การออกแบบและสร้างเครื่องให้สารละลายคนไข้ควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์

โดย

สมชาย จิตะพันธ์กุล
แพทย์หญิง บุญเรียร ปานเสถียรกุล
ฉนัดวิทย์ รัชตาภิรมย์

โครงการวิจัย เลขที่ 20G – EE – 2527
ทุนส่งเสริมการวิจัยด้วยเงินงบประมาณแผ่นดิน

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพ ฯ

มีนาคม 2531

จฬ
วศ 15
004572

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่รับผิดชอบต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสารฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบัน ฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การออกแบบและสร้างเครื่องให้สารละลายคนไข้ ควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์

(Design and Construction of Microprocessor-Controlled Infusion Pump)

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

วุฒิ วศ.บ.(จุฬาฯ) วศ.ม.(จุฬาฯ) D.E.A.(Aix-Marseille)

Dr.-Ing.(Aix-Marseille)

แพทย์หญิง บุญเชียร ปานเสถียรกุล

วุฒิ พ.บ.(จุฬาฯ) ป.สูง(มหิดล) Dip. American Board of Pediatrics

Cert. Pediatric Hematology/Oncology

นาย ถนัดวิทย์ รัชตาภิรมย์

วุฒิ วศ.บ.(พระจอมเกล้า ธนบุรี)

โครงการวิจัยเลขที่ 20G-EE-2527

ทุนส่งเสริมการวิจัยด้วยเงินงบประมาณแผ่นดิน

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

มีนาคม 2531

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องให้สารละลายคนไข้ ควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ โครงสร้างของเครื่องแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนทางกลและส่วนทางไฟฟ้า ส่วนทางกลคือตัวสูบแบบปริมาตรที่ถูกควบคุมการทำงานจากมอเตอร์ไฟฟ้า 2 ชุด มอเตอร์แบบจังหวะสำหรับขับเคลื่อนลูกสูบขึ้นลง เพื่อดูดสารละลายจากภาชนะและจ่ายให้คนไข้ มอเตอร์กระแสตรงหมุนลิ้นที่อยู่ด้านบนของตัวสูบให้อยู่ในตำแหน่งดูดและจ่าย ศูนย์กลางการควบคุมการทำงานของระบบคือไมโครโปรเซสเซอร์ Z80A ที่ทำงานตามโปรแกรมควบคุมซึ่งถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำถาวรขนาด 2 กิโลไบท์จำนวน 2 ชุด ข้อมูลที่ต้องใช้ในระหว่างการปฏิบัติงานจะถูกป้อนผ่านปุ่มกดจำนวน 16 ปุ่ม ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำชั่วคราวขนาด 2 กิโลไบท์จำนวน 1 ชุด สถานะการทำงานของเครื่องจะแสดงด้วยหน่วยแสดงผลทั้งทางแสงและเสียง ทั้งนี้ ไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วนสำหรับแสดงอัตราการไหลและปริมาณของสารละลาย ส่วนไดโอดเปล่งแสงและลำโพงสำหรับแสดงสัญญาณเตือน

สมรรถนะของเครื่องมีดังนี้ ปริมาณสารละลายจ่ายได้สูงสุด 9999 มิลลิลิตร อัตราการไหลสูงสุด 999 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีการตรวจจับข้อบกพร่องต่างๆได้ดังนี้ เกิดฟองอากาศในสาย เกิดอุดตันของสาย ตั้งค่าปริมาณและอัตราการไหลไว้ที่ศูนย์ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ต่ำไป เครื่องทำงานผิดปกติ การล้างเครื่อง และเมื่อการทำงานเสร็จเรียบร้อย อย่างไรก็ตามเครื่องที่สร้างขึ้นและได้รับการทดสอบให้ผลสรุปคือ ที่อัตราการไหลต่ำๆ เครื่องทำงานได้ตามที่กำหนด แต่เมื่อตั้งค่าอัตราการไหลให้สูงขึ้น เครื่องไม่สามารถให้อัตราการไหลได้ตามค่าที่ตั้งไว้ การไหลของสารละลายไม่ค่อยสม่ำเสมอ เนื่องจากลูกสูบเคลื่อนลงช้าเกินไปในจังหวะดูด ด้วยเหตุนี้จึงยังไม่ได้ทำการทดสอบในสภาพใช้งานจริง และมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแก้ไขเครื่องใหม่เกือบหมด เพราะเลือกใช้สูบแบบรีดด้วยแผ่นกดแทนเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากสูบแบบเดิม ที่มีแรงเสียดทานสูง ทำให้กำลังที่ได้จากมอเตอร์ไม่พอเพียง อีกทั้งมีปัญหาในการจัดหาด้วย

Abstract

This research is the design and construction of microprocessor controlled infusion pump. The structure of this machine can be separated into 2 parts, mechanical and electrical parts. A volumetric pump is used and controlled by 2 motors, stepper motor for moving the piston and d.c.motor for rotating the valve. The central processing unit of this system is Z80A-CPU. The monitor program will be stored in the read only memory of 4 kilobytes. Any operating values will be kept in random access memory of 2 kilobytes by using 16 keyboards. For display unit, 7-segments LEDs are used to display rate and volume. The other LEDs and speaker are used for alarm display.

The specifications of this machine are as follow: maximum volume is 9999 ml., maximum rate is 999 ml./hr., error detection capabilities such as "Air in line", "Occlusion", "0000 set volume", "000 set rate", "Low battery", "Malfunction", "Purge" and "Operation complete". However, after testing the constructed machine, the result can be concluded. First, at low speed, the infusion pump worked normally and satisfying. But it could not perform speed as high as the maximum rate specified. This error occured because of the friction between cylinder and piston of the pump. Second, fluid flew unsteadily because the movement of the piston in intake cycle was too slow. So, we have redesigned the machine by changing to use the peristaltic finger pump in order to eliminate the former problem and the difficulty of seeking pump as spare part.

กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสุทันต์ หวังเกียรติ อดีตนิสิตวิศวกรรมไฟฟ้า ที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาโปรแกรมควบคุมมอเตอร์แบบจังหวะ คุณสหชัย เฮงตระกูล อดีตนิสิตวิศวกรรมไฟฟ้าเช่นกัน สำหรับงานพัฒนาโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรง และบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้ระบุชื่อไว้ ณ ที่นี้ แต่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยดำเนินไปได้ด้วยดี สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ด้วยเงินอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดินเป็นอย่างดี ตลอดเวลา

คณะผู้วิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้าที่
1.1	สูบแบบต่างๆ	2
2.1	โครงสร้างของเครื่องให้สารละลายคนไข้	7
2.2	จังหวะการทำงานของสูบแบบปริมาตร	9
2.3	วงจรหน่วยประมวลผลกลางและอุปกรณ์ข้างเคียง	11
2.4	วงจรหน่วยแสดงผลและปุ่มกด	13
2.5	วงจรหน่วยขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรตรวจจับและวงจรสัญญาณเสียง	15
2.6	วงจรแหล่งจ่ายไฟ	17
2.7	ผังแสดงการจัดแอดเดรสหน่วยความจำ	19
2.8	ผังแสดงการจัดแอดเดรสอุปกรณ์เชื่อมต่อ	20
2.9	โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมควบคุมระบบ	24-25
2.10	โฟลว์ชาร์ตของซับรูทีนบริการ	26
2.11	โฟลว์ชาร์ตของซับรูทีน HALT/CONT	27
3.1	ภาพด้านหน้าของเครื่องให้สารละลายคนไข้	28
3.2	ภาพด้านหน้าและบางส่วนภายในเครื่องให้สารละลายคนไข้	29
3.3	ภาพภายในเครื่องให้สารละลายคนไข้ มองจากด้านบน	30
3.4	ภาพด้านหลังของเครื่องให้สารละลายคนไข้	30
(ข)	รูปของระบบขับเคลื่อนลูกสูบ	64

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

เรื่อง			หน้าที่
บทคัดย่อ			ก
Abstract			ข
กิตติกรรมประกาศ			ค
รายการรูปประกอบ			ง
สารบัญ			จ
บทที่ 1	คำนำ		1
	1.1	ความเป็นมา	1
	1.2	วัตถุประสงค์	3
	1.3	เป้าหมาย	3
	1.4	วิธีดำเนินการวิจัย	4
บทที่ 2	ทฤษฎีและการออกแบบ		6
	2.1	โครงสร้างและการทำงานของเครื่อง	6
	2.2	หน่วยประมวลผลกลางและอุปกรณ์ข้างเคียง	10
	2.3	หน่วยแสดงผลและปุ่มกด	12
	2.4	หน่วยขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรตรวจจับและวงจรสัญญาณเสียง	14
	2.5	แหล่งจ่ายไฟ	16
	2.6	ผังแสดงการจัดแอดเดรสของหน่วยความจำและอุปกรณ์เชื่อมต่อ	19
	2.7	โปรแกรมควบคุมระบบ	21
บทที่ 3	การทดสอบและวิธีใช้เครื่องให้สารละลายคนไข้		28
	3.1	การทดสอบเครื่องให้สารละลายคนไข้	28
	3.2	วิธีการใช้เครื่องให้สารละลายคนไข้	32
บทที่ 4	สรุปผลและข้อเสนอแนะ		34
เอกสารอ้างอิง			36
ภาคผนวก (ก) Source Listing ของโปรแกรมควบคุมระบบ			39
ภาคผนวก (ข) รูปของระบบขับเคลื่อนลูกสูบ			64

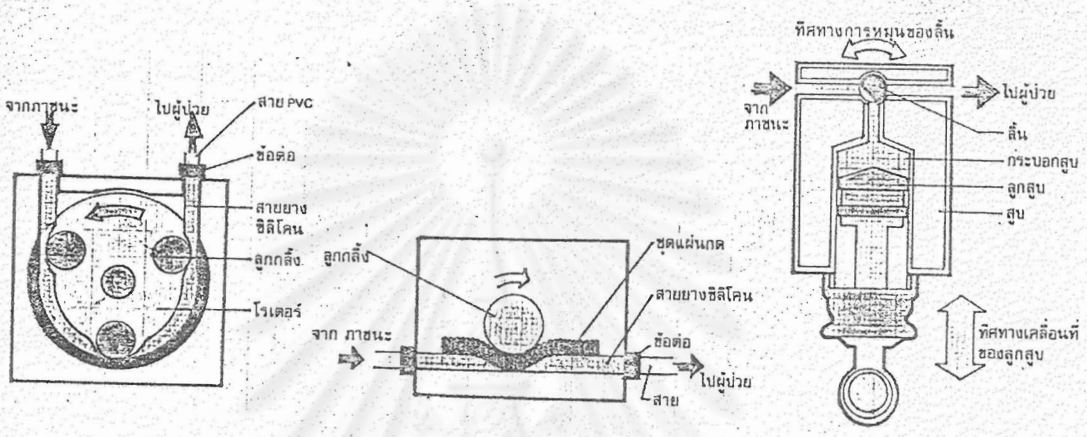
เลขหมู่ ๓๗๕ จส15
เลขทะเบียน 004572
วัน.เดือน.ปี 28 มิ.ย 31

บทที่ 1
คำนำ

1.1 ความเป็นมา

ในด้านการแพทย์ เมื่อมีความจำเป็นจะต้องทำการให้โลหิตหรือสารละลายอื่นๆแก่คนไข้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียโลหิตหรือการขาดสารอาหารและเกลือแร่ต่างๆไป ข้อยุ่งยากที่มักจะเกิดขึ้นในระหว่างการให้สารละลายคือ อัตราการให้สารละลายของอุปกรณ์ธรรมดาไม่คงที่ ความผิดพลาดในเรื่องของปริมาฒสารละลายที่จ่ายไป อุบัติเหตุจากการเกิดฟองอากาศในสารละลายที่จ่ายให้คนไข้ การเกิดอุดตันของสายยาง ซึ่งบางครั้งอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ทั้งนี้อุปกรณ์ที่จ่ายสารละลายแบบธรรมดา ประกอบด้วย ภาชนะบรรจุสารละลาย สายยางต่อจากภาชนะไปยังคนไข้ และตัวหนีบสายยางเพื่อควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย อุปกรณ์แบบนี้ต้องอาศัยบุคลากรควบคุมดูแลอย่างสม่ำเสมอ และบางครั้งต้องเป็นไปอย่างใกล้ชิดและตลอดเวลา ซึ่งอาจจะเป็นไปไม่ได้เนื่องจากความขาดแคลนด้านกำลังคน และปัญหาทางด้านความปลอดภัย

จากข้อเสียในการใช้อุปกรณ์จ่ายสารละลายแบบธรรมดาที่กล่าวถึงนี้ จึงมีผู้ที่พยายามออกแบบและจัดสร้างเครื่องให้สารละลายที่สามารถปฏิบัติงานได้เองอย่างค่อนข้างอัตโนมัติ เพียงแต่บุคลากรผู้มีหน้าที่ ทำการตั้งอัตราการไหลและปริมาฒสารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้เท่านั้น เครื่องดังกล่าวก็สามารถปฏิบัติงานไปตามคำสั่งที่ตั้งไว้ล่วงหน้า จนกว่าการจ่ายจะได้ปริมาฒตามที่กำหนด เครื่องก็จะหยุดทำงานเอง ยิ่งไปกว่านั้น เครื่องสามารถตรวจสอบการทำงานของระบบว่ามีข้อบกพร่องต่างๆหรือไม่ ถ้ามีปัญหาเกิดขึ้น เครื่องจะหยุดการทำงานพร้อมทั้งส่งสัญญาฒแจ้งเหตุได้ด้วย จากสมรรถนะของเครื่องที่มีเพิ่มขึ้นมานี้ ก็หมายความว่าเครื่องจะต้องมีหน่วยประมวลผล เพื่อทำการประมวลข้อมูลต่างๆที่เครื่องได้รับ มีหน่วยความจำเพื่อเก็บข้อมูลที่จำเป็นไว้และหรือโปรแกรมควบคุมระบบที่หน่วยประมวลผลอาจจำเป็นต้องใช้ ในเมื่อความสามารถของเครื่องประเภทนี้มีสูง การออกแบบให้เครื่องทำงานด้วยความแม่นยำและละเอียดถูกต้องจึงเป็นเรื่องจำเป็น ผู้คิดค้นและออกแบบเครื่องจึงเลือกใช้สูบเป็นตัวขับจ่ายสารละลาย สูบที่ใช้กันจะเป็นประเภทให้สารละลายไหลในทิศทางเดียว (Positive Displacement Pump) สำหรับเครื่องให้สารละลายคนไข้ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยใช้สูบ 3 แบบด้วยกันคือ สูบแบบรีดด้วยลูกกลิ้ง (Peristaltic pump)[37,42] สูบแบบรีดด้วยแผ่นกด (Peristaltic finger pump)[10,11] และสูบแบบปริมาตร



(ก) แบบรีดด้วยลูกกลิ้ง (ข) แบบรีดด้วยแผ่นกด (ค) แบบปริมาตร

รูปที่ 1.1 สูบแบบต่างๆ

(Volumetric pump)[9] เหตุผลของการนำสูบมาใช้ในเครื่องให้สารละลาย ก็คือข้อดีในการไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความหนืดของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสารละลาย ไม่ต้องคำนึงถึงตำแหน่งของภาชนะบรรจุสารละลายว่าต้องอยู่สูงจากตัวคนไข้เท่าไร อย่างไรก็ดี เครื่องให้สารละลายเหล่านี้ต้องมีชิ้นส่วนและอุปกรณ์ทางไฟฟ้าเพิ่มเติมขึ้นมา ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางอิเล็กตรอนิกส์ขั้นสูง จำเป็นจะต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความสามารถเพียงพอ ที่จะรับหน้าที่ควบคุมดูแลและบำรุงรักษาเครื่อง แต่เมื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเครื่องให้สารละลายเหล่านี้ประกอบกับลักษณะงานบางอย่างที่มีความต้องการใช้เครื่องประเภทนี้ เช่น การใช้กับคนไข้ในห้องผู้ป่วยฉุกเฉิน เป็นต้น ทำให้เครื่องให้สารละลายที่มีการทำงานที่เชื่อถือได้สูงจะเข้ามามีบทบาทในวงการแพทย์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทั้งนี้ประเทศไทยเรายังไม่มีผู้ใดหรือหน่วยงานใดทำการผลิตขึ้นใช้งานได้เอง ยังต้องสั่งและนำเข้าเครื่องให้สารละลายจากต่างประเทศทั้งหมด เป็นการสูญเสียเงินตราต่างประเทศและทำให้ประเทศชาติขาดดุลการค้าในแต่ละปีเป็นจำนวนเงินมิใช่น้อย งานวิจัยนี้จึงเห็นความจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้และทำการพัฒนาเครื่องให้สารละลายต้นแบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษา ออกแบบและพัฒนาเครื่องให้สารละลายคนไข้ แบบใช้สูบแบบปริมาตรที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งควบคุมการทำงานอีกต่อหนึ่งโดยไมโครโปรเซสเซอร์ ที่มีจำหน่ายและจัดหาได้ง่ายภายในประเทศ ทั้งนี้สมรรถนะทั่วๆไปของเครื่องไม่ควรต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยของเครื่องให้สารละลายทั้งหลายที่มีจำหน่ายอยู่ในประเทศไทยเรา อีกทั้งต้นทุนทางด้านราคาไม่ควรสูงกว่าครึ่งหนึ่งของราคาของเครื่องให้สารละลายในขนาดเดียวกัน เพื่อเป็นแรงจูงใจให้มีการลงทุนผลิตขึ้นใช้เอง

1.3 เป้าหมาย

จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ เป้าหมายในด้านสมรรถนะของเครื่องให้สารละลายคนไข้ที่งานวิจัยนี้ตั้งไว้ โดยการยึดมาตรฐานของเครื่องให้สารละลายคนไข้รุ่น IMED 960 Volumetric Pump[9] เป็นเกณฑ์มีดังต่อไปนี้

(ก) ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด ข้อดีของการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีเหนือกว่าการใช้วงจรรวมประเภทอื่น อาจดูได้จาก [44]

(ข) อัตราการไหลของสารละลาย ปรับได้ในช่วง 0-999 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยมีช่วงเพิ่ม 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

(ค) ปริมาณของสารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้ ปรับได้ในช่วง 0-9999 มิลลิลิตร โดยมีช่วงเพิ่ม 1 มิลลิลิตร

(ง) มีแหล่งจ่ายไฟสำรองติดตั้งไว้ภายในตัวเครื่อง เพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉินเมื่อไฟฟ้าในระบบสายส่งขาดหายไป ทั้งนี้จะต้องสามารถเข้าทดแทนได้ทันทีอย่างอัตโนมัติ และสามารถจ่ายกระแสไฟให้ระบบได้ไม่น้อยกว่า 20 นาทีที่ภาระเต็มที่

(จ) สามารถต่อไฟจากแหล่งจ่ายไฟสำรองภายนอกเพิ่มเติมได้ สำหรับกรณีที่ไฟฟ้าในระบบสายส่งขาดหายไปนานเกินไป หรือเพื่อให้สามารถนำเครื่องให้สารละลายนี้ไปใช้งานในภาคสนามได้

(ฉ) มีวงจรประจุไฟให้กับแหล่งจ่ายไฟสำรองภายในตัวเครื่องอย่างอัตโนมัติ

(ช) มีวงจรตรวจจับสถานะการทำงานที่ส่วนต่างๆภายในตัวเครื่อง และสามารถแจ้งสถานะที่ผิดปกติต่างๆได้ คือ การเกิดฟองอากาศในสายยาง (air in line) การเกิดอุดตัน

ของสายยาง (occlusion) การตั้งอัตราการไหลของสารละลายไว้ที่ 000 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง (000 rate) การตั้งปริมาณของสารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้ไว้ที่ 0000 มิลลิลิตร (0000 volume) แรงดันไฟจากแหล่งจ่ายไฟสำรองต่ำเกินไป (low battery) การล้างเครื่อง (purge) เครื่องทำงานผิดปกติ (malfunction or error) การจ่ายสารละลายเสร็จเรียบร้อย (ready)

(ช) สามารถแสดงสถานะต่างๆได้ทางหน่วยแสดงผลของเครื่อง ทั้งทางแสง และเป็นสัญญาณเตือนที่มีอยู่บนตัวเครื่อง และสามารถต่อสายสัญญาณเสียงไปยังห้องพยาบาลเวรได้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นเรื่องของอุปกรณ์ทางการแพทย์ ทำให้ผู้วิจัยต้องให้ความระมัดระวังในเรื่องความปลอดภัยในการใช้กระแสไฟฟ้าเป็นพิเศษ ขั้นตอนการดำเนินงานจึงเริ่มด้วยการศึกษามาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าในโรงพยาบาล ทั้งนี้อาศัยมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นหลัก[5,38,39,40,41] จากนั้นจึงทำการศึกษาและพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องให้สารละลายต่างๆ[8,9,10,11,12,13] และศึกษาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของสูบแบบต่างๆ[20,21,22] เมื่อมีการกำหนดสมรรถนะของเครื่องที่จะทำการพัฒนาพร้อมทั้งแบบของสูบเรียบร้อย ก็ถึงขั้นออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ โปรแกรมควบคุมระบบจะถูกพัฒนาเป็นอันดับต่อไป ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงลักษณะวงจร ชนิดของอุปกรณ์และขั้นตอนการทำงานของเครื่อง เครื่องที่ได้รับการออกแบบและจัดสร้างขึ้น จะถูกนำไปทดสอบ 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ ในขั้นตอนแรกการทดสอบจะเป็นการวัดความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการทำงานของเครื่องในห้องปฏิบัติการ ขั้นตอนที่สองเป็นการทดสอบการใช้งานในสภาพจริงหมายความว่าจะทดลองใช้กับคนไข้อาสาสมัคร

คณะผู้วิจัยได้แบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบในการทำวิจัย ดังนี้

(ก) ผู้วิจัยหลัก คือ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล ทำหน้าที่รับผิดชอบในด้านการประสานงาน การบริหารการเงิน การธุรการ การกำหนดแนวทางในการทำวิจัย และการจัดทำรายงานต่างๆ

(ข) ผู้วิจัยร่วมคนที่ 1 คือ แพทย์หญิง บุญเชียร ปานเสถียรกุล มีหน้าที่รับผิดชอบในด้านการแพทย์ โดยเป็นผู้ให้คำปรึกษาทางเทคนิคในทางการแพทย์ต่างๆ

(ค) ผู้วิจัยร่วมคนที่ 2 คือ นาย ถนัดวิทย์ รัชตาภิรมย์ เป็นผู้ที่รับผิดชอบในด้าน

การออกแบบและสร้าง เครื่อง และยังมีส่วนร่วมในการพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบ

(ง) นิสิตและอดีตนิสิตวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วย เหลือในการพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบ ในส่วนที่ใช้ควบคุมการขับ เคลื่อนมอ เตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

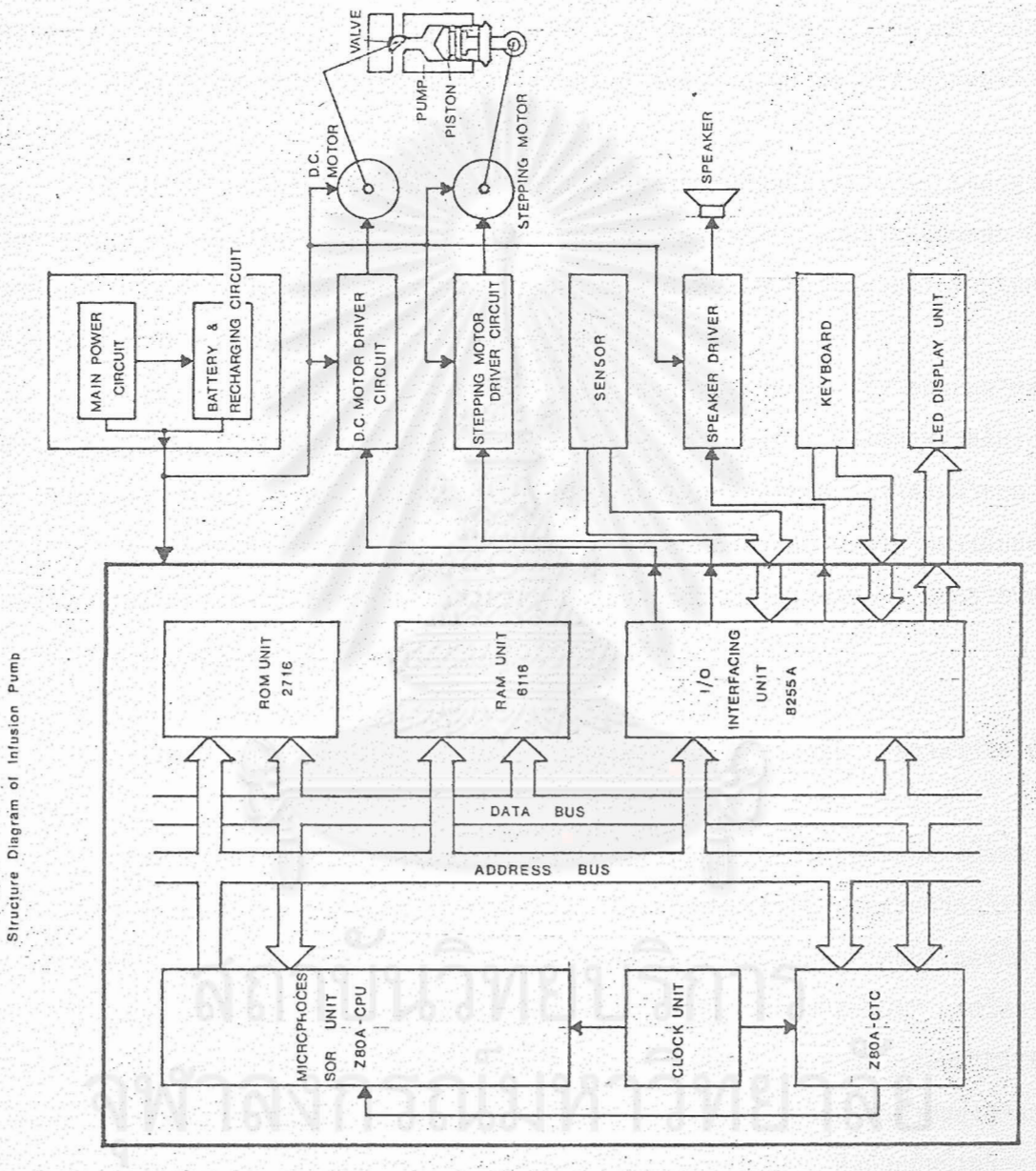
บทที่ 2
ทฤษฎีและการออกแบบ

2.1 โครงสร้างและการทำงานของเครื่อง

เมื่อทำการศึกษาข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง [20,21,22] เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการทำงาน ประสิทธิภาพ ความเที่ยงตรงแม่นยำ ของสูบทั้ง 3 แบบดังแสดงในรูปที่ 1.1 จะพบว่าสูบแบบปริมาตรให้สมรรถนะในการทำงานเหนือกว่าสูบอีก 2 แบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของความเที่ยงตรงและแม่นยำ อย่างไรก็ตาม สูบแบบดังกล่าวต้องการมอเตอร์ไฟฟ้าถึง 2 ชุด เพื่อทำการขับเคลื่อน ทั้งนี้มอเตอร์ตัวหนึ่งจะทำการขับเคลื่อนลูกสูบ และมอเตอร์อีกตัวหนึ่งจะทำหน้าที่หมุนลิ้นควบคุมทิศทางการไหลของสารละลาย มอเตอร์ทั้ง 2 ชุดต้องมีการทำงานประสานกัน ด้วยเหตุนี้ วงจรควบคุมระบบของเครื่องให้สารละลายที่จะใช้สูบแบบนี้ จะมีขนาดใหญ่และสลับซับซ้อนกว่าการใช้สูบแบบอื่น อีกทั้งโปรแกรมควบคุมระบบที่จะพัฒนาขึ้นใช้กับสูบแบบปริมาตร ก็จะมีขนาดยาวและยุ่งยากกว่าเช่นกัน ส่วนสูบที่มีสมรรถนะรองลงไปคือสูบแบบรีดด้วยแผ่นกด แต่สูบแบบนี้ต้องให้ความระมัดระวังเกี่ยวกับแผ่นกด เนื่องจากว่าถ้าไม่มีการควบคุมการผลิตในส่วนนี้ให้ดี จะมีปัญหาของแรงเสียดทานระหว่างแผ่นกด ผลที่เกิดขึ้นคือความเร็วในการรีดสายยางไม่สม่ำเสมอ สูบแบบรีดด้วยลูกกลิ้งจะให้ความเที่ยงตรงและแม่นยำต่ำที่สุด แต่สูบทั้ง 2 แบบหลังนี้ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนเพียงชุดเดียว เมื่อทำการกำหนดเป้าหมายตามหัวข้อที่ 1.3 ซึ่งใช้สมรรถนะที่จัดอยู่ในขั้นสูง งานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้สูบแบบปริมาตร โครงสร้างของเครื่องให้สารละลายที่จะทำการออกแบบต่อไป จะประกอบด้วยภาคสำคัญๆ 5 ภาคด้วยกัน ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 คือ

(ก) หน่วยประมวลผลกลางและอุปกรณ์ข้างเคียง ภาคนี้มีอุปกรณ์หลักเป็น ไมโครโปรเซสเซอร์ อุปกรณ์ข้างเคียงมีดังนี้ หน่วยความจำถาวรสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมระบบ หน่วยความจำชั่วคราวสำหรับเก็บข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนดและสถานะในการปฏิบัติงานของเครื่อง วงจรนับและตั้งเวลาเพื่อกำหนดจังหวะเวลาที่ไมโครโปรเซสเซอร์ต้องไปปฏิบัติตามโปรแกรมบริการ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสำหรับระบบ และอุปกรณ์เชื่อมต่อชนิดโปรแกรมได้เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ติดต่อกับโลกภายนอกได้ เช่น หน่วยแสดงผล วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ เป็นต้น

(ข) หน่วยแสดงผล หน่วยนี้มีการแสดงผลได้ทั้งแสงและเสียง เพื่อแสดงค่าอัตราการไหลและค่าปริมาณของสารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้และที่จ่ายไปแล้ว แสดงสถานะต่างๆของระบบ เช่น ข้อบกพร่องที่เกิดในสายยาง ปัญหาจากแหล่งจ่ายไฟ ข้อขัดข้องอื่นๆของเครื่อง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเครื่องให้สารละลายคนไข้

(ค) หน่วยป้อนข้อมูล หน่วยนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นแผงปุ่มกด จำนวน 16 ปุ่ม สำหรับการป้อนค่าอัตราการไหลและปริมาณของสารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้ และกำหนดคำสั่งให้เครื่องปฏิบัติงาน ส่วนที่สองเป็นวงจรตรวจจับสถานะการทำงานที่ส่วนต่างๆของเครื่อง ทั้งนี้จะกำหนดให้ไมโครโปรเซสเซอร์ไปรับข้อมูลทางสถานะเหล่านี้ตามโปรแกรมบริการเพื่อทำการตรวจสอบ

(ง) หน่วยขับเคลื่อนมอเตอร์ หน่วยนี้มีวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ 2 ชุดสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว ทั้งนี้ไมโครโปรเซสเซอร์มีหน้าที่หลักคือการส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อมายังวงจรขับเคลื่อนทั้ง 2 ชุดนี้ เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้สัมพันธ์กัน สารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้จึงจะไหลในทิศทางเดียวและอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา

(จ) แหล่งจ่ายไฟ แหล่งจ่ายไฟประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟหลัก ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าสลับจากระบบสายส่งภายนอกนำมาแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าตรงจ่ายให้ระบบ แรงดันไฟฟ้าสลับเป็น 220 โวลท์ ความถี่ 50 แฮร์ทซ์ และแหล่งจ่ายไฟสำรองที่ใช้แบตเตอรีชนิดประจุไฟใหม่ได้ขนาด 12 โวลท์ 3.5 แอมแปร์-ชั่วโมง และติดตั้งไว้ภายในเครื่อง ทั้งนี้จะออกแบบให้มีช่องเสียบต่อเพื่อต่อใช้กระแสไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟตรงภายนอก สำหรับการใช้งานในภาคสนาม นอกจากนั้นก็มีวงจรสำหรับประจุไฟให้แบตเตอรีภายในเครื่องอย่างอัตโนมัติ

การทำงานของเครื่องให้สารละลายคนไข้ที่จะออกแบบและสร้างขึ้น อาจสรุปได้เป็นขั้นๆ ดังนี้

(ก) เมื่อเปิดเครื่อง เครื่องจะทำการ initialization ระบบทั้งหมด เป็นต้นว่าทำการเคลียร์ (clear) หน่วยความจำชั่วคราวทั้งหมด จัดเตรียมพอร์ตรับส่งข้อมูลให้พร้อมที่จะทำงาน กำหนดให้หน่วยแสดงผลเป็นค่าอัตราการไหลและปริมาณของสารละลายอยู่ที่"ศูนย์" และอื่นๆ

(ข) จากนั้นเครื่องจะรอรับคำสั่งจากปุ่มคำสั่ง ถ้ามีการกดปุ่ม"PURGE" เครื่องจะทำการล้างเครื่องด้วยการให้มอเตอร์ขับเคลื่อนสูบด้วยอัตราเร็วสูงสุด ถ้ามีการกดปุ่ม"RATE" เครื่องจะรอรับค่าอัตราการไหล ถ้ามีการกดปุ่ม"VOLUME" เครื่องจะรอรับค่าปริมาณของสารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้ และเมื่อกดปุ่ม"RUN" เครื่องจะเริ่มทำงานขั้นต่อไป ทั้งนี้ในขั้นนี้เครื่องจะทำการสแกน (scan) ปุ่มกดตลอดเวลา

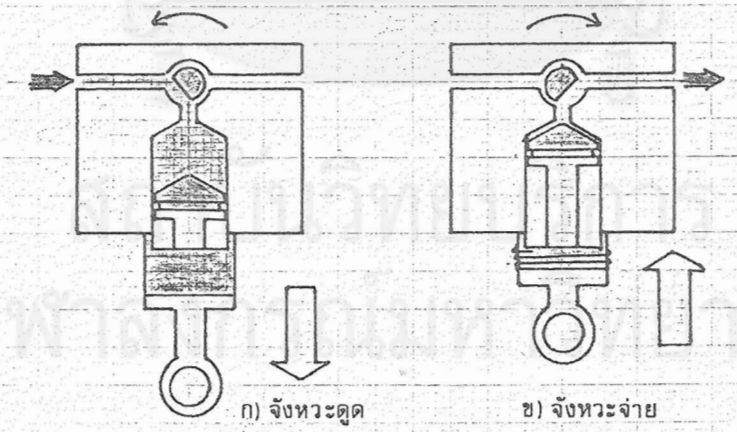
(ค) เมื่อเครื่องเริ่มทำการจ่ายสารละลาย ไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งสัญญาณไปปรับให้วงจรนับและตั้งเวลาเริ่มต้นตั้งเวลา จากนั้นมันต้องส่งสัญญาณออกทางอุปกรณ์เชื่อมต่อไปที่วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ให้มอเตอร์ทำงานตามที่กำหนด ในระหว่างนั้น ถ้าวงจรนับและตั้งเวลาทำการตั้งเวลาได้เท่าที่กำหนดไว้ วงจรดังกล่าวจะส่งสัญญาณไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ ทำให้ไมโคร

โปรเซสเซอร์หยุดงานที่กำลังทำอยู่ แล้วไปปฏิบัติตามโปรแกรมบริการต่อไป

(ง) เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ปฏิบัติตามโปรแกรมบริการ คือการรอรับสัญญาณจากพอร์ตของอุปกรณ์เชื่อมต่อ ที่ได้จากวงจรตรวจจับสถานะต่างๆของระบบ ถ้ามีความผิดปกติเกิดขึ้นไมโครโปรเซสเซอร์จะหยุดการทำงานในส่วนต่างๆของระบบ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลต่างๆโดยเฉพาะค่าของปริมาณของสารละลายที่จ่ายไปแล้วเก็บไว้ในที่ๆจัดเตรียมไว้ จากนั้นจะส่งสัญญาณเตือนออกทางหน่วยแสดงผลทั้งทางแสงและเสียง เพื่อแจ้งให้ผู้ดูแลทราบต่อไป

(จ) ผู้ดูแลอาจหยุดการทำงานของเครื่องได้โดยไม่ทำให้ข้อมูลต่างๆสูญหายไป ด้วยการกดปุ่มคำสั่ง"HALT/CONT" เครื่องจะหยุดด้วยการเก็บข้อมูลต่างๆไว้ เมื่อผู้ดูแลต้องการให้เครื่องปฏิบัติงานต่อไปจากจุดเดิมให้กดปุ่มคำสั่ง"HALT/CONT"อีกครั้งหนึ่ง

รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นจังหวะการทำงานของสูบแบบปริมาตร ซึ่งจะใช้ในเครื่องให้สารละลายที่จะจัดสร้างขึ้น รูปที่ 2.2(ก) เป็นจังหวะดูด (intake cycle) และรูปที่ 2.2(ข) จังหวะจ่าย (infusion cycle) ทั้งนี้จากจุดเริ่มต้น ไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องกำหนดให้มอเตอร์ที่ควบคุมลูกสูบ เลื่อนลูกสูบไปอยู่ในตำแหน่งสูงสุดเพื่อทำการดูดสารละลายจากภาชนะบรรจุ จากนั้นมอเตอร์ที่ควบคุมลิ้นจะหมุนลิ้นไปอยู่ในตำแหน่งดูด *(intake position)* แล้วลูกสูบจะ



รูปที่ 2.2 จังหวะการทำงานของสูบแบบปริมาตร

เลื่อนลงเป็นจังหวะดูด เมื่อลูกสูบเลื่อนลงต่ำสุด ลิ้นจะถูกหมุนกลับไปอยู่ในตำแหน่งจ่าย (infusion cycle) จากนั้นลูกสูบจะถูกเลื่อนขึ้นจนถึงจุดสูงสุด และการทำงานจะวนเรื่อยไป

เช่นนี้ จนกว่าเครื่องจะได้รับคำสั่งใหม่หรือจนกว่าการจ่ายสารละลายจะเสร็จสิ้น ทุกๆรอบการทำงานเครื่องจะเก็บค่าปริมาฒของสารละลายที่จ่ายไปบวกเพิ่มไว้ในหน่วยความจำที่จัดไว้

2.2 หน่วยประมวลผลกลางและอุปกรณ์ข้างเคียง

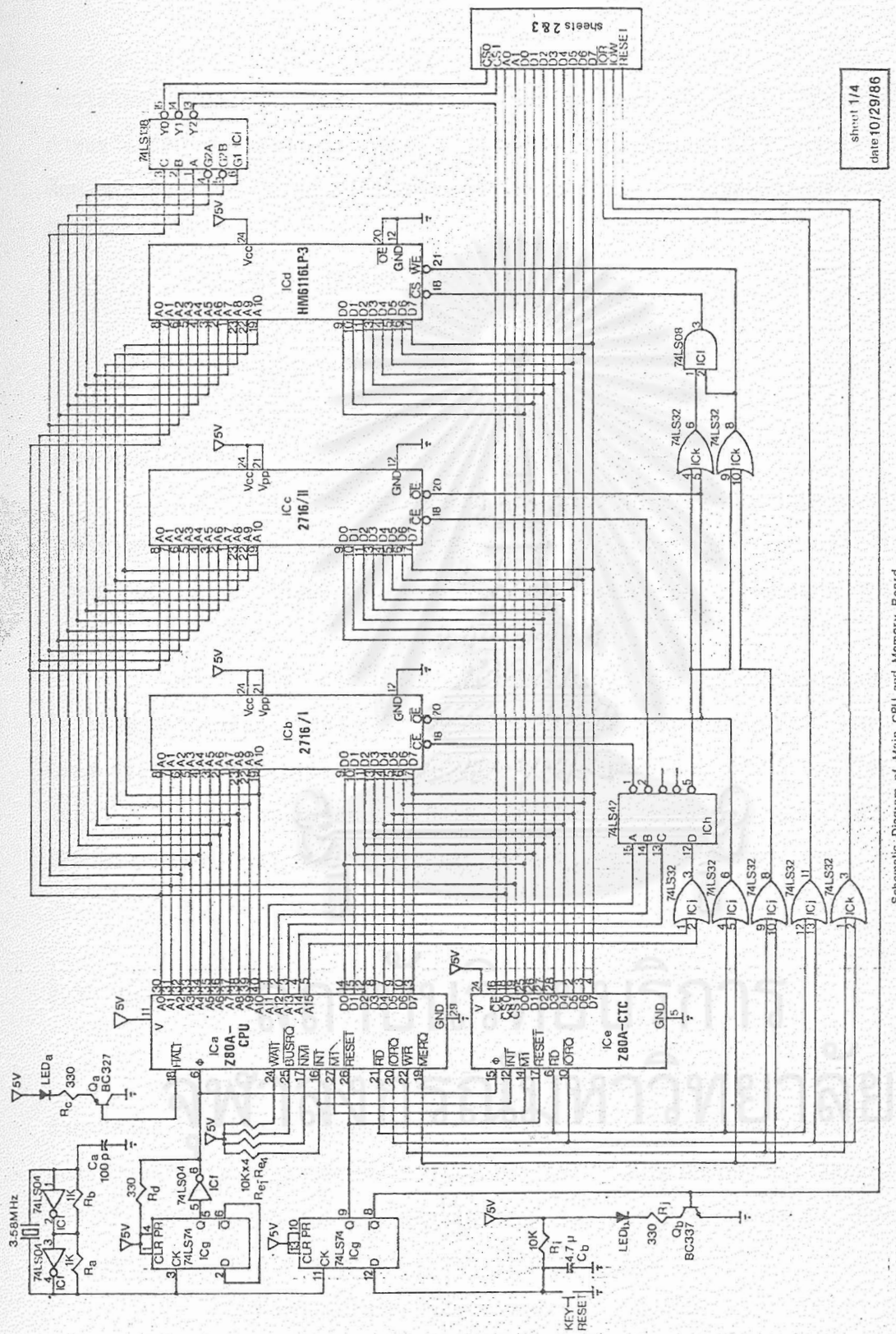
ด้วยเหตุที่ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นศูนย์กลางของระบบ อุปกรณ์อื่นๆจะถูกกำหนดตามแบบของไมโครโปรเซสเซอร์ที่ถูกเลือกไว้ล่วงหน้า เงื่อนไขที่ใช้ในการเลือกแบบคือ ขนาดสมรรถนะ ความเร็ว ความคล่องตัวในการปรับเปลี่ยนระบบ ความสะดวกในการขยายระบบในอนาคต การจัดหาและราคา ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการเลือกใช้ไมโครโปรเซสเซอร์แบบ แซด-80 เอ (Z80A-CPU) ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิทข้อมูล 16 บิทแอดเดรส สามารถทำงานที่ความถี่ได้สูงถึง 4 เมกะแฮร์ทซ์ (MHz) การจัดหาทำได้ง่ายและสดวกเนื่องจากมีจำหน่ายทั่วไปในประเทศในราคาไม่สูง(ประมาณ 200 บาทต่อชิ้น) การพัฒนาระบบทำได้ง่ายเพราะมีเครื่องมือให้เลือกใช้อย่างเพียงพอ อีกทั้งอุปกรณ์ข้างเคียงมีครบและสามารถเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 8080 ได้ด้วย

เมื่อได้ไมโครโปรเซสเซอร์แล้ว งานขั้นต่อไปคือการเลือกอุปกรณ์ข้างเคียงที่สำคัญต่างๆ ได้แก่

(ก) หน่วยความจำถาวรเป็น EPROM 2716 ขนาด 8 บิทข้อมูล 2 กิโลไบท์ ซึ่งจัดเตรียมที่ไว้ให้ติดตั้งได้ 2 ชุด(ดูรูปที่ 2.3) ชุดแรกจะมีแอดเดรสระหว่าง 0000H-07FFH ชุดที่สองจะมีแอดเดรสระหว่าง 0800H-0FFFH แต่ขั้นแรกจะใช้เพียงชุดแรกชุดเดียวสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมระบบ ถ้าไม่พอจึงจะเพิ่มชุดที่สอง ทั้งนี้ได้จัดเตรียมซอกเกท(socket)ไว้แล้ว

(ข) หน่วยความจำชั่วคราวแบบ RAM 6116 ขนาด 8 บิทข้อมูล 2 กิโลไบท์ 1 ชุด มีแอดเดรสระหว่าง 1000H-17FFH สำหรับเก็บข้อมูลในระหว่างปฏิบัติงาน

(ค) วงจรนับและตั้งเวลาแบบ Z80A-CTC ที่ถูกป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา 15 ( ) โมด (mode) ในการทำงานถูกตั้งให้เป็นโมดตั้งเวลา (timer mode) โดยตั้งค่าตัวหารเริ่มแรก (Pre scaler) ไว้ที่ค่า 256 กำหนดให้ใช้ช่องศูนย์ (channel 0) ทำงาน ด้วยการตั้งค่าตัวนับของช่องดังกล่าวเป็น 175 เพื่อหารความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจาก 1.79 MHz ลงเหลือ 39.5 Hz หรือคาบละประมาณ 25.3 msec ขา $\overline{\text{INT}}$ ของ CTC และ CPU ถูกต่อไว้ด้วยกัน เพื่อให้ CTC ทำการอินเตอร์รัพท์ (interrupt) CPU ทุกๆจังหวะเวลาที่ CTC ตั้งนับเวลาได้ตามที่กำหนด CPU



รูปที่ 2.3 วงจรหน่วยประมวลผลกลางและอุปกรณ์ข้างเคียง

จะกระโดดไปที่แอดเดรส 0066H ที่มีซับรูทีน (subroutine) บริการอยู่ ซับรูทีนดังกล่าวจะกำหนดให้ CPU ส่งสัญญาณออกทางพอร์ต C ของอุปกรณ์เชื่อมต่อที่จะกล่าวถึงในภายหลัง และรอรับสัญญาณเข้าทางพอร์ต B ของอุปกรณ์เชื่อมต่อตัวเดียวกัน แอดเดรสที่ใช้ติดต่อช่องต่างๆของ CTC มีดังนี้

ช่อง 0 อยู่ที่อแดเดรส 0088H
ช่อง 1 อยู่ที่แอดเดรส 0089H
ช่อง 2 อยู่ที่แอดเดรส 008AH
ช่อง 3 อยู่ที่แอดเดรส 008BH

และค่าคอนโทรลเวอร์ด (control word) เป็น 27H

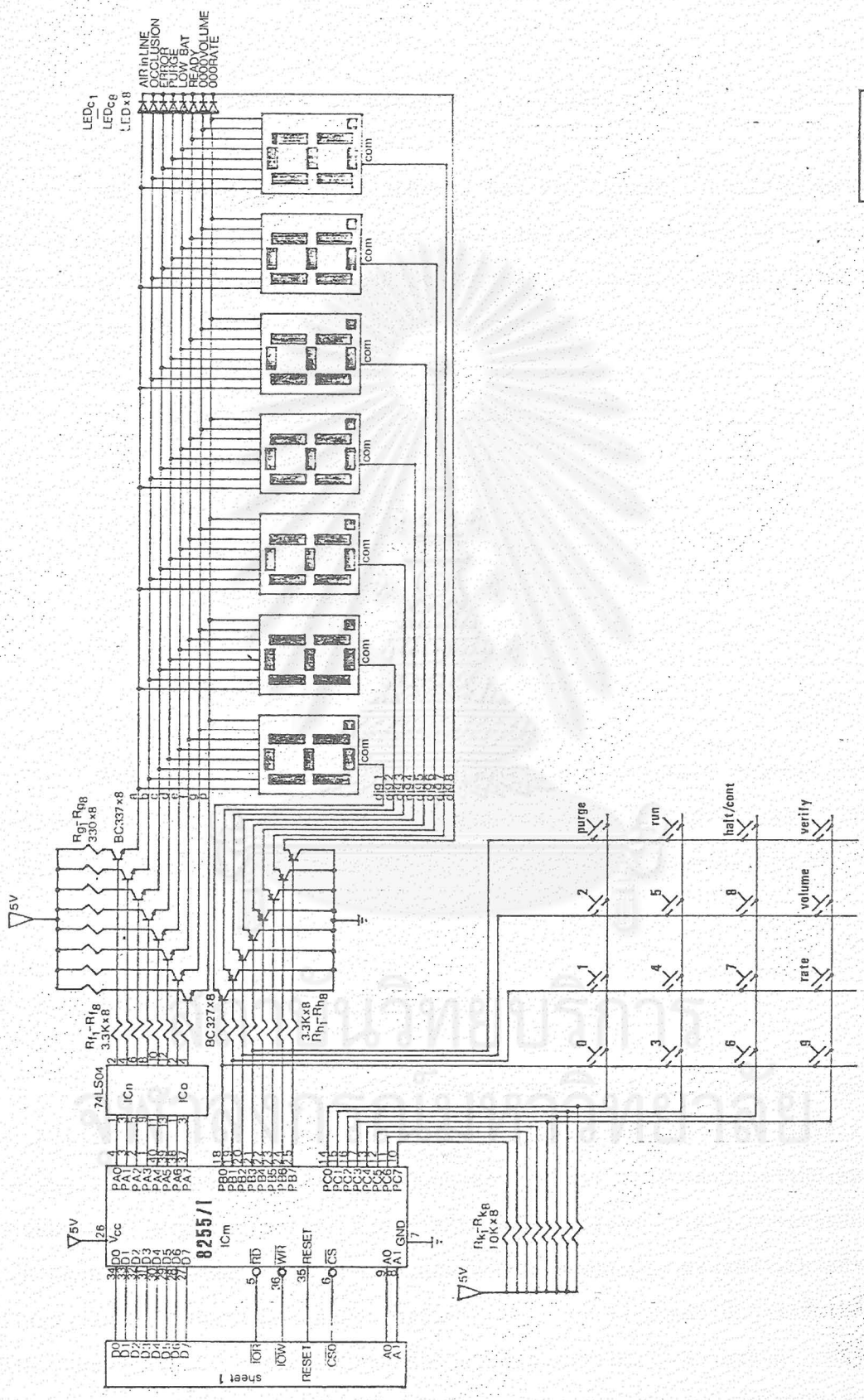
(ง) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ใช้ผลึกความถี่ 3.58 MHz เป็นฐานเวลา ต่อผ่านวงจรหารความถี่ลงครึ่งหนึ่งเหลือ 1.79 MHz เนื่องจากคาดว่าระบบไม่มีความจำเป็นจะต้องทำงานที่ความถี่สูงสุด และเพื่อป้องกันการส่งผ่านสัญญาณ ณ จุดต่างๆให้มีเวลาพอที่จะทำงานเข้ากันได้

การเรียกใช้ CTC และอุปกรณ์เชื่อมต่อทั้งหมด ได้คำนึงถึงการขยายระบบในอนาคต จึงใช้สัญญาณจากขาแอดเดรสถึง 8 ขาของ CPU (A0-A8) โดยต่อขา A2-A7 ผ่าน 3-TO-8 Line Decoder/Demultiplexer แบบ 74LS138 จากขาเอาท์พุท Y0-Y2 ของ 74LS138 ต่อไปที่ขา $\overline{CS}$ ของอุปกรณ์เชื่อมต่อ 2 ชุดและขา $\overline{CE}$ ของ CTC ตามลำดับ ต่อขา A0-A1 จาก CPU ตรงเข้าขา A0-A1 ของอุปกรณ์เชื่อมต่อ และตรงเข้าขา CS0-CS1 ของ CTC

2.3 หน่วยแสดงผลและปุ่มกด

กำหนดให้ใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อชนิดโปรแกรมได้แบบ 8255A-PIO จำนวน 2 ชุดสำหรับทำการติดต่อ CPU กับโลกภายนอก ทั้งนี้ PIO ตัวแรกใช้ติดต่อกับหน่วยแสดงผลทางแสง และปุ่มกดมันถูกกำหนดให้ทำงานในแบบแอกตีฟโลว์ (active low) อยู่ในโมดศูนย์ และใช้คอนโทรลเวอร์ดเป็น 2 เพื่อให้พอร์ต A และ B เป็นพอร์ตทางออก (output port) พอร์ต C เป็นพอร์ตอินพุท (input port) แอดเดรสที่ถูกกำหนดในการเรียกใช้งาน PIO คือ

รหัสควบคุมพอร์ต อยู่ที่แอดเดรส 0083H
เรียกใช้พอร์ต A อยู่ที่แอดเดรส 0080H
เรียกใช้พอร์ต B อยู่ที่แอดเดรส 0081H



รูปที่ 2.4 วงจรหน่วยแสดงผลและปุ่มกด

เรียกใช้พอร์ต C อยู่ที่แอดเดรส 0082H

CPU จะส่งสัญญาณออกทางขา PB0-PB3 ของ PIO ไปปุ่มกด และรอรับสัญญาณการกดปุ่มจากขา PC0-PC3 ของ PIO สำหรับหน่วยแสดงผลทางแสงประกอบด้วย ไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วน จำนวน 7 ชุด 3 ชุดแรกใช้แสดงค่าอัตราการไหล 4 ชุดหลังใช้แสดงค่าปริมาณสารละลาย และไดโอดเปล่งแสงธรรมดาอีก 8 ตัวใช้แสดงสถานะต่างๆดังนี้

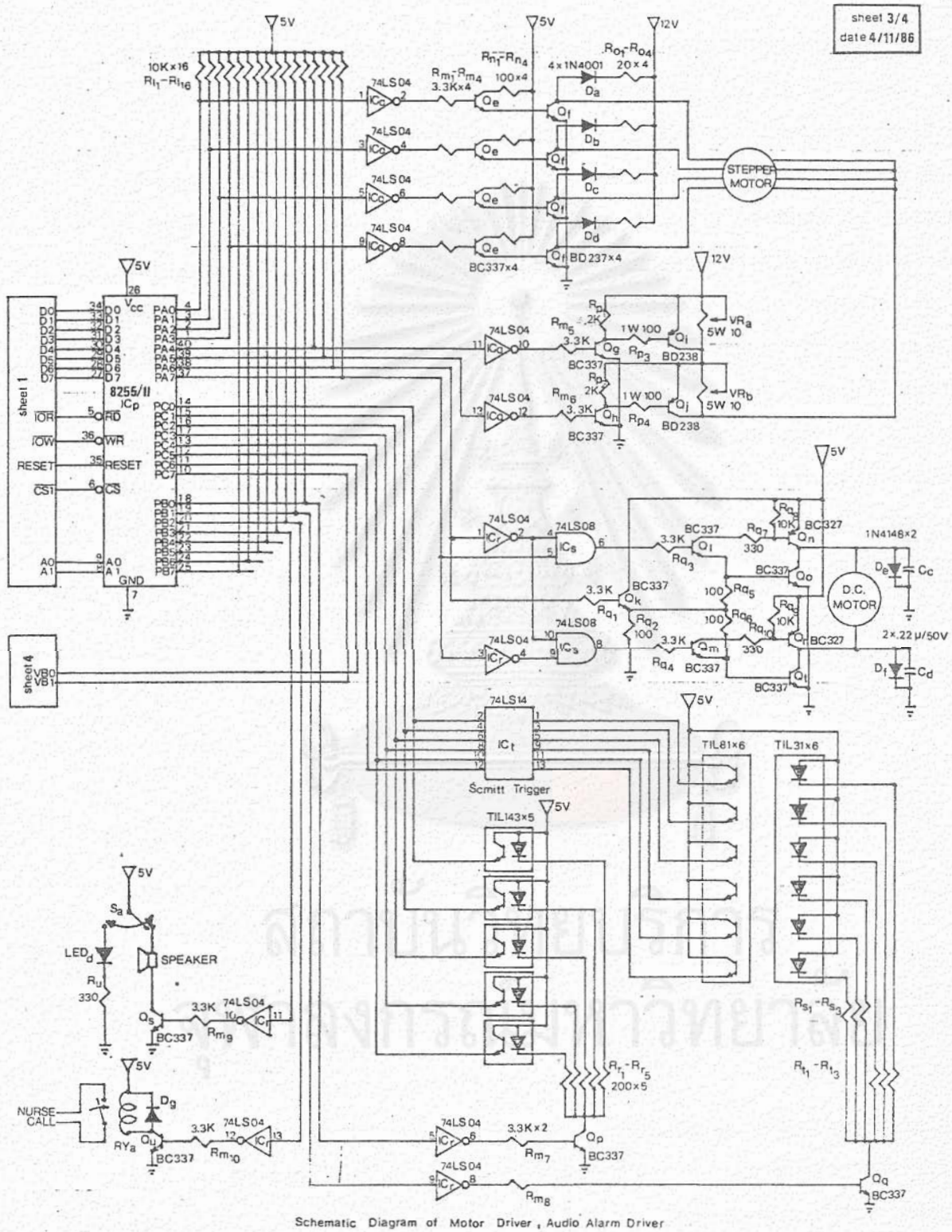
การเกิดฟองอากาศในสาย (Air in line)
การเกิดอุดตันของสายยาง (Occlusion)
การเกิดข้อผิดพลาดอื่นๆ (Error)
การล้างเครื่อง (Purge)
แรงดันไฟจากแบตเตอรี่ต่ำเกินไป (Low bat)
การทำงานเสร็จสิ้น (Ready)
การตั้งปริมาณสารละลายอยู่ที่ศูนย์ (0000 Volume)
การตั้งอัตราการไหลอยู่ที่ศูนย์ (000 Rate)

ทั้งนี้ CPU จะส่งสัญญาณเลือกตำแหน่งตัวแสดงผลออกมาทางพอร์ต PB0-PB7 และส่งสัญญาณสำหรับ 7 ส่วนของไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วน และไดโอดเปล่งแสงธรรมดา ทางพอร์ต PA0-PA7 ฉะนั้นจะเห็นได้ว่า ยังมีพอร์ต PC4-PC7 เหลืออยู่ให้ใช้งานได้เพิ่มขึ้นในอนาคต

2.4 หน่วยขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรตรวจจับและวงจรสัญญาณเสียง

สำหรับ PIO ตัวที่สองถูกจัดให้ติดต่อกับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรตรวจจับสถานะต่างๆของเครื่อง และวงจรขับลำโพง การจัดพอร์ตติดต่อกับส่วนต่างดังกล่าวมีดังนี้ พอร์ต A ถูกจัดให้เป็นพอร์ตเอาท์พุท ติดต่อกับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ 2 วงจร วงจรแรกเป็นวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบจังหวะ (stepper motor) ที่ใช้ขับเคลื่อนลูกสูบ เนื่องจากมอเตอร์แบบจังหวะมีการทำงานที่ควบคุมความเร็วได้ดีมาก ทำให้การควบคุมอัตราการไหลและปริมาณของสารละลายที่จ่ายไปเป็นไปอย่างแม่นยำกว่าการใช้มอเตอร์ประเภทอื่น[45,46] วงจรที่สองเป็นวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง (D.C. motor) ที่ใช้หมุนลิ้นควบคุมทิศทางการไหลของสารละลาย พอร์ต B ถูกจัดให้เป็นพอร์ตเอาท์พุทเช่นกัน โดยที่ขา PB3 จะส่งสัญญาณไปขับลำโพงเป็นสัญญาณเตือนทาง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Schematic Diagram of Motor Driver, Audio Alarm Driver and Sensor Units

รูปที่ 2.5 วงจรหน่วยขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรตรวจจับและวงจรสัญญาณเสียง

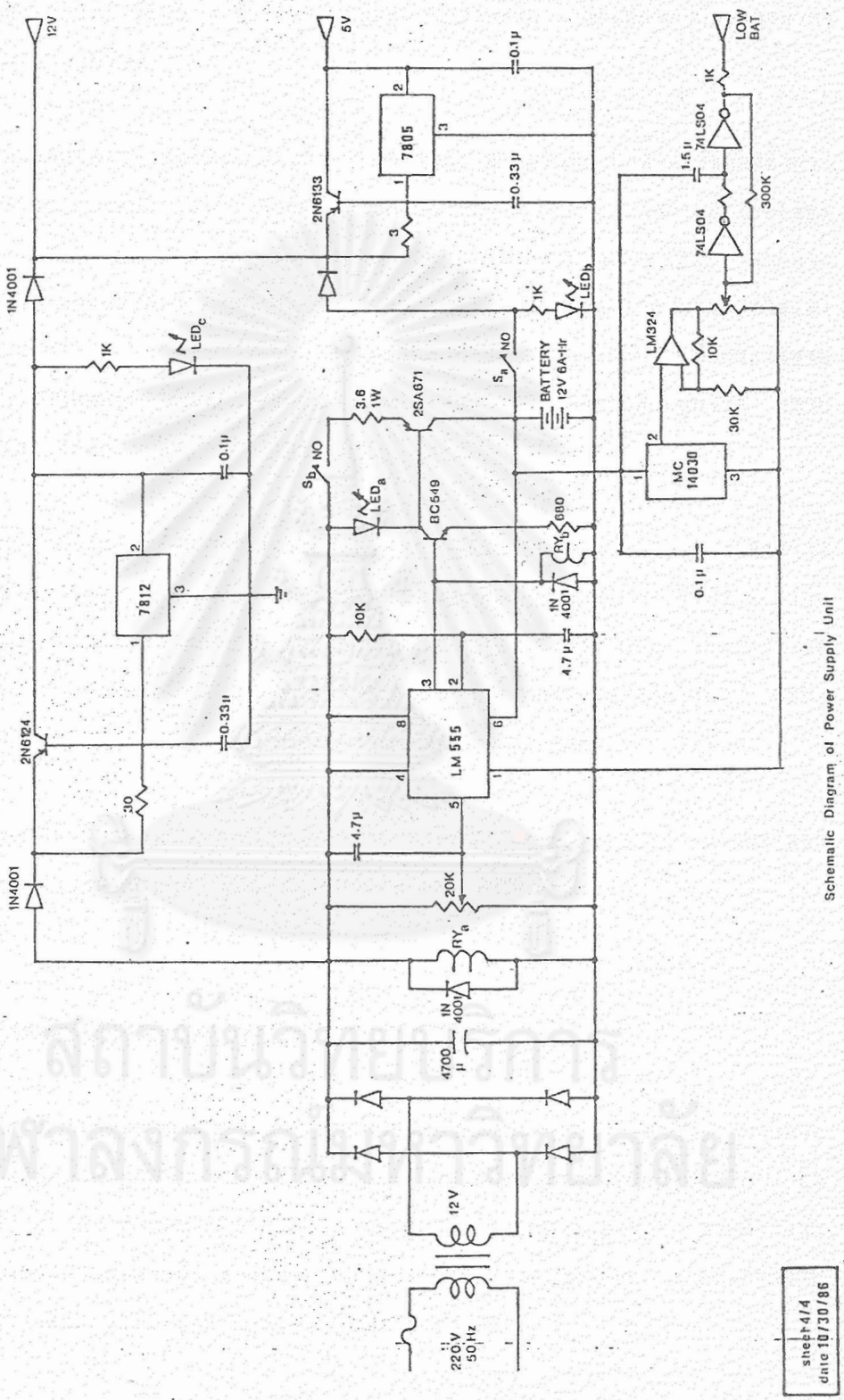
เสียง ซึ่งติดตั้งสวิทช์ตัดออกได้ พร้อมกันนั้นจะมีไดโอดเปล่งแสงแสดงการปิดสัญญาณเตือนทางเสียงไว้ด้วย สำหรับขา PB2 ถูกจัดให้ต่อไปยังห้องพยาบาลเพื่อส่งเสียงเตือนอีกช่องหนึ่ง ขา PB0-PB1 จะถูกกำหนดให้ส่งสัญญาณไปที่ทรานซิสเตอร์ Q_P และ Q_Q เพื่อควบคุมการทำงานของชุดตรวจจับตำแหน่ง TIL143 จำนวน 5 ชุด 2 ชุดแรกสำหรับตรวจจับตำแหน่งของลูกสูบ อีก 2 ชุดสำหรับตรวจจับตำแหน่งของลิ้น และชุดสุดท้ายใช้ตรวจจับสภาวะการหมุนของมอเตอร์แบบจังหวะถ้ามอเตอร์แบบจังหวะหยุดหมุนหรือมีการหมุนผิดปกติ หมายความว่าเกิดการอุดตันของสายยางหรือเครื่องทำงานผิดปกติ สัญญาณจากชุดตรวจจับทั้ง 5 นี้จะกลับเข้าทางพอร์ต C ที่ขา PC0-PC4 และเพื่อควบคุมการทำงานของชุดตรวจจับ TIL81-TIL31 จำนวน 6 ชุด(อาจใช้เพียง 5 ชุดแต่จัดวางในลักษณะ 1-2-4 และ 2-3-5) เพื่อตรวจจับฟองอากาศในสายยาง สำหรับสารละลายทั้งแบบโปร่งแสงและทึบแสงอย่างละ 3 ชุด โดยกำหนดให้สถานะจากโฟโตทรานซิสเตอร์ TIL81 มีลอจิกเป็น 0 ถ้ามีฟองอากาศเกิดขึ้น ทั้งนี้ต้องใช้ชมิททริกเกอร์(schmitt trigger) 74LS14 เพื่อปรับระดับสัญญาณจาก TIL81 เข้าช่วยให้เหมาะสม เนื่องจากขนาดของสัญญาณที่ได้รับระหว่างมีฟองอากาศและไม่มี ในกรณีสารละลายโปร่งแสงแตกต่างกันไม่มากพอ และเงื่อนไขของการเกิดฟองอากาศคือ TIL81 อย่างน้อย 2 ใน 3 ชุดมีสถานะลอจิกเป็นศูนย์

จากการกำหนดการใช้งานของ PIO ดังกล่าว โมดการทำงานเป็นศูนย์ คอนโทรลเวอร์ดเป็น 2 และมีแอดเดรสในการเรียกใช้งานดังนี้

รหัสควบคุมพอร์ต อยู่ที่แอดเดรส	0093H
เรียกใช้พอร์ต A อยู่ที่แอดเดรส	0090H
เรียกใช้พอร์ต B อยู่ที่แอดเดรส	0091H
เรียกใช้พอร์ต C อยู่ที่แอดเดรส	0092H

2.5 แหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟหลัก ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 200 โวลท์ 50 Hz แปลงเป็นกระแสไฟตรงขนาดแรงดัน 12 โวลท์ 3.5 แอมแปร์ และแรงดัน 5 โวลท์ 5 แอมแปร์ แรงดัน 12 โวลท์ สำหรับมอเตอร์แบบจังหวะ และแรงดัน 5 โวลท์ สำหรับส่วนที่เหลือทั้งหมดของระบบ ส่วนที่สองเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองใช้แบตเตอรีแบบประจุไฟได้ขนาดแรงดัน 12 โวลท์ 3.5 แอมแปร์-ชั่วโมง สามารถลดแรงดันเหลือ 5 โวลท์ได้ด้วยวงจร



รูปที่ 2.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

เรกูเลเตอร์ (regulator) 7805 วงจรเดียวกันกับแหล่งจ่ายไฟหลัก ส่วนที่สามเป็นวงจรประจุไฟให้กับแบตเตอรีภายในเครื่อง

การทำงานของวงจรประจุไฟมีดังนี้ ถ้าแรงดันไฟจากขั้วของแบตเตอรีตกลงต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด วงจรเปรียบเทียบ LM555 จะส่งสัญญาณออกทางขา 3 ไปกระตุ้นให้รีเลย์ (relay) RY_b ทำงาน ปิดสวิทช์ S_b ทรานซิสเตอร์ BC549 จะ "on" ไดโอดเปล่งแสง LED_a จะสว่างแสดงว่ามีการประจุไฟเข้าแบตเตอรี และทรานซิสเตอร์ 2SA671 จะ "on" จ่ายกระแสไฟเข้าแบตเตอรี ตัวต้านทาน 3.6 โอห์มทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แบตเตอรี เมื่อประจุไฟจนเต็ม LM555 จะตัดเอาท์พุทออกจากขา 3 ของมัน RY_b จะหยุดทำงาน สวิทช์ S_b ถูกเปิด ทรานซิสเตอร์ BC549 และ 2SA671 จะ "off" และ LED_a จะดับ

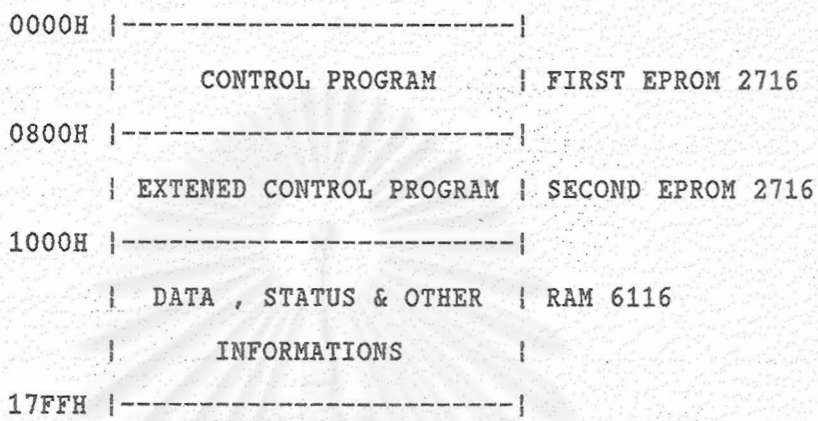
ในกรณีใช้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟหลัก ไดโอดเปล่งแสง LED_c จะติดสว่างแสดงสถานะการใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟหลัก ขณะเดียวกันรีเลย์ RY_a จะทำงาน สวิทช์ S_a เปิด และ LED_b จะดับ เมื่อกระแสไฟฟ้าจากระบบสายส่งขาดหายไป รีเลย์ RY_a จะหยุดทำงาน สวิทช์ S_a ปิดลง ทำให้แบตเตอรีต่อเข้ากับระบบแล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าทดแทนอย่างอัตโนมัติ LED_b จะติดสว่างแสดงสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟสำรอง และ LED_c จะดับ

นอกจากนี้ยังมีวงจรตรวจจับแรงดันไฟของแบตเตอรี โดยต่อสายจากขั้วของแบตเตอรีผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดันไปเข้าขา PC6 ของพอร์ต C ของ PIO ตัวที่สอง

2.6 ผังแสดงการจัดแอดเดรสของหน่วยความจำและอุปกรณ์เชื่อมต่อ

รูปที่ 2.7 เป็นผังแสดงการจัดแอดเดรสหน่วยความจำของระบบ ทั้งนี้โปรแกรมควบคุมระบบจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำถาวร EPROM 2716 ตั้งแต่แอดเดรส 0000H-0FFFH ข้อมูลที่ใช้ในการปฏิบัติงาน เช่น ค่าอัตราการไหลของสารละลาย ค่าปริมาณของสารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้ ค่าปริมาณของสารละลายที่จ่ายไปแล้ว ค่าแสดงสถานะต่างๆของระบบ จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำชั่วคราว RAM 6116 ตั้งแต่แอดเดรส 1000H-17FFH

รูปที่ 2.8 เป็นผังแสดงการจัดแอดเดรสให้กับอุปกรณ์เชื่อมต่อ ซึ่งรวมถึงวงจรนับและ



รูปที่ 2.7 ผังแสดงการจัดแอดเดรสหน่วยความจำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I/O ADDRESS	DETAIL	DEVICE
0080H	7-segments data out to display	8255A#1
0081H	digit select and keyboard scan	
0082H	keyboard data in	
0083H	control port	
0088H	channel 0 (CTC 0)	CTC
0089H	channel 1 (CTC 1)	
008AH	channel 2 (CTC 2)	
008BH	channel 3 (CTC 3)	
0090H	motor drive sinal out	8255A#2
0091H	sensor control and audio out	
0092H	sensing signal in	
0093H	control port	

รูปที่ 2.8 ผังแสดงการจัดแอดเดรสอุปกรณ์เชื่อมต่อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และตั้งเวลาไว้ด้วย เหตุที่ต้องมีการจัดแอดเดรสสำหรับอุปกรณ์เหล่านี้ เนื่องจากมีอุปกรณ์หลากหลายต่ออยู่รอบๆ CPU การจะให้ CPU เรียกใช้อุปกรณ์แต่ละตัวได้ถูกต้อง จำเป็นที่อุปกรณ์ทุกตัวต้องมีแอดเดรสประจำตัว ยกตัวอย่างในกรณีของการแสดงผลด้วยไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วน ที่มีการกำหนดให้ CPU ติดต่อได้โดยผ่านพอร์ต A และพอร์ต B ของ 8255A-PIO ตัวที่หนึ่งนั้น CPU ต้องทำการส่งค่าที่จะแสดงผลออกไปที่แอดเดรส 0080H ซึ่งเป็นแอดเดรสในการเรียกใช้พอร์ต A ในขณะที่ตำแหน่งของไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วนที่จะให้ค่าดังกล่าวไปปรากฏนั้น CPU จะส่งค่าออกไปที่แอดเดรส 0081H ซึ่งเป็นแอดเดรสในการเรียกใช้พอร์ต B ทั้งนี้ก่อนจะส่งค่าทั้งสองดังกล่าวออกไปได้นั้น CPU จะต้องแจ้งให้ 8255A-PIO ตัวนี้พร้อมที่จะทำงานในโมดและสถานะที่กำหนดไว้ล่วงหน้า กล่าวคือ โมดศูนย์ ที่มีพอร์ต A และ B เป็นพอร์ตเอาท์พุท พอร์ต C เป็นพอร์ตอินพุท โดยการส่งสัญญาณควบคุมพอร์ตออกไปที่แอดเดรส 0083H

2.7 โปรแกรมควบคุมระบบ

การพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบ (monitor program) เริ่มด้วยการกำหนดวิธีการและขั้นตอนในการปฏิบัติงานของเครื่องให้สารละลายโดยรวมว่า จะให้เครื่องปฏิบัติงานอย่างไรก่อนอย่างไรหลัง รายละเอียดของงานที่ทำแต่ละขั้นตอนนั้นเป็นอย่างใด เพื่อความสะดวก จึงจัดทำโฟลว์ชาร์ต (flow chart) ซึ่งเป็นผังแสดงลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติงานต่างๆของเครื่องให้สารละลาย ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 ขึ้นไว้เป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบ ทั้งนี้ source listing ของตัวโปรแกรมควบคุมระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเรียบร้อย ถูกแสดงอยู่ในภาคผนวก (ก) ท้ายรายงานวิจัยนี้

รูปที่ 2.9 เป็นโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมควบคุมระบบที่ไม่ได้รวมซับรูทีนบริการไว้ด้วย มีขั้นตอนที่อาจอธิบายได้โดยละเอียด ดังต่อไปนี้

(1) เริ่มเปิดเครื่อง เครื่องจะทำการ initialization ให้ระบบพร้อมที่จะทำงานขั้นตอนต่อไป กรรมวิธีนี้เป็นการเคลียร์ข้อมูลในหน่วยความจำชั่วคราวทั้งหมด จัดตำแหน่งของลูกสูบและลิ้นให้เป็นไปตามที่กำหนด ปรับลอจิกที่ขาพอร์ตต่างๆให้เรียบร้อย และอื่นๆ

(2) เครื่องจะทำการสแกนปุ่มกดเพื่อรอรับคำสั่ง

(3) ถ้ามีการกดปุ่มคำสั่ง PURGE เครื่องจะตั้งอัตราการไหลที่ค่าสูงสุด และปริมาณการจ่ายสารละลายที่ 10 มิลลิลิตร อย่างอัตโนมัติ จากนั้นข้ามไปขั้นตอนที่ (6)

(4) เครื่องรอให้ตั้งค่าอัตราการไหลและปริมาณของสารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้

(5) เครื่องรอรับคำสั่งจากการกดปุ่ม RUN

(6) มอเตอร์แบบจังหวะทำงาน โดยการขับเคลื่อนลูกสูบขึ้นเป็นจังหวะจ่าย

(7) ตรวจสอบปริมาณของสารละลายที่จ่ายไปว่าเท่ากับที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าเท่ากันเครื่องจะหยุดทำงาน พร้อมทั้งแจ้งให้ผู้ดูแลทราบ ถ้าไม่เท่ากันให้ไปขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าเป็นการล้างเครื่อง เครื่องจะยังทำงานในขั้นตอนต่อไป

(8) ตรวจจับตำแหน่งของลูกสูบว่าเคลื่อนขึ้นถึงตำแหน่งสูงสุดหรือไม่ ถ้ายังไม่ถึงให้ย้อนกลับไปทำงานในขั้นตอนที่ (6) ถ้าถึงแล้วจะไปทำงานในขั้นตอนต่อไป

(9) มอเตอร์แบบจังหวะหยุดทำงาน

(10) มอเตอร์กระแสตรงทำงาน โดยการหมุนลิ้นให้ไปอยู่ในตำแหน่งดูด

(11) ตรวจจับว่าลิ้นอยู่ในตำแหน่งดูดหรือไม่ ถ้าไม่ให้กลับไปทำงานในขั้นตอนที่ (10) ใหม่ ถ้าถึงแล้วให้ไปขั้นตอนที่ (12)

(12) มอเตอร์กระแสตรงหยุดทำงาน

(13) มอเตอร์แบบจังหวะทำงาน โดยการขับเคลื่อนลูกสูบลงด้วยอัตราเร็วสูงสุด เป็นจังหวะดูด

(14) ตรวจสอบตำแหน่งลูกสูบว่าถึงจุดต่ำสุดหรือไม่ ถ้าถึงให้ไปขั้นตอนต่อไป ถ้าไม่ให้กลับไปขั้นตอนที่ (13)

(15) มอเตอร์แบบจังหวะหยุดทำงาน ถ้าเป็นการล้างเครื่อง เครื่องจะหยุดทำงานและย้อนกลับไปรอรับคำสั่งต่างๆในขั้นตอนที่ (3)

(16) มอเตอร์กระแสตรงทำงาน โดยการหมุนลิ้นกลับไปอยู่ในตำแหน่งจ่าย

(17) ตรวจจับว่าลิ้นอยู่ในตำแหน่งจ่ายหรือไม่ ถ่าไม่ให้กลับไปขั้นตอนที่ (16) ถ้าใช่ให้ไปขั้นตอนที่ (18)

(18) มอเตอร์กระแสตรงหยุดทำงาน แล้วกลับไปเริ่มทำขั้นตอนที่ (5) ต่อไป

รูปที่ 2.10 เป็นโฟลว์ชาร์ตของซับรูทีนบริการ ที่มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

(1) ในระหว่างที่เครื่องทำงานตามขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 18 ของโปรแกรมหลักข้างต้น CPU ซึ่งสั่งให้ CTC ทำการตั้งเวลาไปพร้อมกันนั้น ทุกจังหวะที่ CTC ตั้งเวลาได้ตามที่กำหนด CTC จะส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์ไปที่ CPU CPU จะเก็บตัวชี้โปรแกรมในขณะนั้นลงสแตค (stack) แล้วกระโดดไปที่แอดเดรส 0038H เพื่อปฏิบัติตามซับรูทีนบริการ

(2) CPU ทำให้ลอจิกที่ขาพอร์ต PB0-PB1 ของ 8255A-PIO ตัวที่สองเป็นศูนย์

(3) CPU ตรวจลอจิกที่ขาพอร์ต PC0-PC6 ของ 8255A-PIO ตัวที่สอง

(4) มีขาพอร์ตใดที่ให้ลอจิกเป็นศูนย์หรือไม่ ถ้าไม่มี CPU จะเรียกข้อมูลคืนจากสแตคแล้วกลับไปปฏิบัติงานในโปรแกรมหลักต่อจากจุดเดิมที่หยุดอยู่ ถ้ามีให้ไปขั้นตอนที่ (5)

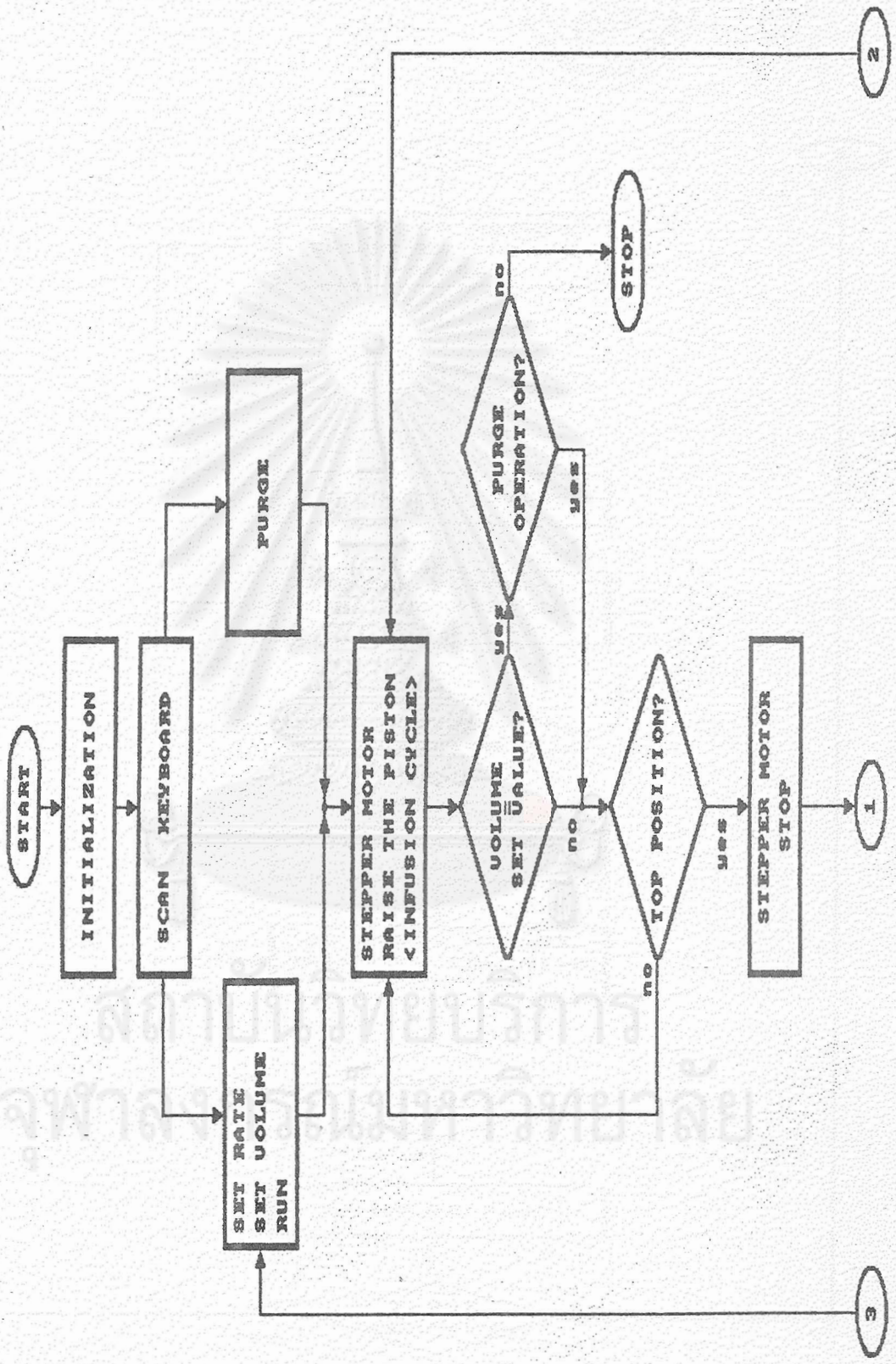
(5) CPU ตรวจสอบสาเหตุของปัญหา

(6) หยุดการทำงาน ส่งสัญญาณเตือนออกทางภาคแสดงผลทั้งทางแสงและเสียง

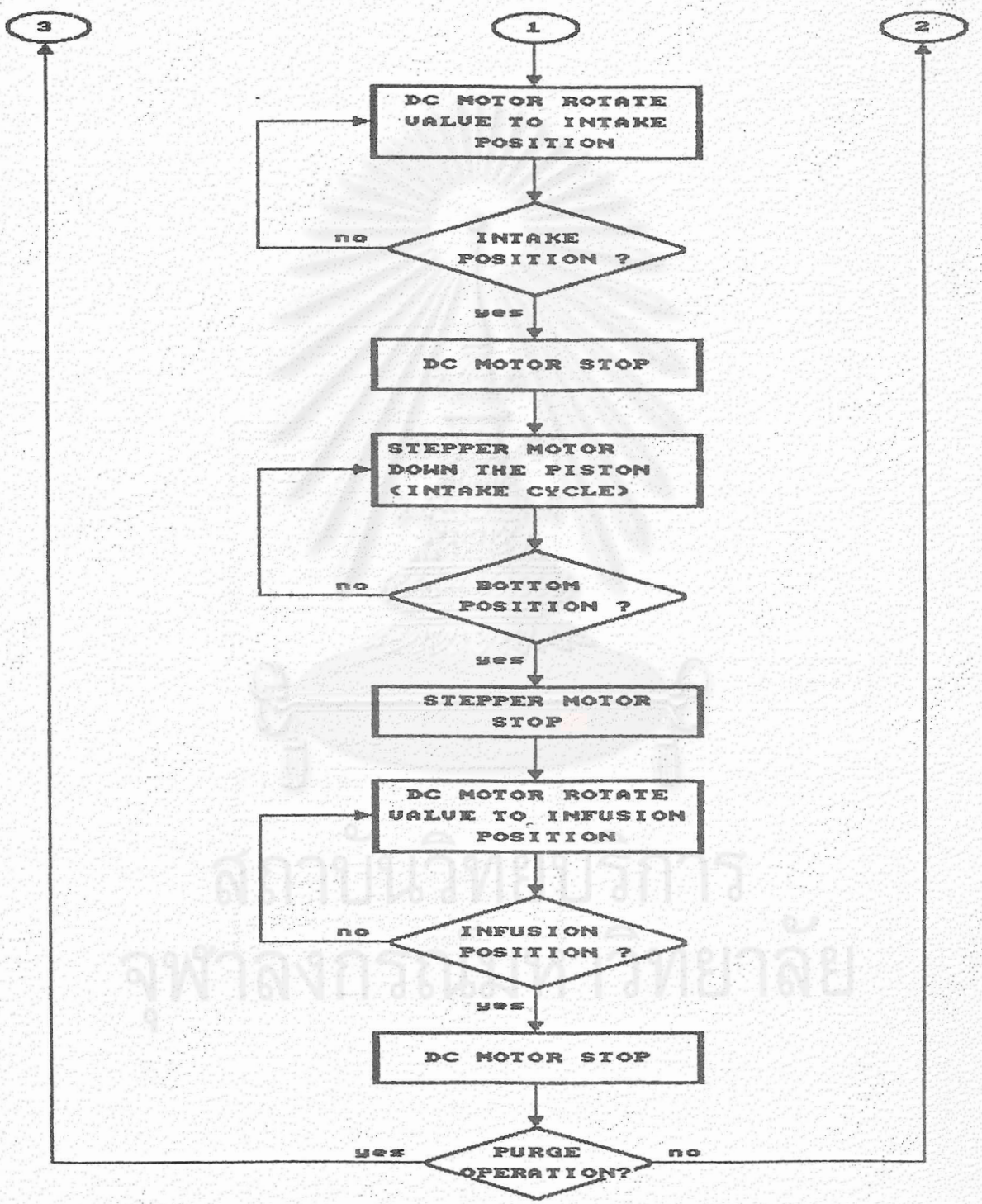
(7) เมื่อมีการแก้ไขปัญหาแล้วต้องการปฏิบัติงานต่อไป ให้กดปุ่มคำสั่ง HALT/CONT เครื่องจะเริ่มทำงานต่อจากจุดเดิมที่หยุดอยู่ ทั้งนี้ CPU จะเรียกข้อมูลคืนจากสแตคก่อน

รูปที่ 2.11 เป็นโฟลว์ชาร์ตของซับรูทีน HALT/CONT ซึ่งเกิดจากการกดปุ่ม HALT/CONT ทำให้เกิดการอินเตอร์รัพท์ CPU ซึ่ง CPU จะเก็บข้อมูลในขณะนั้นลงสแตคไว้ แล้วรอรับการอินเตอร์รัพท์จากการกดปุ่ม HALT/CONT ใหม่ ถ้ามีการกดปุ่มดังกล่าว CPU จะเรียกข้อมูลคืนจากสแตคแล้วทำงานต่างๆต่อไปจากจุดที่หยุดอยู่เดิม

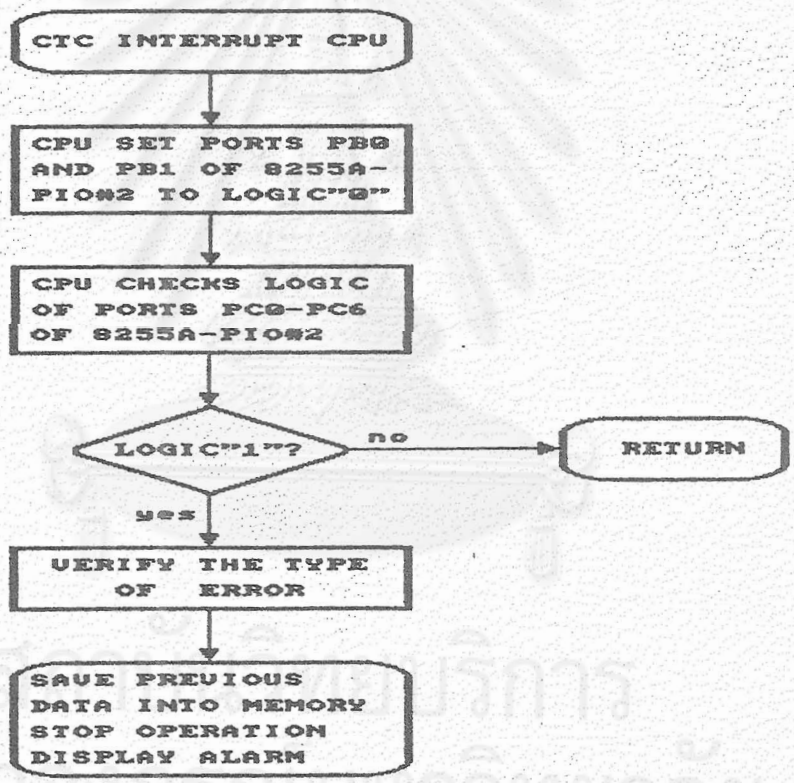
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



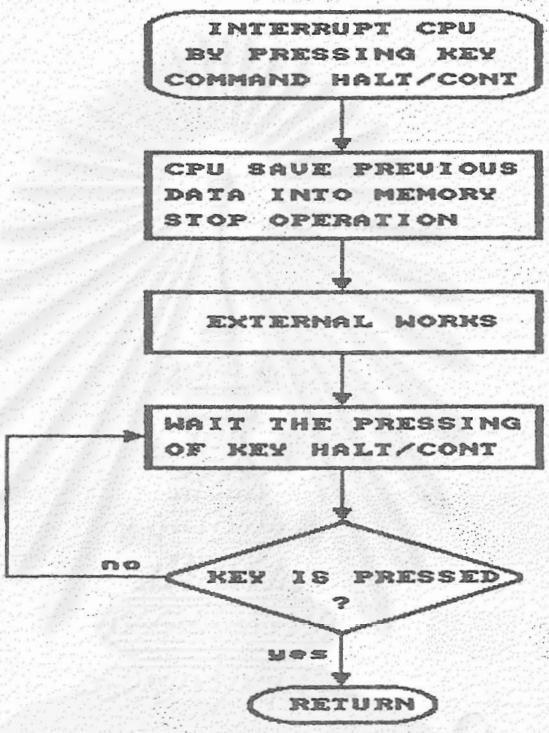
รูปที่ 2.9 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมควบคุมระบบหลัก



รูปที่ 2.9 (ต่อ) โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมควบคุมระบบหลัก



รูปที่ 2.10 โฟลว์ชาร์ตของซับรูทีนบริการ



รูปที่ 2.11 โฟลว์ชาร์ตของซับรูทีน HALT/CONT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การทดลองและวิธีใช้เครื่องให้สารละลายคนไข้

3.1 การทดลองเครื่องให้สารละลายคนไข้

เครื่องให้สารละลายคนไข้ควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งใช้ตู้แบบปริมาตร ที่ได้รับการออกแบบในบทที่ 2 และจัดสร้างขึ้นเรียบร้อย ดังปรากฏในมุมของต่างๆกันอยู่ในรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.1 ภาพด้านหน้าของเครื่องให้สารละลายคนไข้

รูปที่ 3.1 เป็นภาพมองจากทางด้านหน้าของตัวเครื่อง จะเห็นตัวตู้อยู่ทางด้านซ้ายที่มีสายยางต่อออกจากตู้ ผ่านชุดตรวจจับฟองอากาศในสาย (เห็นเป็นกล่องสีดำ) อยู่ตรงกลางทางด้านล่างของเครื่อง ทางขวาด้านบนเป็นหน่วยแสดงผลทางแสง จะเห็นชุดของไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วน

อยู่บนสุด ถัดลงไปเป็นไดโอดเปล่งแสงธรรมดา 8 ตัวด้วยกัน ใช้หน่วยแสดงผลจะเป็นแผงปุ่มกด ป้อนข้อมูล

รูปที่ 3.2 เป็นภาพที่มองเอียงๆให้เห็นทั้งทางด้านหน้าและบางส่วนภายในด้านหลังของเครื่อง แผงวงจรที่เห็นทางด้านหลังภายในเครื่องคือวงจรของแหล่งจ่ายไฟทั้งหมด ทั้งนี้จะมีสิ่งติดตั้งแบตเตอรี่อยู่ข้างๆถัดลงไป(แต่ไม่ได้ติดตั้งให้เห็นในภาพนี้)

รูปที่ 3.2 ภาพด้านหน้าและบางส่วนภายในเครื่องให้สารละลายคนไข้

ภาพในมุมมองทางด้านบนถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 3.3 แผงวงจรของหน่วยประมวลผลกลางวางอยู่ทางด้านซ้าย ด้านขวาเป็นหม้อแปลง ที่มีมอเตอร์กระแสตรงยึงอยู่ทางด้านบน มอเตอร์แบบจังหวะถูกติดตั้งทางด้านล่างข้างหน้าตัวเครื่อง จึงมองไม่เห็น

รูปที่ 3.4 เป็นภาพด้านหลังของเครื่อง ที่มองเห็นสวิทช์บิดเปิดไฟอยู่ทางมุมล่างขวา มีช่องเสียบสายสัญญาณเตือนไปห้องพยาบาลอยู่ตรงกลางด้านล่าง และมีสวิทช์บิดเปิดเพื่อรับกระแสไฟจากแบตเตอรีภายนอกพร้อมช่องเสียบขั้วอยู่ทางมุมล่างซ้าย แกนของรูเล็กเหนือสวิทช์แบตเตอรี

รูปที่ 3.3 ภาพภายในเครื่องให้สารละลายคนไข้ มองจากด้านบน

รูปที่ 3.4 ภาพด้านหลังของเครื่องให้สารละลายคนไข้

คือบริเวณที่ติดตั้งลำโพงภายในเครื่อง

การทดสอบที่กระทำไปมีดังต่อไปนี้

(ก) ทดสอบการทำงานของวงจรในแต่ละส่วน ผลการทำงานไม่เกิดปัญหาใดๆ

(ข) ทดสอบตัวโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้นเป็นส่วนๆ ผลลัพท์ ไม่มีข้อผิดพลาด

(ค) หลังจากประกอบเครื่องเรียบร้อย ทำการทดสอบรวมในห้องปฏิบัติการ เช่น ทำการตั้งอัตราการไหลและปริมาฒของสารละลายที่จะจ่าย จากนั้นเดินเครื่องแล้ววัด ผลการทดสอบอาจสรุปได้คือ ในเรื่องปริมาฒของสารละลายนั้นเครื่องทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ เนื่องจากไม่มีข้อยุ่งยากแต่อย่างใด เราทราบปริมาตรของกระบอกสูบล่วงหน้า ทำให้แต่ละรอบการทำงาน เครื่องสามารถคำนวฒปริมาฒของสารละลายที่จ่ายไปได้อย่างแม่นยำ ในเรื่องอัตราการไหล ที่ความเร็วต่ำ เครื่องทำงานได้ไม่ผิดพลาด แต่เมื่อเพิ่มค่าอัตราการไหลให้สูงขึ้นๆ มอเตอร์แบบจังหวะไม่สามารถขับเคลื่อนลูกสูบให้มีความเร็วตามค่าอัตราที่ตั้งไว้ได้ และค่าอัตราการไหลที่เริ่มทำให้เครื่องทำงานผิดพลาดก็ไม่แน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่อาจทำให้เครื่องมีอัตราการไหลได้สูงสุดตามเป้าหมายที่วางไว้ และจากผลลัพท์เดียวกันนี้ เป็นเหตุให้การไหลของสารละลายไม่สม่ำเสมอ เพราะว่าในจังหวะดูด ไม่อาจทำงานได้เร็วพอ สาเหตุของความผิดพลาดนี้มีอยู่ 2 ประการคือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างกระบอกสูบและลูกสูบมีมากเกินไปจนกระทั่งทำให้ มอเตอร์แบบจังหวะไม่มีกำลังขับเคลื่อนเพียงพอ ทั้งๆที่ในการออกแบบทำการเลือกใช้มอเตอร์แบบจังหวะที่คิดว่าให้กำลังมากพอจึงคาดว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นนั้นมากกว่าที่ควรจะเป็น เพราะผู้วิจัยใช้สูบเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว (เมื่อจะจัดซื้อสูบใหม่ในเวลาต่อมา ปรากฏว่าบริษัทตัวแทนจำหน่ายแจ้งว่า ทางบริษัทไม่มีนโยบายจัดจำหน่ายในรูปของอะไหล่!!!) สาเหตุประการที่สองควรจะเกิดจากการออกแบบระบบขับเคลื่อนลูกสูบ(ดูรูปในภาคผนวก (ข)) และการจัดสร้าง ที่อาจจะทำได้ไม่ดีพอ

การแก้ปัญหาที่เป็นไปได้มีดังนี้ ขั้นแรกทดลองเปลี่ยนแปลงตัวมอเตอร์แบบจังหวะ ซึ่งมีความยุ่งยากมาก เนื่องจากการจัดหามอเตอร์ประเภทนี้ในประเทศของเรา ทำไม่ได้ง่ายๆ ที่จัดหามาได้จะไม่มีรายละเอียดทางเทคนิคปรากฏอยู่เลย เนื่องจากเป็นสินค้ามือสอง และถ้าเปลี่ยนขนาดของมอเตอร์ไป หมายความว่าวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ต้องได้รับการออกแบบใหม่หมด และอาจมีผลกระทบต่อๆไปยังภาคจ่ายไฟ และตัวโปรแกรม ขั้นต่อมา ผู้วิจัยทำการปรับปรุงระบบขับเคลื่อนลูกสูบใหม่ แต่ก็ไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวลงได้เท่าไร เพราะงานในส่วนนี้เป็นเรื่องของความชำนาญทั้งความรู้ในทางกลศาสตร์และการกลึง ขั้นสุดท้ายและเป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบเบ็ดเสร็จคือการเปลี่ยนแปลงแบบของสูบไปใช้แบบรีดด้วยแผ่นกด ทั้งนี้หมายความว่า เราต้องยอมแก้ไขสมรรถนะ

ของเครื่องโดยลดเป้าหมายบางอย่างลง และต้องทำการออกแบบวงจรใหม่เกือบทุกส่วนรวมไปถึงตัวโปรแกรมที่ต้องทำการพัฒนาใหม่หมด ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกแนวทางแก้ปัญหาสุดท้ายนี้ และกำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการอยู่ ทั้งนี้งานออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว กำลังอยู่ในระหว่างการจัดสร้าง ส่วนโปรแกรมควบคุมก็กำลังได้รับการพัฒนาได้ประมาณร้อยละ 50 เหตุผลสำคัญที่ผู้วิจัยเลือกการแก้ปัญหาในแนวทางดังกล่าวคือ การพึ่งตนเอง เนื่องจากว่าสูบแบบรีดด้วยแผ่นกดนี้เป็นเทคโนโลยีที่ประเทศของเรามีความสามารถจัดทำได้เอง และในราคาถูก

จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้ไม่มีการนำเครื่องให้สารละลายคนไข้ที่จัดสร้างขึ้นไปทดสอบกับคนไข้ในสภาวะแวดล้อมจริงๆ เนื่องจากเกรงว่าจะเป็นอันตรายต่อตัวคนไข้ได้

3.2 วิธีการใช้เครื่อง

ถึงแม้ว่า ผลที่ได้จากการทดสอบยังไม่เป็นที่พอใจก็ตาม เครื่องให้สารละลายคนไข้ที่ใช้สูบแบบปริมาตรดังกล่าวนี้ ก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องให้สารละลายคนไข้รุ่นถัดไป ดังนั้นวิธีการใช้เครื่องของเครื่องให้สารละลายคนไข้เครื่องนี้ ยังเป็นสิ่งจำเป็นไม่มากก็น้อย ทั้งนี้ขั้นตอนการใช้เครื่องทั่วๆไปมี 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการเตรียมเครื่องก่อนใช้งาน และขั้นตอนการใช้งาน

3.2.1 การเตรียมเครื่องก่อนใช้งาน

(ก) เริ่มแรก ก่อนที่ผู้ดูแลจะติดตั้งตลับสูบให้เข้าที่ ให้ตรวจสอบว่าสูบมีลิ้นและลูกสูบอยู่ในตำแหน่งที่สัมพันธ์กันหรือไม่ ถ้าไม่ ให้ผู้ดูแลทำการปรับให้แกนเพลาของมอเตอร์กระสดรงหมุนลิ้นไปอยู่ในตำแหน่งที่ๆควรจะเป็น จากนั้นจึงทำการปิดสวิทช์หลักให้เครื่อง "ON"

(ข) ผู้ดูแลทำการติดตั้งตลับสูบให้เข้าที่ พร้อมทั้งต่อสายยางจากภาชนะบรรจุสารละลายเข้ากับช่องทางเข้าของสูบ แขวนภาชนะบรรจุสารละลายไว้ในที่ๆจัดเตรียมไว้

(ค) ต่อสายยางจากช่องทางออกของสูบเข้ากับชุดตรวจจับฟองอากาศในสายยาง

(ง) ต่อสายยางจากชุดตรวจจับฟองอากาศในสายยาง ออกไปเพื่อจ่ายให้กับคนไข้

(จ) ผู้ดูแลกดปุ่ม "PURGE" เพื่อทำการล้างเครื่อง เป็นการไล่สิ่งตกค้าง(ถ้ามี)ภายในสายยางรวมทั้งฟองอากาศในสายยางด้วย ทั้งนี้สายยางยังไม่ถูกต่อให้กับคนไข้ และปุ่ม PURGE

ต้องถูกกดไว้ตลอดเวลาที่ทำการล้างเครื่องอยู่ เป็นอันจบขั้นตอนการเตรียมการ

3.2.2 การใช้งาน

(ก) เมื่อผ่านขั้นตอนการเตรียมการเรียบร้อย เครื่องจะสแกนปุ่มกดเพื่อรอรับคำสั่งหรือข้อมูล ทั้งนี้หน่วยแสดงผลที่เป็นไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วนจะแสดงค่าเป็น "ศูนย์" ทั้งหมด และไดโอดเปล่งแสงธรรมดาจะดับทุกดวง ยกเว้นดวงที่แสดงสถานะการใช้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งต่างๆ

(ข) ผู้ดูแลสามารถเลือกป้อนค่าใดก่อนก็ได้ระหว่าง ค่าอัตราการไหลและค่าปริมาณของสารละลาย ให้กดปุ่ม "RATE" ตามด้วยค่าอัตราการไหลเป็นเลข 3 หลัก ถ้ามีการกดผิดให้ไล่กดค่าใหม่เข้าไปจนกระทั่งปรากฏบนหน่วยแสดงผลได้ถูกต้อง เพราะเครื่องจะรับค่าที่ปรากฏบนหน่วยแสดงผลท้ายสุดเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ เมื่อมีการกดปุ่ม "VOLUME" ตามด้วยค่าปริมาณของสารละลายที่จะจ่ายให้คนไข้เป็นเลข 4 หลัก เครื่องก็จะรับเฉพาะค่าที่แสดงอยู่บนหน่วยแสดงผลเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำเช่นกัน ถ้าต้องการตรวจสอบค่าอัตราการไหลและหรือค่าปริมาณของสารละลายที่ตั้งไว้ให้กดปุ่ม "VERIFY" แล้วตามด้วยปุ่ม "RATE" และหรือปุ่ม "VOLUME" ตามลำดับ

(ค) ผู้ดูแลกดปุ่ม "RUN" เพื่อให้เครื่องเริ่มทำการจ่ายสารละลาย ในระหว่างนี้เมื่อต้องการหยุดการทำงานของเครื่องเป็นการชั่วคราวให้กดปุ่ม "HALT/CONT" และเมื่อต้องการให้เครื่องทำงานต่อไปใหม่ให้กดปุ่ม "HALT/CONT" ใหม่

(ง) ถ้าผู้ดูแลต้องการทราบถึงค่าอัตราการไหลที่ตั้งไว้และค่าปริมาณของสารละลายที่เครื่องจ่ายไปแล้ว ให้กดปุ่ม "HALT/CONT" ก่อน จากนั้นกดปุ่ม "VOLUME" เครื่องจะแสดงค่าให้ทราบทางหน่วยแสดงผลทางปริมาณของสารละลาย และถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทั้งทางด้านอัตราการไหลและปริมาณของสารละลาย ก็ให้กดปุ่ม "RATE" ตามด้วยค่าอัตราการไหลใหม่ที่ต้องการ และกดปุ่ม "VOLUME" ตามด้วยค่าปริมาณของสารละลายค่าใหม่ เสร็จเรียบร้อยให้กดปุ่ม "HALT/CONT" เครื่องจะเริ่มทำงานต่อไป

(จ) ในกรณีที่มีข้อผิดพลาดต่างๆ เกิดขึ้น และเครื่องตรวจพบ เครื่องจะหยุดทำงานเองโดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งแจ้งสัญญาณเตือนให้ทราบ เมื่อมีการแก้ไขข้อผิดพลาดนั้นๆ เรียบร้อย และต้องการให้เครื่องทำงานต่อไปใหม่ ให้กดปุ่ม "HALT/CONT"

(ฉ) เมื่อเครื่องจ่ายสารละลายได้เท่ากับค่าที่ตั้งไว้แล้ว เครื่องจะหยุดทำงานพร้อมทั้งแจ้งให้ทราบ ในกรณีนี้การกดปุ่มคำสั่งทุกปุ่มจะไม่มีผลใดๆต่อเครื่อง ยกเว้นปุ่ม "PURGE" และปุ่ม "RUN" เท่านั้น

บทที่ 4
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องให้สารละลายคนไข้ ควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเลือกใช้สูบแบบปริมาตรเป็นตัวขับจ่ายสารละลาย เนื่องจากให้ความเที่ยงตรงและแม่นยำเหนือกว่าสูบแบบอื่น สมรรถนะของเครื่องที่ทำการออกแบบมีเป้าหมายในระดับเดียวกับเครื่องที่ใช้สูบแบบเดียวกัน และมีจำหน่ายอยู่ในประเทศไทย โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางที่เลือกใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80A-CPU หน่วยความจำถาวร EPROM 2716 หน่วยความจำชั่วคราว RAM 6116 ตัวนับและตั้งเวลา Z80A-CTC อุปกรณ์เชื่อมต่อโปรแกรมได้ 8255A-PIO มอเตอร์แบบจังหวะขนาด 12 โวลท์ 7.5 step angle มอเตอร์กระแสตรงขนาด 5 โวลท์ และสูบแบบปริมาตร เครื่องทำงานด้วยความถี่ 3.58 MHz แหล่งจ่ายไฟให้เครื่องมีทั้งกระแสไฟสลับ 220 โวลท์ 50 Hz ถูกแปลงเป็นกระแสไฟตรง 12 และ 5 โวลท์ และแบตเตอรีขนาด 12 โวลท์ 3.5 A-Hr

โปรแกรมควบคุมระบบถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำถาวร ทำหน้าที่ initialization ระบบ สแกนปุ่มกดรับคำสั่งและข้อมูลต่างๆ ข้อมูลที่ป้อนผ่านปุ่มกดจะเก็บไว้ที่หน่วยความจำชั่วคราว โปรแกรมควบคุมยังกำหนดให้ตัวนับและตั้งเวลาทำการตั้งเวลา เพื่อส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์ให้ CPU ไปปฏิบัติตามซับรูทีนบริการ ตรวจจับสถานะต่างๆของระบบ และหน้าที่หลักของโปรแกรมคือการควบคุมและขับเคลื่อนสูบผ่านทางวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนสูบ 2 ชุด ตัวโปรแกรมแบ่งออกเป็นซับรูทีนย่อยๆหลายซับรูทีน เช่น ซับรูทีนสแกนปุ่มกด ซับรูทีนแสดงผล เป็นต้น

เครื่องที่ได้รับการออกแบบและจัดสร้างเสร็จเรียบร้อย ถูกนำไปทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ การทดสอบเริ่มตั้งแต่ การตรวจสอบว่าวงจรแต่ละส่วนทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาไม่มีข้อบกพร่องใดๆ จนถึงขั้นตรวจสอบการทำงานของเครื่องทั้งระบบ ผลลัพท์ที่ได้จากการทดสอบ คือที่อัตราการไหลต่ำ เครื่องทำงานได้ตามที่คาดหวัง แต่เมื่อตั้งค่าอัตราการไหลสูงขึ้นๆ เครื่องไม่สามารถทำงานด้วยอัตราเร็วสูงขึ้นตามได้ สาเหตุเกิดจาก แรงเสียดทานในตัวสูบมีมากเกินไป แรงเสียดทานในระบบขับเคลื่อนสูงเกินไป หรือมอเตอร์แบบจังหวะมีขนาดเล็กเกินไป การแก้ปัญหาด้วยการเปลี่ยนสูบทำไม่ได้ เนื่องจากจัดหาซื้ออะไหล่ไม่ได้ การแก้ปัญหาในด้านระบบขับเคลื่อน ทำได้จำกัดในระดับหนึ่ง ส่วนการแก้ปัญหาจากการเปลี่ยนมอเตอร์

หมายถึงการออกแบบวงจรขับเคลื่อน วงจรแหล่งจ่ายไฟ และโปรแกรมควบคุมใหม่ อีกทั้งไม่ได้เป็นการแก้ปัญหาแบบเบ็ดเสร็จ เนื่องจากมีปัญหาของการจัดหาสูบอะไหล่เช่นเดิม ผู้วิจัยจึงหันไปใช้สูบแบบรีดด้วยแผ่นกดแทน ซึ่งเป็นสูบที่สามารถจัดสร้างขึ้นได้เอง และกำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการได้ประมาณร้อยละ 50

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำงานวิจัยนี้ คือหลักการพึ่งตนเอง เนื่องจากเครื่องให้สารละลายคนไข้ประเภทนี้ ต้องใช้เทคโนโลยีค่อนข้างสูง ทั้งทางด้านอิเล็กตรอนิกส์ วัสดุทางกล และความรู้ทางด้านการแพทย์ โดยเฉพาะสูบที่จะใช้ในเครื่องนั้น ต้องสามารถผลิตขึ้นได้เองภายในประเทศ ทั้งนี้ต้องยอมลดสมรรถนะของเครื่องลงบ้าง ในส่วนอุปกรณ์ขับเคลื่อนที่เป็นมอเตอร์ ถ้าเป็นไปได้ ยังไม่ควรใช้มอเตอร์แบบจังหวะ เพราะถึงจะจัดหาได้ภายในประเทศ ก็จะประสบปัญหาในเรื่องการขาดแคลนรายละเอียดทางเทคนิคของตัวมอเตอร์แบบจังหวะ เป็นเหตุให้การออกแบบทำได้ลำบาก ควรหาทางใช้มอเตอร์กระแสตรงทดแทน สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยยังคงดำเนินการวิจัยในงานด้านนี้ต่อไป และทำตามแนวทางที่มีการเสนอแนะไว้ข้างต้นอยู่แล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

045211

เอกสารอ้างอิง

1. F.Spitzer and B.Howarth, "Principles of Modern Instrumentation", Hott-Rinehart & Winston, 1972.

2. L.Cromwell et al., "Biomedical Instrumentation and Measurements", Prentice-Hall, 1973.

3. L.A.Geddes and L.E.Baker, "Principles of Applied Biomedical Instrumentation", 2nd ed., John Wiley & Sons, 1975.

4. P.M.Forgues and M.Goldberg, "Microprocessor in Biomedical Instrumentation", IEEE Trans. Instru. and Meas., Vol.IM-28, No.4, Dec., 1979, pp.250-253.

5. J.J.Carr and J.M.Brown, "Introduction to Biomedical Equipment Technology", John Wiley & Sons, 1981.

6. W.J.Tompkins and J.G.Webster, "Design of Microprocessor-Based Medical Instrumentation", Prentice-Hall, 1981.

7. A.F.Shackill, "Microprocessor and the M.D.", IEEE Spectrum, Vol.18, No.4, April, 1981, pp.45-49.

8. -----, "IMED 960 Volumetric Infusion Pump: User's Manual", IMED, U.S.A.

9. J.F.Renaud et al., "Injection d'Hormones Programmee par Micropro -cesseur", Electronique Applications, No.24, Juin-Juillet, 1982, pp.117-119.

10. -----, "IMED 911 Peristaltic Infusion Pump: User's Manual", IMED, England.

11. -----, "Terufusion/Infusion Pump Model STC-502: User's Manual", Terumo Corp., Tokyo, Japan.

12. -----, "คู่มือการใช้เครื่องควบคุมการให้ของเหลวเข้าหลอดเลือดดำรุ่น STC-502", บริษัทเมดิคไทย จำกัด

13. -----, "Review of Peristaltic Pump MX1", N.A.S.A. Report.

14. -----, "คู่มือโลหิต", คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล พ.ศ.2518

15. F.S.Hill, "Practical Fluid Therapy in Pediatrices", Saunders, 1955.

16. G.E.F.Sutton, "Aids to Medical Diagnosis", 8th ed., 1958.

17. -----, "Harrison's Principles of Internal Medicine", 6th ed., McGraw-Hill, 1970.

18. M.H.Maxwell and C.R.Kleeman, "Clinical Disorders of Fluid and Electrolyte Metabolism", McGraw-Hill, 1972.

19. -----, "Principles of Surgery", 2nd ed., McGraw-Hill, 1974.

20. F.A.Holland and F.S.Chapman,"Pumping of Liquids", Reinhold,1966.

21. F.A.Holland and F.S.Chapman, "Pumps for Special Applications", Chemical Eng. Mag., pp.242-261.

22. -----, "Fluid Handling Components", Machine Design Jour., Vol.53, No.21, Sept., 1981, edited by R.C.Burcheck.

23. P.Ferenchak et al., "Drop Size and Rate in Parenteral Infusion", Surgery, Vol.70, No.5, Nov., 1971, pp.674-677.

24. S.C.Lee, "Digital Circuits and Logic Design", Prentice-Hall,1976.

25. R.L.Krutz, "Microprocessors and Logic Design", John Wiley & Sons, 1980.

26. D.M.Auslander and P.Sagues, "Microprocessors for Measurement and Control", Osborne/McGraw-Hill, 1981.

27. R.Zaks, "Programming the Z80", 3rd ed., Sybex, 1982.

28. J.W.Coffron, "Z80 Applications", Zybex, 1983.

29. L.A.Leventhal, "8080A/8085 Assembly Language Programming", Osborne/McGraw-Hill, 1978.

30. L.A.Leventhal, "Z80 Assembly Language Programming", Osborne /McGraw-Hill, 1986.

31. T.J.Byers, "Microprocessor Support Chips: Theory, Design and Applications", Micro Text/McGraw-Hill, 1983.

32. -----, "Signetics Digital 54/7400 Databook", Signetics, 1972.

33. -----, "Handbook of Stepper Motor", North America Philips Controls.

34. -----, "MIC954 Stepping Motor for Microcomputer Applications", Experimental Manual, Feedback, 1981.

35. -----, "Calcul du Dimensionnement d'un Moteur Pas A Pas", S.F.M. I., No.X, Dec., 1966.

36. S.K.Turco, "Inaccuracies in I.V. Flow Rates", Temple University Hospital.

37. J.Fisher et al., "Calibration of Two Enteral Feeding Systems", Med. Eng. & Tech., Vol.6, No.1, Jan.-Feb., 1982, pp.32-33.

38. W.F.Craven, "Protecting Hospitalized Patients from Electrical Hazards", Hewlett-Packard Jour., March, 1970, pp.11-17.

39. G.D.Friedlander, "Electricity in Hospitals", IEEE Spectrum, Sept., 1971, pp.40-51.

40. C.F.Dalziel, "Electric Shock Hazard", IEEE Spectrum, Feb., 1972, pp.41-50.

41. -----, "Isolation and Instrumentation Amplifiers", Designer Guide, Analog Devices.

42. -----, "Fluid Mover: Pumps, Compressors, Fans and Blowers", Chemical Eng. Mag.

43. A.Osborne, "8080 Programming for Logic Design", Adam Osborne and Associates, 1976.

44. ดร. ทรงศักดิ์ สุรรัตน์รังษี, "ไมโครโพรเซสเซอร์-ไมโครคอมพิวเตอร์"

45. -----, "1054 Stepper Motor Drive: Instruction Manual".

46. -----, "Stepper Motor Technology: Handbook", AIRPAX/North America Philips Controls Corp.

47. ยืน ภู่วรวรรณ และ วัฒนา เชียงกูล, "ไมโครโปรเซสเซอร์-ไมโครคอมพิวเตอร์ (Z-80 Microprocessor)", สำนักพิมพ์ ซีเอ็ด พ.ศ.2527

ภาคผนวก (ก)

Source Listing ของโปรแกรมควบคุมระบบ

```
:ASM

                        1000            .OR     0000H
                        1005            .TA     4000H
0000- 06 00             1010            LD      B,00H
0002- 21 08 0E          1015            LD      HL,0E08H
0005- AF                1020            XOR     A
0006- 77                1025 LOOP1      LD      (HL),A
0007- 23                1030            INC     HL
0008- 10 FC             1035            DJNZ    LOOP1
000A- C3 54 02          1040            JP      SAM
000D- CD 13 00          1045 RATE1      CALL    RAT
0010- C3 6C 01          1050            JP      LOADV
0013- 21 DA 0E          1055 RAT        LD      HL,0EDAH
0016- 11 B0 0E          1060            LD      DE,0EB0H
0019- 01 08 00          1065            LD      BC,0008H
001C- ED B0             1070            LDIR
001E- 21 08 0E          1075            LD      HL,0E08H
0021- 06 06             1080            LD      B,06H
0023- CD C0 00          1085            CALL    CLR
0026- 36 52             1090            LD      (HL),52H
0028- 23                1095            INC     HL
0029- 36 01             1100            LD      (HL),01H
002B- 21 80 0E          1105            LD      HL,0E80H
002E- 06 06             1110            LD      B,06H
0030- CD C0 00          1115            CALL    CLR
0033- 36 10             1120            LD      (HL),10H
0035- 23                1125            INC     HL
0036- 36 0E             1130            LD      (HL),0EH
0038- 3E 08             1135            LD      A,08H
003A- 32 1E 0E          1140            LD      (0E1EH),A
003D- 21 A0 0E          1145            LD      HL,0EA0H
0040- 22 1C 0E          1150            LD      (0E1CH),HL
0043- 21 08 0E          1155            LD      HL,0E08H
0046- E5                1160            PUSH    HL
0047- CD 1E 01          1165            CALL    DIV
004A- E1                1170            POP     HL
004B- 22 1C 0E          1175            LD      (0E1CH),HL
004E- 21 80 0E          1180            LD      HL,0E80H
0051- CD 1E 01          1185            CALL    DIV
0054- 21 B0 0E          1190            LD      HL,0EB0H
0057- C3 1E 01          1195            JP      DIV
005A- 21 50 0E          1200            LD      HL,0E50H
005D- 22 1A 0E          1205            LD      (0E1AH),HL
0060- 3E 07             1210            LD      A,07H
```

```
0062- 32 1E 0E 1215          LD    (0E1EH),A
0065- 3E 01    1220          LD    A,01H
0067- 32 56 0E 1225          LD    (0E56H),A
006A- C3 21 01 1230          JP    DIV1
006D- 0E 10    1235 BCD      LD    C,10H
006F- 06 02    1240 DBLP     LD    B,02H
0071- AF       1245          XOR   A
0072- 2A 20 0E 1250          LD    HL,(0E20H)
0075- 7E       1255 COR0     LD    A,(HL)
0076- 1F       1260          RRA
0077- F5       1265          PUSH  AF
0078- CB 7F    1270          BIT   7H,A
007A- 28 02    1275          JR    Z,COR1
007C- D6 30    1280          SUB   30H
007E- CB 5F    1285 COR1     BIT   3H,A
0080- 28 02    1290          JR    Z,COR2
0082- D6 03    1295          SUB   03H
0084- 77       1300 COR2     LD    (HL),A
0085- 2B       1305          DEC   HL
0086- F1       1310          POP   AF
0087- 10 EC    1315          DJNZ  COR0
0089- 06 02    1320          LD    B,02H
008B- CB 1E    1325 SHR4     RR    (HL)
008D- 2B       1330          DEC   HL
008E- 10 FB    1335          DJNZ  SHR4
0090- 0D       1340          DEC   C
0091- 20 DC    1345          JR    NZ,DBLP
0093- C9       1350          RET
0094- FF       1355          RST   38H
0095- FF       1360          RST   38H
0096- FF       1365          RST   38H
0097- FF       1370          RST   38H
0098- AF       1375 ADD1     XOR   A
0099- 7E       1380 ADD2     LD    A,(HL)
009A- FD 8E 00 1385          ADC   A,(IY+00)
009D- 77       1390          LD    (HL),A
009E- 23       1395          INC   HL
009F- FD 23    1400          INC   IY
00A1- 10 F6    1405          DJNZ  ADD2
00A3- C9       1410          RET
00A4- AF       1415 SUB1     XOR   A
00A5- 7E       1420 SUB2     LD    A,(HL)
00A6- FD 9E 00 1425          SBC   A,(IY+00)
00A9- 77       1430          LD    (HL),A
00AA- 23       1435          INC   HL
00AB- FD 23    1440          INC   IY
00AD- 10 F6    1445          DJNZ  SUB2
00AF- C9       1450          RET
00B0- 3A 1E 0E 1455 CLEA     LD    A,(0E1EH)
00B3- 87       1460          ADD   A,A
00B4- 87       1465          ADD   A,A
00B5- 87       1470          ADD   A,A
00B6- 32 1F 0E 1475          LD    (0E1FH),A
00B9- C9       1480          RET
```

```
00BA- CB 16     1485 ROTATE   RL     (HL)
00BC- 23        1490          INC    HL
00BD- 10 FB     1495          DJNZ   ROTATE
00BF- C9        1500          RET
00C0- AF        1505 CLR      XOR    A
00C1- 23        1510 CLRA     INC    HL
00C2- 23        1515          INC    HL
00C3- 10 FC     1520          DJNZ   CLRA
00C5- C9        1525          RET
00C6- FF        1530          RST    38H
00C7- 06 10     1535 MUL1     LD     B,10H
00C9- 21 30 0E  1540          LD     HL,0E30H
00CC- CD C0 00  1545          CALL   CLR
00CF- 3A 1E 0E  1550          LD     A,(0E1EH)
00D2- 4F        1555          LD     C,A
00D3- 2A 1C 0E  1560          LD     HL,(0E1CH)
00D6- 11 20 0E  1565          LD     DE,0E20H
00D9- ED B0     1570          LDIR
00DB- 21 30 0E  1575 MUL2     LD     HL,0E30H
00DE- 3A 1E 0E  1580          LD     A,(0E1EH)
00E1- F5        1585          PUSH   AF
00E2- 87        1590          ADD    A,A
00E3- 47        1595          LD     B,A
00E4- CD BA 00  1600          CALL   ROTATE
00E7- C1        1605          POP    BC
00E8- C5        1610          PUSH   BC
00E9- 21 20 0E  1615          LD     HL,0E20H
00EC- CD BA 00  1620          CALL   ROTATE
00EF- C1        1625          POP    BC
00F0- 30 13     1630          JR     NC,MUL3
00F2- 21 30 0E  1635          LD     HL,0E30H
00F5- FD 2A 1A
00F8- 0E        1640          LD     IY,(0E1AH)
00F9- C5        1645          PUSH   BC
00FA- CD 98 00  1650          CALL   ADD1
00FD- C1        1655          POP    BC
00FE- E5        1660          PUSH   HL
00FF- DD E1     1665          POP    IX
0101- CD 0F 01  1670          CALL   MUL4
0104- A7        1675          AND    A
0105- 3A 1F 0E  1680 MUL3     LD     A,(0E1FH)
0108- 3D        1685          DEC    A
0109- 32 1F 0E  1690          LD     (0E1FH),A
010C- 20 CD     1695          JR     NZ,MUL2
010E- C9        1700          RET
010F- DD 7E 00  1705 MUL4     LD     A,(IX+00)
0112- CE 00     1710          ADC    A,00H
0114- DD 77 00  1715          LD     (IX+00),A
0117- DD 23     1720          INC    IX
0119- 10 F4     1725          DJNZ   MUL4
011B- C9        1730          RET
011C- FF        1735          RST    38H
011D- FF        1740          RST    38H
011E- 22 1A 0E  1745 DIV      LD     (0E1AH),HL
```

```
0121- 21 30 0E 1750 DIV1    LD    HL,0E30H
0124- 06 10    1755         LD    B,10H
0126- CD C0 00 1760         CALL  CLR
0129- CD B0 00 1765         CALL  CLEA
012C- 2A 1A 0E 1770 DIV2    LD    HL,(0E1AH)
012F- 3A 1E 0E 1775         LD    A,(0E1EH)
0132- 47       1780         LD    B,A
0133- C5       1785         PUSH  BC
0134- CD BA 00 1790         CALL  ROTATE
0137- C1       1795         POP   BC
0138- C5       1800         PUSH  BC
0139- 21 30 0E 1805         LD    HL,0E30H
013C- E5       1810         PUSH  HL
013D- CD BA 00 1815         CALL  ROTATE
0140- E1       1820         POP   HL
0141- C1       1825         POP   BC
0142- FD 2A 1C
0145- 0E       1830         LD    IY,(0E1CH)
0146- FD E5    1835         PUSH  IY
0148- C5       1840         PUSH  BC
0149- E5       1845         PUSH  HL
014A- CD A4 00 1850         CALL  SUB1
014D- E1       1855         POP   HL
014E- C1       1860         POP   BC
014F- FD E1    1865         POP   IY
0151- 30 04    1870         JR    NC,CPCY
0153- CD 98 00 1875         CALL  ADD1
0156- 37       1880         SCF
0157- 3F       1885 CPCY    CCF
0158- 3A 1F 0E 1890         LD    A,(0E1FH)
015B- 3D       1895         DEC   A
015C- 32 1F 0E 1900         LD    (0E1FH),A
015F- 20 CB    1905         JR    NZ,DIV2
0161- 2A 1A 0E 1910         LD    HL,(0E1AH)
0164- 3A 1E 0E 1915         LD    A,(0E1EH)
0167- 47       1920         LD    B,A
0168- CD BA 00 1925         CALL  ROTATE
016B- C9       1930         RET
016C- 2A D0 0E 1935 LOADV   LD    HL,(0ED0H)
016F- 22 02 0E 1940         LD    (0E02H),HL
0172- 2A D2 0E 1945 LOADR   LD    HL,(0ED2H)
0175- 22 06 0E 1950         LD    (0E06H),HL
0178- 21 40 0E 1955         LD    HL,0E40H
017B- 22 1A 0E 1960         LD    (0E1AH),HL
017E- 21 50 0E 1965         LD    HL,0E50H
0181- 22 1C 0E 1970         LD    (0E1CH),HL
0184- 3E 06    1975         LD    A,06H
0186- 32 1E 0E 1980         LD    (0E1EH),A
0189- 21 07 0E 1985         LD    HL,0E07H
018C- 22 20 0E 1990         LD    (0E20H),HL
018F- CD 6D 00 1995         CALL  BCD
0192- 21 03 0E 2000         LD    HL,0E03H
0195- 22 20 0E 2005         LD    (0E20H),HL
0198- CD 6D 00 2010         CALL  BCD
```

```
019B- 06 40     2015        LD    B,40H
019D- 21 20 0E  2020        LD    HL,0E20H
01A0- CD C0 00  2025        CALL  CLR
01A3- 0E 06     2030        LD    C,06H
01A5- 21 08 0E  2035        LD    HL,0E08H
01A8- 11 40 0E  2040        LD    DE,0E40H
01AB- ED B0     2045        LDIR
01AD- 2A 00 0E  2050        LD    HL,(0E00H)
01B0- 22 50 0E  2055        LD    (0E50H),HL
01B3- CD C7 00  2060        CALL  MUL1
01B6- 01 03 00  2065        LD    BC,0003H
01B9- 21 33 0E  2070        LD    HL,0E33H
01BC- 11 10 0E  2075        LD    DE,0E10H
01BF- ED B0     2080        LDIR
01C1- 0E 06     2085        LD    C,06H
01C3- 21 B0 0E  2090        LD    HL,0EB0H
01C6- 1E 40     2095        LD    E,40H
01C8- CD 6D 00  2100        CALL  BCD
01CB- 0E 06     2105        LD    C,06H
01CD- 11 60 0E  2110        LD    DE,0E60H
01D0- D5        2115        PUSH  DE
01D1- 21 A0 0E  2120        LD    HL,0EA0H
01D4- ED B0     2125        LDIR
01D6- 21 4D 0E  2130        LD    HL,0E4DH
01D9- 22 1A 0E  2135        LD    (0E1AH),HL
01DC- E1        2140        POP   HL
01DD- E5        2145        PUSH  HL
01DE- 22 1C 0E  2150        LD    (0E1CH),HL
01E1- CD 21 01  2155        CALL  DIV1
01E4- E1        2160        POP   HL
01E5- 06 06     2165        LD    B,06H
01E7- CD C0 00  2170        CALL  CLR
01EA- 21 80 0E  2175        LD    HL,0E80H
01ED- 11 70 0E  2180        LD    DE,0E70H
01F0- D5        2185        PUSH  DE
01F1- 0E 06     2190        LD    C,06H
01F3- ED B0     2195        LDIR
01F5- 2A 04 0E  2200        LD    HL,(0E04H)
01F8- 22 60 0E  2205        LD    (0E60H),HL
01FB- E1        2210        POP   HL
01FC- E5        2215        PUSH  HL
01FD- 22 1A 0E  2220        LD    (0E1AH),HL
0200- CD C0 00  2225        CALL  CLR
0203- 21 4D 0E  2230        LD    HL,0E4DH
0206- 22 1A 0E  2235        LD    (0E1AH),HL
0209- 21 40 0E  2240        LD    HL,0E40H
020C- 22 1C 0E  2245        LD    (0E1CH),HL
020F- CD C7 00  2250        CALL  MUL1
0212- E1        2255        POP   HL
0213- E5        2260        PUSH  HL
0214- FD 21 30
0217- 0E        2265        LD    IY,0E30H
0218- 06 06     2270        LD    B,06H
021A- CD A4 00  2275        CALL  SUB1
```

```
021D- E1          2280          POP   HL
021E- 22 1A 0E    2285          LD    (0E1AH),HL
0221- 21 C0 0E    2290          LD    HL,0EC0H
0224- 22 1C 0E    2295          LD    (0E1CH),HL
0227- CD 21 01    2300          CALL  DIV1
022A- 21 40 0E    2305          LD    HL,0E40H
022D- 06 30       2310          LD    B,30H
022F- CD C0 00    2315          CALL  CLR
0232- 0E 03       2320          LD    C,03H
0234- 21 30 0E    2325          LD    HL,0E30H
0237- 11 60 0E    2330          LD    DE,0E60H
023A- ED B0       2335          LDIR
023C- 21 60 0E    2340          LD    HL,0E60H
023F- 22 1A 0E    2345          LD    (0E1AH),HL
0242- 21 D4 0E    2350          LD    HL,0ED4H
0245- 22 1C 0E    2355          LD    (0E1CH),HL
0248- CD 21 01    2360          CALL  DIV1
024B- 21 08 0E    2365          LD    HL,0E08H
024E- 22 1C 0E    2370          LD    (0E1CH),HL
0251- C3 13 00    2375          JP    RAT
0254- 06 00       2380 SAM      LD    B,00
0256- 10 FE       2385 LOOP2    DJNZ  LOOP2
0258- 3E 88       2390          LD    A,88H
025A- D3 03       2395          OUT   (03H),A
025C- 3E 8A       2400          LD    A,8AH
025E- D3 0F       2405          OUT   (0FH),A
0260- 31 B0 0F    2410          LD    SP,0FB0H
0263- 3A D0 0F    2415          LD    A,(0FD0H)
0266- BF          2420          CP    A
0267- CD F3 03    2425          CALL  INIT
026A- 21 C9 0F    2430          LD    HL,0FC9H
026D- 06 07       2435          LD    B,07H
026F- AF          2440          XOR   A
0270- 77          2445 LOOP3    LD    (HL),A
0271- 23          2450          INC   HL
0272- 10 FC       2455          DJNZ  LOOP3
0274- CD 23 03    2460 LOOP4    CALL  SCAN
0277- FE 0A       2465          CP    0AH
0279- D2 6D 03    2470          JP    NC,FNT
027C- 57          2475          LD    D,A
027D- 3A CD 0F    2480          LD    A,(0FCDH)
0280- B7          2485          OR    A
0281- 28 F1       2490          JR    Z,LOOP4
0283- 21 36 10    2495          LD    HL,1036H
0286- 85          2500          ADD   A,L
0287- 6F          2505          LD    L,A
0288- E9          2510          JP    (HL)
0289- 00          2515          NOP
028A- 7A          2520          LD    A,D
028B- 02          2525          LD    (BC),A
028C- 03          2530          INC   BC
028D- AF          2535          XOR   A
028E- 02          2540          LD    (BC),A
028F- 0B          2545          DEC   BC
```

```
0290- 18 29     2550          JR    SAM1
0292- CD 0C 03  2555          CALL  ROL
0295- 3A CE 0F  2560          LD    A,(0FCEH)
0298- FE 02     2565          CP    02H
029A- 28 03     2570          JR    Z,FOUR
029C- CD 1C 03  2575          CALL  THREE
029F- 3E 1A     2580 FOUR     LD    A,1AH
02A1- 18 1A     2585          JR    SAM2
02A3- CD 0C 03  2590          CALL  ROL
02A6- 3A CE 0F  2595          LD    A,(0FCEH)
02A9- FE 02     2600          CP    02H
02AB- 28 05     2605          JR    Z,FOUR1
02AD- CD 1C 03  2610          CALL  THREE
02B0- 18 09     2615          JR    SAM1
02B2- 3E 36     2620 FOUR1    LD    A,36H
02B4- 18 05     2625          JR    SAM1
02B6- FF        2630          RST   38H
02B7- FF        2635          RST   38H
02B8- CD 0C 03  2640          CALL  ROL
02BB- 3E 09     2645 SAM1     LD    A,09H
02BD- 32 CD 0F  2650 SAM2     LD    (0FCDH),A
02C0- CD CA 02  2655          CALL  COM
02C3- AF        2660          XOR   A
02C4- 32 CF 0F  2665          LD    (0FCFH),A
02C7- C3 74 02  2670          JP    LOOP4
02CA- 3A CF 0F  2675 COM      LD    A,(0FCFH)
02CD- 57        2680          LD    D,A
02CE- FE 02     2685          CP    02H
02D0- 28 05     2690          JR    Z,DISFB8
02D2- 21 B5 0F  2695          LD    HL,0FB5H
02D5- 18 03     2700          JR    DISFB
02D7- 21 B9 0F  2705 DISFB8   LD    HL,0FB9H
02DA- 0A        2710 DISFB    LD    A,(BC)
02DB- CD F6 02  2715          CALL  CONT
02DE- CD 05 03  2720          CALL  ROT
02E1- CD F6 02  2725          CALL  CONT
02E4- 03        2730          INC   BC
02E5- 0A        2735          LD    A,(BC)
02E6- CD F6 02  2740          CALL  CONT
02E9- 7A        2745          LD    A,D
02EA- FE 01     2750          CP    01H
02EC- 28 06     2755          JR    Z,CON
02EE- CD 05 03  2760          CALL  ROT
02F1- CD F6 02  2765          CALL  CONT
02F4- 0B        2770 CON      DEC   BC
02F5- C9        2775          RET
02F6- E5        2780 CONT     PUSH  HL
02F7- 21 36 04  2785          LD    HL,SEGTAB
02FA- E6 0F     2790          AND   0FH
02FC- 85        2795          ADD   A,L
02FD- 6F        2800          LD    L,A
02FE- 7E        2805          LD    A,(HL)
02FF- E1        2810          POP   HL
0300- 77        2815          LD    (HL),A
```

```
0301- CB BE     2820          RES   7,(HL)
0303- 2B        2825          DEC   HL
0304- C9        2830          RET
0305- 0A        2835 ROT      LD    A,(BC)
0306- 0F        2840          RRCA
0307- 0F        2845          RRCA
0308- 0F        2850          RRCA
0309- 0F        2855          RRCA
030A- C9        2860          RET
030B- FF        2865          RST   38H
030C- CD 05 03  2870 ROL      CALL  ROT
030F- 03        2875          INC   BC
0310- C5        2880          PUSH  BC
0311- E1        2885          POP   HL
0312- ED 6F     2890          RLD
0314- E5        2895          PUSH  HL
0315- C1        2900          POP   BC
0316- 0B        2905          DEC   BC
0317- E6 F0     2910          AND   0F0H
0319- B2        2915          OR    D
031A- 02        2920          LD    (BC),A
031B- C9        2925          RET
031C- 03        2930 THREE    INC   BC
031D- 0A        2935          LD    A,(BC)
031E- E6 0F     2940          AND   0FH
0320- 02        2945          LD    (BC),A
0321- 0B        2950          DEC   BC
0322- C9        2955          RET
0323- C5        2960 SCAN     PUSH  BC
0324- DD E5     2965          PUSH  IX
0326- 06 04     2970 SC1      LD    B,04H
0328- CD 3E 03  2975 SC2      CALL  SCAN1
032B- 30 F9     2980          JR    NC,SC1
032D- 10 F9     2985          DJNZ  SC2
032F- DD E1     2990          POP   IX
0331- CD 3E 03  2995 SC3      CALL  SCAN1
0334- 38 FB     3000          JR    C,SC3
0336- 21 1E 04  3005          LD    HL,KEYTAB
0339- 85        3010          ADD   A,L
033A- 6F        3015          LD    L,A
033B- 7E        3020          LD    A,(HL)
033C- C1        3025          POP   BC
033D- C9        3030          RET
033E- 37        3035 SCAN1    SCF
033F- 08        3040          EX    AF,AF'
0340- D9        3045          EXX
0341- 0E 00     3050          LD    C,00
0343- 1E FE     3055          LD    E,0FEH
0345- 3E 0E     3060 KCOL     LD    A,0EH
0347- D3 01     3065          OUT   (01H),A
0349- DD 7E 00  3070          LD    A,(IX+00)
034C- D3 00     3075 DISPLAY  OUT   (00H),A
034E- 42        3080          LD    B,D
034F- 10 05     3085          DJNZ  KROW
```

```
0351- 06 03     3090          LD    B,03H
0353- DB 02     3095          IN    A,(02H)
0355- 57        3100          LD    D,A
0356- CB 12     3105 KROW     RL    D
0358- 38 02     3110          JR    C,SAM3
035A- 79        3115          LD    A,C
035B- 08        3120          EX    AF,AF'
035C- 0C        3125 SAM3     INC   C
035D- 10 F7     3130          DJNZ  KROW
035F- DD 23     3135          INC   IX
0361- CB 03     3140          RLC   E
0363- 38 E0     3145          JR    C,KCOL
0365- 11 F8 FF  3150          LD    DE,0FFF8H
0368- DD 19     3155          ADD   IX,DE
036A- D9        3160          EXX
036B- 08        3165          EX    AF,AF'
036C- C9        3170          RET
036D- D6 0A     3175 FNT      SUB   0AH
036F- 21 16 04  3180          LD    HL,TABLE
0372- CD 78 03  3185          CALL  BRANCH
0375- C3 74 02  3190          JP    LOOP4
0378- 5E        3195 BRANCH   LD    E,(HL)
0379- 23        3200          INC   HL
037A- 56        3205          LD    D,(HL)
037B- 23        3210          INC   HL
037C- 85        3215          ADD   A,L
037D- 6F        3220          LD    L,A
037E- 6E        3225          LD    L,(HL)
037F- 26 00     3230          LD    H,00H
0381- 19        3235          ADD   HL,DE
0382- E9        3240          JP    (HL)
0383- 01 D2 0E  3245 RATE     LD    BC,0ED2H
0386- 3E 01     3250 BCD1     LD    A,01H
0388- 32 CD 0F  3255          LD    (0FCDH),A
038B- 32 CE 0F  3260          LD    (0FCEH),A
038E- 21 B9 0F  3265          LD    HL,0FB9H
0391- C5        3270          PUSH  BC
0392- 06 04     3275          LD    B,04H
0394- CB FE     3280 SET      SET   7,(HL)
0396- 2B        3285          DEC   HL
0397- 10 FB     3290          DJNZ  SET
0399- 06 03     3295          LD    B,03H
039B- CB BE'    3300 RESET    RES   7H,(HL)
039D- 2B        3305          DEC   HL
039E- 10 FB     3310          DJNZ  RESET
03A0- C1        3315          POP   BC
03A1- C9        3320          RET
03A2- 01 D0 0E  3325 VOLBCD   LD    BC,0ED0H
03A5- 3E 01     3330          LD    A,01H
03A7- 32 CD 0F  3335          LD    (0FCDH),A
03AA- 3E 02     3340 VOL1     LD    A,02H
03AC- 32 CE 0F  3345          LD    (0FCEH),A
03AF- 21 B9 0F  3350          LD    HL,0FB9H
03B2- C5        3355          PUSH  BC
```

```
03B3- 06 04     3360          LD    B,04H
03B5- CB BE     3365 SAM4     RES   7H,(HL)
03B7- 2B        3370          DEC   HL
03B8- 10 FB     3375          DJNZ  SAM4
03BA- 06 03     3380          LD    B,03H
03BC- CB FE     3385 SAM5     SET   7H,(HL)
03BE- 2B        3390          DEC   HL
03BF- 10 FB     3395          DJNZ  SAM5
03C1- C1        3400          POP   BC
03C2- C9        3405          RET
03C3- 01 D0 0E  3410 READ     LD    BC,0ED0H
03C6- CD E3 03  3415          CALL  DISP
03C9- CD 3E 03  3420 SAM6     CALL  SCAN1
03CC- 30 FB     3425          JR    NC,SAM6
03CE- 01 BF 0F  3430          LD    BC,0FBFH
03D1- CD E3 03  3435          CALL  DISP
03D4- 21 B9 0F  3440          LD    HL,0FB9H
03D7- 06 04     3445          LD    B,04H
03D9- CB FE     3450 SAM7     SET   7H,(HL)
03DB- 2B        3455          DEC   HL
03DC- 10 FB     3460          DJNZ  SAM7
03DE- AF        3465          XOR   A
03DF- 32 CD 0F  3470          LD    (0FCDH),A
03E2- C9        3475          RET
03E3- CD 8C 08  3480 DISP     CALL  VOL
03E6- CD CA 02  3485          CALL  COM
03E9- C9        3490          RET
03EA- C3 40 04  3495          JP    PURGE
03ED- C3 49 04  3500          JP    START
03F0- C3 56 04  3505          JP    RUN
03F3- 21 0F 00  3510 INIT     LD    HL,0FH
03F6- 3E FF     3515          LD    A,0FFH
03F8- 77        3520          LD    (HL),A
03F9- 23        3525          INC   HL
03FA- 06 07     3530          LD    B,07H
03FC- 3E 82     3535          LD    A,82H
03FE- 77        3540 SAM8     LD    (HL),A
03FF- 23        3545          INC   HL
0400- 10 FC     3550          DJNZ  SAM8
0402- CD C5 07  3555          CALL  INT1
0405- 77        3560 CLR1     LD    (HL),A
0406- 23        3565          INC   HL
0407- 10 FC     3570          DJNZ  CLR1
0409- 3E AA     3575          LD    A,0AAH
040B- 32 D0 0F  3580          LD    (0FD0H),A
040E- DD 21 B2
0411- 0F        3585          LD    IX,0FB2H
0412- CD CA 07  3590          CALL  INT2
0415- C9        3595          RET
0416- 3B        3600 TABLE    DEC   SP
0417- 11 00 1F  3605          LD    DE,1F00H
041A- 40        3610          LD    B,B
041B- 67        3615          LD    H,A
041C- 6A        3620          LD    L,D
```

```
041D- 6D          3625           LD    L,L
041E- 07          3630 KEYTAB    RLCA
041F- 0A          3635           LD    A,(BC)
0420- 02          3640           LD    (BC),A
0421- 04          3645           INC   B
0422- 00          3650           NOP
0423- 03          3655           INC   BC
0424- 01 FF 0F    3660           LD    BC,0FFFH
0427- 08          3665           EX    AF,AF'
0428- FF          3670           RST   38H
0429- 05          3675           DEC   B
042A- FF          3680           RST   38H
042B- FF          3685           RST   38H
042C- 06 FF       3690           LD    B,0FFH
042E- FF          3695           RST   38H
042F- 0E FF       3700           LD    C,0FFH
0431- 0C          3705           INC   C
0432- 09          3710           ADD   HL,BC
0433- FF          3715           RST   38H
0434- 0B          3720           DEC   BC
0435- 0D          3725           DEC   C
0436- 82          3730 SEGTAB    ADD   A,D
0437- B7          3735           OR    A
0438- C1          3740           POP   BC
0439- 91          3745           SUB   C
043A- B4          3750           OR    H
043B- 98          3755           SBC   A,B
043C- 88          3760           ADC   A,B
043D- B3          3765           OR    E
043E- 80          3770           ADD   A,B
043F- 90          3775           SUB   B
0440- 3E 04       3780 PURGE     LD    A,04H
0442- 32 CC 0F    3785           LD    (0FCCH),A
0445- CD 87 04    3790           CALL  MOTOR
0448- C9          3795           RET
0449- CD 27 08    3800 START     CALL  START1
044C- 3E 01       3805           LD    A,01
044E- 32 CF 0F    3810           LD    (0FCFH),A
0451- CD 77 04    3815           CALL  SAM9
0454- 18 0A       3820           JR    RUN1
0456- CD 3E 03    3825 RUN       CALL  SCAN1
0459- 30 FB       3830           JR    NC,RUN
045B- 3A CF 0F    3835           LD    A,(0FCFH)
045E- B7          3840           OR    A
045F- C9          3845           RET   Z
0460- 3E 01       3850 RUN1      LD    A,01H
0462- 32 CC 0F    3855           LD    (0FCCH),A
0465- 2A D0 0E    3860           LD    HL,(0ED0H)
0468- 7D          3865           LD    A,L
0469- B4          3870           OR    H
046A- C9          3875           RET   Z
046B- 2A D2 0E    3880           LD    HL,(0ED2H)
046E- 7D          3885           LD    A,L
046F- B4          3890           OR    H
```

```
0470- C9          3895           RET   Z
0471- CD 87 04    3900           CALL  MOTOR
0474- C9          3905           RET
0475- 3E 03       3910           LD    A,03H
0477- AF          3915 SAM9      XOR   A
0478- 32 BF 0F    3920           LD    (0FBFH),A
047B- 32 C0 0F    3925           LD    (0FC0H),A
047E- C9          3930           RET
047F- FF          3935           RST   38H
0480- DB 0D       3940           IN    A,(0DH)
0482- CB 77       3945           BIT   6H,A
0484- C9          3950           RET
0485- FF          3955           RST   38H
0486- FF          3960           RST   38H
0487- 06 05       3965 MOTOR     LD    B,05H
0489- CD E6 06    3970           CALL  SENSOR
048C- 30 16       3975           JR    NC,BOTTOM
048E- 3A CC 0F    3980           LD    A,(0FCCH)
0491- FE 03       3985           CP    03H
0493- 28 1D       3990           JR    Z,TOP
0495- 06 04       3995           LD    B,04H
0497- CD E6 06    4000           CALL  SENSOR
049A- 30 16       4005           JR    NC,TOP
049C- 3E 98       4010           LD    A,98H
049E- 32 BB 0F    4015           LD    (0FBBH),A
04A1- C3 91 05    4020           JP    ALARM
04A4- 3A CC 0F    4025 BOTTOM    LD    A,(0FCCH)
04A7- FE 03       4030           CP    03H
04A9- C9          4035           RET   Z
04AA- 3E 01       4040           LD    A,01H
04AC- 21 BD 07    4045           LD    HL,CW
04AF- B7          4050           OR    A
04B0- 18 06       4055           JR    TOP1
04B2- 37          4060 TOP       SCF
04B3- 3E 00       4065           LD    A,00H
04B5- 21 C1 07    4070           LD    HL,CCW
04B8- 32 D1 0F    4075 TOP1      LD    (0FD1H),A
04BB- 22 D2 0F    4080           LD    (0FD2H),HL
04BE- 3E 00       4085           LD    A,00H
04C0- 32 D4 0F    4090           LD    (0FD4H),A
04C3- 00          4095           NOP
04C4- 00          4100           NOP
04C5- CD 14 06    4105           CALL  DCMOTOR
04C8- C9          4110           RET   Z
04C9- 21 10 02    4115           LD    HL,0210H
04CC- 22 D5 0F    4120           LD    (0FD5H),HL
04CF- 3A D1 0F    4125 MC2       LD    A,(0FD1H)
04D2- B7          4130           OR    A
04D3- 28 07       4135           JR    Z,MC3
04D5- 3A CC 0F    4140           LD    A,(0FCCH)
04D8- FE 01       4145           CP    01H
04DA- 28 0B       4150           JR    Z,MC4
```

```
04DC- 21 D7 OF 4155 MC3     LD    HL,OFD7H
04DF- 3E 01    4160         LD    A,01H
04E1- 77       4165         LD    (HL),A
04E2- 23       4170         INC   HL
04E3- AF       4175         XOR   A
04E4- 77       4180         LD    (HL),A
04E5- 18 08    4185         JR    MC5
04E7- 2A 70 OE 4190 MC4     LD    HL,(0E70H)
04EA- 22 D7 OF 4195         LD    (OFD7H),HL
04ED- 00       4200         NOP
04EE- 00       4205         NOP
04EF- CD 3E 03 4210 MC5     CALL  SCAN1
04F2- 38 4A    4215         JR    C,READ2
04F4- F5       4220         PUSH  AF
04F5- 3A CC OF 4225         LD    A,(OFCCH)
04F8- FE 05    4230         CP    05H
04FA- 20 2C    4235         JR    NZ,MC8
04FC- 3A BA OF 4240         LD    A,(OFBAH)
04FF- 32 B2 OF 4245         LD    (OFB2H),A
0502- 06 04    4250         LD    B,04H
0504- CD 3E 03 4255 PAUSE   CALL  SCAN1
0507- FE 08    4260         CP    08H
0509- 28 1A    4265         JR    Z,MC7
050B- 10 F7    4270         DJNZ  PAUSE
050D- CD F4 05 4275         CALL  TONE2K
0510- 3E FF    4280         LD    A,0FFH
0512- 32 B2 OF 4285         LD    (OFB2H),A
0515- 06 04    4290         LD    B,04H
0517- CD 3E 03 4295 MC6     CALL  SCAN1
051A- FE 08    4300         CP    08H
051C- 28 07    4305         JR    Z,MC7
051E- 10 F7    4310         DJNZ  MC6
0520- CD F8 05 4315         CALL  TONE1K
0523- 18 10    4320         JR    READ1
0525- F1       4325 MC7     POP   AF
0526- 18 09    4330         JR    MC9
0528- FE 04    4335 MC8     CP    04H
052A- 20 09    4340         JR    NZ,READ1
052C- F1       4345         POP   AF
052D- FE 17    4350         CP    17H
052F- 28 3B    4355         JR    Z,AVI
0531- CD F4 07 4360 MC9     CALL  INITIAL
0534- C9       4365         RET
0535- F1       4370 READ1   POP   AF
0536- FE 08    4375         CP    08H
0538- 28 F7    4380         JR    Z,MC9
053A- FE 13    4385         CP    13H
053C- 28 05    4390         JR    Z,READ3
053E- 01 BF OF 4395 READ2   LD    BC,OFBFH
0541- 18 03    4400         JR    READ4
0543- 01 D0 0E 4405 READ3   LD    BC,0ED0H
0546- CD 5C 06 4410 READ4   CALL  DCM2
```

```
0549- 2A D7 0F 4415          LD    HL,(0FD7H)
054C- 2B       4420          DEC   HL
054D- 22 D7 0F 4425          LD    (0FD7H),HL
0550- 7D       4430          LD    A,L
0551- B4       4435          OR    H
0552- 20 9B    4440          JR    NZ,MC5
0554- 00       4445          NOP
0555- 3A 60 0E 4450 COMPENS  LD    A,(0E60H)
0558- E3       4455          EX    (SP),HL
0559- E3       4460          EX    (SP),HL
055A- E3       4465          EX    (SP),HL
055B- E3       4470          EX    (SP),HL
055C- 3D       4475          DEC   A
055D- 20 F6    4480          JR    NZ,COMPENS
055F- CD 56 07 4485          CALL  AIR
0562- 20 3C    4490          JR    NZ,AIR1
0564- 00       4495          NOP
0565- 00       4500          NOP
0566- CD FD 06 4505          CALL  PHASE
0569- 3A CC 0F 4510          LD    A,(0FCCH)
056C- FE 04    4515 AVI      CP    04H
056E- 30 0F    4520          JR    NC,AVN
0570- 3A D1 0F 4525          LD    A,(0FD1H)
0573- B7       4530          OR    A
0574- 28 09    4535          JR    Z,AVN
0576- CD 98 07 4540          CALL  AVS
0579- CD 8B 07 4545          CALL  COMPLETE
057C- CA AC 05 4550          JP    Z,AVR
057F- 2A D5 0F 4555 AVN      LD    HL,(0FD5H)
0582- 2B       4560          DEC   HL
0583- 22 D5 0F 4565          LD    (0FD5H),HL
0586- 7D       4570          LD    A,L
0587- B4       4575          OR    H
0588- CA 87 04 4580          JP    Z,MOTOR
058B- C3 CF 04 4585          JP    MC2
058E- 21 BB 0F 4590          LD    HL,0FBBH
0591- 11 B6 0F 4595 ALARM    LD    DE,0FB6H
0594- 06 04    4600          LD    B,04H
0596- 7E       4605 ALARM1   LD    A,(HL)
0597- 12       4610          LD    (DE),A
0598- 23       4615          INC   HL
0599- 13       4620          INC   DE
059A- 10 FA    4625          DJNZ  ALARM1
059C- 3E FE    4630          LD    A,0FEH
059E- 18 06    4635          JR    AIR2
05A0- 3E EF    4640 AIR1     LD    A,0EFH
05A2- 18 0A    4645          JR    AVR1
05A4- 3E DF    4650          LD    A,0DFH
05A6- 18 02    4655 AIR2     JR    AIR3
05A8- 3E FB    4660          LD    A,0FBH
05AA- 18 13    4665 AIR3     JR    AVR2
05AC- 3E BF    4670 AVR      LD    A,0BFH
```

```
05AE- 32 BB 0F 4675 AVR1    LD    (0FBBH),A
05B1- 32 B2 0F 4680         LD    (0FB2H),A
05B4- F5       4685         PUSH  AF
05B5- CD 6B 06 4690         CALL  DCM3
05B8- 3E FB    4695         LD    A,0FBH
05BA- D3 0E    4700         OUT   (0EH),A
05BC- F1       4705         POP   AF
05BD- 00       4710         NOP
05BE- 00       4715         NOP
05BF- 32 BB 0F 4720 AVR2    LD    (0FBBH),A
05C2- 3A BB 0F 4725 AVR3    LD    A,(0FBBH)
05C5- 32 B2 0F 4730         LD    (0FB2H),A
05C8- 06 04    4735         LD    B,04H
05CA- CD 3E 03 4740 AVR4    CALL  SCAN1
05CD- FE 08    4745         CP    08H
05CF- 28 1A    4750         JR    Z,AVR6
05D1- 10 F7    4755         DJNZ  AVR4
05D3- CD F4 05 4760         CALL  TONE2K
05D6- 3E FF    4765         LD    A,0FFH
05D8- 32 B2 0F 4770         LD    (0FB2H),A
05DB- 06 04    4775         LD    B,04H
05DD- CD 3E 03 4780 AVR5    CALL  SCAN1
05E0- FE 08    4785         CP    08H
05E2- 28 07    4790         JR    Z,AVR6
05E4- 10 F7    4795         DJNZ  AVR5
05E6- CD F8 05 4800         CALL  TONE1K
05E9- 18 D7    4805         JR    AVR3
05EB- 3E FF    4810 AVR6    LD    A,0FFH
05ED- 32 B2 0F 4815         LD    (0FB2H),A
05F0- CD F4 07 4820         CALL  INITIAL
05F3- C9       4825         RET
05F4- 0E 86    4830 TONE2K  LD    C,86H
05F6- 18 02    4835         JR    TONE
05F8- 0E 41    4840 TONE1K  LD    C,41H
05FA- 21 FF 00 4845 TONE    LD    HL,00FFH
05FD- 11 01 00 4850         LD    DE,0001H
0600- 29       4855         ADD   HL,HL
0601- 3A DA 0F 4860         LD    A,(0FDAH)
0604- E6 04    4865         AND   04H
0606- F6 08    4870         OR    08H
0608- D3 0E    4875 TON1    OUT   (0EH),A
060A- 41       4880         LD    B,C
060B- 10 FE    4885 TON2    DJNZ  TON2
060D- EE 08    4890         XOR   08H
060F- ED 52    4895         SBC   HL,DE
0611- 20 F5    4900         JR    NZ,TON1
0613- C9       4905         RET
0614- F5       4910 DCMOTOR PUSH  AF
0615- 30 0B    4915         JR    NC,DC1
0617- 06 02    4920         LD    B,02H
0619- CD E6 06 4925         CALL  SENSOR
061C- 30 2C    4930         JR    NC,DC5
```

```
061E- 3E 7F     4935          LD    A,7FH
0620- 18 09     4940          JR    DC2
0622- 06 01     4945 DC1      LD    B,01H
0624- CD E6 06  4950          CALL  SENSOR
0627- 30 21     4955          JR    NC,DC5
0629- 3E FF     4960          LD    A,0FFH
062B- 32 DB 0F  4965 DC2      LD    (0FDBH),A
062E- CD 3E 03  4970          CALL  SCAN1
0631- FE 08     4975          CP    08H
0633- 28 21     4980          JR    Z,DC6
0635- FE 13     4985          CP    13H
0637- 28 05     4990          JR    Z,DC3
0639- 01 BF 0F  4995          LD    BC,0FBFH
063C- 18 03     5000          JR    DC4
063E- 01 D2 0E  5005 DC3      LD    BC,0ED2H
0641- CD 5C 06  5010 DC4      CALL  DCM2
0644- CD 65 06  5015          CALL  DC7
0647- F1        5020          POP   AF
0648- 18 CA     5025          JR    DCMOTOR
064A- F1        5030 DC5      POP   AF
064B- 01 BF 0F  5035          LD    BC,0FBFH
064E- CD 5C 06  5040          CALL  DCM2
0651- CD 6B 06  5045          CALL  DCM3
0654- B7        5050          OR    A
0655- C9        5055          RET
0656- F1        5060 DC6      POP   AF
0657- CD 6B 06  5065          CALL  DCM3
065A- AF        5070          XOR   A
065B- C9        5075          RET
065C- 3E 02     5080 DCM2     LD    A,02H
065E- 32 CE 0F  5085          LD    (0FCEH),A
0661- CD CA 02  5090          CALL  COM
0664- C9        5095          RET
0665- 3A DB 0F  5100 DC7      LD    A,(0FDBH)
0668- D3 0C     5105          OUT   (0CH),A
066A- C9        5110          RET
066B- 3E 3F     5115 DCM3     LD    A,3FH
066D- 32 DB 0F  5120          LD    (0FDBH),A
0670- CD 65 06  5125          CALL  DC7
0673- C9        5130          RET
0674- 06 04     5135 MALFN    LD    B,04H
0676- 3E 01     5140          LD    A,01H
0678- 21 DA 0F  5145          LD    HL,0FDAH
067B- B6        5150          OR    (HL)
067C- 00        5155          NOP
067D- D3 0E     5160          OUT   (0EH),A
067F- 10 FE     5165 MALFN1   DJNZ  MALFN1
0681- DB 0D     5170          IN    A,(0DH)
0683- E6 1F     5175          AND   1FH
0685- 20 2D     5180          JR    NZ,MALFN4
0687- 06 04     5185 M1       LD    B,04H
0689- 3E 02     5190          LD    A,02H
```

```
06BB- B6          5195            OR      (HL)
068C- 00          5200            NOP
068D- D3 0E       5205            OUT     (0EH),A
068F- 10 FE       5210 MALFN2     DJNZ    MALFN2
0691- DB 0D       5215            IN      A,(0DH)
0693- CB 7F       5220            BIT     7H,A
0695- 28 45       5225            JR      Z,MALFN7
0697- DB 0E       5230            IN      A,(0EH)
0699- E6 F0       5235            AND     0F0H
069B- FE 0F       5240            CP      0FH
069D- 20 3D       5245            JR      NZ,MALFN7
069F- AF          5250            XOR     A
06A0- B6          5255            OR      (HL)
06A1- 00          5260            NOP
06A2- D3 0E       5265            OUT     (0EH),A
06A4- 06 04       5270            LD      B,04H
06A6- 10 FE       5275 MALFN3     DJNZ    MALFN3
06A8- DB 0D       5280            IN      A,(0DH)
06AA- E6 1F       5285            AND     1FH
06AC- 20 2E       5290            JR      NZ,MALFN7
06AE- 00          5295            NOP
06AF- 3A C9 0F    5300 M2         LD      A,(0FC9H)
06B2- B7          5305            OR      A
06B3- C9          5310            RET
06B4- F5          5315 MALFN4     PUSH    AF
06B5- E6 18       5320            AND     18H
06B7- 28 07       5325            JR      Z,MALFN5
06B9- 3E 98       5330            LD      A,98H
06BB- C3 B1 07    5335            JP      DELAY1
06BE- F1          5340            POP     AF
06BF- F5          5345            PUSH    AF
06C0- F1          5350 MALFN5     POP     AF
06C1- F5          5355            PUSH    AF
06C2- CB 57       5360            BIT     2H,A
06C4- 28 07       5365            JR      Z,MALFN6
06C6- 3E 82       5370            LD      A,82H
06C8- C3 B6 07    5375            JP      DELAY2
06CB- F1          5380            POP     AF
06CC- F5          5385            PUSH    AF
06CD- F1          5390 MALFN6     POP     AF
06CE- E6 03       5395            AND     03H
06D0- 28 B5       5400            JR      Z,M1
06D2- 3E 85       5405            LD      A,85H
06D4- 32 BD 0F    5410            LD      (0FBDH),A
06D7- 32 C9 0F    5415            LD      (0FC9H),A
06DA- 18 AB       5420            JR      M1
06DC- 3E A0       5425 MALFN7     LD      A,0A0H
06DE- 32 BE 0F    5430            LD      (0FBEH),A
06E1- 32 C9 0F    5435            LD      (0FC9H),A
06E4- 18 C9       5440            JR      M2
06E6- C5          5445 SENSOR     PUSH    BC
06E7- 21 DA 0F    5450            LD      HL,0FDAH
```

```
06EA- 3E 01     5455          LD    A,01H
06EC- B6        5460          OR    (HL)
06ED- D3 0E     5465          OUT   (0EH),A
06EF- 06 1F     5470          LD    B,1FH
06F1- 10 FE     5475 SENS1    DJNZ  SENS1
06F3- C1        5480          POP   BC
06F4- DB 0D     5485          IN    A,(0DH)
06F6- 0F        5490 SENS2    RRCA
06F7- 10 FD     5495          DJNZ  SENS2
06F9- C9        5500          RET
06FA- CD 3E 03  5505 PHA      CALL  SCAN1
06FD- 21 D4 0F  5510 PHASE    LD    HL,0FD4H
0700- 7E        5515          LD    A,(HL)
0701- FE 04     5520          CP    04H
0703- 28 0F     5525          JR    Z,PHASE1
0705- 34        5530          INC   (HL)
0706- 2A D2 0F  5535          LD    HL,(0FD2H)
0709- 32 DB 0F  5540          LD    (0FDBH),A
070C- CD 65 06  5545          CALL  DC7
070F- 23        5550          INC   HL
0710- 22 D2 0F  5555          LD    (0FD2H),HL
0713- C9        5560          RET
0714- 06 04     5565 PHASE1   LD    B,04H
0716- 2A D2 0F  5570          LD    HL,(0FD2H)
0719- 2B        5575 PHASE2   DEC   HL
071A- 10 FD     5580          DJNZ  PHASE2
071C- CD E1 07  5585          CALL  INT3
071F- C9        5590          RET
0720- 2A D5 0F  5595 OCCLU    LD    HL,(0FD5H)
0723- 2B        5600          DEC   HL
0724- 7D        5605          LD    A,L
0725- B4        5610          OR    H
0726- 21 CA 0F  5615          LD    HL,0FCAH
0729- 20 01     5620          JR    NZ,OCCLU1
072B- 77        5625          LD    (HL),A
072C- 7E        5630 OCCLU1   LD    A,(HL)
072D- 34        5635          INC   (HL)
072E- B7        5640          OR    A
072F- 20 06     5645          JR    NZ,STEP
0731- CD 41 07  5650          CALL  STEP1
0734- 77        5655          LD    (HL),A
0735- B4        5660          OR    H
0736- C9        5665          RET
0737- 7E        5670 STEP     LD    A,(HL)
0738- DE 0D     5675          SBC   A,13
073A- C9        5680          RET   C
073B- 77        5685          LD    (HL),A
073C- CD 41 07  5690          CALL  STEP1
073F- BE        5695          CP    (HL)
0740- C9        5700          RET
0741- 3A DA 0F  5705 STEP1    LD    A,(0FDAH)
0744- F6 01     5710          OR    01H
```

```
0746- D3 FE     5715             OUT    (0FEH),A
0748- 06 1F     5720             LD     B,1FH
074A- 10 FE     5725 STEP2       DJNZ   STEP2
074C- DB FD     5730             IN     A,(0FDH)
074E- E6 04     5735             AND    04H
0750- 32 CB 0F  5740             LD     (0FCBH),A
0753- C9        5745             RET
0754- FF        5750             RST    38H
0755- FF        5755             RST    38H
0756- 3A DA 0F  5760 AIR         LD     A,(0FDAH)
0759- F6 02     5765             OR     02H
075B- D3 0E     5770             OUT    (0EH),A
075D- 06 1F     5775             LD     B,1FH
075F- 10 FE     5780 AIR8        DJNZ   AIR8
0761- DB 0D     5785             IN     A,(0DH)
0763- E6 1F     5790             AND    1FH
0765- 28 22     5795             JR     Z,AIR7
0767- FE 1F     5800             CP     1FH
0769- 28 1E     5805             JR     Z,AIR7
076B- 57        5810             LD     D,A
076C- FE 07     5815             CP     07H
076E- 28 16     5820             JR     Z,AIR6
0770- FE 0F     5825             CP     0FH
0772- 28 15     5830             JR     Z,AIR7
0774- FE 17     5835             CP     17H
0776- 28 11     5840             JR     Z,AIR7
0778- 01 00 03  5845             LD     BC,0300H
077B- 0F        5850 AIR4        RRCA
077C- 30 01     5855             JR     NC,AIR5
077E- 0C        5860             INC    C
077F- 10 FA     5865 AIR5        DJNZ   AIR4
0781- 3E 01     5870             LD     A,01H
0783- B9        5875             CP     C
0784- 30 03     5880             JR     NC,AIR7
0786- 2F        5885 AIR6        CPL
0787- B7        5890             OR     A
0788- C9        5895             RET
0789- AF        5900 AIR7        XOR    A
078A- C9        5905             RET
078B- 2A D0 0E  5910 COMPLETE    LD     HL,(0ED0H)
078E- ED 5B BF
0791- 0F        5915             LD     DE,(0FBFH)
0792- B7        5920             OR     A
0793- ED 52     5925             SBC    HL,DE
0795- C9        5930             RET
0796- FF        5935             RST    38H
0797- FF        5940             RST    38H
0798- 21 C1 0F  5945 AVS         LD     HL,0FC1H
079B- FD 21 50
079E- 0E        5950             LD     IY,0E50H
079F- 06 03     5955             LD     B,03H
07A1- CD 98 00  5960             CALL   ADD1
```

```
07A4- C9          5965              RET   NC
07A5- C3 8C 08    5970              JP    VOL
07A8- FF          5975              RST   38H
07A9- FF          5980              RST   38H
07AA- 06 07       5985 DELAY        LD    B,07H
07AC- 10 FE       5990 DELAY3       DJNZ  DELAY3
07AE- 00          5995              NOP
07AF- 00          6000              NOP
07B0- C9          6005              RET
07B1- 32 BB 0F    6010 DELAY1       LD    (0FBBH),A
07B4- 18 03       6015              JR    DELAY4
07B6- 32 BC 0F    6020 DELAY2       LD    (0FBCH),A
07B9- 32 C9 0F    6025 DELAY4       LD    (0FC9H),A
07BC- C9          6030              RET
07BD- 2C          6035 CW           .DA   #2CH
07BE- 00          6040              .DA   /29H
07BF- 23          6045              .DA   #23H
07C0- 00          6050              .DA   /26H
07C1- 06          6055 CCW          .DA   #06H
07C2- 00          6060              .DA   /03H
07C3- 09          6065              .DA   #09H
07C4- 00          6070              .DA   /0CH
07C5- 3E FF       6075 INT1         LD    A,0FFH
07C7- 06 05       6080              LD    B,05H
07C9- C9          6085              RET
07CA- 32 D0 0F    6090 INT2         LD    (0FD0H),A
07CD- 3E 3F       6095              LD    A,3FH
07CF- D3 0C       6100              OUT   (0CH),A
07D1- AF          6105              XOR   A
07D2- 06 0A       6110              LD    B,0AH
07D4- 77          6115 INT4         LD    (HL),A
07D5- 23          6120              INC   HL
07D6- 10 FC       6125              DJNZ  INT4
07D8- 3E 0C       6130              LD    A,0CH
07DA- CD 7C 08    6135              CALL  STA
07DD- CD F4 07    6140              CALL  INITIAL
07E0- C9          6145              RET
07E1- 22 D2 0F    6150 INT3         LD    (0FD2H),HL
07E4- AF          6155              XOR   A
07E5- 32 D4 0F    6160              LD    (0FD4H),A
07E8- C9          6165              RET
07E9- 3A CC 0F    6170              LD    A,(0FCCH)
07EC- FE 03       6175              CP    03H
07EE- CA 87 04    6180              JP    Z,MOTOR
07F1- C3 7F 05    6185              JP    AVN
07F4- 06 05       6190 INITIAL      LD    B,05H
07F6- CD E6 06    6195              CALL  SENSOR
07F9- 30 26       6200              JR    NC,STOP
07FB- 37          6205              SCF
07FC- CD 14 06    6210              CALL  DCMOTOR
07FF- 28 F3       6215              JR    Z,INITIAL
0801- 21 A2 15    6220              LD    HL,15A2H
```

```
0804- 22 D2 0F 6225          LD    (0FD2H),HL
0807- 3E 00    6230          LD    A,00H
0809- 32 D4 0F 6235          LD    (0FD4H),A
080C- 06 05    6240 INIT4    LD    B,05H
080E- CD E6 06 6245          CALL  SENSOR
0811- 30 05    6250          JR    NC,LOW
0813- CD FA 06 6255          CALL  PHA
0816- 18 F4    6260          JR    INIT4
0818- 06 1F    6265 LOW      LD    B,1FH
081A- C5       6270 LOW1     PUSH  BC
081B- CD FA 06 6275          CALL  PHA
081E- C1       6280          POP   BC
081F- 10 F9    6285          DJNZ  LOW1
0821- C3 6B 06 6290 STOP     JP    DCM3
0824- C9       6295          RET
0825- FF       6300          RST   38H
0826- FF       6305          RST   38H
0827- DD E5    6310 START1   PUSH  IX
0829- 21 61 16 6315          LD    HL,1661H
082C- 11 90 0E 6320          LD    DE,0E90H
082F- CD 67 08 6325          CALL  START2
0832- 21 67 16 6330          LD    HL,1667H
0835- 11 A0 0E 6335          LD    DE,0EA0H
0838- CD 67 08 6340          CALL  START2
083B- 21 6D 16 6345          LD    HL,166DH
083E- 11 C0 0E 6350          LD    DE,0EC0H
0841- CD 67 08 6355          CALL  START2
0844- 21 73 16 6360          LD    HL,1673H
0847- 11 D4 0E 6365          LD    DE,0ED4H
084A- CD 69 08 6370          CALL  START3
084D- 21 79 16 6375          LD    HL,1679H
0850- 11 DD 0E 6380          LD    DE,0EDDH
0853- CD 69 08 6385          CALL  START3
0856- CD 83 03 6390          CALL  RATE
0859- 21 10 0E 6395          LD    HL,0E10H
085C- 11 C4 0F 6400          LD    DE,0FC4H
085F- 06 03    6405          LD    B,03H
0861- CD 69 08 6410          CALL  START3
0864- DD E1    6415          POP   IX
0866- C9       6420          RET
0867- 06 06    6425 START2   LD    B,06H
0869- 7E       6430 START3   LD    A,(HL)
086A- 12       6435          LD    (DE),A
086B- 23       6440          INC   HL
086C- 13       6445          INC   DE
086D- 10 FA    6450          DJNZ  START3
086F- C9       6455          RET
0870- 00       6460          NOP
0871- 10 00    6465          DJNZ  XX
0873- 00       6470 XX       NOP
0874- 80       6475          ADD   A,B
0875- 03       6480          INC   BC
```

```
0876- A0          6485              AND   B
0877- 01 00 00    6490              LD    BC,0000H
087A- 05          6495              DEC   B
087B- FF          6500              RST   38H
087C- 32 DA 0F    6505 STA          LD    (0FDAH),A
087F- 21 D0 0E    6510              LD    HL,0ED0H
0882- 06 04       6515              LD    B,04H
0884- AF          6520              XOR   A
0885- 77          6525 STAR         LD    (HL),A
0886- 23          6530              INC   HL
0887- 10 FC       6535              DJNZ  STAR
0889- C9          6540              RET
088A- FF          6545              RST   38H
088B- FF          6550              RST   38H
088C- 2A BF 0F    6555 VOL          LD    HL,(0FBFH)
088F- 0E 01       6560              LD    C,01H
0891- 7D          6565              LD    A,L
0892- 81          6570              ADD   A,C
0893- 27          6575              DAA
0894- 6F          6580              LD    L,A
0895- 30 04       6585              JR    NC,FIN
0897- 7C          6590              LD    A,H
0898- 81          6595              ADD   A,C
0899- 27          6600              DAA
089A- 67          6605              LD    H,A
089B- 22 BF 0F    6610 FIN          LD    (0FBFH),HL
089E- C9          6615              RET
```

SYMBOL TABLE

```
0098- ADD1
0099- ADD2
0756- AIR
05A0- AIR1
05A6- AIR2
05AA- AIR3
077B- AIR4
077F- AIR5
0786- AIR6
0789- AIR7
075F- AIR8
0591- ALARM
0596- ALARM1
056C- AVI
057F- AVN
05AC- AVR
05AE- AVR1
05BF- AVR2
05C2- AVR3
05CA- AVR4
05DD- AVR5
```

05EB- AVR6
0798- AVS
006D- BCD
0386- BCD1
04A4- BOTTOM
0378- BRANCH
07C1- CCW
00B0- CLEA
00C0- CLR
0405- CLR1
00C1- CLRA
02CA- COM
0555- COMPENS
078B- COMPLETE
02F4- CON
02F6- CONT
0075- COR0
007E- COR1
0084- COR2
0157- CPCY
07BD- CW
006F- DBLP
0622- DC1
062B- DC2
063E- DC3
0641- DC4
064A- DC5
0656- DC6
0665- DC7
065C- DCM2
066B- DCM3
0614- DCMOTOR
07AA- DELAY
07B1- DELAY1
07B6- DELAY2
07AC- DELAY3
07B9- DELAY4
02DA- DISFB
02D7- DISFB8
03E3- DISP
034C- DISPLAY
011E- DIV
0121- DIV1
012C- DIV2
089B- FIN
036D- FNT
029F- FOUR
02B2- FOUR1
03F3- INIT
080C- INIT4
07F4- INITIAL
07C5- INT1

```
07CA- INT2
07E1- INT3
07D4- INT4
0345- KCOL
041E- KEYTAB
0356- KROW
0172- LOADR
016C- LOADV
0006- LOOP1
0256- LOOP2
0270- LOOP3
0274- LOOP4
0818- LOW
081A- LOW1
0687- M1
06AF- M2
0674- MALFN
067F- MALFN1
068F- MALFN2
06A6- MALFN3
06B4- MALFN4
06C0- MALFN5
06CD- MALFN6
06DC- MALFN7
04CF- MC2
04DC- MC3
04E7- MC4
04EF- MC5
0517- MC6
0525- MC7
0528- MC8
0531- MC9
0487- MOTOR
00C7- MUL1
00DB- MUL2
0105- MUL3
010F- MUL4
0720- OCCLU
072C- OCCLU1
0504- PAUSE
06FA- PHA
06FD- PHASE
0714- PHASE1
0719- PHASE2
0440- PURGE
0013- RAT
0383- RATE
000D- RATE1
03C3- READ
0535- READ1
053E- READ2
0543- READ3
```

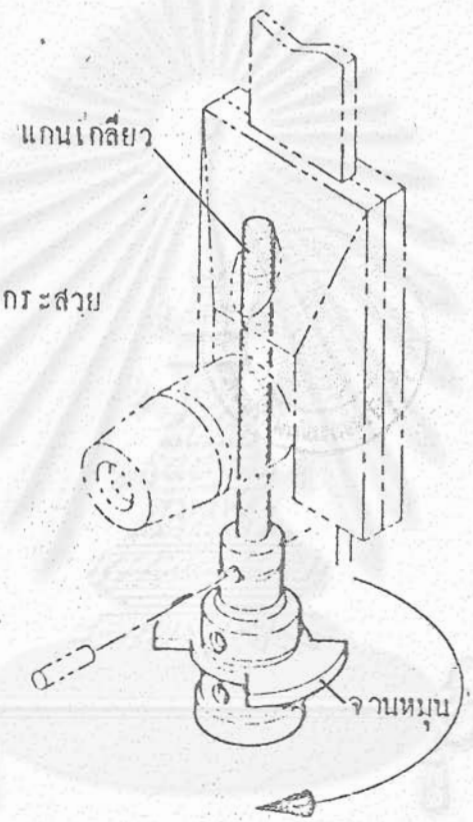
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
0546- READ4
039B- RESET
030C- ROL
0305- ROT
00BA- ROTATE
0456- RUN
0460- RUN1
0254- SAM
02BB- SAM1
02BD- SAM2
035C- SAM3
03B5- SAM4
03BC- SAM5
03C9- SAM6
03D9- SAM7
03FE- SAM8
0477- SAM9
0326- SC1
0328- SC2
0331- SC3
0323- SCAN
033E- SCAN1
0436- SEGTAB
06F1- SENS1
06F6- SENS2
06E6- SENSOR
0394- SET
008B- SHR4
087C- STA
0885- STAR
0449- START
0827- START1
0867- START2
0869- START3
0737- STEP
0741- STEP1
074A- STEP2
0821- STOP
00A4- SUB1
00A5- SUB2
0416- TABLE
031C- THREE
0608- TON1
060B- TON2
05FA- TONE
05F8- TONE1K
05F4- TONE2K
04B2- TOP
04B8- TOP1
088C- VOL
03AA- VOL1
03A2- VOLBCD
0873- XX

0000 ERRORS IN ASSEMBLY
```

ภาคผนวก (ข)

รูปของระบบขับเคลื่อนลูกสูบ



รูปที่ (ข) รูปของระบบขับเคลื่อนลูกสูบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย