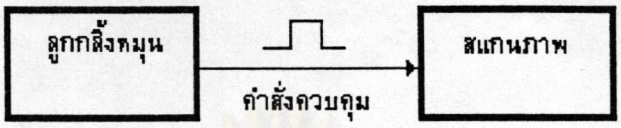
โปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบ ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม โปรแกรมการอ่านข้อมูลเชิงตัวเลขจากอุปกรณ์วัดความดำ โปรแกรมจัดการข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

หลักการทำงานของระบบเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้อาศัยการอ่านความดำของภาพถ่ายรังสีของวัตถุตัวอย่างทีละโพรไฟล์ โดยภาพถ่ายรังสีแต่ละโพรไฟล์นั้นได้จากการถ่ายภาพวัตถุที่หมุนไปทีละมุมน้อยๆ จนได้ภาพถ่ายรังสีอย่างน้อยครึ่งรอบของวัตถุนั้น ในการอ่านค่าความดำของแต่ละโพรไฟล์ ได้อาศัยหลักการส่องแสงจากต้นกำเนิดแสงผ่านแผ่นฟิล์ม ไปยังอุปกรณ์ไวแสงชนิดแถบ โดยความเข้มของแสงที่ผ่านแผ่นฟิล์มจะขึ้นอยู่กับความดำของฟิล์มนั้น อุปกรณ์ไวแสงชนิดแถบจะทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของแสงให้อยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งจะถูกแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อเก็บไว้ในหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งไปยังระบบกลขับเคลื่อนฟิล์มเพื่อเลื่อนฟิล์มไปยังตำแหน่งโพรไฟล์ที่อยู่ถัดไปเพื่ออ่านค่าความดำ เมื่ออ่านค่าความดำของภาพถ่ายรังสีจนครบทุกโพรไฟล์แล้ว โปรแกรมสนับสนุนการทำงานจะปรับข้อมูลให้มีความสัมพันธ์กับค่า μ (ดังสมการที่ 2.3) แล้วเก็บบันทึกลงฮาร์ดดิสค์ สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1

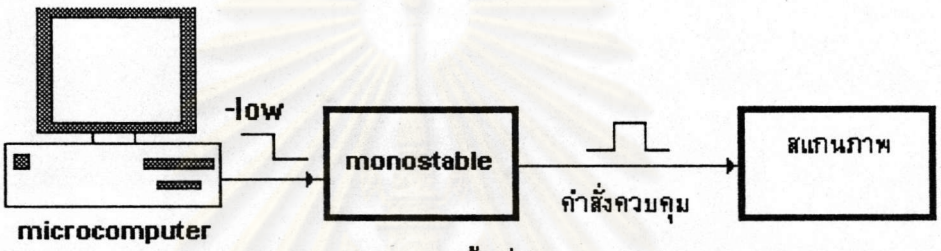


รูปที่ 3.1 แสดงผังการทำงานระบบเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับสร้างภาพโทโมกราฟี

วงจรเชื่อมโยง เพื่อกำเนิดสัญญาณพัลส์ป้อนให้กับสแกนเนอร์แทน โดยคำสั่งการสร้างสัญญาณพัลส์ 1 ลูก จะใช้คำสั่ง OUT พอร์ต 109H ด้วยค่าใดก็ได้

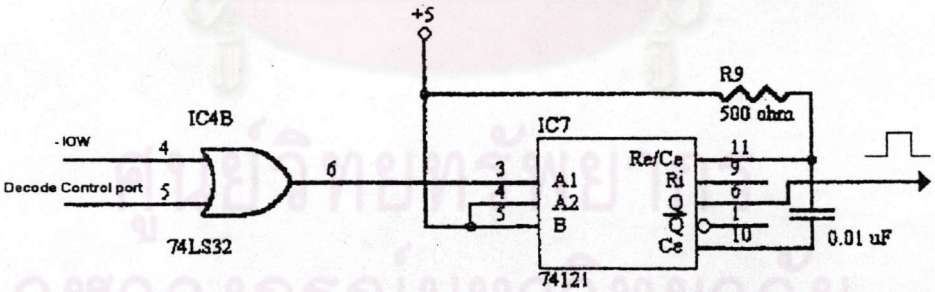


การอ่านข้อมูลภาพของสแกนเนอร์ปกติ

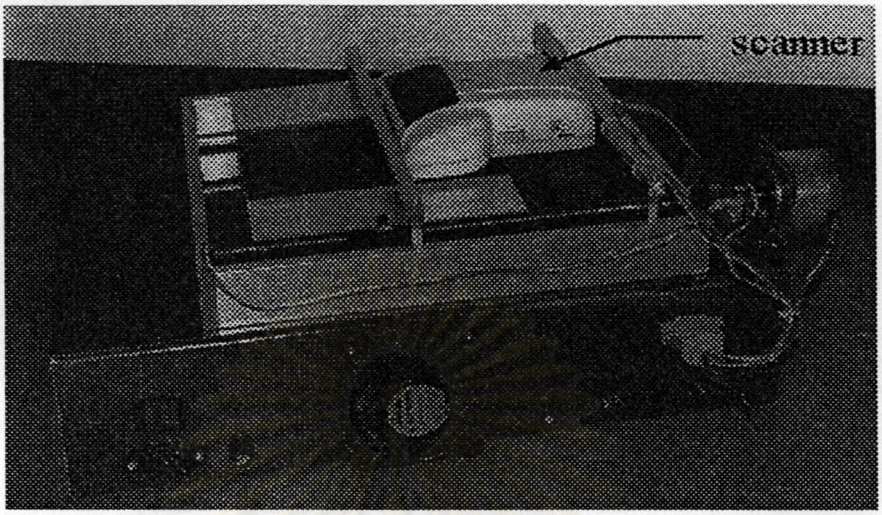


การสร้างสัญญาณแทนลูกกลิ้งเพื่อให้สแกนเนอร์กวาดภาพ

รูปที่ 3.9 แสดง Block diagram การสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมการสแกนภาพของสแกนเนอร์



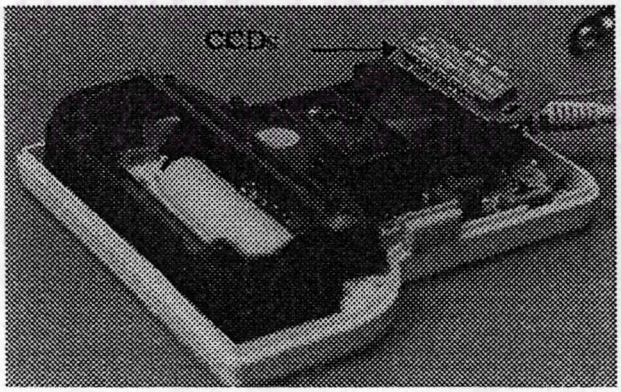
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรการสร้างสัญญาณพัลส์จากโมโนสเตเบิล



รูปที่ 3.2 แสดงภาพระบบเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับสร้างภาพโทโมกราฟี

3.3 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์อ่านความดำจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์ม

สำหรับการออกแบบอุปกรณ์อ่านความดำจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา ซึ่งมีอุปกรณ์ไวแสงชนิดแถบประเภท CCDs อยู่ภายในพร้อมวงจรเชื่อมโยงกับไมโครคอมพิวเตอร์มาดัดแปลงเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความดำของภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มแทน เนื่องจากมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

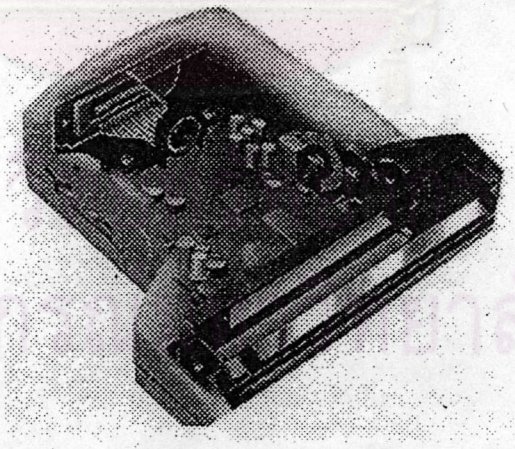


รูปที่ 3.3 แสดง CCDs ที่อยู่ภายในสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา

3.3.1 สแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา (gray scale handheld scanner)

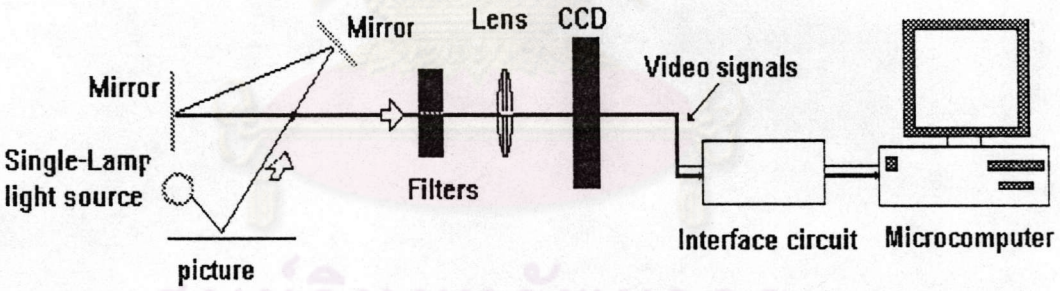
สแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายเข้าสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กและราคาถูก ควบคุมการสแกนภาพโดยใช้มือ แต่มีขีดความสามารถในการสแกนภาพได้กว้างเพียง 4 นิ้ว หรือ 105 มิลลิเมตร ผลของการสแกนภาพจะออกมาในโทนสีเทาซึ่งจะมีระดับอยู่ในช่วงระหว่างสีขาวและสีดำ (ไม่ว่าภาพที่สแกนจะเป็นภาพสีหรือขาวดำก็ตาม) จำนวนเฉดสีเทาสูงสุดที่สแกนเนอร์ส่วนใหญ่ทำได้ก็คือ 256 เฉดสี ซึ่งบางครั้งการให้เฉดสีในระดับนี้จะมีการเรียกได้หลาย ๆ แบบ เป็นต้นว่า 256 grey 256 grey scale หรือ 8 bit grey แต่มีสแกนเนอร์บางตัวที่ให้ระดับของเฉดสีเทาได้ 64 ระดับเรียกว่า 64 grey dithered

ในการสแกนภาพของสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทาทำได้โดยนำสแกนเนอร์วางลงบนพื้นผิวที่ต้องการสแกนแล้วกดปุ่ม start เพื่อเริ่มต้นทำการสแกน จากนั้นค่อยๆ ลากตัวสแกนเนอร์ไปบนพื้นผิวให้ลูกล้อ (roller) สัมผัสกับพื้นผิวที่ต้องการสแกนภาพ ภาพที่สแกนได้จะปรากฏขึ้นบนจอภาพเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะถูกสร้างขึ้นทีละแถว และสามารถหยุดสแกนภาพได้เมื่อรูปภาพมีขนาดของพื้นที่พอเพียงตามที่กำหนดไว้หรือปล่อยปุ่ม start



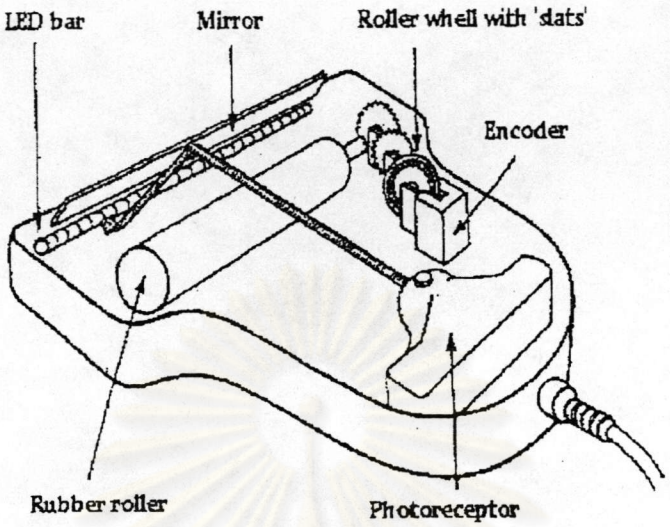
รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างภายในของสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา

สแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทามีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ตัวสแกนเนอร์ วงจรเชื่อมโยง (interface circuit) และ ซอฟต์แวร์ควบคุมการสแกนและสร้างภาพ ภายในส่วนหัวของตัวสแกนเนอร์แบบมือถือจะเป็นส่วนของต้นกำเนิดแสง ประกอบด้วยแถบของไดโอดเปล่งแสง (LED bar) ซึ่งจะทำหน้าที่เปล่งแสงไปยังพื้นผิวที่ต้องการสแกนภาพ จากนั้นแสงจะสะท้อนกลับจากภาพที่สแกนมายังกระจกที่ถูกติดตั้งไว้บริเวณส่วนบนของแถบไดโอดเปล่งแสงเข้าสู่ส่วนรับภาพของตัวสแกนเนอร์ที่เรียกว่า photoreceptor ซึ่งประกอบด้วยเลนส์นูนและ CCDs โดยเลนส์จะรวมแสงสะท้อนจากกระจกให้ตกกระทบพอดีพื้นที่รับแสงของ CCDs อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายในตัวสแกนเนอร์จะทำการแปลงค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากตัว CCDs อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลข 8 บิต ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 ซึ่งสอดคล้องกับระดับความเข้มของแสงที่สะท้อนกลับเข้ามายังตัวสแกนเนอร์ ในขั้นตอนนี้ข้อมูลจะถูกเปลี่ยนด้วยความเร็วสูงแล้วส่งเข้าสู่วงจรเชื่อมโยง (interface circuit) โดยมีโปรแกรมควบคุมการทำงานของสแกนเนอร์เป็นส่วนที่คอยจัดการกับข้อมูลภายในหน่วยความจำและแสดงภาพที่สแกนแล้วจึงทำการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.5 แสดงหลักการรับภาพของสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 แสดงการสะท้อนแสงในสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา

สแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา สามารถสแกนรูปภาพในหลายๆ โหมดความละเอียดโดยกำหนดเป็นจำนวน จุดต่อนิ้ว หรือ dpi (dot per inch) โหมดความละเอียดมาตรฐานของสแกนเนอร์มือถือทั่วๆ ไปจะได้แก่โหมด 100 200 300 400 และโหมดความละเอียดสูงสุด 800 dpi การสแกนภาพโดยกำหนดความละเอียดในการสแกนไว้ที่ค่าสูงๆ จะช่วยให้ผลของรูปที่สแกนได้มีความคมชัดแต่สิ้นเปลืองเนื้อที่หน่วยความจำในการเก็บบันทึก

3.3.2 คุณลักษณะของสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา ที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.2.1 ความกว้างของหน้าต่างในการสแกน 105 มม.

3.3.2.2 ความละเอียดในการอ่านภาพ 400 จุดต่อนิ้ว (1656 จุดต่อหนึ่งเส้นสแกน) โดยมีความสามารถแสดงความแตกต่างความดำสูงสุด 255 ระดับ

3.3.2.3 เวลาที่ใช้ในการสแกน 3.2 มิลลิวินาทีต่อหนึ่งเส้นสแกน

3.3.3 คุณลักษณะของวงจรเชื่อมโยงสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา

3.3.3.1 ใช้ Input/Output Port ของไมโครคอมพิวเตอร์ที่ตำแหน่งพอร์ต 100H ในการส่งสัญญาณควบคุมการทำงานสแกนเนอร์ โดยเมื่อส่งค่า 2 ออกที่พอร์ต

100H จะเป็นคำสั่งสแกนเนอร์ให้พร้อมทำงาน และเมื่อส่งค่า 0 ออกที่พอร์ต 100H จะเป็นคำสั่งให้สแกนเนอร์ยกเลิกทำงาน

3.3.3.2 ใช้ DMA3 (Direct Memory Access channel 3) ของไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมการส่งข้อมูลจากวงจรเชื่อมโยงไปยังหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์

3.3.3.3 การอินเตอร์รัพท์จากสแกนเนอร์ ใช้อินเตอร์รัพท์แชนแนล 5 (IRQ 5) ของไมโครคอมพิวเตอร์

3.3.3.4 สายสัญญาณจากวงจรเชื่อมโยงไปยังสแกนเนอร์ทั้งหมดมีจำนวน 8 เส้น แต่ละเส้นมีหน้าที่ดังนี้คือ

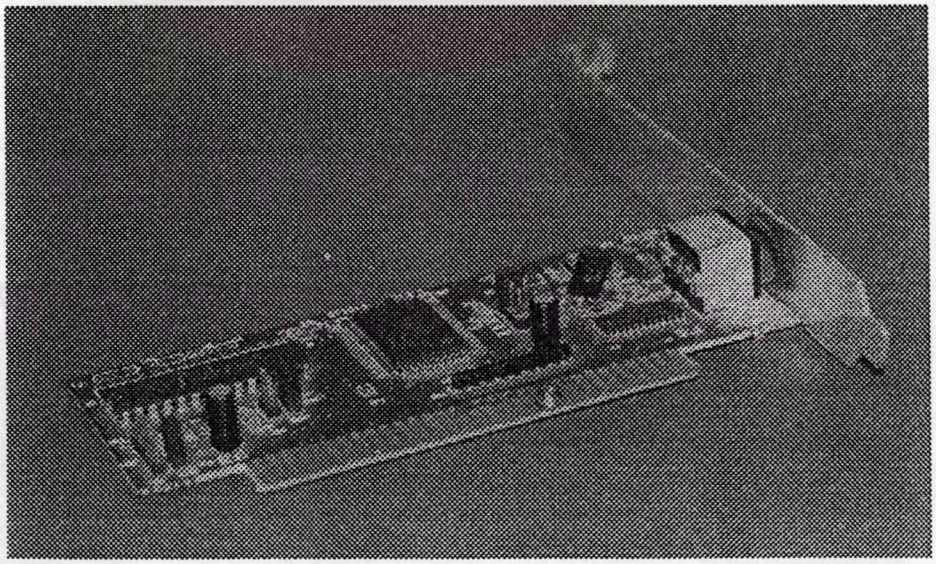
สายเส้นที่ 1 เป็นสายไฟแรงดัน 12 โวลท์

สายเส้นที่ 2 เป็นสาย ground

สายเส้นที่ 3 เป็นสายสัญญาณ synchronize ที่ใช้ในการอ่านข้อมูลในแต่ละหนึ่งเส้นสแกนของการสแกน โดยมีคาบของสัญญาณประมาณ 3.2 มิลลิวินาที

สายเส้นที่ 4 ถึงสายเส้นที่ 7 เป็นสายสัญญาณข้อมูล

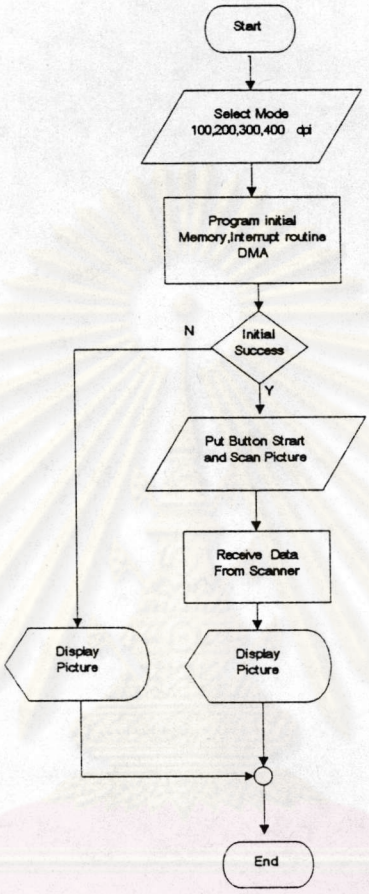
สายเส้นที่ 8 เป็นสาย ground



รูปที่ 3.7 แสดงแผงวงจรเชื่อมโยงของสแกนเนอร์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

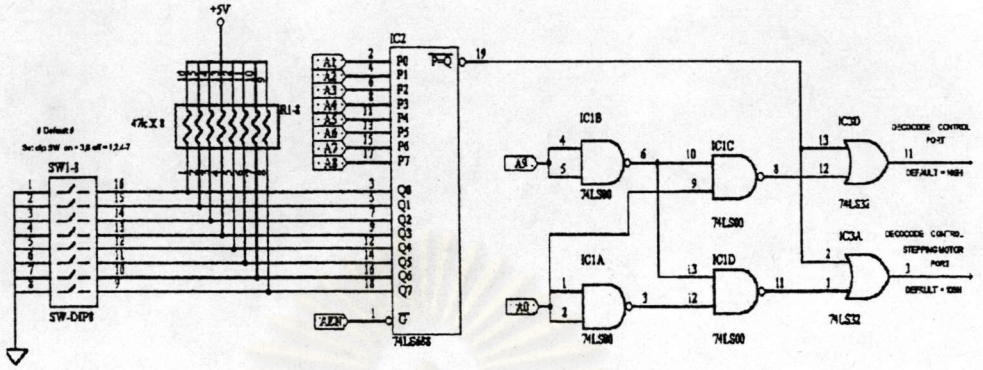
3.3.4 การทำงานของสแกนเนอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถอธิบายโดย Block diagram ได้ต่อไปนี้



รูปที่ 3.8 แสดง Block diagram การทำงานของสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทา

3.3.4 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทาเพื่อประยุกต์เป็นอุปกรณ์อ่านความดำจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์ม

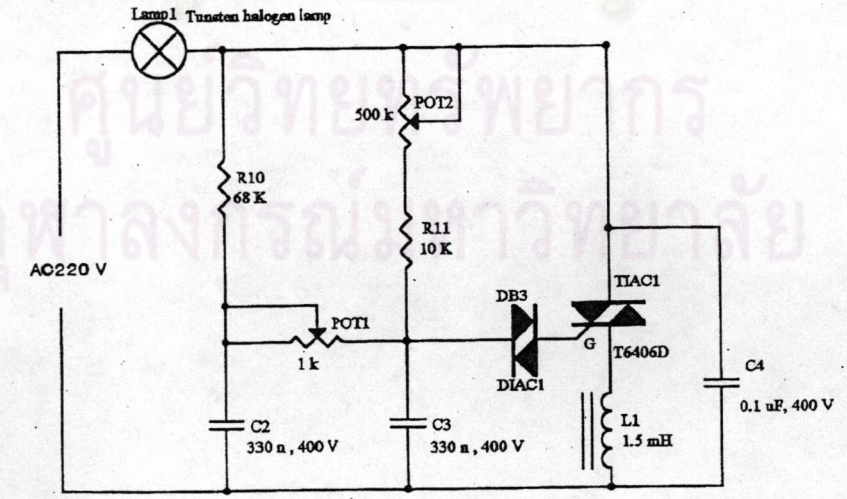
ในการดัดแปลงสแกนเนอร์มือถือแบบเฉดสีเทาเพื่อเป็นอุปกรณ์อ่านความดำจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มนั้น จะต้องสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) ซึ่งแต่เดิมนั้นเกิดจากการหมุนของลูกกลิ้งไปชับ Rotary encoder ภายในตัวสแกนเนอร์ เพื่อให้สแกนเนอร์ทำการสแกนภาพทีละแถว ในการออกแบบจะตัดชุดสร้างสัญญาณพัลส์เดิมออก แล้วใช้สัญญาณ -Iow ของ I/O (Input/Output) port บน Bus ของไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถกำหนดเองได้ ในที่นี้ได้ตั้งค่าไว้ที่พอร์ต 109H ไปกระตุ้นวงจรโมโนสเตเบิลซึ่งอยู่ใน



รูปที่ 3.11 แสดงวงจร Decode control port และ stepping motor control port

3.3.5 การออกแบบต้นกำเนิดแสงเพื่อใช้อ่านความดำจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์ม

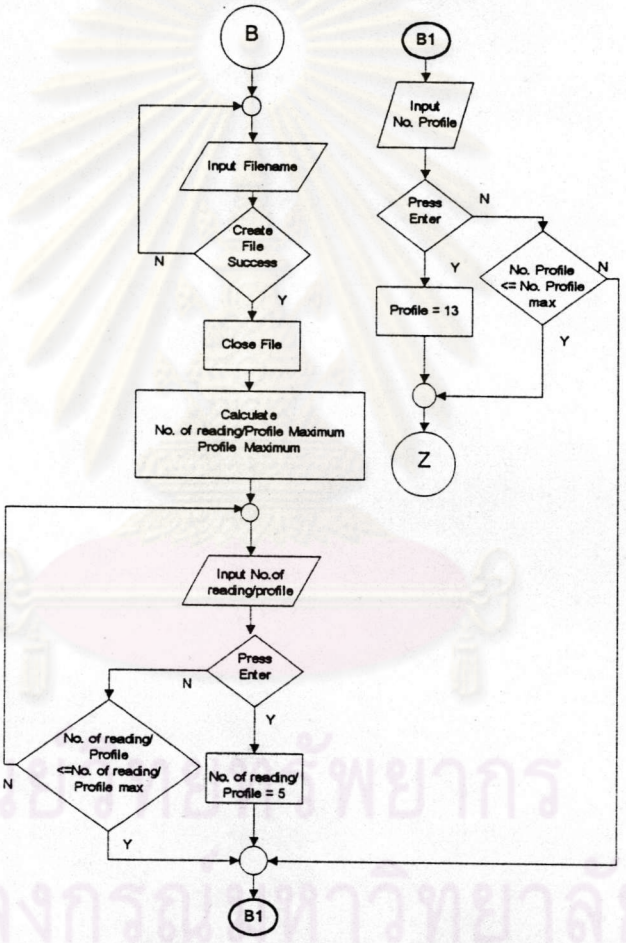
เนื่องจากอุปกรณ์อ่านความดำใช้อุปกรณ์ไวแสงชนิดแถบ ดังนั้นต้นกำเนิดแสงที่ใช้จึงต้องมีลักษณะเป็นแถบแสงที่มีความเข้มแสงสม่ำเสมอตลอดช่วงความยาวของหลอด จึงได้เลือกใช้หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tunsten Halogen lamp) ขนาด 220 โวล์ท 1000 วัตต์ จากการทดสอบพบว่าในการอ่านความดำจากฟิล์มนั้น จะใช้แรงดันประมาณ 50-110 โวล์ท ดังนั้นจึงได้ออกแบบวงจรสำหรับปรับความเข้มแสงของหลอดทังสเตนฮาโลเจน เพื่อให้มีความเข้มที่เหมาะสม และขณะที่ใช้งานหลอดจะมีความร้อนสูงจึงจำเป็นต้องออกแบบการระบายความร้อนให้ระบบด้วย



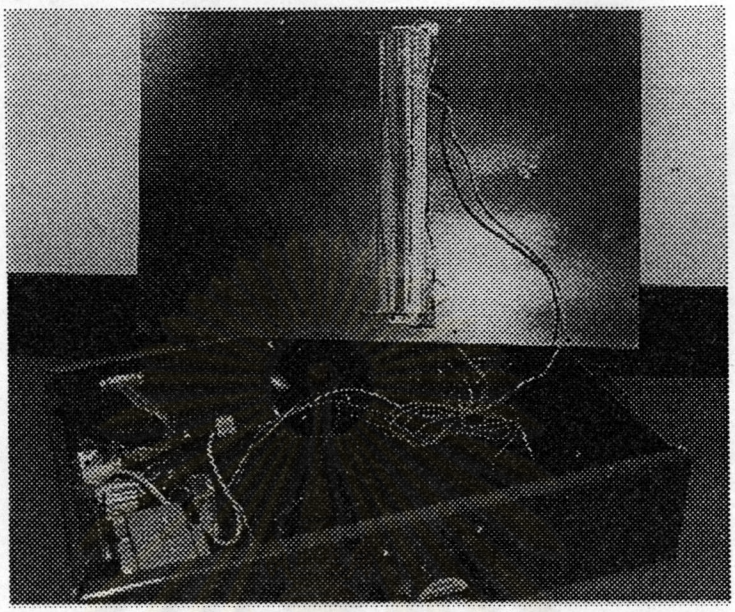
รูปที่ 3.12 แสดงวงจรปรับความเข้มแสงของไฟสำหรับหลอดทังสเตนฮาโลเจน

3.5.3 โปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับการบันทึกข้อมูล

โปรแกรมจะเริ่มการทำงานโดยคำนวณหาค่าสูงสุดของจำนวนโพรไฟล์และจำนวนครั้งที่อ่านค่าต่อหนึ่งโพรไฟล์เนื่องจากได้จองพื้นที่หน่วยความจำไว้จำกัดเพื่อความสะดวกต่อการเก็บข้อมูล แล้วจึงให้กำหนดจำนวนโพรไฟล์ กำหนดจำนวนครั้งที่อ่านค่าต่อหนึ่งโพรไฟล์สำหรับทำการเฉลี่ยข้อมูล และกำหนดชื่อแฟ้มข้อมูลเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูล จากนั้นจะกลับเข้าสู่โปรแกรมเมนูหลัก



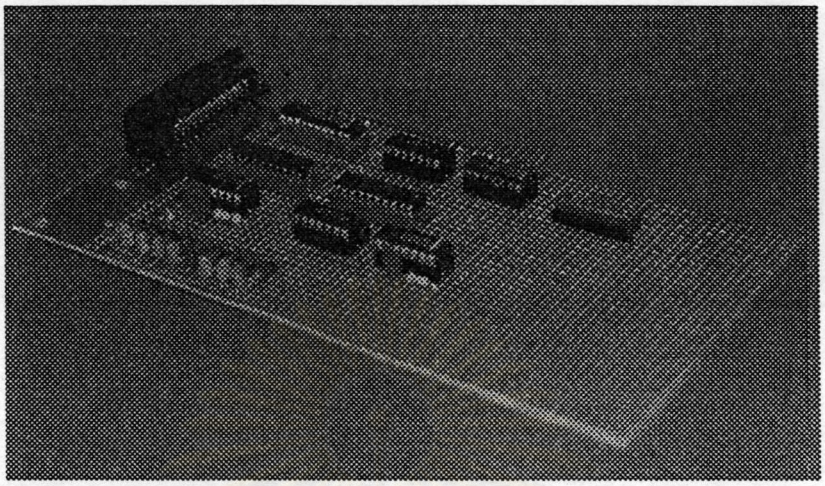
รูปที่ 3.20 แสดง flow chart ของ โปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นของการบันทึกข้อมูล



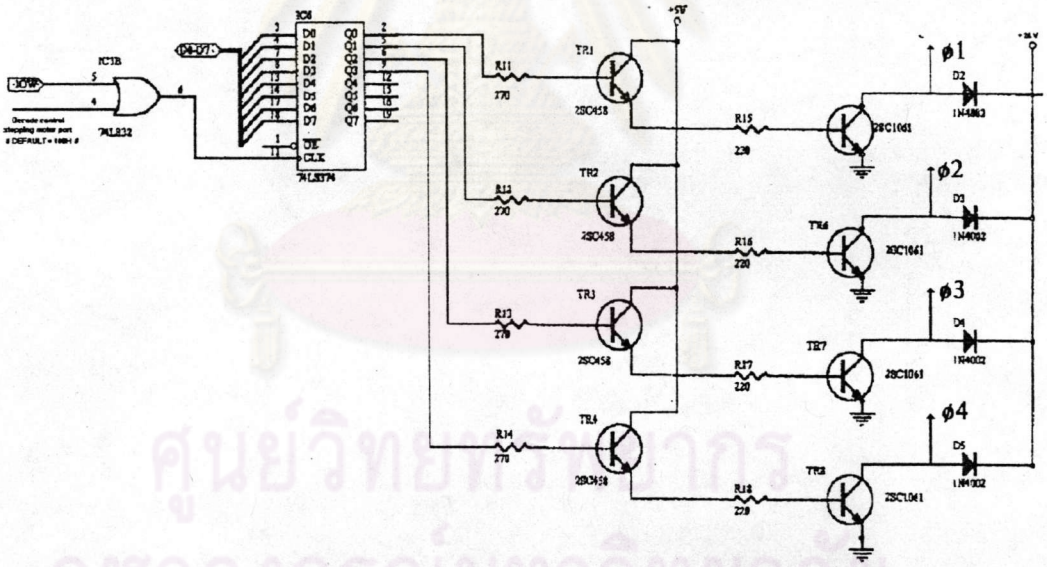
รูปที่ 3.13 แสดงการติดตั้งหลอดทังสเตนฮาโลเจนในระบบ

3.4 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์กลขับเคลื่อนฟิล์ม

อุปกรณ์กลขับเคลื่อนฟิล์มแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นอุปกรณ์กลซึ่งประกอบด้วยสเต็ปปิงมอเตอร์ 1 ตัวสำหรับส่งกำลังขับเคลื่อนโดยตรงผ่าน ball screw เพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด slide shaft และ slide bush 1 ชุดสำหรับช่วยบังคับการเคลื่อนที่ของฟิล์มร่วมกับ ball screw ส่วนที่สองเป็นวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ การเคลื่อนที่ของฟิล์มนั้นจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งได้แน่นอน ในงานวิจัยนี้ใช้สเต็ปปิง มอเตอร์แบบสี่เฟส ที่มีความละเอียดของสเต็ปเท่ากับ 1.8 องศา โดยวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ได้ถูกออกแบบให้สามารถขับกระแสให้เฟสต่างๆ ของมอเตอร์ได้อย่างเพียงพอ ส่วนการขับ จะเป็นแบบ สองเฟส หรือ full step ขึ้นอยู่กับคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์สำหรับการเลื่อนฟิล์มที่ส่งมาจากระบบไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ของวงจรเชื่อมโยงที่พัฒนาขึ้น ซึ่งในที่นี้จะใช้พอร์ต 108H ของไมโครคอมพิวเตอร์ โดยค่าที่ส่งออกบิทที่ 0 ถึง 3 จะเป็นคำสั่งควบคุมแต่ละเฟสของสเต็ปปิงมอเตอร์



รูปที่ 3.14 แสดงแผ่นวงจรเชื่อมโยงระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ขับเคลื่อนฟิล์ม



รูปที่ 3.15 แสดงวงจรควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

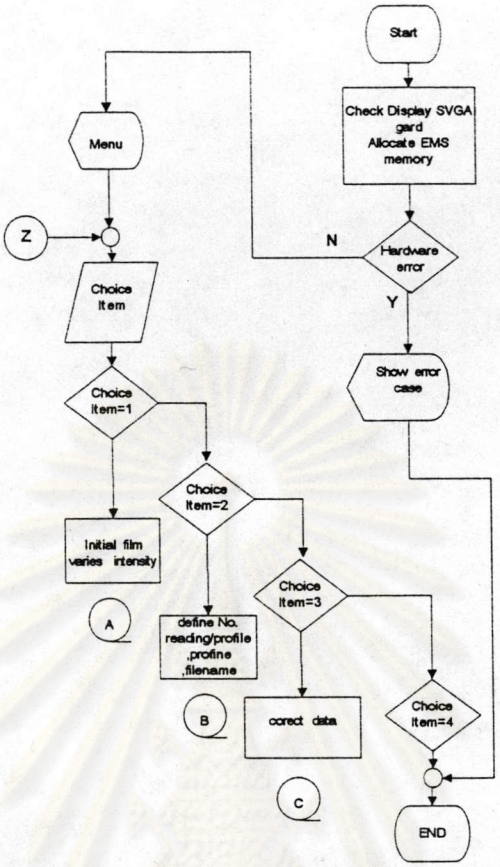
รูปที่ 3.16 แสดงส่วนประกอบภายในระบบเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากภาพถ่ายบนฟิล์ม

3.5 การพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบ

โปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น ได้รวมโปรแกรม 3 ส่วน ได้แก่ โปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม โปรแกรมอ่านข้อมูลเชิงตัวเลขจากอุปกรณ์วัดความดำ และโปรแกรมจัดการข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ไว้ในโปรแกรมเดียวกัน

3.5.1 โปรแกรมเมนูหลัก

โปรแกรมจะเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบการแสดงผลแบบกราฟิกและหน่วยความจำที่ว่างของไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์อ่านความดำด้วยกระบวนการ DMA (Direct Memmory Access) หากมีความผิดพลาดในการตรวจสอบโปรแกรมจะจบการทำงาน แล้วจึงเข้าสู่หน้าจอเมนู (menu) สำหรับเลือกโปรแกรมย่อยต่างๆ อันได้แก่ โปรแกรมกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์มและปรับความเข้มแสงให้เหมาะสม โปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นของการบันทึกข้อมูล โปรแกรมบันทึกข้อมูล และโปรแกรมจบการทำงาน

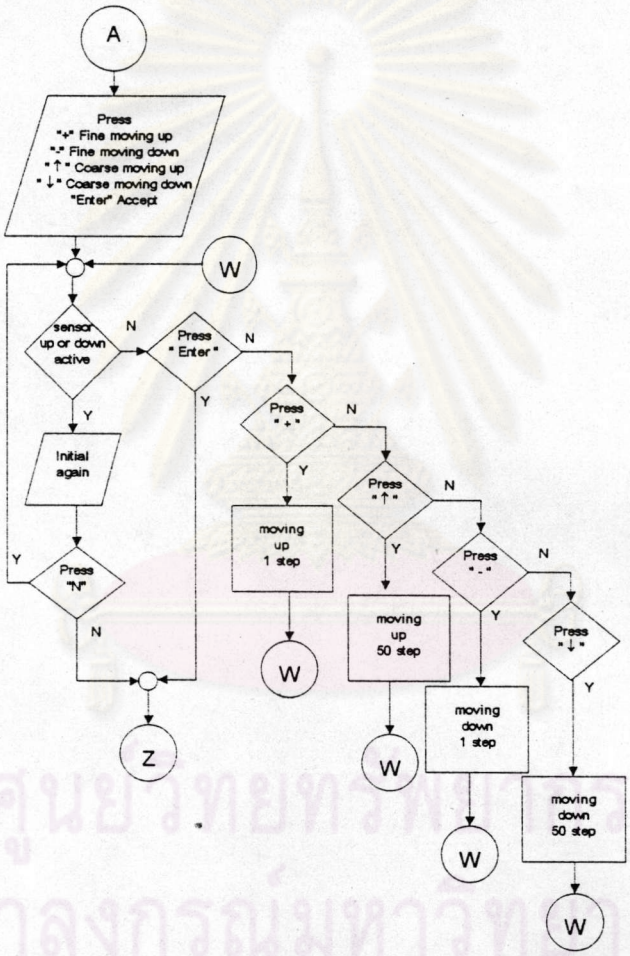


รูปที่ 3.17 แสดง flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมเมนู

รูปที่ 3.18 แสดงโปรแกรมเมนูทางหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์

3.5.2 โปรแกรมกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์มและปรับความเข้มแสง

เป็นโปรแกรมสำหรับเคลื่อนที่ฟิล์มไปยังตำแหน่งที่ต้องการเพื่ออ่านข้อมูลโพรไฟล์เพื่อปรับความเข้มของแสงให้เหมาะสม โปรแกรมจะแสดงข้อมูลโพรไฟล์ขณะปรับ และเมื่อได้ความเข้มแสงที่เหมาะสมโปรแกรมจะเลื่อนฟิล์มไปยังตำแหน่งที่พร้อมสำหรับจะอ่านข้อมูลโพรไฟล์แรกบนฟิล์ม แล้วกลับเข้าสู่โปรแกรมเมนูหลักเพื่อทำขั้นตอนต่อไป

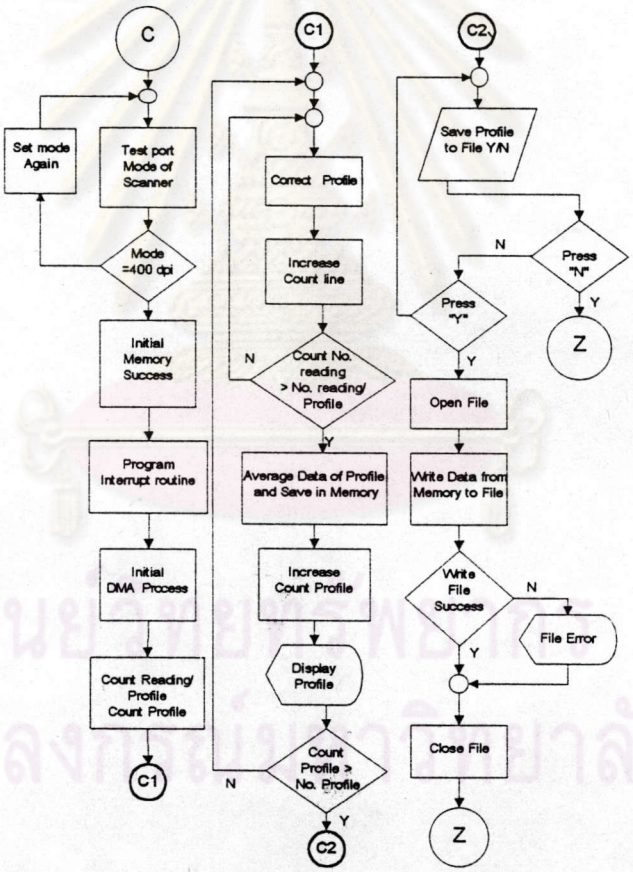


รูปที่ 3.19 แสดง flow chart ของโปรแกรมกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์มและปรับความเข้มแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.4 โปรแกรมบันทึกข้อมูล

โปรแกรมย่อยนี้จะทำการกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมอินเตอร์รัพท์ (program interrupt routine) ของอุปกรณ์อ่านความดำ แล้วจึงอ่านข้อมูลโพรไฟล์บนฟิล์มเท่ากับจำนวนครั้งที่กำหนด จากนั้นทำการเฉลี่ยค่าข้อมูลแล้วแสดงข้อมูลโพรไฟล์และนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ โปรแกรมจะสั่งให้อุปกรณ์อ่านความดำอ่านข้อมูลโพรไฟล์จนครบจำนวนที่กำหนด สุดท้ายโปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลที่เฉลี่ยแล้วแต่ละโพรไฟล์ลงในแฟ้มข้อมูล ถ้าหากมีความผิดพลาดขึ้นจะเข้าโปรแกรมจบการทำงาน ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดง flow chart ของโปรแกรมบันทึกข้อมูล

3.5.5 โปรแกรมจบการทำงาน

เป็นการจบการทำงานทั้งหมด การที่จะเข้าสู่โปรแกรมนี้ได้มี 2 วิธีคือ เลือกหัวข้อที่ 4 ของโปรแกรมเมนู หรือมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการทำงานหัวข้อที่ 2 หรือ 3 ของโปรแกรมเมนู โดยโปรแกรมนี้จะแสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย