



วิทยานิพนธ์

การศึกษาและพัฒนาเครื่องจ่ายหยดของเหลวขนาดเล็ก

**STUDY AND DEVELOPMENT OF A SMALL LIQUID
DISPENSER**

นายกฤต ฝันเขียน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา

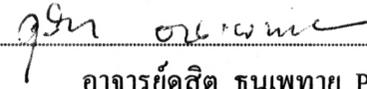
เรื่อง การศึกษาและพัฒนาเครื่องจ่ายหยดของเหลวขนาดเล็ก

Study and Development of a Small Liquid Dispenser

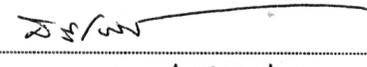
นามผู้วิจัย นายกฤต ฝืนเขียน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

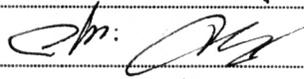
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


(อาจารย์ผู้คิด ธนเพทาย, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา


(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงค์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 28 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาและพัฒนาเครื่องจ่ายหยดของเหลวขนาดเล็ก

Study and Development of a Small Liquid Dispenser

โดย

นายกฤต ฝืนเขียน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2551

กฤต ฝันเขียน 2551: การศึกษาและพัฒนาเครื่องจ่ายหยดของเหลวขนาดเล็ก ปฏิญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์คูสิต ธนเพทาย, Ph.D.
122 หน้า

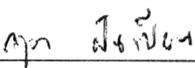
งานวิจัยนี้กล่าวถึงการออกแบบเครื่องหยดจ่ายของเหลวขนาดเล็ก สำหรับการหยด
ของเหลวที่มีปริมาตรน้อยเพื่อประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบ
แบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนที่เป็นระบบนิวแมติกส์ใช้สำหรับควบคุมการหยดจ่ายของเหลว
ส่วนที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้คุมระบบนิวแมติกส์ และส่วนการ
ออกแบบโปรแกรมเพื่อกำหนดหน้าที่การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากสร้าง
อุปกรณ์ตามที่ออกแบบไว้แล้ว ทำการทดลองทดสอบระยะเวลาในการเปิดปิด โซลินอยด์วาล์วเพื่อ
หาความสัมพันธ์เทียบกับปริมาตรของหยดของเหลว นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาสมการ
ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาตร สำหรับนำไปใช้หาค่าเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาตร
ของเหลวตามต้องการ

กฤต ฝันเขียน
ลายมือชื่อนิสิต

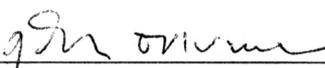
กฤษ ธรณเพทาย 17, 2551
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Krit Funsian 2008: Study and Development of a Small Liquid Dispenser. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Mr. Dusit Thanapatay, Ph.D. 122 pages.

This paper describes a design of liquid drops dispensing machine for usage in electronics industries. There are three parts to the design; a part involving pneumatics, a part involving electronics and a part involving microcontroller programming. The pneumatics system controls the liquid drops dispensing unit. The electronics part using microcontroller controls the pneumatic system. And the microcontroller program gives orders to the microcontroller. After completing the design and implement, a test experiment has been done to find a relationship between opening and closing time of solenoid valve and the volume change. The results are used for analysis of a mathematical model to evaluate time to determine the volume.



Student's signature

 17/ 50/ 2551

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์คุสิต ธนพิทย ประธานกรรมการที่ปรึกษา สำหรับคำปรึกษาและเสียสละเวลาในการอธิบายข้อสงสัยของข้าพเจ้าอย่างแจ่มแจ้งทุกประการ ตลอดจนการตรวจสอบและแนะนำสำหรับการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล สำหรับการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณบริษัท Integrated Supplies CO, LTD ที่สนับสนุนทุนวิจัย

ข้าพเจ้าขอกราบพระคุณคุณพ่อเขียนอิน ฝั้นเขียน, คุณแม่นันทนา ฝั้นเขียน สำหรับกำลังใจที่มีให้เสมอมาและส่งเสียให้ข้าพเจ้าเรียนถึงปัจจุบัน และเป็นแรงบันดาลใจที่ยิ่งใหญ่สำหรับการก้าวต่อไปข้างหน้า

ขอขอบคุณคุณมณูญ บุญย์ประมุขสำหรับคำแนะนำการนำธรรมชาติ มาใช้ในชีวิตประจำวันทำให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจ คุณสุทธินันท์ ลิ้มทอง สำหรับคำแนะนำเรื่องกระบวนการเรียนมหาบัณฑิต และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนในห้องวิจัยที่สร้างเสียงหัวเราะให้กับข้าพเจ้า

กฤต ฝั้นเขียน
กุมภาพันธ์ 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
ระบบนิวแมติกส์เบื้องต้น	5
เครื่องอัดอากาศ (Air compressor)	5
ถังเก็บลมอัด (Air reservoir)	6
ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด (Air service)	7
วาล์วควบคุมทิศทาง(Direction Valve)	9
การหยดของเหลว	9
การใช้ไฟฟ้าในการควบคุมอุปกรณ์นิวแมติกส์	11
การรักษาแรงดันของโซลินอยด์ให้คงที่	11
ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบทางด้าน โปรแกรม	13
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	15
การออกแบบทางด้านนิวแมติกส์	15
การออกแบบทางด้านไฟฟ้า	16
วงจรจ่ายไฟ 12 และ 5 โวลต์	17
จอ LCD	19
RS232	21
ตัวแยกทางแสง	22
วงจรขับ โซลินอยด์	24
การออกแบบทางด้าน โปรแกรม	24
โปรแกรมติดต่อ LCD	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
โปรแกรมการนัดเวลา	31
การอ่านเขียนข้อมูลในหน่วยความจำ	54
การรับอินพุต	58
การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก	60
การเปรียบเทียบค่า	62
การคำนวณ	64
โปรแกรมหลัก	69
ผลและวิจารณ์	85
ผล	85
วิจารณ์	101
สรุปและข้อเสนอแนะ	117
สรุป	117
ข้อเสนอแนะ	117
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	118
ภาคผนวก	119
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	122

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าที่ได้จากการทดลองหยดจ่ายน้ำแปรผันตามเวลา	103
2	ค่าน้ำหนักยกกำลังสอง	104
3	ตารางแสดงค่า F จากการศึกษาการแปรปรวนร่วม	106
4	แสดงปริมาตรและแรงที่กระทำต่อหยดของเหลว	113
5	ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักที่วัดได้	114
6	นำน้ำหนักจากตารางที่ 5 มายกกำลังสอง	114
7	ตารางความแปรปรวนร่วมของการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางเข็ม	115
ตารางผนวกที่		
1	ตารางค่าวิกฤต ของ F ที่ระดับ 0.01	120

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภาพโดยรวมของระบบ	4
2	เครื่องอัดอากาศลูกสูบชั้นเดียว	5
3	ถังเก็บลมอัด	6
4	ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด ไม่มีชุดผสมน้ำมันหล่อลื่น	7
5	ชุดกรองลมอัด	8
6	ชุดปรับความดัน	8
7	โซลินอยด์วาล์ว	9
8	แสดงถึงแรงที่กระทำต่อระบบภายในหลอดหยดของเหลว	10
9	แสดงวงจรและแรงดันตกคร่อมโซลินอยด์วาล์ว	11
10	แสดงวงจรที่เพิ่มFlywheelไดโอดและแรงดันตกคร่อมโซลินอยด์วาล์ว	12
11	วงจรขับโซลินอยด์ที่ได้รับการปรับแก้แล้ว	12
12	แสดงแผนผังการทำงานของ Double Dabble	13
13	แสดงถึงวงจรทางด้านนิวแมติกส์	15
14	แผนผังแสดงถึงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์	17
15	แสดงการต่อวงจรจ่ายแรงดัน 12 โวลต์	18
16	แสดงการต่อวงจรจ่ายแรงดัน 5 โวลต์	19
17	แสดงแผนผังการทำงานภายใน LCD	20
18	วงจรการต่อLCD	21
19	แสดงภายในของวงจรรวม MAX232	22
20	แสดงวงจรแยกทางแสง	23
21	วิธีการเชื่อมต่อระหว่าง LCD กับไมโครคอนโทรลเลอร์	25
22	แสดงการทำงานการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ LCD	26
23	วิธีการส่งค่าควบคุมให้กับLCD	27
24	แสดงการส่งตัวอักษรให้กับ LCD	28
25	การเลือกบรรทัดการแสดงผล	29

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	การแสดงตัวอักษรซึ่งเก็บไว้ใน FLASH MEMORY บรรทัดบน	30
27	การแสดงตัวอักษรซึ่งเก็บไว้ใน FLASH MEMORY บรรทัดล่าง	31
28	แสดงการหน่วงเวลา 100 ไมโครวินาที	33
29	แสดงการหน่วงเวลา 4.1 มิลลิวินาที	34
30	แสดงการหน่วงเวลา 10 มิลลิวินาที	35
31	แสดงการหน่วงเวลา 100 มิลลิวินาที	36
32	แสดงการหน่วงเวลา 1 วินาที	37
33	แสดงการหน่วงเวลา 10 วินาที	39
34	แสดงการหน่วงเวลา 100 วินาที	40
35	แสดงการหน่วงเวลาในการกดปุ่ม	41
36	แสดงแผนผังการหน่วงเวลาการเปิดปิด โซลีนอยด์วาล์ว	42
37	การหน่วงเวลาในไบต์ต่ำ	42
38	การหน่วงเวลา 95 ไมโครวินาที	43
39	การหน่วงเวลาในไบต์กลาง	43
40	การหน่วงเวลา 25595 ไมโครวินาที	44
41	การหน่วงเวลาในไบต์สูง	45
42	การหน่วงเวลา 6553595 ไมโครวินาที	46
43	แสดงแผนผังการหน่วงเวลาการเปิดปิด โซลีนอยด์วาล์วทั้งหมด	47
44	แสดงการหน่วงเวลาการหยดจ่ายของเหลวอัตโนมัติ	48
45	แสดงแผนผังการหน่วงเวลาอัตโนมัติในไบต์ต่ำ	48
46	แสดงแผนผังการหน่วงเวลาในไบต์กลางต่ำ	49
47	แสดงแผนผังการหน่วงเวลาในไบต์กลางสูง	49
48	แสดงแผนผังการหน่วงเวลาในไบต์สูง	50
49	การหน่วงเวลา 99995 ไมโครวินาที	51
50	แสดงการหน่วงเวลา 25599995 ไมโครวินาที	52

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	แสดงการหน่วงเวลา 6553599995 ไมโครวินาที	53
52	แสดงแผนผังการหน่วงเวลา 1677721599995 ไมโครวินาที	54
53	การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำประเภท FLASH	55
54	การอ่านข้อมูลจาก EEPROM	56
55	การเขียนข้อมูลสู่ EEPROM	57
56	การรับค่าอินพุตจากสวิทช์	59
57	ตรวจสอบลำดับปุ่มที่โดนกด	60
58	การส่งข้อมูลผ่าน โปรโตคอล RS232	61
59	การรับข้อมูลผ่าน โปรโตคอล RS232	62
60	แสดงการเปรียบเทียบว่าค่าสองค่าเท่ากันหรือไม่	63
61	แสดงการบวกค่า 24 บิตกรณีมีการทด	65
62	แสดงการลบค่า 24 บิตกรณีมีการยืม	66
63	แสดงการบวกค่า 32 บิตกรณีมีการทด	67
64	แสดงการลบค่า 32 บิตกรณีมีการยืม	68
65	การทำ BCD ให้เป็นตัวเลข	69
66	แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก	70
67	เมนูการทดสอบและบันทึกค่า	71
68	การจ่ายหยดของเหลวและนำค่าน้ำหนักที่ได้มาปรับแก้	72
69	เมนูให้เลือกการตั้งระยะเวลาระหว่างหยดหรือการเหยียบสวิทช์	73
70	การตั้งค่าปริมาตรที่ต้องการหยดสำหรับการตั้งระยะเวลาระหว่างหยด	74
71	การตั้งระยะเวลาระหว่างหยด	75
72	การหยดจ่ายของเหลวเมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว	76
73	การตั้งค่าปริมาตรที่ต้องการหยดสำหรับการเหยียบสวิทช์	77
74	การหยดจ่ายของเหลวตามปริมาตรสำหรับการเหยียบสวิทช์	78
75	ระบบรอรับการใช้งาน	79

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
76	การเลือกให้ใช้ระบบการตั้งเวลาระหว่างหยุด	80
77	การตั้งเวลาระหว่างหยุด	81
78	การตั้งเวลาการเปิด โซลีนอยด์	82
79	การหยุดจ่ายของเหลวเมื่อตั้งเวลาระหว่างหยุดไว้แล้ว	83
80	การหยุดจ่ายของเหลวเมื่อมีการเหยียบสวิทช์	84
81	แสดงเครื่องหยุดจ่ายของเหลวที่พัฒนาสำเร็จ	85
82	ตัวอย่างหยุดของเหลวที่ใช้เวลาต่างๆกัน คือ 90ms, 70ms, 50ms, 30ms, 10ms ตามลำดับจากซ้ายไปขวา	86
83	แสดงแรงดันตกคร่อมโซลีนอยด์แล้ว	86
84	แสดงจอ LCD เมื่อเริ่มต้นเปิดเครื่อง	87
85	จอLCDแสดงให้เลือกหยุดจ่ายของเหลวตามปริมาตร	87
86	จอLCDแสดงให้เลือกทดสอบและบันทึกค่า	88
87	จอLCDแสดงหน้าจอการปรับค่าช่วงเวลา	88
88	LCDแสดงการทำงานใน Standby mode	89
89	แสดงหน้าจอ LCD การปรับเวลาเปิดโซลีนอยด์	89
90	แสดงการเพิ่มเวลาการเปิดโซลีนอยด์	89
91	หน้าจอปรับตั้งค่าระยะเวลาระหว่างหยุด	90
92	การปรับระยะเวลาระหว่างหยุด	90
93	หน้าจอปรับตั้งระบบหยุดจ่ายอัตโนมัติหรือใช้เท้าเหยียบปุ่มสวิทช์	91
94	ตั้งค่าให้หยุดจ่ายโดยใช้เท้าเหยียบปุ่มสวิทช์	91
95	การทำงานแบบใช้เท้าเหยียบปุ่ม	91
96	ทำงานด้วยการหยุดจ่ายอัตโนมัติ	92
97	หน้าจอรองรับคำสั่งในระบบการหยุดจ่ายของเหลวตามปริมาตร	92
98	หน้าจอการปรับตั้งค่าปริมาตรของเหลวที่ต้องการหยุดจ่าย	92
99	หน้าจอการเปลี่ยนค่าปริมาตรของเหลวที่การหยุดจ่าย	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
100	หน้าจอการตั้งค่าระยะเวลาระหว่างหยดสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร	93
101	หน้าจอการปรับเปลี่ยนระยะเวลาระหว่างหยดสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร	93
102	หน้าจอการเลือกใช้ระบบอัตโนมัติหรือใช้เท้าเหยียบปุ่มสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร	94
103	หน้าจอเมื่อเลือกใช้ระบบอัตโนมัติสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร	94
104	หน้าจอการทำงานสำหรับใช้เท้าเหยียบสวิทช์สำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร	95
105	หน้าจอการทำงานระบบอัตโนมัติสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร	95
106	หน้าจอการทำงานระบบทดสอบและบันทึกค่า	95
107	หน้าจอการปรับค่าช่วงเวลา	96
108	แสดงการจำลองการทำงานของสัญญาณใน PROTEUS	96
109	โปรแกรมการจำลองการทำงานการส่งค่าน้ำหนักของเครื่องชั่งน้ำหนัก	97
110	เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของน้ำ	97
111	เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 0.2924 Molar	98
112	เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 0.5848 Molar	98
113	เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 0.8772 Molar	99
114	เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 1.1696 Molar	99
115	เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 1.462 Molar	100
116	เมื่อเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มหยดจ่าย	100
117	แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริง	108
118	แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 0.2924 Molar	109
119	แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 0.5848 Molar	109
120	แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 0.8772 Molar	110
121	แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 1.1696 Molar	111
122	แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 1.462 Molar	111
123	แสดงกราฟดูแนวโน้มของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลอดหยดจ่ายกับน้ำหนัก	116

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PWM = Pulse Width Modulation

SVM = Support Vector Machine

การศึกษาและพัฒนาเครื่องจ่ายหยดของเหลวขนาดเล็ก

Study and Development of a Small Liquid Dispenser

คำนำ

เครื่องหยดจ่ายของเหลวขนาดเล็ก เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายของเหลวที่มีปริมาณน้อยๆ เนื่องจากมีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ดังนั้นการเชื่อมต่อตัวอุปกรณ์และแผ่นวงจรนอกจากใช้ตะกั่วในการบัดกรีแล้วยังสามารถใช้ของเหลวที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้ามาเป็นตัวเชื่อม นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในห้องทดลองที่ต้องการจ่ายปริมาณของเหลวที่มีขนาดเล็กได้อีกมากมาย

การควบคุมของเหลวให้มีปริมาณน้อยๆนั้น ใช้แรงดันอากาศและเวลาในการจ่ายแรงดันเป็นตัวแปรในการควบคุม หากกำหนดให้แรงดันที่จ่ายให้กับระบบคงที่ ดังนั้นตัวแปรต้นจะเหลือแค่เวลาในการจ่ายแรงดันเพียงอย่างเดียว การควบคุมเวลาในการจ่ายแรงดันนี้ใช้เทคนิค Pulse Width Modulation (PWM) และเนื่องจากการควบคุมโดย PWM นั้นเป็นการทำงานในระบบดิจิทัล ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในการพัฒนา เนื่องจากสามารถโปรแกรมการทำงานโดยใช้ซอฟต์แวร์ ทำให้การพัฒนาเป็นไปในทิศทางที่ประหยัด

การนำเข้าเครื่องมือชนิดนี้จากต่างประเทศมีราคาที่สูง ดังนั้นการพัฒนาเน้นไปในทางการออกแบบให้เกิดการประหยัดและมีความสามารถในการทำงานไม่ด้อยกว่าของต่างประเทศโดยเพิ่มความสามารถในการทำงานให้มากขึ้น อีกทั้งพัฒนาเครื่องให้มีความเที่ยงตรงที่รับได้ต่อความต้องการใช้งาน รวมทั้งหาอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายอยู่ภายในประเทศ เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมภายในประเทศสามารถผลิตได้เองโดยไม่จำเป็นต้องนำเข้าและมีราคาถูกลงและแก้ไขง่าย ดังเช่นการพัฒนาเครื่องวัดค่าความอิมิตัวของออกซิเจนในเลือดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการระบบนิวแมติกส์ เพื่อให้สามารถหาอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม
2. ศึกษาวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมระบบนิวแมติกส์
3. ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมระบบเครื่องควบคุมปริมาตรการหยดของเหลว
4. ออกแบบวิธีการควบคุมให้เหมาะสมกับเครื่องหยดของเหลว
5. สร้างเครื่องหยดของเหลวด้วยแรงดันลมอัดและทำการทดสอบการใช้งานจริง

การตรวจเอกสาร

เนื่องจากการใช้กาวสำหรับเชื่อมต่อวัสดุเข้าด้วยกันอย่างแพร่หลาย โดยกาวนั้นเป็นทั้งของเหลวและของแข็ง แต่การใช้กาวที่เป็นของเหลวนั้นมีความไม่สะดวกอยู่ประการหนึ่งคือ เตะและเปราะและเปื่อยเน่าได้ง่ายส่งผลให้วัสดุนำมาติดนั้นติดตรงตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากไม่สามารถคุมปริมาตรกาวให้เหมาะสมตามความต้องการใช้งาน การแก้ปัญหาให้สามารถควบคุมการหยดกาวให้ได้ปริมาตรตามต้องการจึงเป็นสิ่งสำคัญ นอกจากกาวแล้ว ของเหลวชนิดอื่นๆที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมก็ประสบปัญหาเช่นเดียวกัน

ในการควบคุมปริมาตรของเหลวให้ได้ตามต้องการนั้น Roxhed *et al.* (2006) ได้เสนอการสร้างและทำการทดสอบการพ่นของเหลวโดยใช้ความร้อนในการกระตุ้น ซึ่งการกระตุ้นด้วยความร้อนสามารถพ่นเป็นวงขนาดเล็กโดยมีขนาดที่กว้างขึ้นจากการพ่นปกติ หลักการทำงานอย่างคร่าวๆคือใช้คุณสมบัติของการสร้างแผ่นบางๆ โดยความร้อนกระจายของเหลวออกไป ผลจากการทดลองพบว่าสามารถขยายวงของเหลวให้มีขนาดประมาณ 101 ไมโครลิตร โดยใช้ความร้อนประมาณ 59 องศาเซลเซียส ซึ่งระบบนี้ไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากของเหลวที่ใช้เป็นสารที่มีความหนืดสูง อาทิเช่นกาวหรือซิลิโคน

ดังนั้นการใช้ระบบซึ่งใช้แรงดันอากาศเป็นต้นกำลังในการหยดจ่ายของเหลวเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งมีความเหมาะสม และเนื่องจากระบบซึ่งใช้แรงดันอากาศเป็นต้นกำลังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความปลอดภัย สามารถปล่อยแรงดันหรืออากาศส่วนเกินเข้าสู่บรรยากาศได้อย่างสะดวก แหล่งทรัพยากรคืออากาศธรรมดาซึ่งมีอยู่ทั่วไปส่งผลให้เกิดความประหยัด ที่สำคัญคือมีความเร็วในการทำงานที่สูง สามารถควบคุมแรงดันและความเร็วได้อย่างแม่นยำ โดยอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานมีราคาไม่สูงมากนัก และด้วยเหตุผลนี้เองการนำแรงดันอากาศมาควบคุมปริมาตรของเหลว จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

เครื่องหยดจ่ายของเหลวขนาดเล็กซึ่งใช้แรงดันอากาศเป็นต้นกำลังนั้น ซึ่งมีใช้ในประเทศนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งเครื่องที่นำเข้ามาในระบบส่วนใหญ่ควบคุมด้วยวงจรรวมซึ่งสั่งเข้ามาเป็นกรณีเฉพาะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตมีราคาสูงและโรงงานอุตสาหกรรมยังคงมีความต้องการเครื่องหยดจ่ายขนาดเล็กอยู่ โดยเครื่องหยดจ่ายของเหลวที่มีในตลาดขณะนี้ เป็นเครื่องหยดจ่ายซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้หลักการเปิดโซลินอยด์ตามเวลาที่ต้องการเพื่อให้ได้ของเหลวตามต้องการ โดยความละเอียดในการปรับเวลามีค่าประมาณ 10 มิลลิวินาที

การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำงานแทนวงจรรวมซึ่งผลิตมาใช้งานเฉพาะงานนั้นเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสม เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมด้วยโปรแกรมดังนั้นจึงมีความยืดหยุ่นสูงในการทำงานบวกกับการแก้ไขปรับแต่งกระทำได้ง่ายสำหรับการพัฒนา และมีราคาประหยัด ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ปัจจุบันมีความสนใจกันอย่างกว้างขวาง ดังนั้นการพัฒนาเครื่องหยดจ่ายของเหลวขนาดเล็กซึ่งใช้หลักการของความดันอากาศโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมให้ได้ผลตามต้องการจึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจในงานวิจัย

ในภาพรวมของการพัฒนานั้นแบ่งออกเป็นสามส่วนที่สำคัญคือส่วนนิวมेटริกส์ ส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนโปรแกรม ดังภาพที่ 1 โดยส่วนนิวมेटริกส์นั้นควบคุมความดันและการหยดจ่ายของเหลว โดยส่งความดันตามจังหวะการเปิดปิดโซลินอยด์ทำให้ของเหลวโดนดันออกด้วยแรงดันอากาศ ส่วนอิเล็กทรอนิกส์นั้นทำหน้าที่ควบคุมโซลินอยด์ว่าล้าให้เปิดปิดตามแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งประมวลผลและทำงานตามคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 1 แผนภาพโดยรวมของระบบ

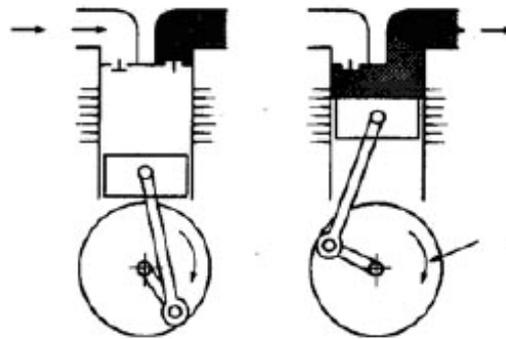
จากข้อมูลทีกล่าวมาในข้างต้น แนวทางพัฒนาจะเน้นไปในทางวิธีควบคุมระบบการหยดของเหลว โดยการใช้วิธีการควบคุมแรงดันอากาศเพื่อเป็นแรงขับเคลื่อนของเหลวออกจากกระบอกบรรจุของเหลวและใช้ระบบไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมแรงดันอากาศอีกทีหนึ่ง การใช้แรงดันอากาศเป็นต้นกำลังคือระบบนิวมेटริกส์ ซึ่งระบบนิวมेटริกส์นั้นได้รับการค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวาง โดยแบ่งอุปกรณ์การใช้งานเป็นส่วนย่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ต้นกำเนิดแรงดันลม อุปกรณ์ทำความสะอาด และอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมให้คงที่รวมไปทั้งอุปกรณ์ที่ควบคุมการปิดเปิดลม นอกจากนี้การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมระบบนิวมेटริกส์ให้มีความ

เหมาะสมและมีขนาดที่ไม่ใหญ่มากนักเพื่อที่และควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพ ดังนั้นแสดงถึงรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

ระบบนิวแมติกส์เบื้องต้น

เครื่องอัดอากาศ (Air compressor)

เครื่องอัดอากาศหรือปั๊มลมเป็นอุปกรณ์ที่นำอากาศจากภายนอกซึ่งมีแรงดันปกติมาทำให้มีแรงดันสูงขึ้น เพื่อนำไปใช้งานต่างๆ เครื่องอัดอากาศต้องอัดอากาศมีแรงดันเพียงพอที่จ่ายให้กับระบบทั้งหมด โดยปกติแบ่งออกเป็นชนิดเคลื่อนที่และติดตั้งถาวร โดยทั่วไปแล้วใช้เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบชั้นเดียว มีความดันประมาณ 4-10 บาร์ (ฐิฑาริฑี, 2549)

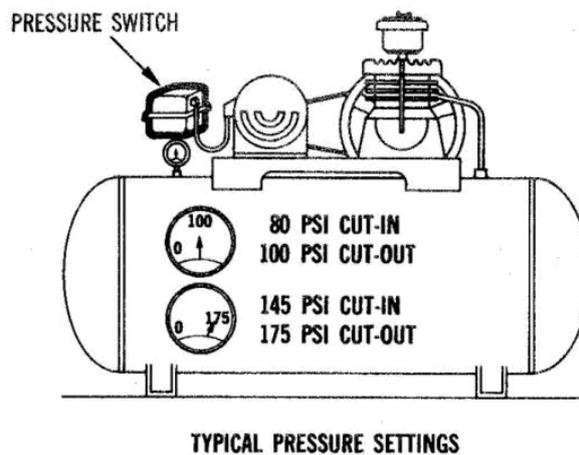


ภาพที่ 2 เครื่องอัดอากาศลูกสูบชั้นเดียว

จากภาพที่ 2 ทางด้านซ้ายเห็นได้ว่าเมื่อลูกสูบเหวี่ยงไปด้านล่างอากาศถูกดูดเข้ามาทางลิ้นลมเข้าและส่วนลิ้นลมออกถูกปิดเพื่อไม่ให้ลมรั่วไหลออกไป เมื่อข้อเหวี่ยงเหวี่ยงลูกสูบขึ้นไปด้านบนลิ้นลมออกถูกดันให้เปิดออก ส่วนทางด้านลิ้นลมเข้าปิดตัวลงส่งผลให้อากาศภายในกระบอกสูบถูกดันให้ปล่อยออกไปทางด้านลิ้นลมออกทั้งหมด (ฐิฑาริฑี, 2549) ดังภาพที่ 2 ทางด้านขวามือ

ถังเก็บลมอัด (Air reservoir)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กักเก็บลมอัดที่เครื่องอัดอากาศผลิตออกมา(ภาพที่ 3) รักษาความดัน ปริมาณลมอัดให้เพียงพอต่อการใช้งาน จ่ายลมอัดให้ได้แรงดันที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ รวมไปถึงการ ระบายความร้อนให้กับลมอัด โดยตัวถังแบ่งออกเป็นแนวนอนและแนวตั้งโดยแนวนอนใช้กับ แรงดันต่ำๆ ส่วนแนวตั้งมักใช้กับแรงดันอากาศสูงๆ โดยปกติแล้วจะประกอบด้วย วาล์วควบคุม ความปลอดภัยสำหรับใช้ในการระบายลมอัดทิ้งไปเมื่อมีแรงดันสูง เกจวัดความดันเพื่อวัดความดัน ภายในถัง วาล์วระบายน้ำใช้ระบายน้ำที่กลั่นตัวในถังลมอัดทิ้ง วาล์วเปิดปิดเพื่อจ่ายลมอัด วาล์ว บังคับให้อากาศเดินทางเดียว(Check valves) ใช้เพื่อไม่ให้อากาศไหลย้อนกลับไปยังเครื่องอัดอากาศ (จิฑารีย์, 2549)



ภาพที่ 3 ถังเก็บลมอัด

ช่วงเวลาที่ถังสามารถจ่ายอากาศได้คำนวณดังนี้

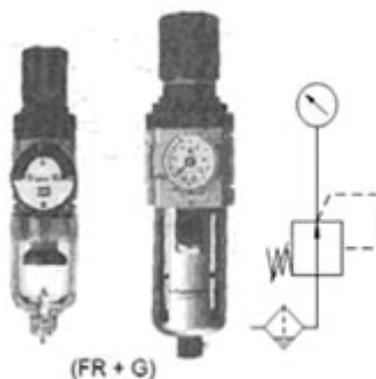
$$t = \frac{V(P_{\max} - P_{\min})}{14.7Q} \quad (1)$$

โดยที่

t	=	เวลา (min)
V	=	ปริมาตรถัง (ft ³)
P _{min}	=	แรงดันสูงสุดของถัง (psi)
P _{max}	=	แรงดันต่ำสุดของถัง (psi)
Q	=	อัตราการไหล(ft ³ /min)

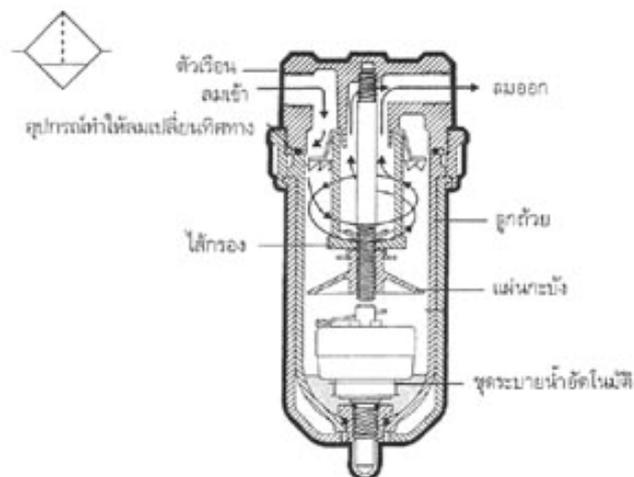
ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด (Air service)

เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมและปรับปรุงลมอัดก่อนการใช้งาน(ภาพที่ 4) ประกอบด้วยชุดกรองลมอัด (Air filter) ย่อด้วยสัญลักษณ์ F ทำหน้าที่หลักคือการกรองสิ่งปนเปื้อนออกจากอากาศ ชุดปรับความดัน (Air regulator) ย่อด้วยสัญลักษณ์ R ใช้ตั้งค่าความดันให้มีความดันตามต้องการ ติดตั้งที่ต้นสายก่อนจ่ายเข้าสู่ระบบ เกจวัดความดัน (Pressure gauge) ย่อด้วยสัญลักษณ์ G ใช้ในการระบุความดันในระบบ และชุดผสมน้ำมันหล่อลื่น (Air lubricator) ย่อด้วยสัญลักษณ์ L มีหน้าที่ส่งละอองน้ำมันไปหล่อลื่นอุปกรณ์ โดยที่ระบบที่มีขนาดเล็กมักไม่มีชุดผสมน้ำมันหล่อลื่น (ฐิตารีย์, 2549)



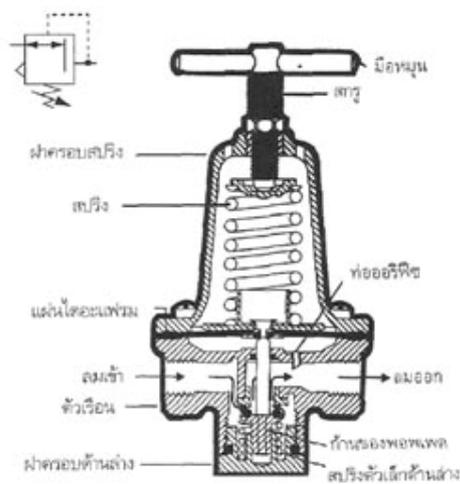
ภาพที่ 4 ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด ไม่มีชุดผสมน้ำมันหล่อลื่น

ปกติอากาศที่นำมาใช้งานนั้นมักมีน้ำและฝุ่นละอองด้วย ดังนั้นควรกรองด้วยชุดกรองลมอัด (ภาพที่ 5) ก่อนนำมาใช้งาน โดยมีหลักการคือเมื่อมีลมผ่านเข้าไปในตัวกรอง ลมจะไหลวนอยู่ในถ้วยกรองทำให้ฝุ่นละอองและน้ำถูกเหวี่ยงให้ติดกับผนังด้านข้างของถ้วยกรอง แล้วจะไหลผ่านไส้กรองเพื่อให้ลมที่ได้มีความสะอาดเพิ่มขึ้นแล้วไหลออกทางรูลมออก ส่วนฝุ่นและน้ำที่ถูกเหวี่ยงให้ติดกับผนังด้านข้างเมื่อสะสมมากขึ้นก็ไหลลงด้านล่างของถ้วยกรอง ผ่านชุดระบายน้ำทิ้งระบายน้ำและฝุ่นออกไป (ฐิตารีย์, 2549)



ภาพที่ 5 ชุดกรองลมอัด

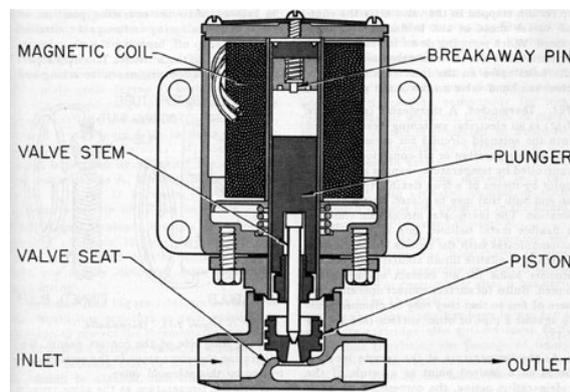
ในชุดปรับความดัน (ภาพที่ 6) นั้น ปรับแรงดันให้มีแรงดันคงที่โดยปกติแล้วมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6 บาร์ สำหรับชุดควบคุมความดันที่ไม่มีการระบายความดันผ่านบรรยากาศนั้น มีหลักการทำงานคือ เมื่อมีลมผ่านเข้าไปถึงด้านล่างของตัวปรับความดันเห็นได้ว่ามีลิ้นควบคุมการเปิดปิด โดยปกติแล้วเมื่อมีความดันต่ำลิ้นเปิดให้อากาศไหลออกไปสู่ทางออกได้เพราะมีแรงดันสปริงดันอยู่ในกรณีที่อากาศมีแรงดันเพิ่มขึ้น ลมส่วนหนึ่งจะไหลเข้าสู่ท่อออริฟิซ(Orifice) ไปดันแผ่นไดอะแฟรมให้ยกตัวสูงขึ้นเพื่อต้านทานกับแรงดันของสปริงทำให้ไม่มีแรงกดเพื่อที่จะเปิดลิ้นให้ลมไหลออก เมื่อไม่มีลมไหลออก ความดันทางด้านลมออกจะต่ำลง (ฐิตารีย์, 2549)



ภาพที่ 6 ชุดปรับความดัน

วาล์วควบคุมทิศทาง(Direction Valve)

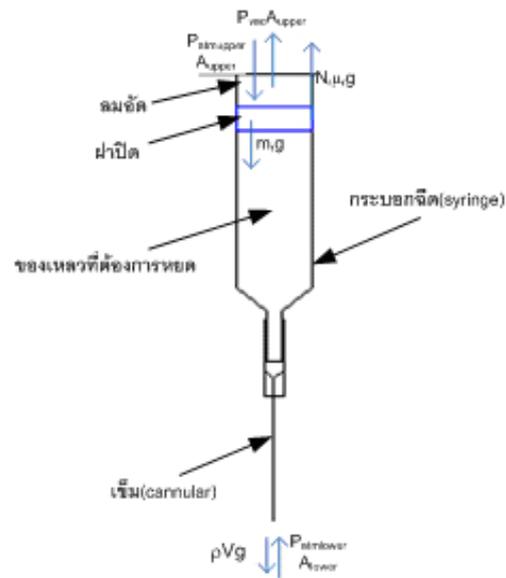
ในการควบคุมด้วยไฟฟ้าใช้วาล์วควบคุมทิศทางที่เรียกว่าโซลินอยด์(Solenoid)(ภาพที่ 7) ใช้สำหรับเปิด-ปิด เปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศ ในการเปิดปิดวาล์วใช้ไฟฟ้าในอุปกรณ์ขนาดเล็กมักใช้ไฟกระแสตรง 12 – 24 V หลักการทำงานคือลื่นทางด้านล่างปิดไม่ให้อากาศจากด้านบนเข้าไปไหลไปทางลมออก เพราะเนื่องจากแรงดันของสปริงดันลื่นให้ปิดตัวลง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปในขดลวดทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กยกลื่นขึ้นทำให้อากาศสามารถไหลจากด้านบนเข้าไปสู่ด้านบนออกได้(ฐิฑาริฑ, 2549)



ภาพที่ 7 โซลินอยด์วาล์ว

การหยดของเหลว

ในการหยดของเหลวจะใช้กระบอกฉีดยาบรรจุของเหลวที่เตรียมไว้ นำฝาปิดกระบอกฉีดยาปิดไว้เพื่อเป็นตัวรับแรงดันอากาศเพื่อไปดันของเหลว ของเหลวจะถูกดันผ่านตัวเข็มฉีดยาให้หยดลงตามปริมาตรที่ต้องการในระบบการหยดจ่ายของเหลวขนาดเล็ก ที่มีของเหลวบรรจุเตรียมไว้ในกระบอกฉีดยา(ภาพที่ 8) สามารถคำนวณหาค่าสมการ ในขณะที่ยังไม่มีการป้อนแรงดันอัดอากาศและระบบยังไม่หยดของเหลวซึ่งได้จากกฎของปาสคาล (Cengel and Cimbala, 2006)



ภาพที่ 8 แสดงถึงแรงที่กระทำต่อระบบภายในหลอดหยดของเหลว

$$P_{vac} A_{upper} - P_{atmupper} A_{upper} - m_r g - \rho V g + N_r \mu_r = -P_{atmlower} A_{lower} \quad (2)$$

เมื่อ

- P_{vac} = ความดันที่เกิดจากเครื่องดูดอากาศ (N/m^2)
 A_{upper} = พื้นที่ของหน้าตัดทางด้านบนของหลอดบรรจุของเหลว (m^2)
 A_{lower} = พื้นที่ของหน้าตัดทางด้านล่างของหลอดบรรจุของเหลว (m^2)
 $P_{atmupper}$ = ความดันบรรยากาศทางด้านบนของหลอดบรรจุของเหลว (N/m^2)
 $P_{atmlower}$ = ความดันบรรยากาศทางด้านล่างของหลอดบรรจุของเหลว (N/m^2)
 m_r = มวลของฝักคของหลอดบรรจุของเหลว (kg)
 g = ความเร่งที่โลกกระทำกับวัตถุ (m/s^2)
 N_r = แรงที่ฝักคของหลอดบรรจุของเหลวกระทำต่อหลอดบรรจุของเหลว (N)
 μ_r = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตของฝักคของหลอดบรรจุของเหลวต่อหลอดบรรจุของเหลว
 ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)
 V = ปริมาตรของของเหลว (m^3)

พิจารณาจากสมการที่ (2) สังเกตได้ว่าของเหลวจะหยุดหรือไม่ ขึ้นกับความหนาแน่นของของเหลว หากมีความหนาแน่นมากอาจเกิดการหยุดที่ไม่ต้องการได้ ดังนั้นให้เพิ่มแรงดันดูดอากาศ F_{vac} เพื่อต้านการหยุดของของเหลว

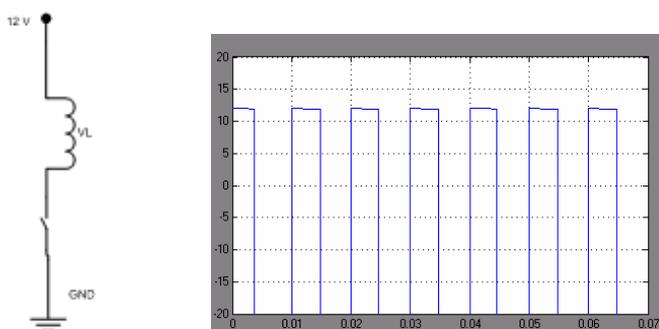
การใช้ไฟฟ้าในการควบคุมอุปกรณ์นิวแมติกส์

ในระบบนิวแมติกส์การควบคุมแบ่งออกเป็น การควบคุมด้วยคน การควบคุมทางกลและการใช้ไฟฟ้าควบคุม การใช้ไฟฟ้าควบคุมเป็นปัจจัยหลักในการพัฒนาเนื่องจากมีความสะดวกและมีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับสองวิธีที่เหลือ เนื่องจากอุปกรณ์ควบคุมการไหลของลมอัดคือ โซลินอยด์ซึ่งควบคุมด้วยไฟฟ้า ภายในประกอบไปด้วยอุปกรณ์จำพวกแม่เหล็กและแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นขดลวด เมื่อทำงานมีใช้กำลังงานไฟฟ้าที่สูง ดังนั้นวงจรที่ใช้งานกับอุปกรณ์โซลินอยด์ต้องมีความสามารถในการทนกำลังไฟฟ้าที่เพียงพอ

การรักษาแรงดันของโซลินอยด์ให้คงที่

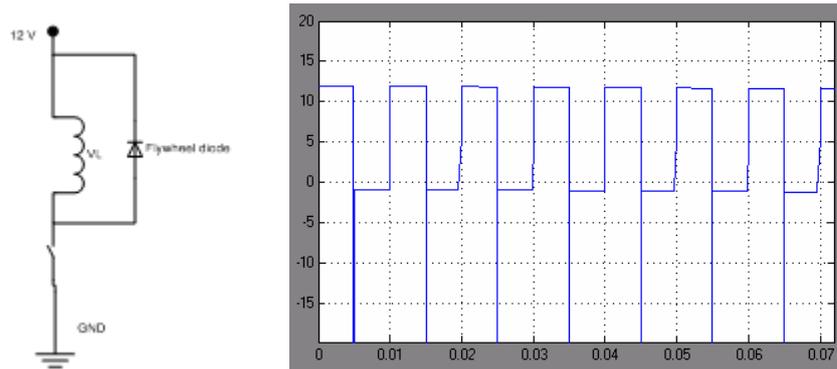
เนื่องจากโซลินอยด์วาล์วเป็นขดลวด (Boylestad and Nashelsky, 2006) ลักษณะการทำงานคล้ายกับตัวเหนี่ยวนำ จึงพยายามรักษากระแสให้คงที่ และสืบเนื่องจากการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว ในการพัฒนานี้ มีเทคนิคควบคุมแบบดิจิตอลจึงส่งผลให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำสูงมากจนอาจทำลายอุปกรณ์กึ่งตัวนำตัวข้างเคียง ซึ่งคิดได้ตามจากสมการที่ 3

$$V = L \frac{di}{dt} \quad (3)$$



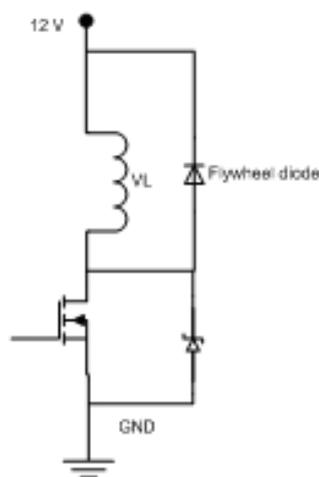
ภาพที่ 9 แสดงวงจรและแรงดันตกคร่อมโซลินอยด์วาล์ว

จากวงจรดังภาพที่ 9 ให้ผลตอบสนองตามกราฟโดยสวิตช์เปิดปิดด้วยคาบ 10 มิลลิวินาที สังเกตได้ว่าแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเมื่อสวิตช์ทำการเปิดวงจรมีค่าติดลบสูงมาก การแก้ไขทำได้โดยเพิ่มไดโอดคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (Flywheel diode) เมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำสูงเกินระดับแรงดัน threshold ของไดโอด ไดโอดจะนำกระแส ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำลดลงเหลือเท่ากับแรงดัน threshold ของไดโอด



ภาพที่ 10 แสดงวงจรที่เพิ่มFlywheel ไดโอดและแรงดันตกคร่อมโซลีนอยด์แล้ว

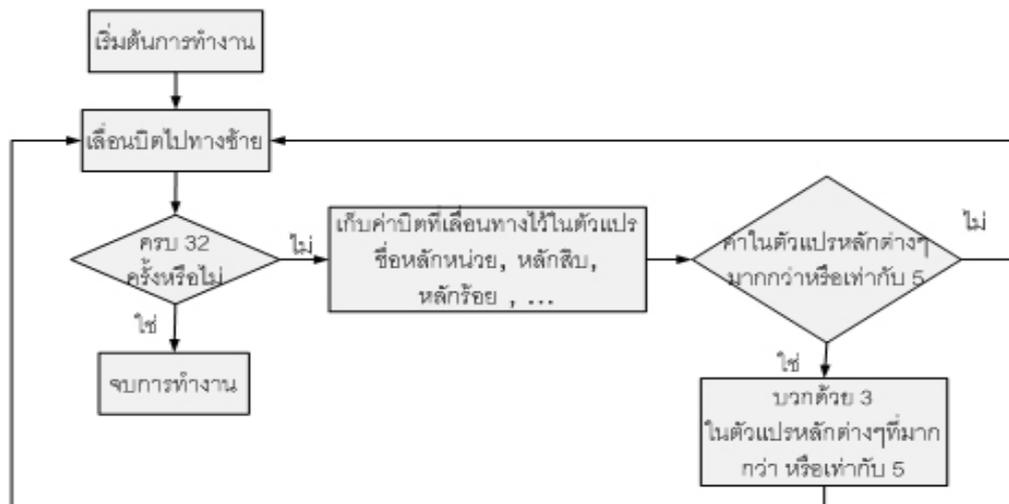
จากภาพที่ 10 กราฟแสดงแรงดันตกคร่อมโซลีนอยด์แล้วยังมีสัญญาณรบกวนแรงดันสูง (spike) อยู่ เพื่อให้แรงดันรบกวนลดลงจึงต้องต่อซีเนอร์ไดโอดคร่อมอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์เพราะเมื่อแรงดันสูงเกิดตกคร่อมในวงจร ซีเนอร์ไดโอดทำงานลัดกระแสลงกราวด์ ในที่ออกแบบวงจรนี้ใช้ MOSFET แทนอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ เพราะมีค่าความต้านทานที่ต่ำในขณะที่นำกระแส



ภาพที่ 11 วงจรขับโซลีนอยด์ที่ได้รับการปรับแก้แล้ว

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบทางด้านโปรแกรม

ในการเปลี่ยนเลขฐานสองซึ่งใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ไปเป็นเลข BCD (Binary Coded Decimal) เพื่อส่งออกไปแสดงค่าที่จอแสดงผลนั้น ทำได้โดยใช้วิธีการ Double Dabble ในการเปลี่ยนเลขฐานสอง 8 บิตเป็นเลข BCD สำหรับการเขียนแปลงเลขฐานสอง 32 บิตทำได้ดังแผนผังในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงแผนผังการทำงานของ Double Dabble

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

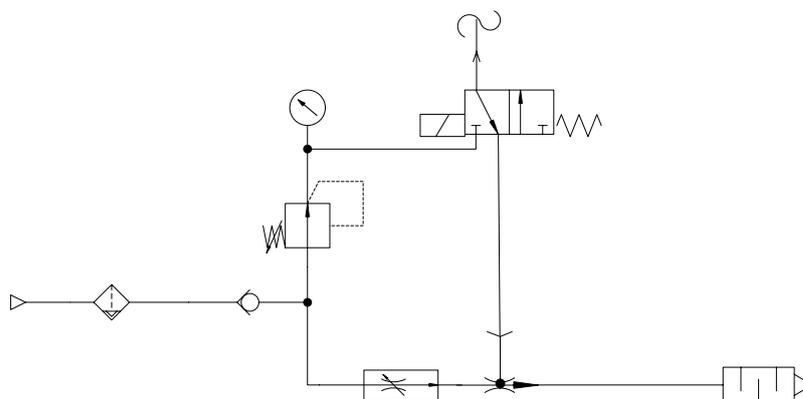
1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 4 2.4 GHz, 512 MB of RAM
2. คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก Pentium M 1.6 GHz, 512 MB of RAM
3. ซอฟต์แวร์ MATLAB 7.0
4. ซอฟต์แวร์ ORCAD
5. ซอฟต์แวร์ Protel
6. Power Supply
7. อุปกรณ์นิวแมติกส์
8. อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

วิธีการ

ในการทดลองนั้น เริ่มจากออกแบบวงจรทางด้านนิวแมติกส์เพื่อควบคุมความดันอากาศให้ได้ความดันที่ต้องการ เมื่อได้ความดันที่ต้องการแล้วจึงใช้โซลินอยด์วาล์วเป็นตัวควบคุมเวลาเปิดปิดในการหยดจ่ายความดัน เมื่อได้ระบบทางด้านนิวแมติกส์แล้ว จึงออกแบบทางด้านไฟฟ้าเพื่อให้ระบบไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมโซลินอยด์วาล์วซึ่งเป็นระบบทางด้านนิวแมติกส์ ในทางด้านไฟฟ้านั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลและควบคุมสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ในการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว ส่วนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง คำสั่งซึ่งอยู่ภายในหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเขียนและพัฒนาด้วยภาษาแอสเซมบลี ในการออกแบบทางด้านโปรแกรม ซึ่งเห็นได้ชัดว่าการพัฒนานั้นแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆคือ การออกแบบวงจรทางด้านนิวแมติกส์ การออกแบบวงจรควบคุมทางด้านไฟฟ้า การออกแบบโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบทางด้านนิวแมติกส์

การออกแบบทางด้านนิวแมติกส์ ต้องควบคุมความดันให้คงที่ และสามารถปล่อยความดันตามเวลาที่กำหนด ซึ่งสัญญาณเวลาได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลแบบ PWM ให้กับโซลินอยด์วาล์ว นอกจากนั้นต้องใช้ความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศเพื่อป้องกันของเหลวไม่ให้หยดจากกระบอกจ่ายของเหลวในขณะที่ไม่ได้ป้อนความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ โดยต่อวงจรดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงถึงวงจรทางด้านนิวแมติกส์

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 13 เห็นได้ว่าออกแบบให้อากาศที่ใช้นำมาจากเครื่องอัดอากาศ ซึ่งเก็บความดันลมไว้ในถังเก็บอากาศ ส่งผ่านท่อ นำมากรองน้ำหรือของเหลวที่ไม่ต้องการทิ้งที่ชุดกรองอากาศเบื้องต้น เมื่ออากาศที่ได้มีความสะอาดแล้ว นำผ่านชุดให้อากาศไหลได้ทางเดียวเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศไหลย้อนกลับกลับไปถังเก็บอากาศ แยกอากาศใช้งานเป็นสองฝั่ง ฝั่งหนึ่งใช้ในการขับเคลื่อนของเหลวให้หยุด ส่วนอีกฝั่งหนึ่งนั้นใช้ในการทำความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

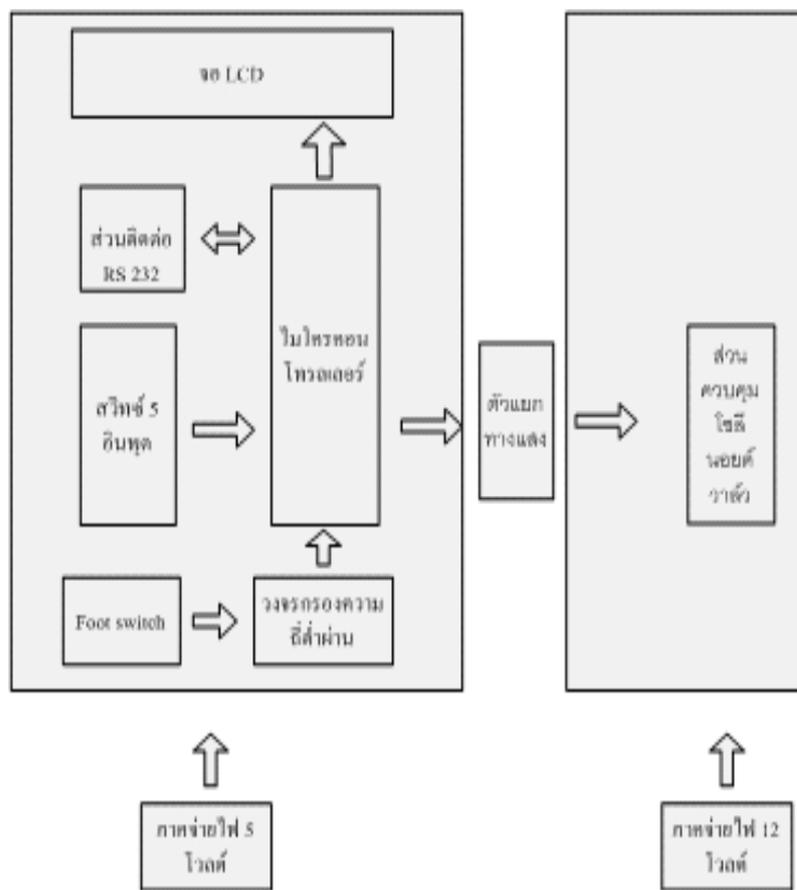
ทางด้านความดันอากาศที่ใช้หยุดของเหลว นั้น ใช้วาล์วปรับลดความดันชนิดปรับได้เพื่อปรับความดันอากาศที่ใช้ในการขับเคลื่อนกระบอกบรรจุของเหลวให้ได้ตามความต้องการ ซึ่งสามารถดูความดันที่ต้องการควบคุมได้ที่เกจวัดความดันอากาศ ความดันอากาศที่ได้ถูกนำไปป้อนให้กับโซลินอยด์วาล์วเพื่อรอปถ่ายความดันให้กับกระบอกหยุดของเหลว

ส่วนทางด้านการทำงานความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศนั้น ใช้วาล์วควบคุมการไหลเป็นตัวควบคุมความเร็วของการไหลอากาศเพื่อไปสร้างความดันต่ำที่อุปกรณ์สร้างสุญญากาศ ให้เกิดความดันที่ต่ำกว่าความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

ในขณะที่โซลินอยด์เปิดนั้น ความดันอากาศที่ผ่านชุดปรับความดันจะจ่ายให้กับกระบอกหยุดของเหลวซึ่งที่ต่อผ่านท่อแบบสวมเร็ว เมื่อโซลินอยด์หยุดทำงาน แรงดันที่ต่ำกว่าแรงดันบรรยากาศก็เป็นตัวดึงไม่ให้ของเหลวหยุด เพราะน้ำหนักของเหลวเมื่อความเข้มข้นมากก็จะมีน้ำหนักมากขึ้นด้วย

การออกแบบทางด้านไฟฟ้า

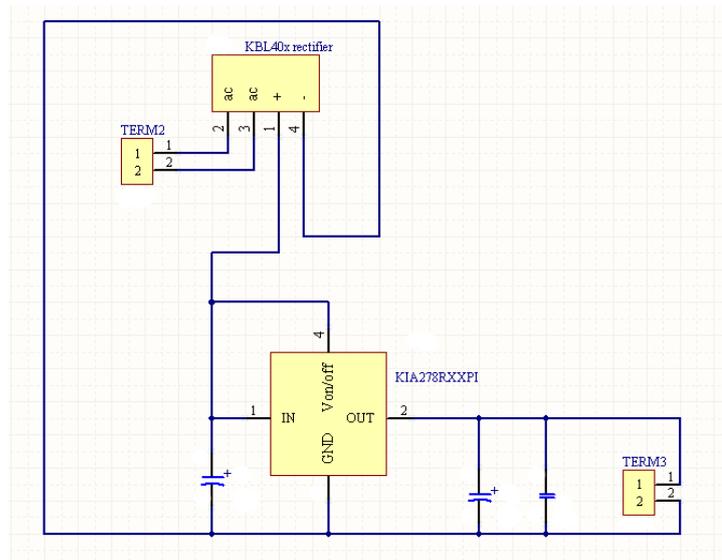
ทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ต่อวงจรดังไดอะแกรมภาพที่ 14 โดยแยกแหล่งจ่ายเป็นสองแหล่งคือ 12 โวลต์ และ 5 โวลต์ ด้วยเหตุว่าโซลินอยด์วาล์วทำงานที่แรงดัน 12 โวลต์ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้างทำงานที่แรงดัน 5 V หลักการทำงานทำโดยค่าที่ได้จากสวิทช์ส่งผ่านไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล เพื่อเลือกรูปแบบการทำงานและแสดงผลของรูปแบบการทำงานที่จอแสดงผลแบบ LCD โดยรูปแบบวิธีการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ถูกกำหนดด้วยโปรแกรมซึ่งฝังตัวภายในไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 14 แผนผังแสดงถึงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์

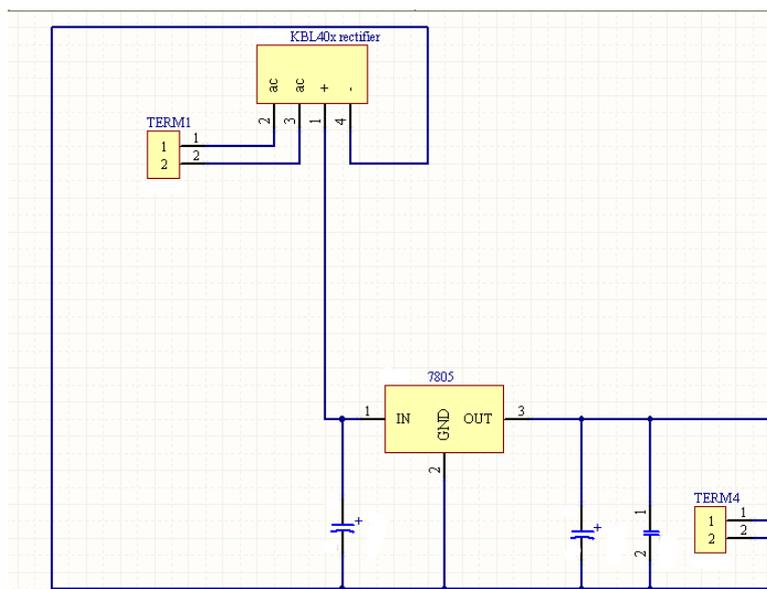
วงจรจ่ายไฟ 12 และ 5 โวลต์

ในวงจรจ่ายไฟ 12 โวลต์นั้น การแปลงไฟสลับมาเป็นไฟกระแสตรงใช้ไดโอดต่อกันเป็นวงจรบริดจ์ เพื่อความประหยัดเนื้อที่และความสะดวกจึงเปลี่ยนมาใช้วงจรรวมแทนซึ่งเบอร์ที่ใช้คือ KBL404 ซึ่งทนแรงดันได้ 280 V จ่ายกระแสได้ 4 แอมแปร์ เมื่อได้แรงดันเต็มคลื่นมา ควรปรับค่าแรงดันกระแสเพื่อไม่ให้ลดลงโดยใช้ตัวเก็บประจุต่อคร่อมเอาท์พุทกับกราวด์ นำค่าแรงดันที่ได้เข้าสู่วงจรรักษาระดับแรงดัน ในงานวิจัยนี้ใช้วงจรรวมเบอร์ KIA278R12PI เป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน 12 โวลต์และจ่ายกระแสได้เต็มที่ 2 แอมป์ สาเหตุที่ใช้วงจรรวมเบอร์นี้เป็นเพราะว่าโซลินอยวาล์ว ใช้กระแสประมาณ 400 มิลลิแอมป์ หากใช้วงจรรวมตระกูล 78xx ซึ่งจ่ายไฟได้ประมาณ 500 มิลลิแอมป์ กระแสที่ได้มีค่าน้อยเกินไป หลังจากนั้นต่อตัวเก็บประจุเพื่อลดแรงดันกระแสเพิ่มอีกครั้งก่อนนำไปใช้ ซึ่งดูได้ดังภาพที่ 15 โดย TERM2 เป็นอินพุตไฟสลับ ส่วน TERM3 เป็นเอาท์พุท สำหรับตัวเก็บประจุซึ่งต่อทางด้านอินพุทของ วงจรรักษาระดับแรงดันจะมีค่าประมาณ 470 ไมโครฟารัด สำหรับเอาท์พุทใช้ตัวเก็บประจุสองค่าคือ 220 ไมโครฟารัดและ 0.1 ไมโครฟารัด



ภาพที่ 15 แสดงการต่อวงจรจ่ายแรงดัน 12 โวลต์

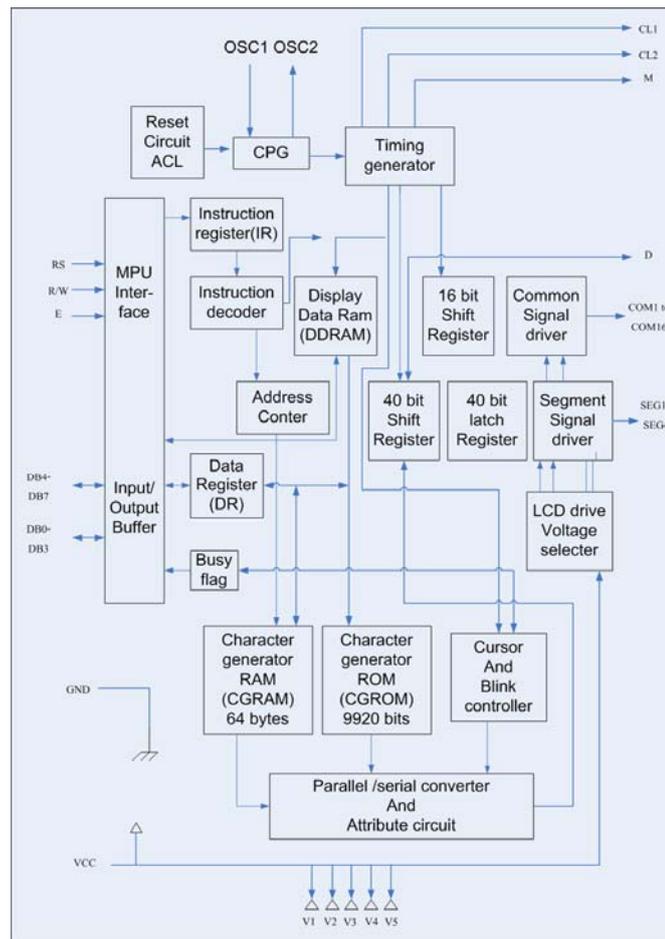
ในทำนองเดียวกับ วงจรจ่ายไฟ 12 โวลต์ใช้วงจรรวมไดโอดบริดจ์เบอร์ KBL404 เป็น วงจรเรียงกระแส ส่วนวงจรรักษาระดับแรงดันใช้วงจรรวมเบอร์ 7805 เป็นวงจรที่รักษาแรงดันให้ คงที่ 5 โวลต์ ปรับค่าแรงดันกระแสเพื่อไม่ให้ลดลงโดยต่อตัวเก็บประจุ ไฟเลี้ยงแรงดัน 5 โวลต์นี้จะจ่าย ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรสวิทช์และจอแสดงผลแบบ LCD ซึ่งดูได้ดังภาพที่ 16 โดยที่ TERM1เป็นอินพุตไฟสลับ ส่วน TERM4 เป็นเอาต์พุต สำหรับตัวเก็บประจุซึ่งต่อทางด้านอินพุต ของ วงจรรักษาระดับแรงดันจะมีค่าประมาณ 470 ไมโครฟารัด สำหรับเอาต์พุตใช้ตัวเก็บประจุสอง ค่าคือ 220 ไมโครฟารัดและ 0.1 ไมโครฟารัดเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 16 แสดงการต่อวงจรจ่ายแรงดัน 5 โวลต์

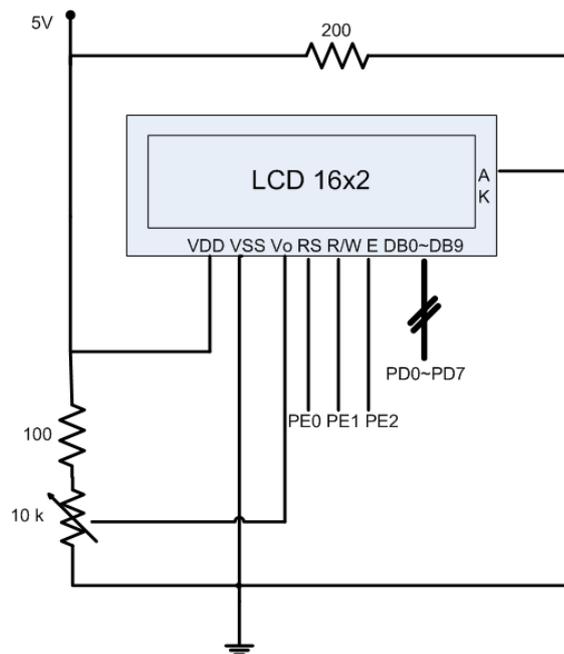
จอ LCD

การแสดงผลให้ผู้ใช้ ใช้จอ LCD เป็นตัวแสดงผล จอ LCD ที่ใช้เป็นจอแสดงผลแบบอักขระ ขนาด 16 ตัวอักษร 2 แถว ซึ่งต่อโดยตรงกับพอร์ต D และพอร์ต E ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยตรง การควบคุมจอ LCD จะควบคุมผ่านวงจรรวมเบอร์ HD44780 โดยทั่วไปวงจรรวมชนิดนี้ จะสร้างมาพร้อมกันกับบอร์ดของจอ LCD เลย ดังนั้นการควบคุมจอ LCD ทั่วไปจะต้องควบคุมผ่านวงจรรวมเบอร์นี้หรือเบอร์ที่ทำงานใกล้เคียงกัน โดยฟังก์ชันการทำงานของวงจรรวมเบอร์นี้มี ลักษณะดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงแผนผังการทำงานภายใน LCD

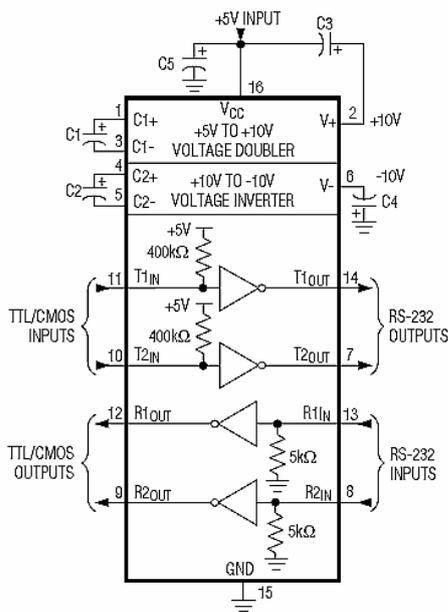
การติดต่อให้ LCD แสดงผล ส่งและรับข้อมูลผ่านเส้นสัญญาณข้อมูล 8 บิต (DB0-DB7) ซึ่งต่อกับพอร์ต D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ (D0-D7) การควบคุมการทำงานของจอ LCD มีเส้นสัญญาณควบคุมทั้งหมด 3 บิต ก็คือ RS R/W และ E ซึ่งต่อโดยตรงกับพอร์ต E0 E1 และ E2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ตามลำดับ การปรับความชัดของตัวอักษรที่แสดงผลบนจอ LCD นั้นปรับโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อให้มีแรงดันไบแอสที่ขา V_0 ของ LCD เมื่อปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทาน ความเข้มและคมชัดของตัวอักษรที่แสดงผลที่จอ LCD จะเปลี่ยนค่าไป ส่วนแสงพื้นหลังของจอ LCD นั้นเป็นแสงจาก LED ซึ่งอยู่ภายใน การเปิดปิดนั้นต่อตัวต้านทานที่ขา A_0 และต่อกราวด์ที่ขา A_1 ส่วนขาที่เหลือของตัวต้านทานนั้นต่อกับสวิทช์และขาอีกด้านของสวิทช์ต่อกับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ในงานวิจัยใช้สวิทช์เพื่อให้ผู้ใช้ทำการควบคุมการติดดับของพื้นหลัง LCD ตามสภาพแสงในการทำงาน ส่วนขา VDD และ VSS ของ LCD ต่อไฟ 5 โวลต์ และ 0 โวลต์ตามลำดับซึ่งดูได้จากภาพที่ 18



ภาพที่ 18 วงจรการต่อLCD

RS232

เนื่องจากการติดต่อด้วยมาตรฐาน แบ่งได้สองส่วนอย่างเห็นได้ชัด คือฝั่งที่ใช้สัญญาณ TTL (5 และ 0 โวลต์) และฝั่งที่ใช้ในการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS232 (+15 และ -15 โวลต์) เพื่อให้ส่งได้ไกลขึ้น การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้จาก 5 โวลต์ไปเป็น 15 โวลต์และ 0 โวลต์ไปเป็น -15 โวลต์ทำได้หลายวิธี เพื่อให้ง่ายในการออกแบบ ในงานวิจัยนี้จึงใช้วงจรรวม MAX232 ในการเปลี่ยนระดับแรงดัน และการเชื่อมต่อกำหนดให้เป็นแบบอะซิงโครนัส และต่อวงจรดังภาพที่ 19 โดยที่ C1-C5 มีค่า 1 ไมโครฟารัดและใช้สัญญาณจาก T1 และ R1



ภาพที่ 19 แสดงภายในของวงจรรวม MAX232

ตัวแยกทางแสง

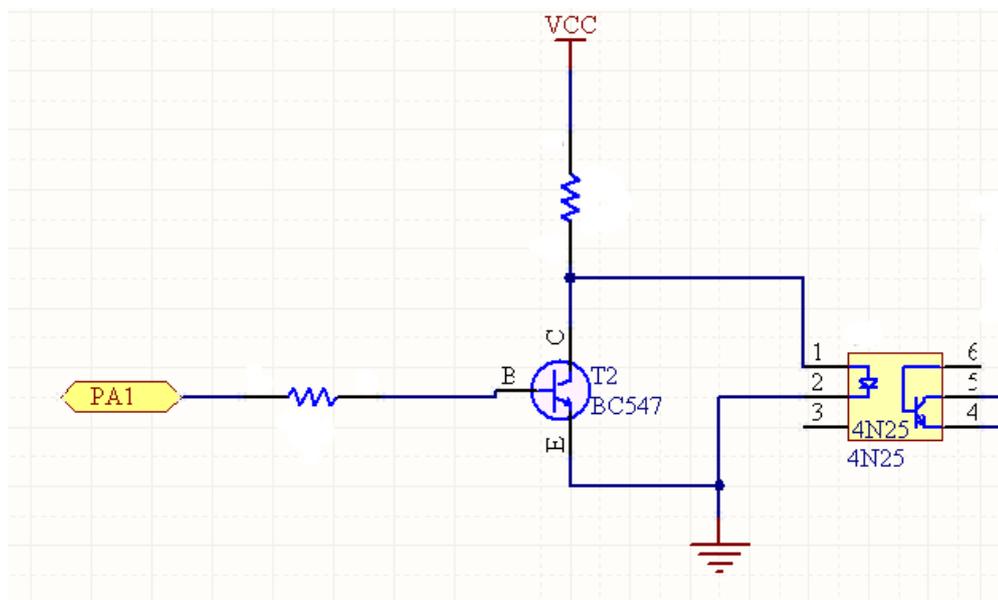
ในงานวิจัยนี้ ได้แยกแหล่งจ่ายไฟออกเป็น 12 โวลต์และ 5 โวลต์ เพื่อกันไม่ให้ขณะที่โซลีนอยด์ว่าลัวทำงานเกิดแรงดันหรือกระแสรบกวนภาคการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ จนส่งผลให้การทำงานของระบบหยุดจ่ายของเหลวทำงานผิดปกติไปจากที่ต้องการ ในการควบคุมโซลีนอยด์นั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ส่งสัญญาณลักษณะเป็น PWM แรงดันประมาณ 5 โวลต์ สำหรับลอจิก HIGH และแรงดันประมาณ 0 โวลต์สำหรับลอจิกLOW ซึ่งแรงดันที่มีความต่างศักย์ประมาณ 5 โวลต์ไม่สามารถทำให้โซลีนอยด์ทำงานได้ เพราะโซลีนอยด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ต้องใช้ความต่างศักย์ 12 โวลต์ ดังนั้นเพื่อให้โซลีนอยด์ทำงานได้ตามความต้องการจึงจำเป็นต้องมีตัวแยกทางแสง เพื่อให้แหล่งจ่าย 12 โวลต์จ่ายให้กับโซลีนอยด์ว่าลัว ส่วนแรงดัน 5 โวลต์ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้างอื่นๆ ในงานวิจัยนี้ใช้ออปโตไอโซเลเตอร์ในการแยกวงจรออกจากกัน เบอร์วงจรที่ใช้คือ 4N25 ในการต่อวงจรนั้นใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เบอร์ BC557 ต่อเพื่อรับอินพุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ต่อตัวต้านทานเพื่อกำจัดกระแสที่จ่ายเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์(10 กิโลโอห์ม) กำจัดกระแสทางด้านขาคอลเลกเตอร์(100 โอห์ม)ในการจ่ายแรงดันให้กับออปโตไอโซเลเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงสามารถทำงานได้ ในงานวิจัยนี้ต้องให้กระแสทางด้านเบสมากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว ดังนั้นเริ่มจากการหากระแสคอลเลกเตอร์ก่อน ในงานวิจัยนี้ใช้กระแสคอลเลกเตอร์ประมาณ 50 มิลลิแอมป์ ดังนั้นกระแสเบสจึงหาได้จากสมการที่ 4

$$I_c = \beta I_b \quad (4)$$

เมื่อได้กระแสเบส(0.5 mA) จึงต้องหาค่าความต้านทานที่จำกัดกระแสเบส ค่าของตัวต้านทาน หาได้จากกฎของโอห์ม ดังสมการที่ 5

$$V = IR \quad (5)$$

ทางด้านเอาต์พุตของออปโตไอโซเลเตอร์ เนื่องจากกระแสที่ได้จากเอาต์พุตของออปโตไอโซเลเตอร์มีน้อยเกินไป จึงไม่สามารถนำไปขับโซลินอยด์ควาล์วได้โดยตรง จึงต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขยายกระแสให้มากขึ้น ในงานวิจัยนี้ใช้ FET ในการขยายกระแส หากไบแอสให้ FET อิ่มตัว ค่าความต้านทานขณะนำกระแสจะน้อยมากๆ ทำให้สามารถจ่ายกระแสได้ปริมาณมากพอที่โซลินอยด์ควาล์วทำงานได้ คูได้ดังภาพที่ 20 สำหรับ PA1 เป็นตัวรับมาจากพอร์ต A จากไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 20 แสดงวงจรแยกทางแสง

วงจรขับโซลีนอยด์

ตามทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น โซลีนอยด์วาล์วที่ใช้ในวงจรใช้แรงดัน 12 โวลต์ ในการทำงานและขณะที่เปิดปิดโซลีนอยด์จะเกิดแรงดันรบกวนค่าความต่างศักย์สูงขึ้น สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ไดโอดต่อคร่อมในวงจร ในงานวิจัยนี้ใช้ FET เบอร์ IRFS630 เป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่ง IRFS630 สามารถทนแรงดันคร่อม Drain Source ได้ประมาณ 200 โวลต์ และยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้องได้สูงถึง 9 แอมป์ ดังนั้นจึงพอเพียงสำหรับขับโซลีนอยด์วาล์วซึ่งใช้แรงดัน 12 โวลต์และกินกระแส 0.5 แอมป์ ไดโอดที่ต่อคร่อมโซลีนอยด์วาล์วนั้นใช้ 1N5817 เพราะเป็นไดโอดที่ทำงานได้เร็วตอบสนองความถี่สูง ดังนั้นจึงนำกระแสได้เร็วทำให้แรงดันความต่างศักย์สูงซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดและสนามแม่เหล็กจากโซลีนอยด์ลดลงเหลือเพียงแค่แรงดันไดโอด ส่วนไดโอดคร่อม IRFS630 ใช้ ไดโอดเบอร์ 1N4763 ต่อคร่อม

การออกแบบทางด้านโปรแกรม

ก่อนที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามกระบวนการต่างๆ ส่วนแรกที่ต้องทำการออกแบบก่อนคือการโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับอุปกรณ์รอบข้าง อุปกรณ์รอบข้างในงานวิจัยนี้คือ จอ LCD สวิตช์ และ อุปกรณ์ RS232 เมื่อสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆได้แล้ว จึงค่อยออกแบบการควบคุมการเปิดปิดโซลีนอยด์วาล์วเพื่อให้ทำงานได้ตามต้องการ ส่วนสำคัญประการหลังสุดคือออกแบบส่วนที่ทำการติดต่อกับผู้ใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องได้ตามความต้องการของผู้ใช้เอง

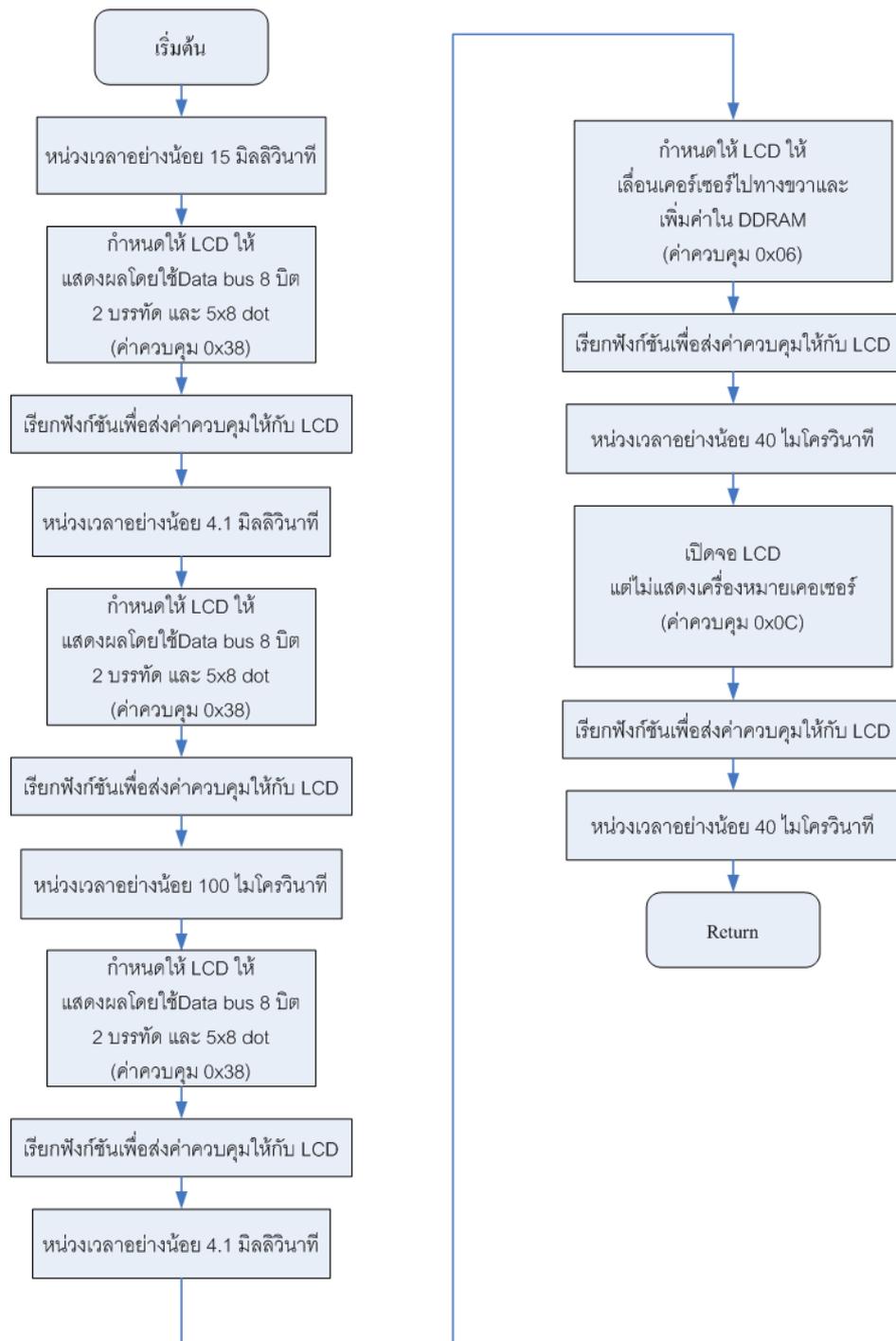
โปรแกรมติดต่อ LCD

การเขียนติดต่อให้ LCD ทำงานนั้นเริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้นให้ LCD การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับจอ LCD ทำได้โดยกำหนดให้พอร์ต D และพอร์ต E ของเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพราะว่าพอร์ต D ต่อกับขา DATA ของ LCD ส่วนพอร์ต E ต่อกับขาควบคุมของ LCD หลังจากนั้นจึงเรียกฟังก์ชันในการเริ่มต้นการทำงานของ LCD ก่อนที่ LCD จะทำงานได้นั้น ต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นก่อนเพื่อให้ LCD พร้อมใช้งาน ต่อจากนั้นจึงรอรับข้อมูลเพื่อแสดงผล ดังแสดงให้เห็นได้ในผังงาน (Flow Chart) ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 วิธีการเชื่อมต่อระหว่าง LCD กับไมโครคอนโทรลเลอร์

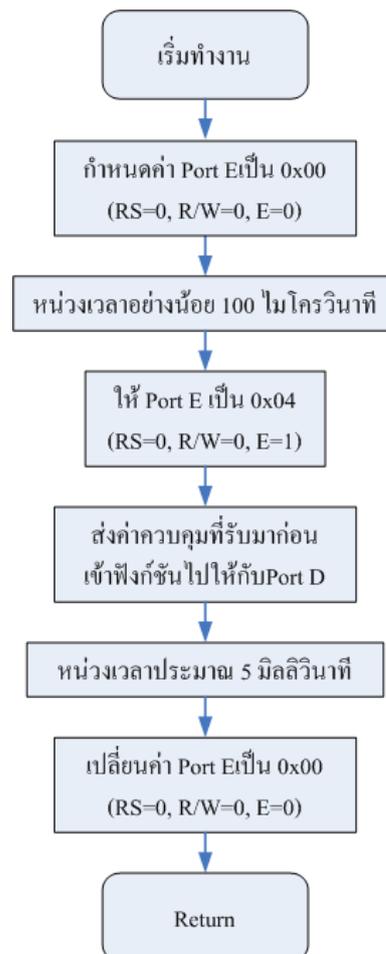
ภายในฟังก์ชันเริ่มทำงานของ LCD นั้นมีกระบวนการทำงานอยู่เพื่อให้ LCD เริ่มทำงาน ดังนั้นจึงต้องทำกระบวนการอย่างเป็นขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนการทำงานนั้นดูได้จากผังการทำงานดังภาพที่ 22 เริ่มต้นด้วยการหน่วงเวลา เพราะหลังจาก LCD ได้รับกระแสไฟฟ้าครั้งแรกต้องรอเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะส่งค่าต่างๆไปควบคุม LCD เมื่อหน่วงเวลาเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 มิลลิวินาที เริ่มส่งค่าควบคุมเข้าไปตั้งค่าของจอ LCD โดยค่าเริ่มต้นนี้เป็นตัวบอกให้วงจรควบคุม LCD รู้ว่า LCD ที่ใช้เป็นชนิดอะไรและมีการใช้สายส่งข้อมูลอยู่ที่กี่บิต รวมทั้งจำนวนบรรทัดของจอ LCD ในงานวิจัยนี้ใช้สายส่งข้อมูล 8 บิต 2 บรรทัดและ 5x8 จุด ส่งคำสั่งควบคุมแบบเดิมซ้ำอีก 2 ครั้ง แต่ให้สังเกตว่าเวลาในการหน่วงเวลาในแต่ละครั้งไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของ LCD เอง เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการเขียนตัวอักษรจากซ้ายไปขวาและเก็บตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์ไว้ใน DDRAM ดังนั้นเมื่อแสดงผลตัวอักษรแล้วจึงต้องเลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวาและเพิ่มแอดเดรสของ DDRAM อีกหนึ่งตำแหน่งเพื่อแสดงผลในคอลัมน์ถัดไป เมื่อส่งค่าเข้าไปควบคุมแล้วต้องรออีกประมาณ 40 ไมโครวินาทีเพื่อให้วงจรรวมในบอร์ด LCD ประมวลผล ต่อมาจึงส่งค่าเข้าไปเปิดจอและไม่แสดงสัญลักษณ์เคอร์เซอร์และหน่วงเวลา เมื่อทำกระบวนการทั้งหมดนี้แล้วเสร็จ LCD นี้จึงพร้อมที่จะแสดงผลโดยการแสดงตัวอักษรจะส่งข้อมูล 8 บิต แสดงผลจากซ้ายไปขวาและไม่แสดงเคอร์เซอร์



ภาพที่ 22 แสดงการทำงานการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ LCD

จากแผนผังการทำงานดังภาพที่ 22 เห็นได้ว่ามีเรียกใช้ฟังก์ชันเพื่อส่งค่าควบคุมจอ LCD ซึ่งภายในฟังก์ชันนี้มีการทำงานดังผังงานภาพที่ 23 ซึ่งเริ่มด้วยการเคลียร์พอร์ต E ให้เป็น 0 ก่อนทำให้ขาสัญญาณควบคุมจอ LCD ทั้งหมดเป็น 0 หน่วงเวลาประมาณ 100 ไมโครวินาที เมื่อครบตามเวลา

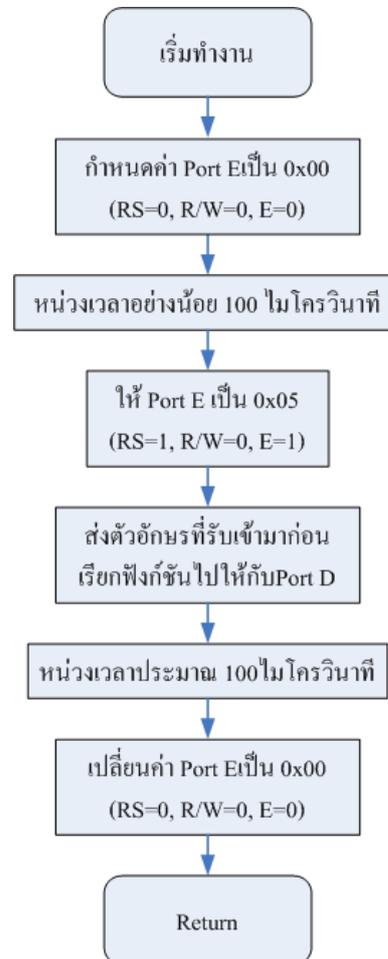
จึงเปลี่ยนสัญญาณ Enable (PORT E ขา2) ของ LCD ให้เป็นลอจิกสูงตามด้วยส่งค่าควบคุมจอ LCD ที่ได้รับมาจากโปรแกรมหลักออกทางขาข้อมูล(PORT D) หน่วงเวลาเพื่อให้ข้อมูลการควบคุมพร้อม หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนสถานะสัญญาณ Enable ของ LCD ให้เป็นลอจิกต่ำตามเดิม เพื่อให้ LCD ประมวลผลและกลับเข้าไปทำงานในโปรแกรมหลักตามเดิม



ภาพที่ 23 วิธีการส่งค่าควบคุมให้กับLCD

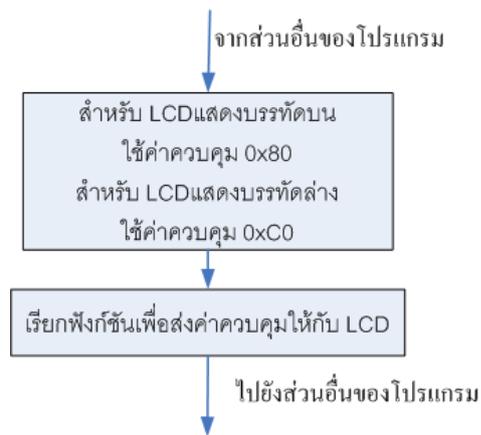
จากทั้งหมดที่กล่าวมานั้นยังอยู่ในส่วนของการส่งค่าควบคุมให้กับ LCD ส่วนการแสดงผลซึ่งเป็นตัวอักษรนั้นทำได้โดยตามผังงานภาพที่ 24 เริ่มจากการซึ่งเริ่มด้วยการเคลียร์พอร์ต E ให้เป็นลอจิกต่ำ (ขาสัญญาณควบคุมจอLCDทั้งหมดเป็นลอจิกต่ำ) หน่วงเวลาประมาณ 100 ไมโครวินาทีเมื่อครบตามเวลาจึงเปลี่ยนสัญญาณ Enable (PORT E ขา2) และ RS (PORT E ขา 0) ของ LCD ให้เป็นลอจิกสูง การเปลี่ยน RS ให้เป็นลอจิกสูงเพื่อให้ LCD ทำงานเป็นจอแสดงผลอักขระ ส่งค่าตัวอักษรซึ่งรับจากโปรแกรมหลักเข้าสู่ขาข้อมูลของ LCD (PORT D) หน่วงเวลา 100 ไมโครวินาที

หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนสถานะสัญญาณ Enable และ RS ของ LCD ให้เป็นลอจิกต่ำตามเดิม เพื่อให้ LCD ประมวลผลและกลับเข้าไปทำงานในโปรแกรมหลักตามเดิม



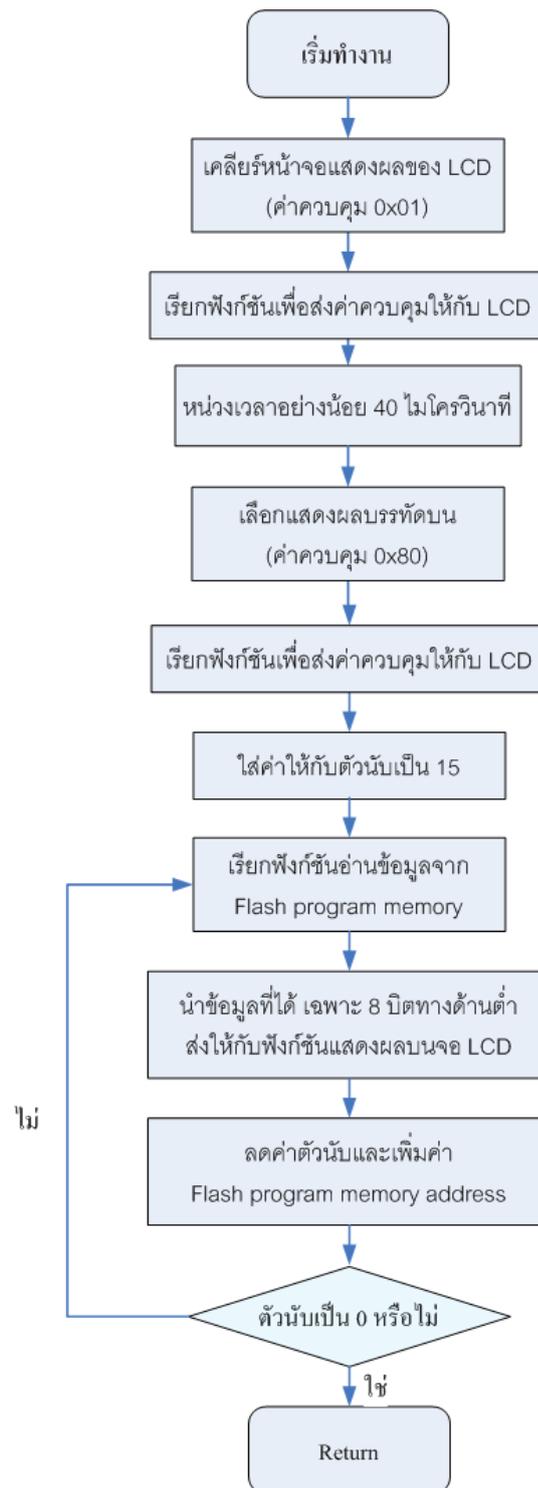
ภาพที่ 24 แสดงการส่งตัวอักษรให้กับ LCD

จอ LCD ที่ใช้แสดงผลในงานวิจัยนี้เป็นจอที่มีการแสดงผลแบบ 2 บรรทัด ดังนั้นการแสดงผลบรรทัดบน และบรรทัดล่างนั้นมีการควบคุมที่ต่างกันและต้องทำการส่งค่าควบคุมนี้ก่อนทุกครั้งที่ทำกรแสดงผลเพื่อเป็นตัวกำหนดว่าจะแสดงผลในบรรทัดใดซึ่งกระบวนการควบคุมนี้สามารถทำได้ตามผังการทำงานดังภาพที่ 25 สำหรับบรรทัดบนค่าควบคุมที่ส่งทางขาสัญญาณข้อมูลคือ 0x80 ส่วนบรรทัดล่างคือ 0xC0



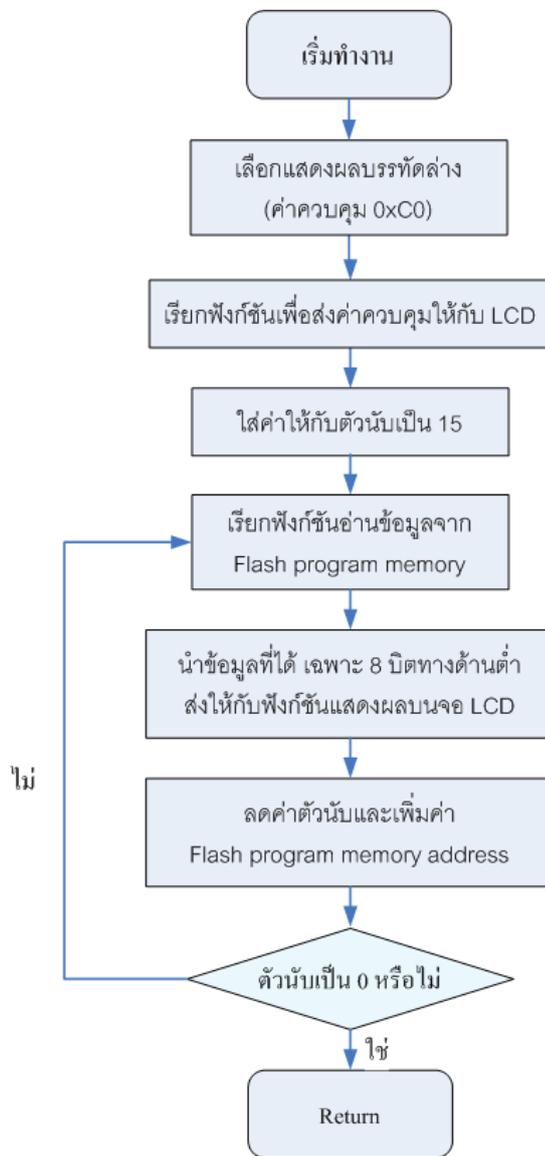
ภาพที่ 25 การเลือกบรรทัดการแสดงผล

การแสดงผลเช่นชุดของข้อความในงานวิจัยนี้เนื่องจากต้องแสดงข้อความแบบเดิมซ้ำๆ การนำชุดของข้อความเก็บไว้ในหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งมีความเหมาะสม จากงานวิจัย LCD ที่ใช้ในหนึ่งบรรทัดแสดงผลได้ 16 ตัวอักษร ดังนั้นชุดของตัวอักษรที่นำมาแสดงได้ต้องไม่เกิน 16 ตัวอักษร ตามแผนผังงานดังแสดงในภาพที่ 26 ซึ่งแสดงผลบนบรรทัดบน เริ่มทำงานด้วยการเคลียร์หน้าจอแสดงผลคอเซอร์จะเลื่อนมาตำแหน่งซ้ายสุด ส่งค่าควบคุมให้จอแสดงผลแสดงตัวอักษรเฉพาะบรรทัดบน นำค่า 16 เก็บไว้ในตัวนับ อ่านค่าข้อมูลจาก Flash memory ส่งค่าที่อ่านได้ไปแสดงผล ลดค่าตัวนับ 1 ค่าและเพิ่มค่าแอดเดรสซึ่งชี้ตำแหน่งของตัวอักษรเพื่อให้ไปชี้ตัวอักษรตัวถัดไป ทำซ้ำจนครบทั้ง 16 ตัวอักษร (เต็ม 1 บรรทัดพอดี) ค่าของตัวนับลดลงจนเป็น 0 แล้วจึงค่อยกระโดดกลับไปทำงานในโปรแกรมหลัก



ภาพที่ 26 การแสดงตัวอักษรซึ่งเก็บไว้ใน FLASH MEMORY บรรทัดบน

ในผังงานภาพที่ 27 การทำงานจะคล้ายกับการทำงานของการแสดงชุดของตัวอักษรในบรรทัดบนเพียงแตกต่างกันตรงที่ไม่จำเป็นต้องเคลียร์ค่าของจอแสดงผล เพราะว่างานวิจัยนี้ต้องการให้ตัวอักษรบรรทัดบนไม่เปลี่ยนแปลง แต่ให้เปลี่ยนแปลงเฉพาะค่าของบรรทัดล่างเท่านั้น



ภาพที่ 27 การแสดงตัวอักษรซึ่งเก็บไว้ใน FLASH MEMORY บรรทัดล่าง

โปรแกรมการหน่วงเวลา

การหน่วงเวลาในงานวิจัยนี้ใช้การหน่วงเวลาโดยใช้การนับ Machine cycle ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากในขณะที่ช่วงเวลานั้นไม่ต้องกระบวนกรอื่นการใช้อินเตอร์ปต์โดยเรียกใช้ไทมเมอร์จึงไม่มีความจำเป็น นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการเรียกอินเตอร์ปต์ซ้ำซ้อน

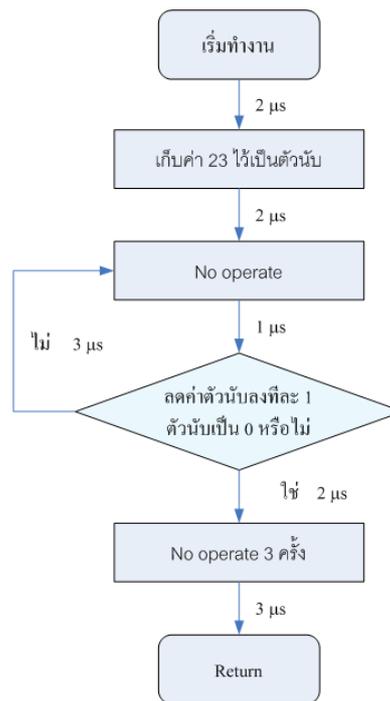
การหน่วงเวลาที่จำเป็นต้องใช้ความแม่นยำสูงดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงต้องใช้ฐานเวลาจากออสซิลเลเตอร์ภายนอกในที่นี้คือคริสตอลความถี่ 4 MHz การคำนวณเวลาในการทำงานแต่ละ Machine cycle คำนวณได้จากสมการ

$$1 \text{ machine cycle} = \frac{1}{4} \text{ clock oscillator} \quad (6)$$

สำหรับ Clock ที่ 4 MHz

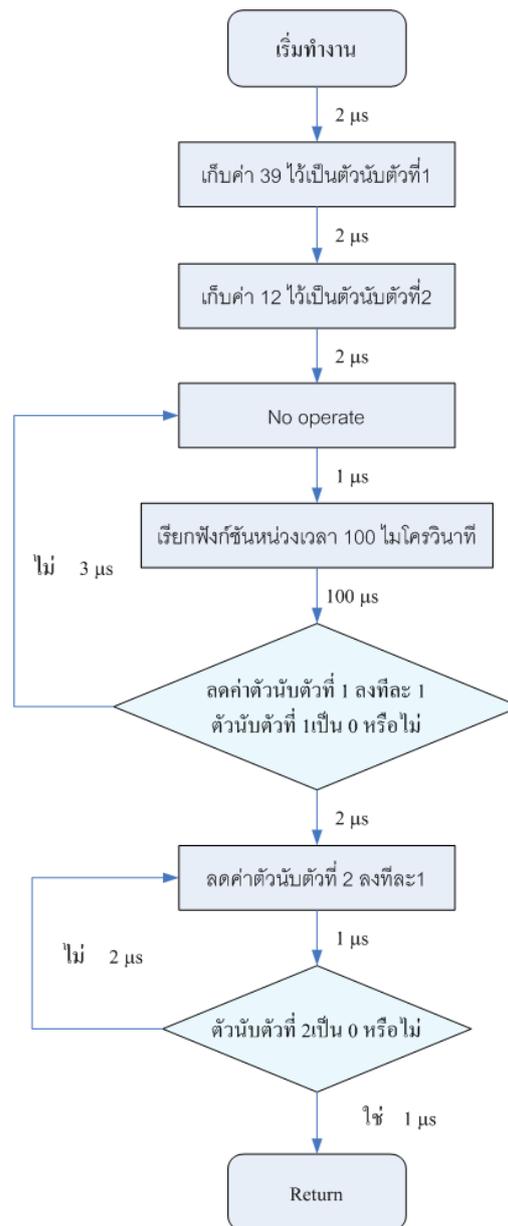
$$1 \text{ machine cycle} = 1\mu\text{s}$$

ดังนั้นภายใน 1 machine cycle ใช้เวลาในการทำงาน 1 ไมโครวินาที ดังนั้นจึงสามารถสร้างโปรแกรมหน่วงเวลาที่ต้องการได้จากการนับจำนวนคำสั่งที่ใช้งานว่ามีกี่ machine cycle แล้ววนลูปซ้ำๆ เพื่อให้ได้เวลาที่ต้องการ ซึ่งโปรแกรมที่เขียนไปนั้นไม่จำเป็นต้องทำงานส่งค่าอินพุตเอาต์พุตแต่อย่างใด สำหรับฟังก์ชันหน่วงเวลา 100 ไมโครวินาทีทำได้ดังผังตามภาพที่ 28 เนื่องจากเป็นฟังก์ชันดังนั้นทุกครั้งที่มีการเรียกใช้ฟังก์ชันจะเสียเวลา 2 ไมโครวินาที การเก็บค่าไว้ในหน่วยความจำใช้เวลา 2 ไมโครวินาที ให้พิจารณาการทำซ้ำจนกระทั่งค่าของตัวนับเป็น 0 สังเกตได้ว่าการวนซ้ำแต่ละรอบใช้เวลา 4 ไมโครวินาทีเมื่อวน 22 รอบกินเวลาทั้งหมด 88 ไมโครวินาทีในการทำงานรอบสุดท้ายใช้เวลาในการทำงาน 3 ไมโครวินาที ผลรวมการทำงานทั้งหมดเป็น 95 ไมโครวินาทีดังนั้นต้องให้ใช้เวลาอีก 3 ไมโครวินาทีโดยการทำคำสั่ง No operate เมื่อทำแล้วจึงรวมกันได้ 98 ไมโครวินาที ส่วน 2 ไมโครวินาทีที่เหลือเป็นการเสียเวลาในการกระโดดกลับไปโปรแกรมหลัก



ภาพที่ 28 แสดงการหน่วงเวลา 100 ไมโครวินาที

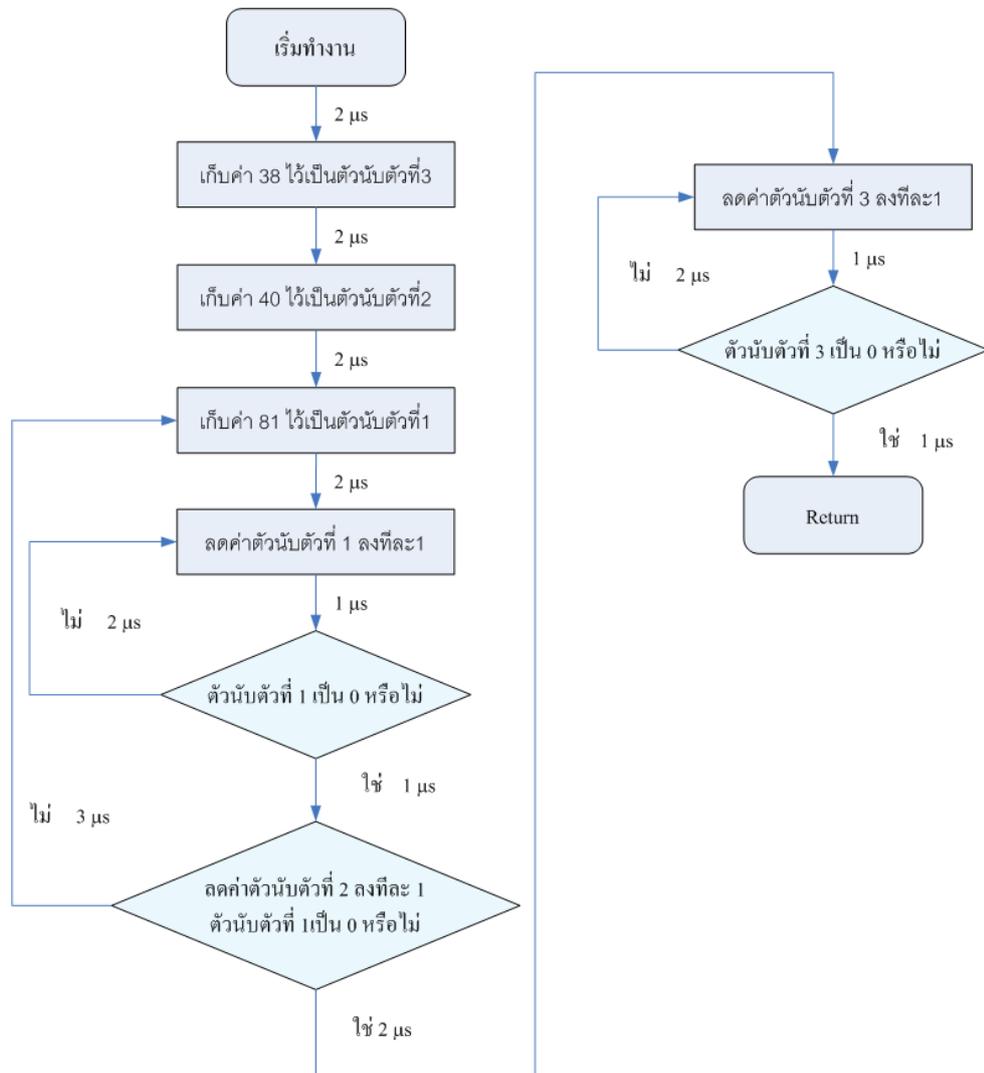
สำหรับฟังก์ชันหน่วงเวลา 4.1 มิลลิวินาทีทำได้ดังฟังก์ชันตามภาพที่ 29 เนื่องจากเป็นฟังก์ชัน ดังนั้นทุกครั้งที่มีการเรียกใช้ฟังก์ชันจะเสียเวลา 2 ไมโครวินาที การเก็บค่าไว้ในหน่วยความจำครั้งแรกใช้เวลา 2 ไมโครวินาที เก็บค่าตัวแปรครั้งที่สองเสียอีก 2 ไมโครวินาที การทำซ้ำครั้งแรกแต่ละรอบมีการเรียกใช้ฟังก์ชันหน่วงเวลา 100 ไมโครวินาที ผลรวมของการวนซ้ำครั้งแรกในแต่ละรอบใช้เวลา 104 ไมโครวินาทีเมื่อวน 38 รอบกินเวลาทั้งหมด 3952 ไมโครวินาที ในการทำงานรอบหลังสุดใช้เวลาในการทำงาน 103 ไมโครวินาที ผลรวมการทำงานทั้งหมดเป็น 4055 ไมโครวินาที ดังนั้นต้องหน่วงเวลาเพิ่มอีก ใช้เวลาอีก 39 ไมโครวินาที โดยการวนซ้ำลดค่าตัวนับตัวที่สองเป็น 11 ครั้ง โดยแต่ละครั้งเสียเวลาในการวน 3 วินาทีและเมื่อรวมการวนรอบหลังสุดอีก 2 ไมโครวินาที รวม No operate อีก 2 ไมโครวินาที เมื่อทำทั้งหมดแล้วจึงรวมกันได้ 4098 ไมโครวินาทีส่วน 2 ไมโครวินาทีที่เหลือเป็นเวลาในการเสียในการกระโดดกลับไปโปรแกรมหลัก



ภาพที่ 29 แสดงการหน่วงเวลา 4.1 มิลลิวินาที

เทคนิคที่ใช้ในการหน่วงเวลา 10 มิลลิวินาทีนั้นต่างออกจากเทคนิคการหน่วงเวลาแบบอื่นเล็กน้อยเนื่องจากการหน่วงเวลาซ้อนกันซึ่งสังเกตได้จากแผนผังดังภาพที่ 30 เพื่อเป็นการง่ายจึงควรคำนวณจากวงวนซ้ำท้ายสุดก่อนและจากวงวนซ้ำภายในไปสู่วงวนซ้ำภายนอก เริ่มจากพิจารณาตัวนับตัวที่สามว่าเป็น 0 หรือไม่ โดยผลรวมของการวนจะเป็น $(37 \times 3) + 2 = 113$ ไมโครวินาที เมื่อรวมเข้ากับการเก็บค่าตัวแปรต่างๆ และการกระโดดเข้ามาทำงานและกระโดดกลับโปรแกรมหลัก ผลรวมจึงเป็น 121 ไมโครวินาที พิจารณาในวงวนซ้ำภายในดูการลดค่าของตัวนับตัวที่ 1 จะได้ $(80 \times 3) + 2 = 242$ ไมโครวินาที นำเวลาการวนซ้ำภายในไปคิดดูการวนซ้ำภายนอก ดังนั้นการวนซ้ำ

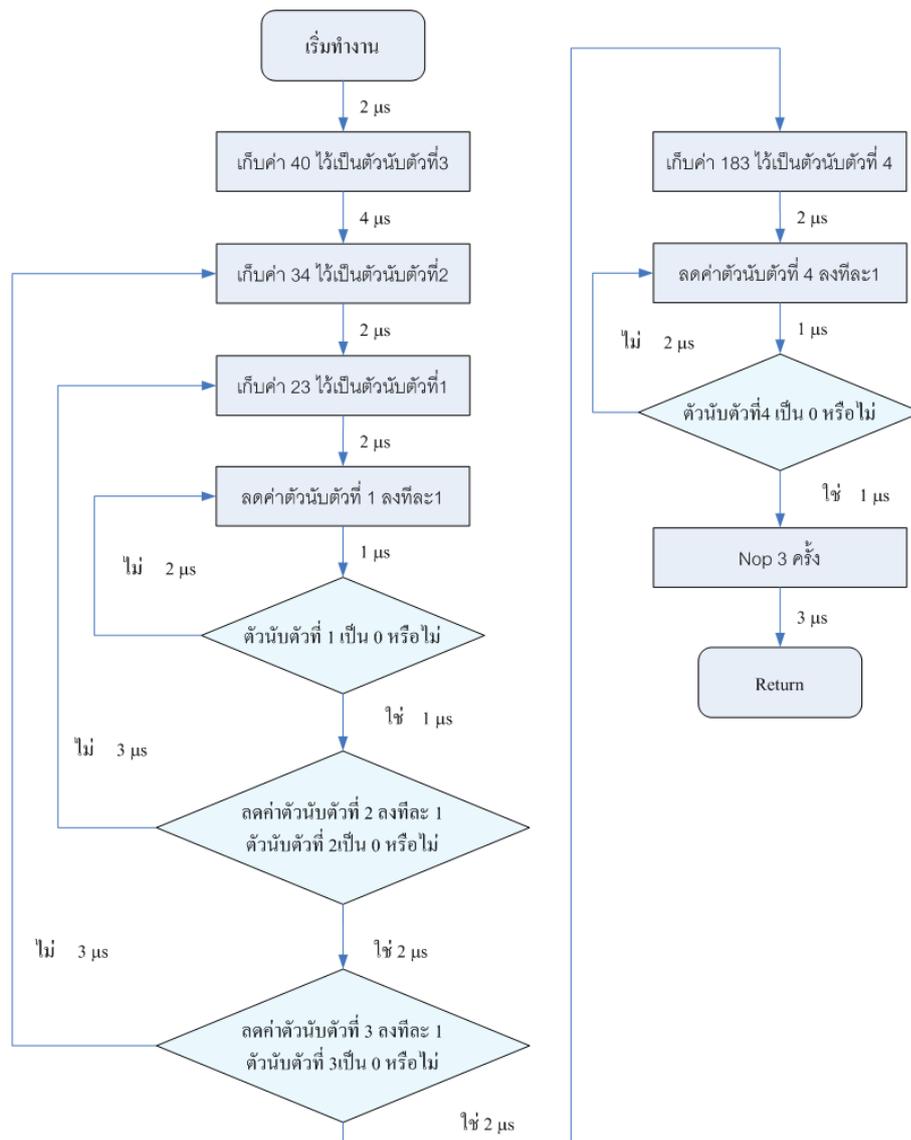
ภายนอกของตัวนับที่ 2 ใช้เวลา $((242+2+3) \times 39) + 242 + 2 + 2 = 9879$ ไมโครวินาที ที่ย่าสุดเมื่อรวมเข้ากับเวลา 121 ไมโครวินาทีซึ่งคำนวณไว้ในตอนต้นก็จะได้ 10000 ไมโครวินาทีหรือ 10 มิลลิวินาที



ภาพที่ 30 แสดงการหน่วงเวลา 10 มิลลิวินาที

การหน่วงเวลา 100 มิลลิวินาทีใช้การหน่วงเวลาโดยการนับค่าตัวแปรให้ลดลงซ้อนกันสามชั้น โดยคำนวณจากวงในสุดก่อนคือ $(22 \times 3) + 2 = 68$ ไมโครวินาที แล้วนำเวลาที่ได้จากวงรอบในสุดมาคำนวณวงรอบถัดไปคือ $((68 + 5) \times 33) + (68 + 4) = 2481$ ไมโครวินาที เมื่อได้วงกลางแล้วจึงนำมาคิดวงนอกสุด $((2481 + 5) \times 39) + (4 + 2481) = 99439$ ไมโครวินาที หลังจากนั้นหน่วงเวลาต่อด้วยวงรอบเพื่อเก็บเวลาให้ครบซึ่งวงรอบหน่วงเวลานี้คำนวณได้ดังนี้ $(3 \times 182) + 2 + 2 = 550$ ไมโครวินาที และทำการ

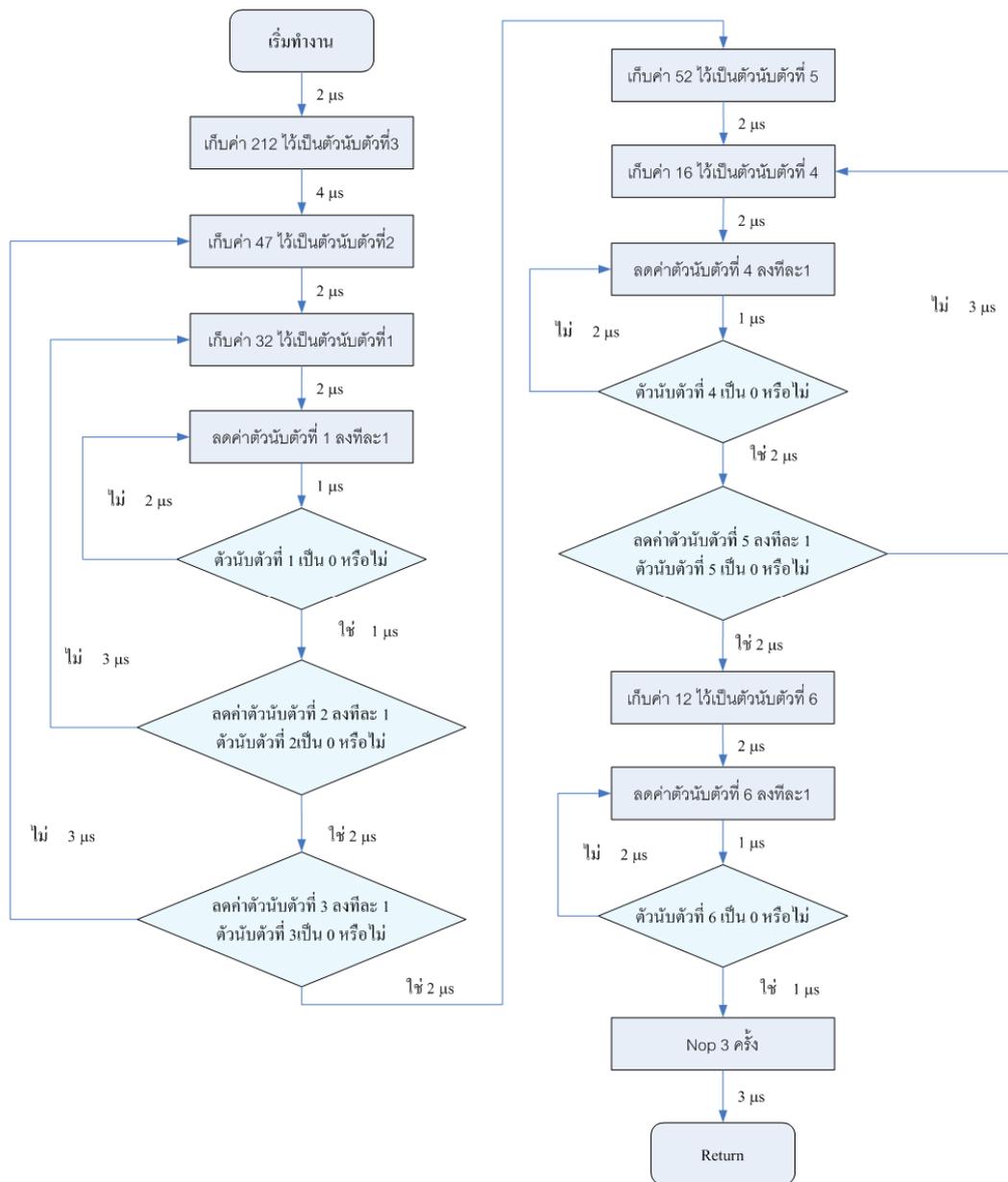
หน่วยเวลาโดยNo operate อีกสามครั้งซึ่งกินเวลา 3 ไมโครวินาทีรวมการกระโดดเข้ามาทำงาน 2 ไมโครวินาทีและกระโดดออกจากโปรแกรมอีก 2 ไมโครวินาที และการเก็บค่าแรกอีก 4 ไมโครวินาที ดังนั้นผลรวมทั้งหมดจะได้ 100 มิลลิวินาทีพอดี ซึ่งดูได้ดังแผนผังการทำงานในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 แสดงการหน่วยเวลา 100 มิลลิวินาที

การหน่วยเวลา 1 วินาทีพิจารณาได้ดังแผนผังภาพที่ 32 คิดได้จากวงรอบในสุดคือ $(3 \times 31) + 2 = 95$ ไมโครวินาทีที่คิดวงรอบถัดมาจะเป็น $(95 + 5) \times 46 + 99 = 4699$ ไมโครวินาทีที่คิดวงรอบนอกสุดจะได้ $(4699 + 5) \times 211 + 4699 + 4 = 997247$ ไมโครวินาที เมื่อพิจารณาวงรอบอีกวงหนึ่งคิดจาก

รอบในสุด $(3 \times 15) + 2 = 47$ ไมโครวินาที นำค่าที่ได้มาคิดรอบนอก $(47 + 5) \times 51 + 51 = 2703$ ไมโครวินาที เมื่อพิจารณาวงรอบสุดท้าย $(11 \times 3) + 2 = 35$ ไมโครวินาที เมื่อนำมารวมวงรอบทั้งหมดจะได้เวลาเท่ากับ 999985 ไมโครวินาที เมื่อรวมกับเก็บและทำคำสั่ง NOP อีก 11 ไมโครวินาที ผลรวมจะเป็น 999996 ไมโครวินาที รวมเวลาการกระโดดเข้าออกโปรแกรมจะได้ 1 วินาที



ภาพที่ 32 แสดงการหน่วงเวลา 1 วินาที

การหน่วงเวลา 10 วินาทีนั้นกระทำได้ดังแผนผังภาพที่ 33 เริ่มคิดจากวงรอบแรกจากวงรอบในสุดจะได้ $(3 \times 79) + 2 = 239$ ไมโครวินาที นำค่าที่ได้มาคิดในรอบถัดไปจะได้

$(239+5) \times 191 + 243 = 46847$ ไมโครวินาทีนำค่าที่ได้มาคิดวงนอกสุด

$(46847+5) \times 212 + 46851 = 9979475$ ไมโครวินาทีที่คิดวงรอบกลางซึ่งเริ่มคิดจากรอบในสุดจะได้

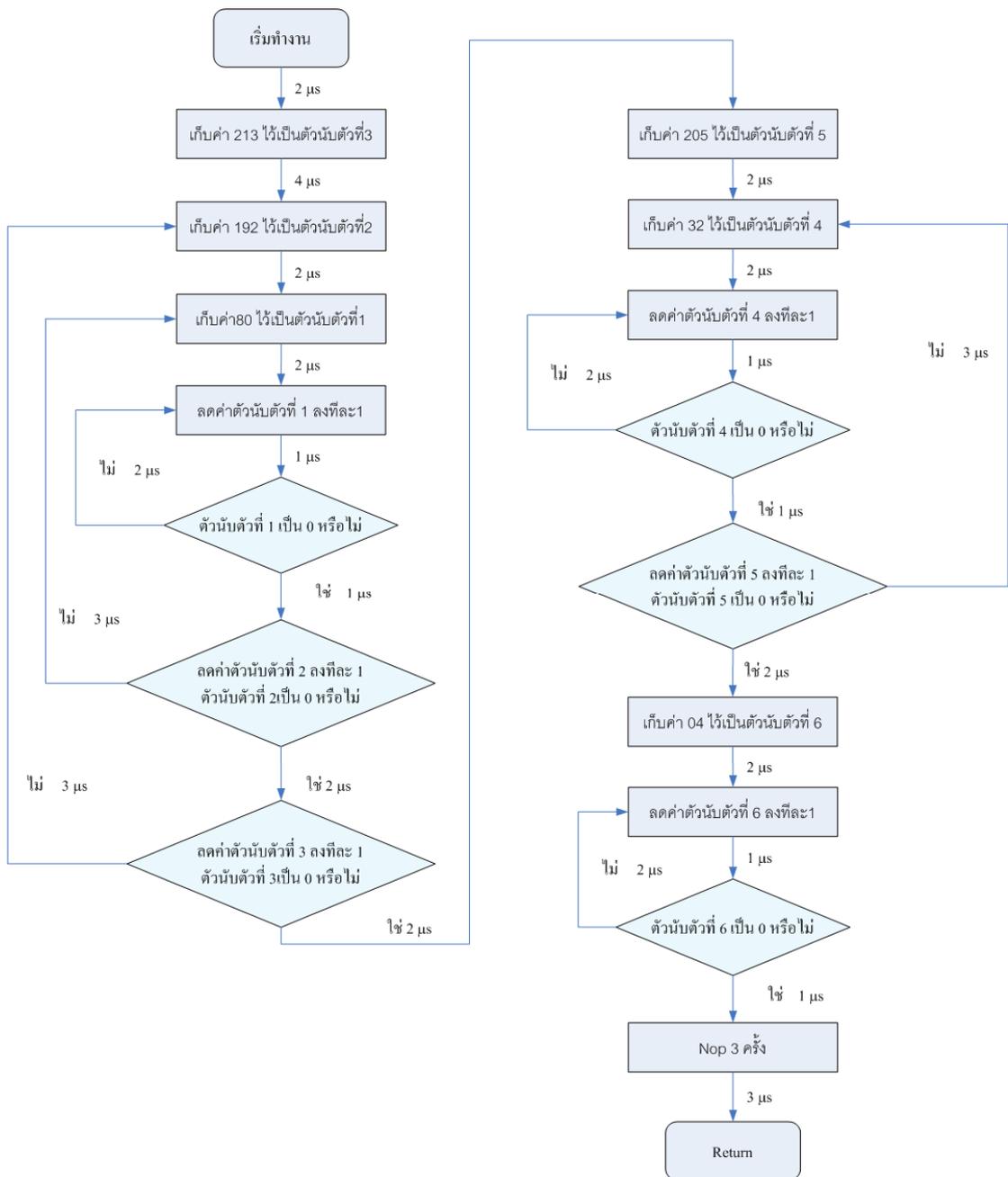
$(3 \times 31) + 2 = 95$ ไมโครวินาทีนำค่าที่ได้มาคิดวงนอก $(95+5) \times 204 + 99 = 20499$ ไมโครวินาทีที่คิดค่าจาก

วงหลังสุดจะได้ $(3 \times 3) + 2 = 11$ ไมโครวินาที คิดผลรวมจากการใส่ค่าเริ่มต้นการหน่วงเวลาด้วย NOP

การกระโดดเข้ามาทำงานในโปรแกรมและการกระโดดกลับไปสู่โปรแกรมหลักจะได้

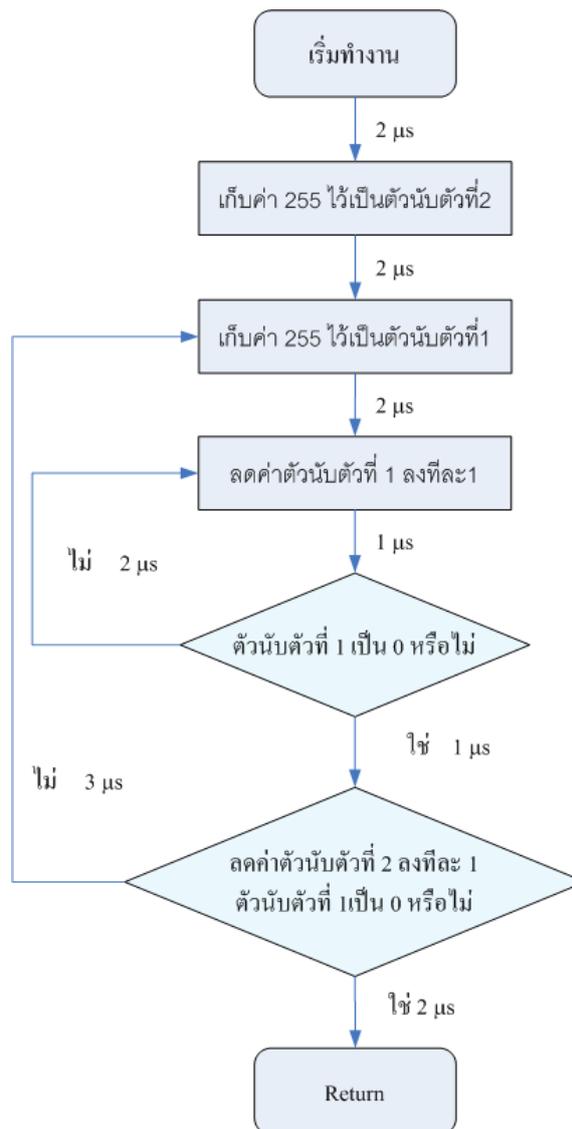
$2+4+2+2+3+2=15$ ไมโครวินาที ผลรวมทั้งหมดจะได้ $9979475+20499+11+15=10,000,000$

ไมโครวินาที



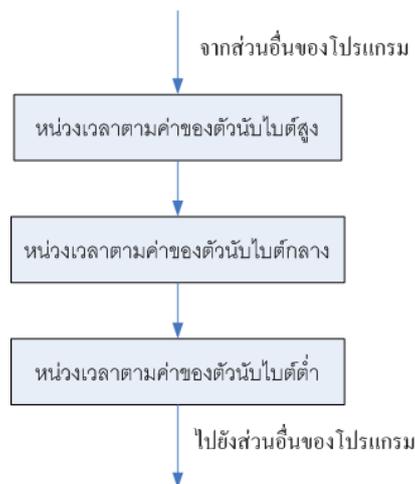
ภาพที่ 33 แสดงการหน่วงเวลา 10 วินาที

การหน่วงเวลา 100 วินาที แสดงได้ตามแผนผังในภาพที่ 34 สำหรับการคำนวณเวลา
 สำหรับการทำงานก็คิดได้เช่นเดียวกันกับวิธีการที่ได้แสดงไว้ในเนื้อหาก่อนหน้านี้ ซึ่งมีวงรอบการ
 ทำงานถึง 10 วงรอบการทำงาน



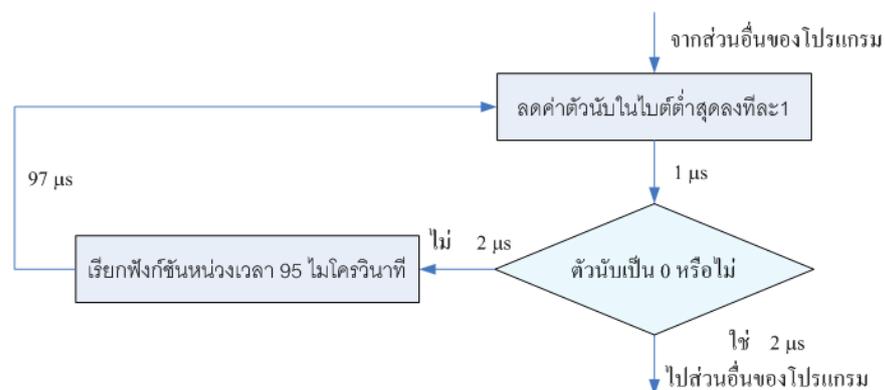
ภาพที่ 35 แสดงการหน่วงเวลาในการกดปุ่ม

นอกจากการหน่วงเวลาตามปกติแล้วยังมีการหน่วงเวลาซึ่งรับค่าการหน่วงเวลาจากผู้ใช้ การหน่วงเวลาแบบนี้ใช้ในการหน่วงเวลาการเปิดปิดของโซลินอยด์วาล์ว เป็นเพราะว่าผู้ใช้เป็นคน กำหนดเวลาการหน่วงเองเพื่อให้ของเหลวจ่ายออกอย่างเหมาะสมตามความต้องการของผู้ใช้และ การหน่วงเวลาสูงสุดเป็น 1677721500 ไมโครวินาทีหรือ 24 บิตนั่นเอง การหน่วงเวลาใช้แผนผังดัง ภาพที่ 36



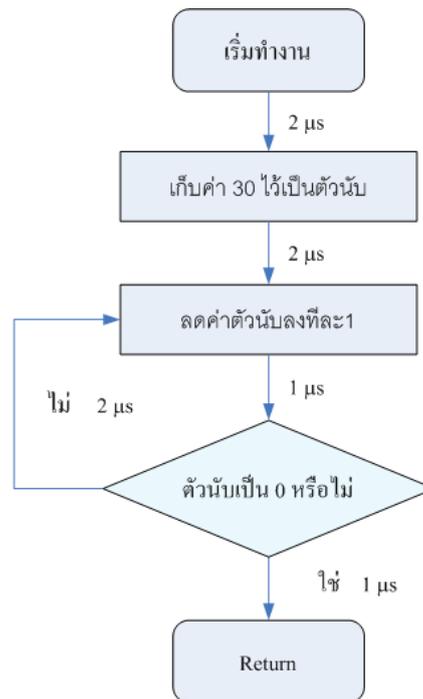
ภาพที่ 36 แสดงแผนผังการหน่วงเวลาการเปิดปิดโซลีนอยด์แล้ว

จากที่กล่าวมาข้างต้นตัวนับในการหน่วงเวลานั้นมี 24 บิต ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ไบต์ ในการเปลี่ยนแปลงค่าที่หนึ่งใน ไบต์ต่ำสุดจะส่งผลให้เวลาในการเปิดโซลีนอยด์ยาวขึ้น 100 ไมโครวินาทีต่อหนึ่งค่าที่เพิ่มขึ้นซึ่งดูได้ตามแผนผังภาพที่ 37 เมื่อพิจารณาการวนซ้ำ เวลาในการวนซ้ำในแต่ละรอบเป็น 100 ไมโครวินาทีพอดี ดังนั้นเวลารวมของการวนซ้ำจึงขึ้นกับค่าตัวนับในไบต์ต่ำสุดที่ผู้ใช้งานป้อนเข้ามานั่นเอง



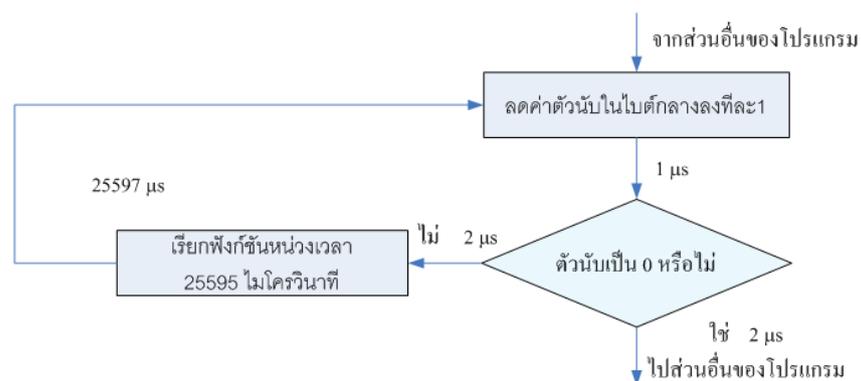
ภาพที่ 37 การหน่วงเวลาในไบต์ต่ำ

สำหรับการหน่วงเวลา 95 ไมโครวินาทีที่มีแผนผังการทำงานดังภาพที่ 38 พิจารณาจากรอบของการวนซ้ำได้เวลาทั้งหมด 87 ไมโครวินาที รวมเวลาตอนหลุดการวนซ้ำอีก 2 ไมโครวินาที รวมการเก็บค่าและการเริ่มทำงานอีก 4 ไมโครวินาที สุดท้ายยวบววกเข้ากับเวลากระโดดกลับไปทำงานที่โปรแกรมเดิมใช้เวลาทั้งสิ้น 95 ไมโครวินาที



ภาพที่ 38 การหน่วงเวลา 95 ไมโครวินาที

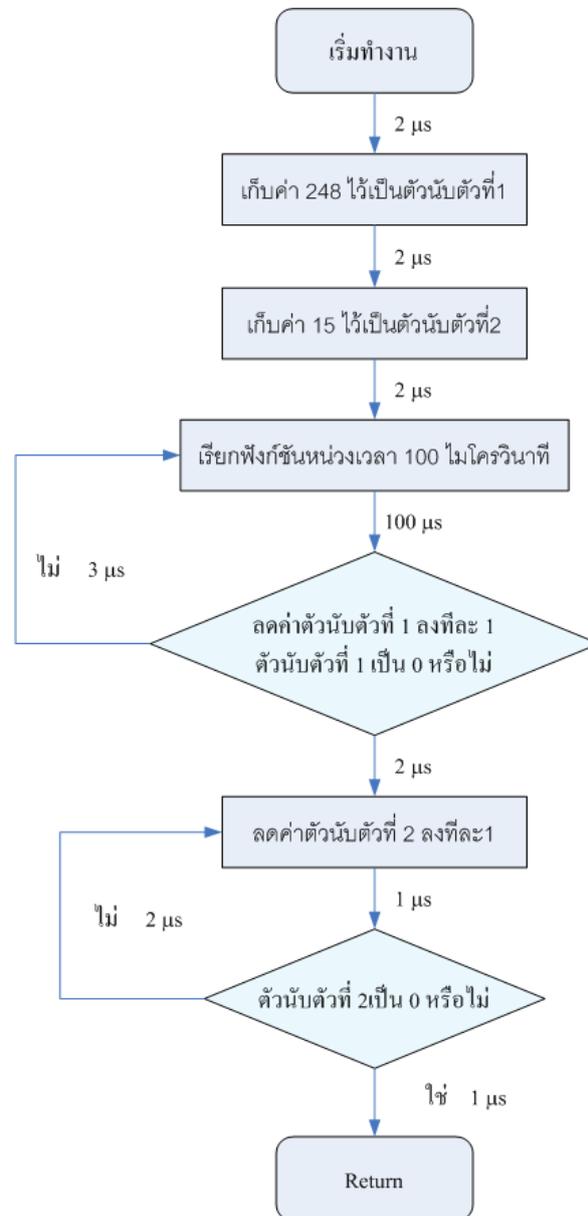
การเปลี่ยนแปลงชุดของตัวนับไบต์กลาง 1 ค่า ส่งผลให้เวลาเปิดปิดโซลินอยด์เปลี่ยนไป 25600 ไมโครวินาทีคิดได้จาก $2^8 \times 100 = 25600$ แชนผังงานดูได้ดังภาพที่ 39 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวนับในส่งผลให้รอบของการทำงานเปลี่ยนแปลงไปค่าละ 25.6 มิลลิวินาที



ภาพที่ 39 การหน่วงเวลาในไบต์กลาง

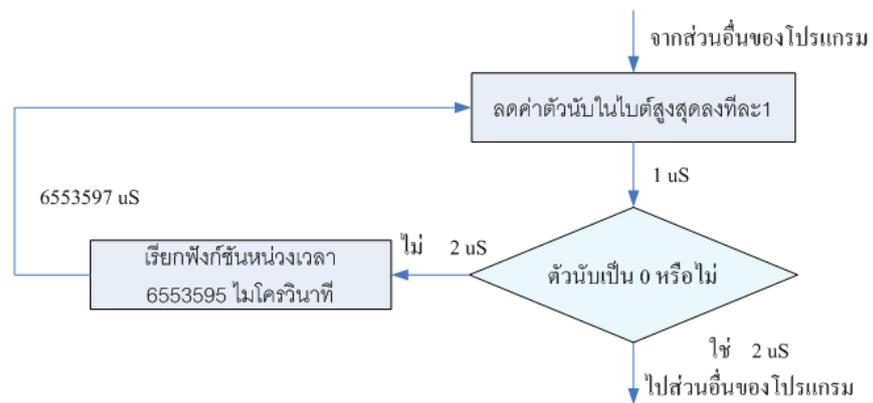
ฟังก์ชันในการหน่วงเวลา 25595 ไมโครวินาทีดูได้ตามผังงานภาพที่ 40 ในการทำซ้ำวงรอบแรกกินเวลา $103 \times 247 = 25441$ ไมโครวินาที รวมกับรอบสุดท้ายของวงรอบแรกเป็น 25543

ไมโครวินาที ในวงรอบหลังใช้เวลา $14 \times 3 + 2 = 44$ รวมทั้งสองครั้งเป็น 25587 ไมโครวินาที
สุดท้ายเมื่อรวมกับการเก็บข้อมูลในตัวนับ การกระโดดมาทำงานในฟังก์ชันและการกระโดด
กลับไปทำงานในโปรแกรมหลักอีก 8 ไมโครวินาที รวมได้เป็น 25595 ไมโครวินาที



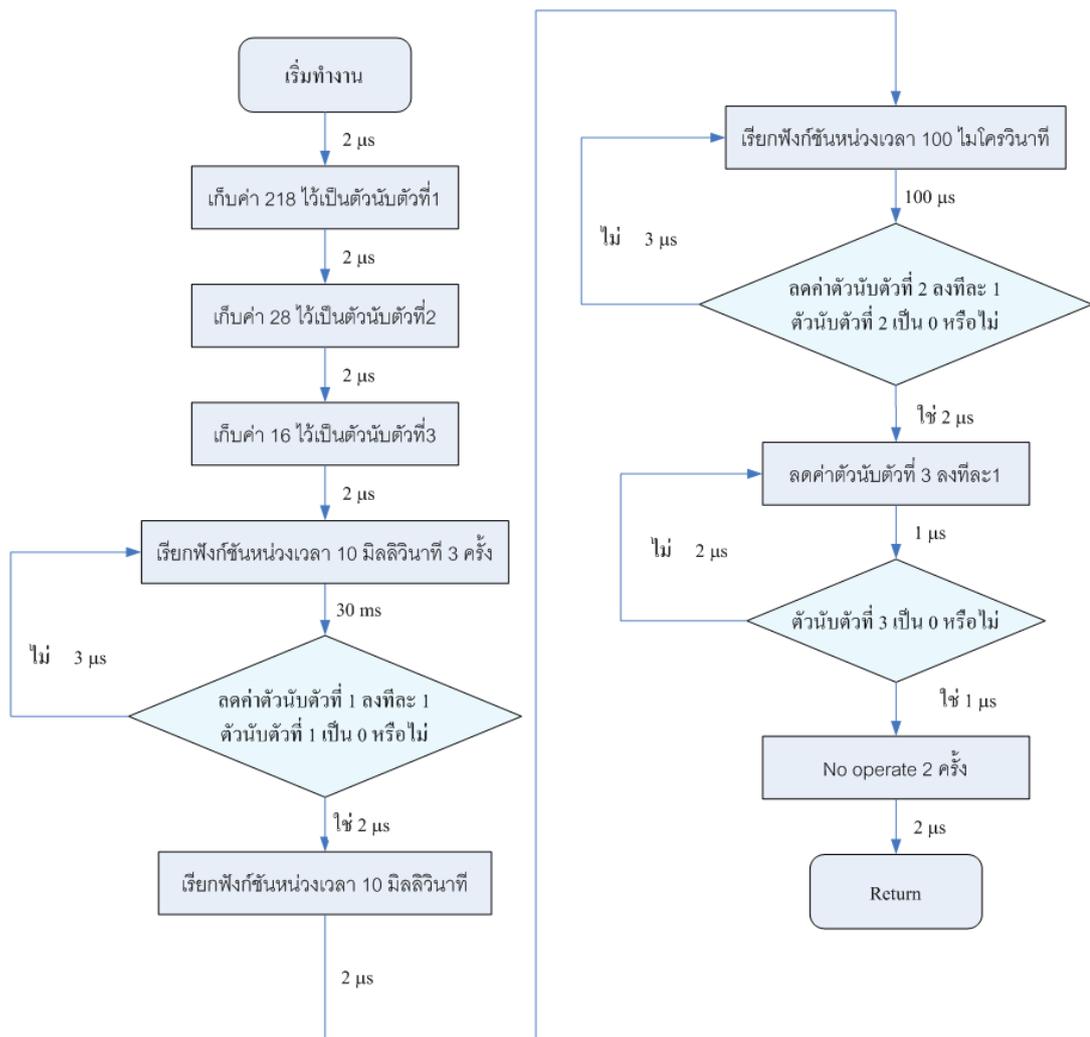
ภาพที่ 40 การหน่วงเวลา 25595 ไมโครวินาที

เช่นเดียวกับในการเปลี่ยนแปลงในไบต์ต่ำและไบต์กลาง การหน่วงเวลาในไบต์สูงสุดได้จาก
แผนผังการทำงานในภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวนับในแต่ละค่านั้นส่งผลให้เวลาเปลี่ยนแปลง
ไป 6553600 ไมโครวินาทีหรือ 6.5536 วินาที



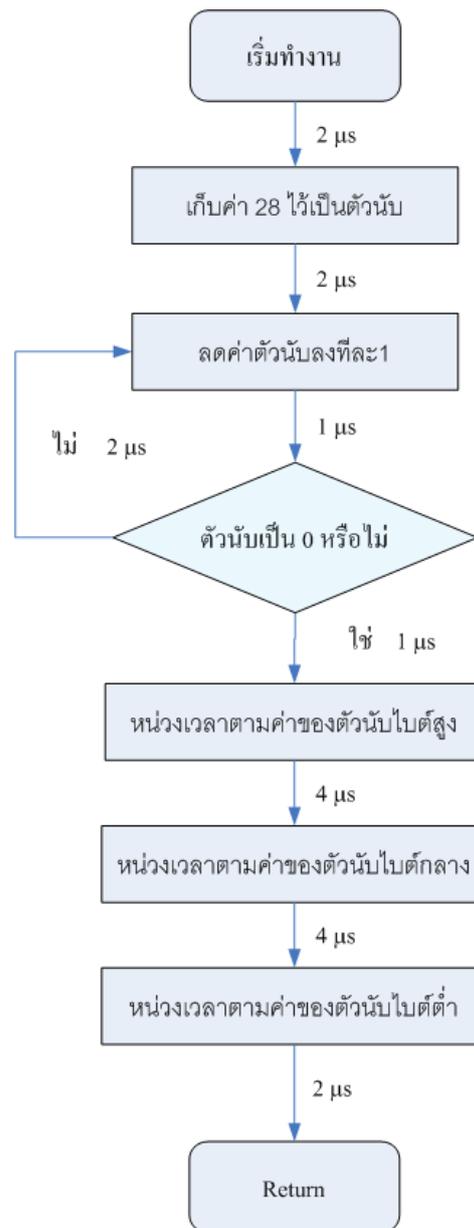
ภาพที่ 41 การหาเวลาในไบต์สูง

ในการหาเวลา 6553595 ไมโครวินาที ที่ได้วางแผนผังดังภาพที่ 42 ในการวนซ้ำของ ตัวนับตัวที่ 1 ใช้เวลาทั้งหมด $30003 \times 217 + 30002 = 6540653$ ไมโครวินาที รวมกับ 10 มิลลิวินาที เป็น 6550653 ไมโครวินาที ในการวนซ้ำรอบของตัวนับตัวที่ 2 ใช้เวลา $103 \times 27 + 102 = 2883$ ในการวนซ้ำของตัวนับตัวที่ 3 ใช้เวลา $3 \times 15 + 2 = 47$ รวมการเก็บค่าในตัวนับ การทำ No operate การกระโดดมาทำงานในฟังก์ชันและการกระโดดกลับไปทำงานในโปรแกรมหลักอีก 12 ไมโครวินาที ผลรวมทั้งหมดคือ 6553595 ไมโครวินาที



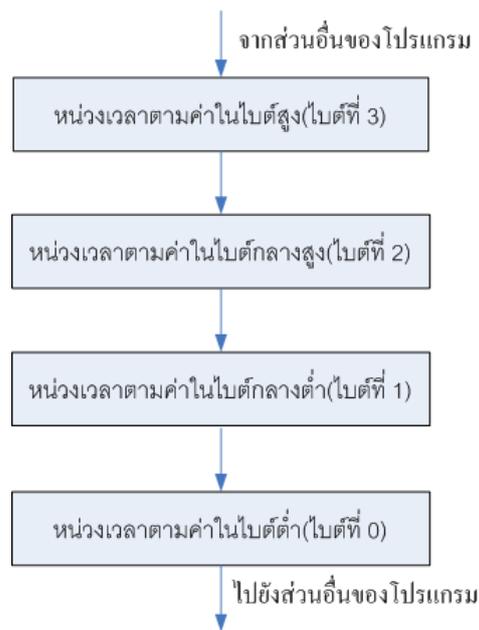
ภาพที่ 42 การหน่วงเวลา 6553595 ไมโครวินาที

จากที่กล่าวมาข้างต้นสังเกตได้ว่ายังไม่มีการคิดเวลาที่สูญเสียไปในการเรียกใช้ฟังก์ชัน ดังนั้นหากคิดเวลาที่เสียไปในการเรียกใช้ฟังก์ชันด้วยและการกระโดดไปทำงานในฟังก์ชันถัดไป ด้วยเวลาที่สูญเสียนี้นี้มีค่า 14 ไมโครวินาที ดังนั้นเมื่อความละเอียดต่ำสุดที่ใช้ในการทำงานคือ 100 ไมโครวินาที ดังนั้นจึงต้องหน่วงเวลาอีก 86 วินาที ซึ่งเมื่อรวมทั้งหมดแล้วแผนผังการทำงาน โดยรวมเป็นดังภาพที่ 43



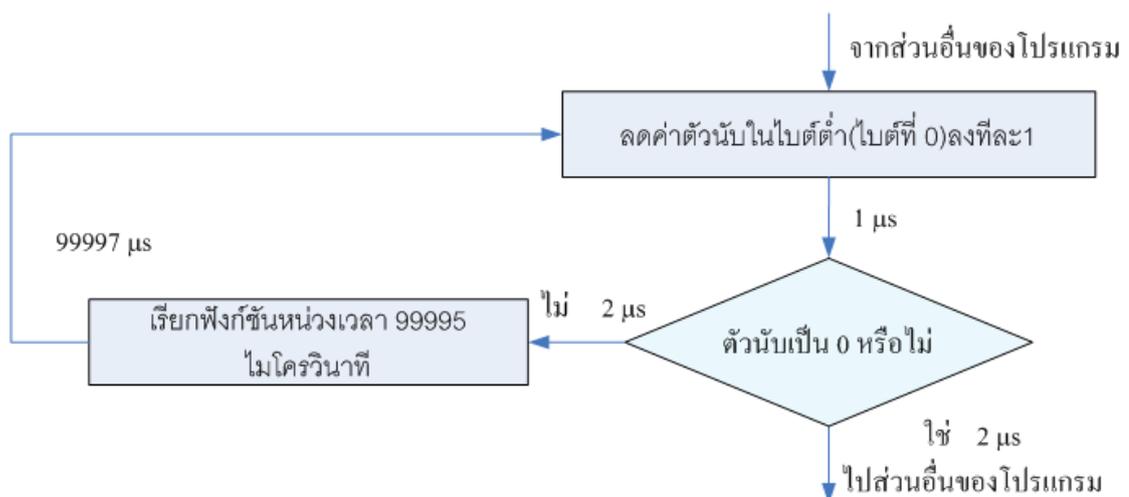
ภาพที่ 43 แสดงแผนผังการหน่วงเวลาการเปิดปิดโซลีนอยด์วาล์วทั้งหมด

จากที่กล่าวมาข้างต้นตัวนับในการหน่วงเวลาสำหรับการหยุดจ่ายอัตโนมัติมี 32 บิต ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 ไบต์ ในการเปลี่ยนแปลงค่าทีละหนึ่งไบนไบต์ต่ำสุดจะส่งผลให้เวลาในการเปิดโซลีนอยด์ยาวขึ้น 100 มิลลิวินาทีต่อหนึ่งค่าที่เพิ่มขึ้นซึ่งดูได้ตามแผนผังภาพที่ 44 เมื่อพิจารณาการวนซ้ำ เวลาในการวนซ้ำในแต่ละรอบเป็น 100 มิลลิวินาทีพอดี ดังนั้นเวลารวมของการวนซ้ำจึงขึ้นกับค่าตัวนับในไบต์ต่ำสุดที่ผู้ใช้งานป้อนเข้ามานั่นเอง



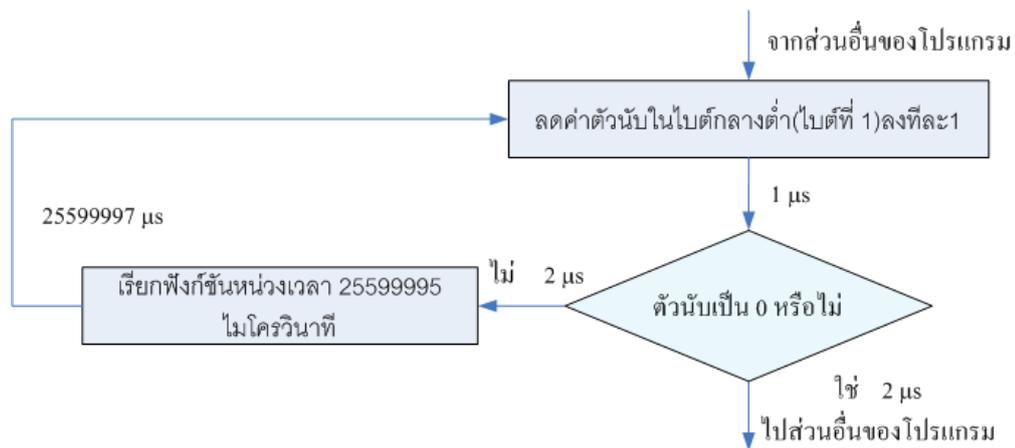
ภาพที่ 44 แสดงการหน่วงเวลาการหยดจ่ายของเหลวอัตโนมัติ

การหน่วงเวลาในไบต์ต่ำคิดโดยการลดค่าตัวนับไบต์ต่ำสุดลงทีละค่าเมื่อลดค่าแต่ละค่าจะทำให้เกิดผลรวมของการหน่วงเวลาเป็น 100 มิลลิวินาที ซึ่งเพื่อให้สามารถหน่วงเวลาได้ครบตามเวลาที่กำหนดไว้จึงจำเป็นต้องเรียกฟังก์ชันเพื่อหน่วงเวลา 99997 ไมโครวินาที พิจารณาจากแผนผังดังภาพที่ 45



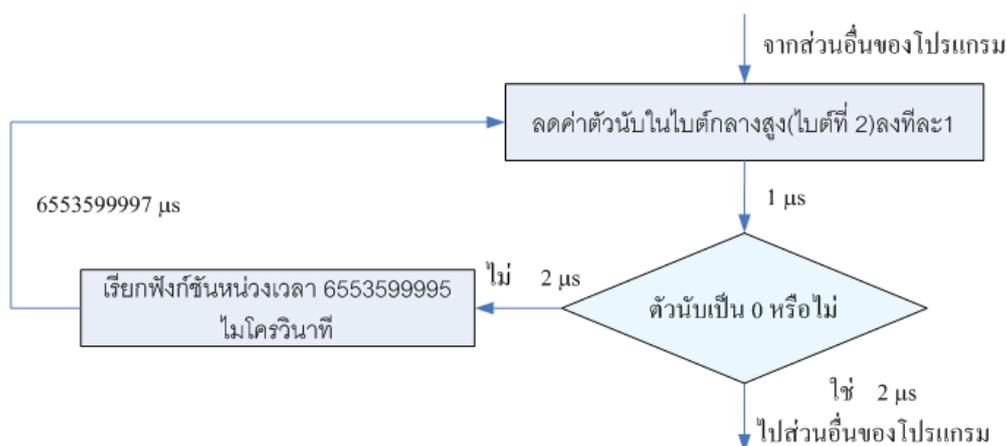
ภาพที่ 45 แสดงแผนผังการหน่วงเวลาอัตโนมัติในไบต์ต่ำ

สำหรับการหน่วงเวลาโดยลดไบต์กลางต่ำลงจะมีผลให้เกิดการหน่วงเวลา 25600 มิลลิวินาที การหน่วงเวลานี้จะเกิดขึ้นเมื่อลดไบต์ต่ำลงหมดแล้วเท่านั้น และเช่นเดียวกันเพื่อให้หน่วงเวลาได้ตามต้องการจึงจำเป็นต้องเรียกฟังก์ชันการหน่วงเวลา 25599995 ไมโครวินาที โดยสามารถดูการทำงานได้จากแผนผังดังภาพที่ 46



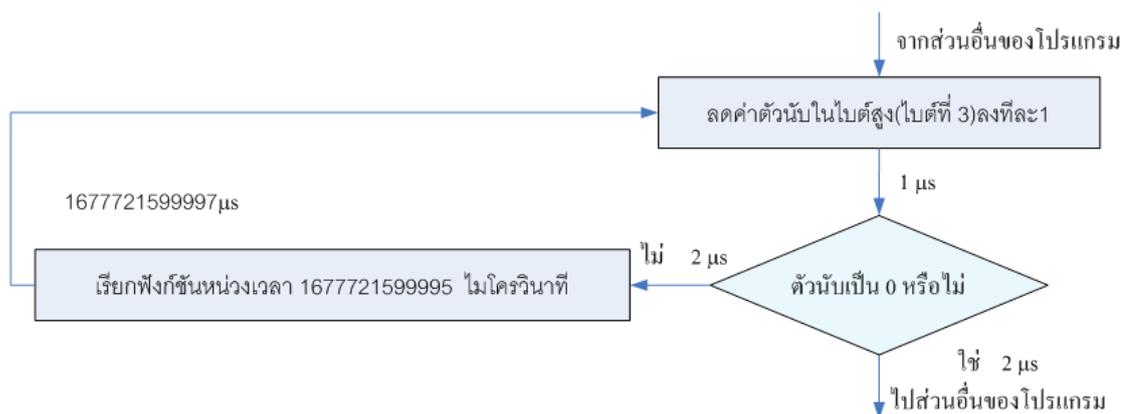
ภาพที่ 46 แสดงแผนผังการหน่วงเวลาในไบต์กลางต่ำ

สำหรับการหน่วงเวลาในกรณีของการลดค่าของไบต์กลางสูงในแต่ละค่าส่งผลให้การหน่วงเวลามีค่าเพิ่มขึ้น 6553600000 ไมโครวินาที ซึ่งดูได้ดังภาพที่ 47 และเช่นเดียวกันเพื่อให้หน่วงเวลาได้ตามต้องการจึงจำเป็นต้องเรียกฟังก์ชันการหน่วงเวลา 6553599995 ไมโครวินาทีเพื่อให้ได้เวลาตามต้องการ



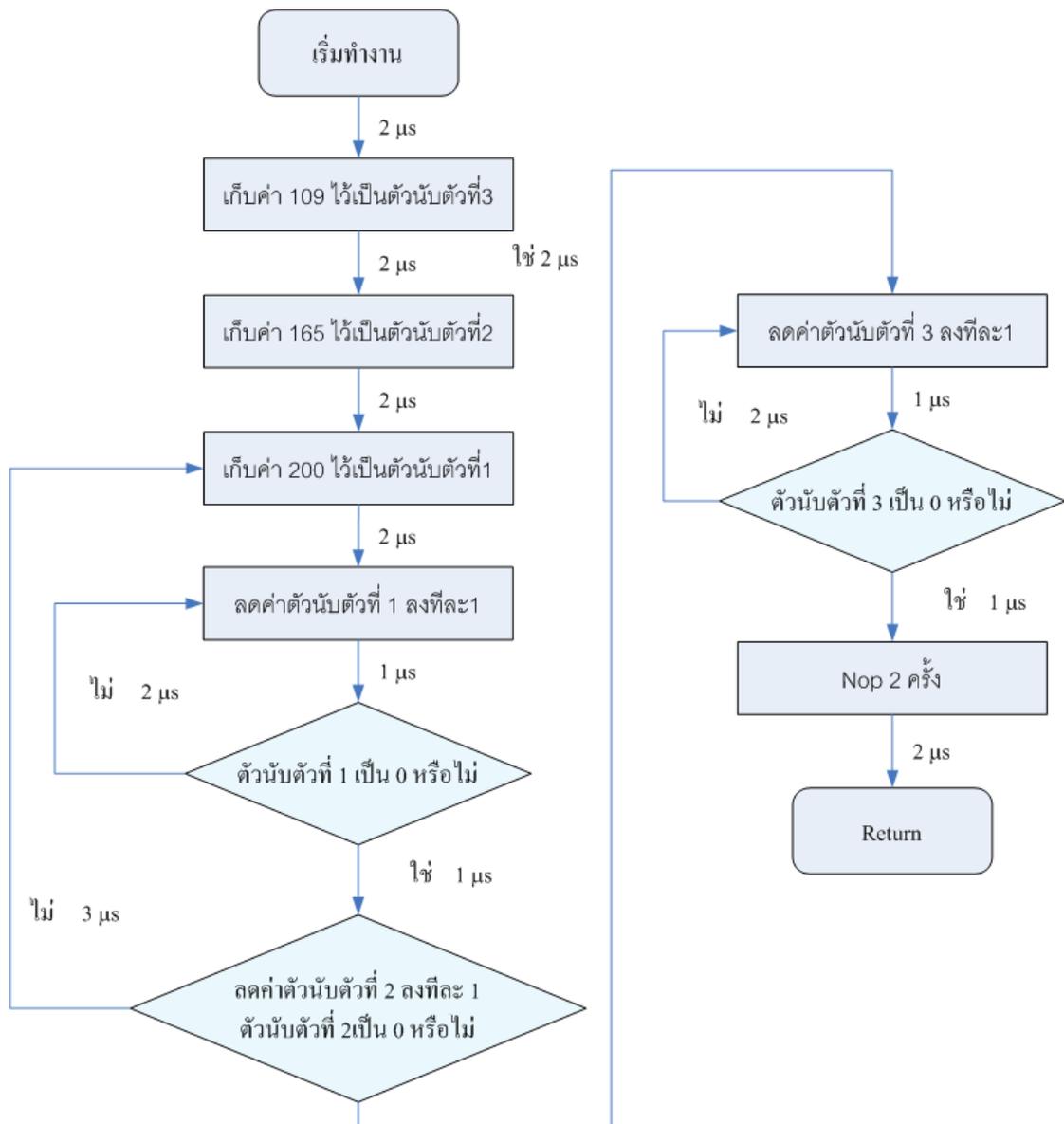
ภาพที่ 47 แสดงแผนผังการหน่วงเวลาในไบต์กลางสูง

การลดค่าของตัวแปรในไบต์สูงในแต่ละค่าส่งผลให้การห้วงเวลามีค่าเพิ่มขึ้น
 167772160000 ไมโครวินาที ซึ่งดูได้ดังภาพที่ 48 และเช่นเดียวกันเพื่อให้ห้วงเวลาได้ตาม
 ต้องการจึงจำเป็นต้องเรียกฟังก์ชันการห้วงเวลา 167772159995 ไมโครวินาทีเพื่อให้ได้เวลา
 ตามต้องการ



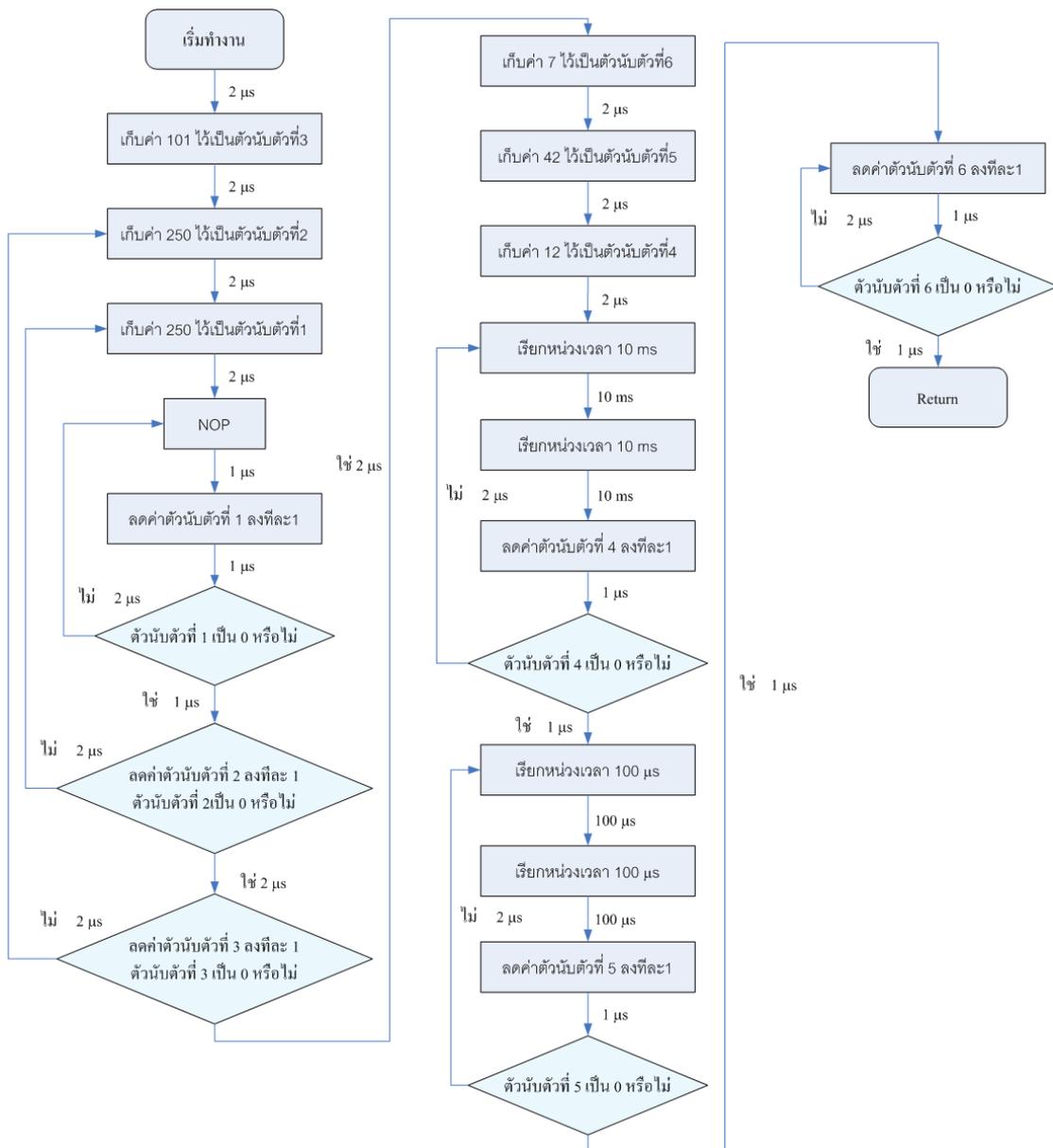
ภาพที่ 48 แสดงแผนผังการห้วงเวลาในไบต์สูง

การห้วงเวลา 99995 ไมโครวินาทีทำได้ดังแผนผังดังภาพที่ 49 คิดได้จากวงรอบในสุด
 $(3 \times 199) + 2 = 599$ ไมโครวินาทีนำค่าที่ได้มาคิดในวงรอบถัดไป $(599 + 5) \times 164 + 603 = 99659$ คิด
 วงรอบท้ายสุดจะได้ $(3 \times 108) + 2 = 326$ ไมโครวินาที รวมกันได้เป็น 99985 ไมโครวินาที เมื่อรวมกับ
 การกระโดดเข้ามาทำงานและเก็บค่าต่างๆจะได้ผลรวมเป็น 99995 ไมโครวินาทีพอดี



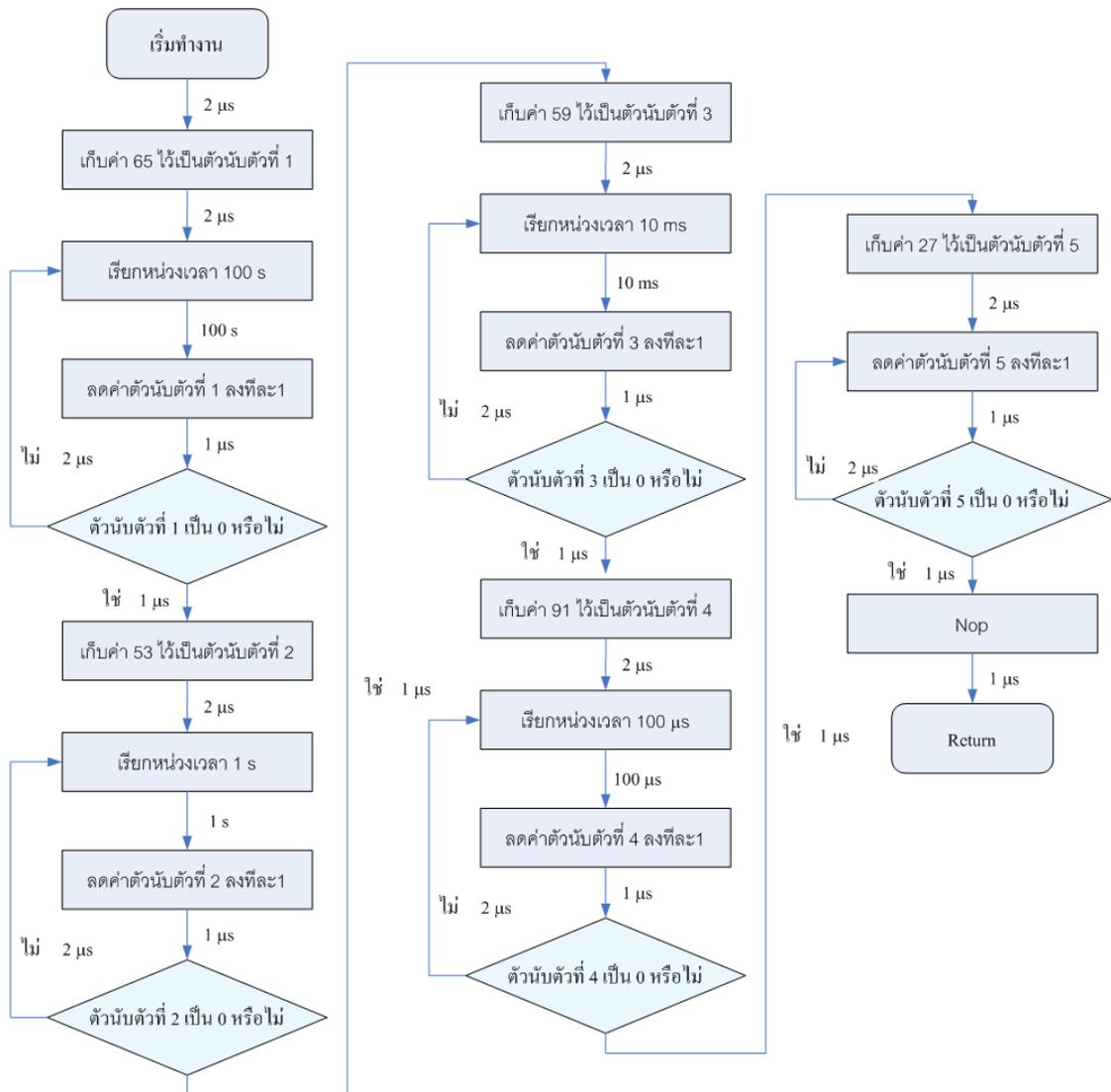
ภาพที่ 49 การหน่วงเวลา 99995 ไมโครวินาที

การหน่วงเวลา 2559995 คำนวณได้จาก $(4 \times 249) + 3 = 999$ ไมโครวินาที นำค่าที่ได้มาคิดต่อ $(999 + 5) \times 249 + 1003 = 250999$ นำมาคิดในรอบถัดไป $(250999 + 5) \times 100 + 251003 = 25351403$ ไมโครวินาที คิดในอีกวงรอบการทำงานหนึ่งคิดได้จาก $(20003 \times 11) + 20002 = 240035$ คิดในอีกวงรอบหนึ่งจะได้ $(203 \times 41) + 202 = 8525$ คิดในวงรอบสุดท้ายจะได้ $(3 \times 6) + 2 = 20$ เมื่อรวมกันกับการใส่ค่าเริ่มต้นและกระโดดเข้าและกระโดดออกอีก 12 ไมโครวินาทีจะได้ค่าเป็น 25599995 ไมโครวินาทีพอดี ซึ่งแผนผังการทำงานแสดงได้ดังภาพที่ 50



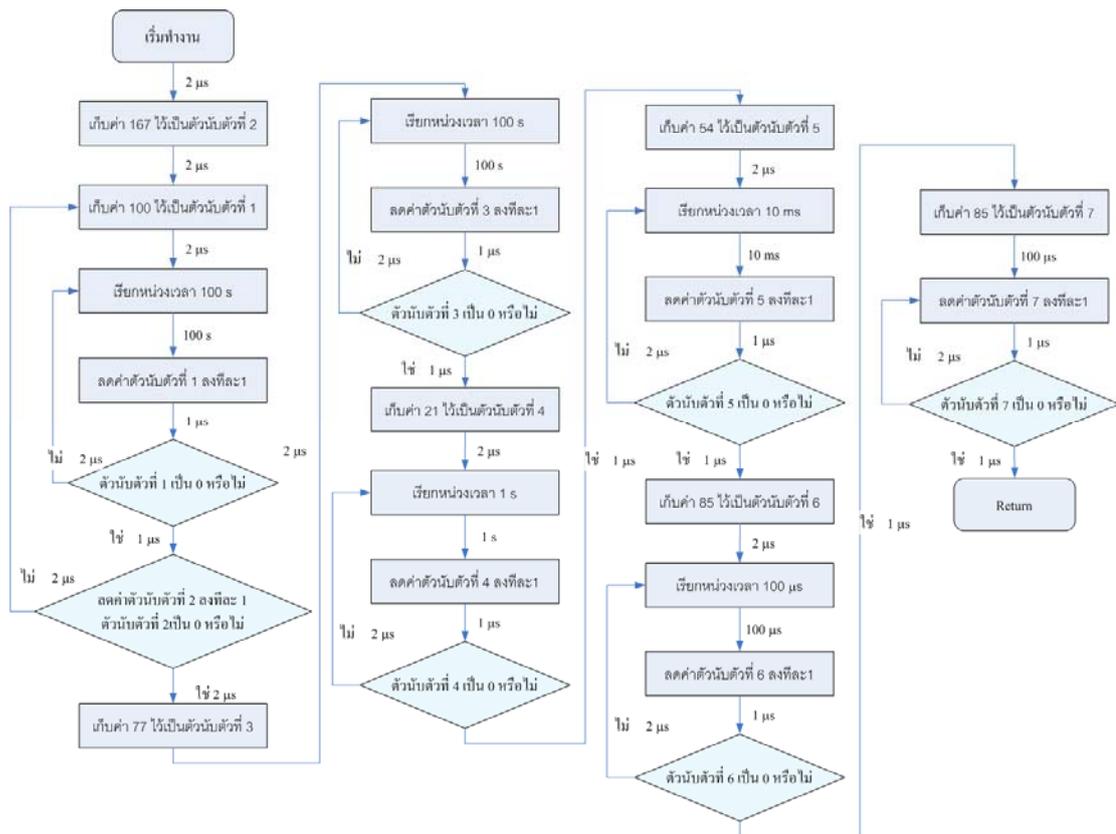
ภาพที่ 50 แสดงการหน่วงเวลา 25599995 ไมโครวินาที

การหน่วงเวลาด้วยไบต์กลางสูงส่งผลให้ต้องมีการเรียกใช้ฟังก์ชันหน่วงเวลา 6553599995 ไมโครวินาที ในฟังก์ชันนี้มีการทำงานดังภาพที่ 51 เพื่อให้คำนวณที่ง่ายคิดการวนลูปจากบนลงล่าง $(100000003 \times 64) + 100000002 = 6500000194$ ไมโครวินาที คิดวงรอบถัดไป $(1000003 \times 52) + 1000002 = 53000158$ ไมโครวินาที คิดต่อในวงรอบถัดไป $(10003) \times 58 + 10002 = 590176$ ไมโครวินาที คิดต่อในวงรอบถัดไปอีก $(103) \times 90 + 102 = 9372$ ไมโครวินาที คิดคำนวณเวลาในวงรอบสุดท้าย $(26 \times 3) + 2 = 80$ นำค่ารวมกับ NOP และการเก็บค่าไว้ในตัวแปรอีก 15 ไมโครวินาทีจะได้ $6500000194 + 53000158 + 590176 + 9372 + 80 + 15 = 6553599995$ ไมโครวินาที



ภาพที่ 51 แสดงการหน่วยเวลา 655359995 ไมโครวินาที

สำหรับการหน่วยเวลา 167772159995 ไมโครวินาทีที่มีการทำงานดังแผนผังในภาพที่ 52 ซึ่งวิธีการคำนวณนั้นก็ใช้วิธีเหมือนกันกับวิธีข้างต้น

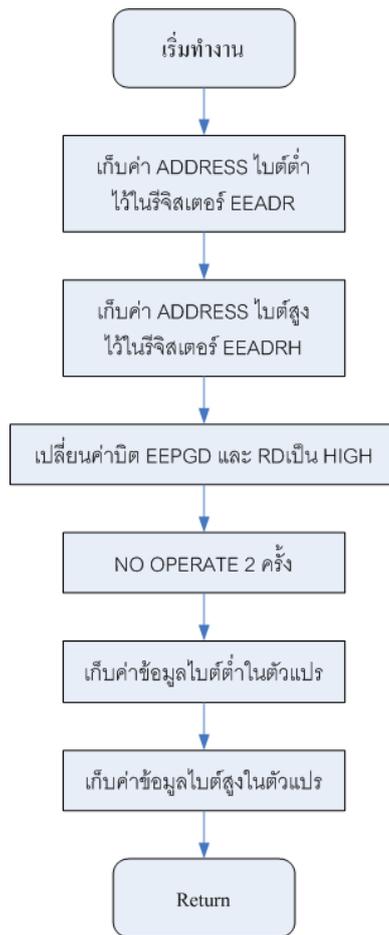


ภาพที่ 52 แสดงแผนผังการหน่วงเวลา 1677721599995 ไมโครวินาที

การอ่านเขียนข้อมูลในหน่วยความจำ

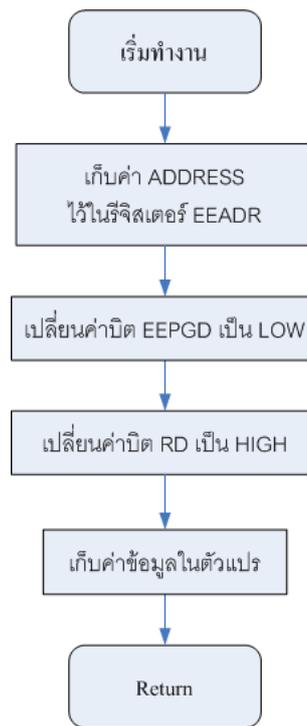
ในการอ่านและเขียนข้อมูลในหน่วยความจำในงานวิจัยนี้ ใช้หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชและหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งหน่วยความจำทั้งสองชนิดนี้มีอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งข้อดีของหน่วยความจำทั้งสองแบบนี้คือสามารถอ่านเขียนด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าและไม่สูญหายเมื่อไม่มีแหล่งจ่าย

เนื่องจากหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชในแต่ละตำแหน่งมี 14 บิต ดังนั้นจึงแยกออกเป็นไบต์สูงและไบต์ต่ำ โดยไบต์สูงมี 6 บิต ส่วนไบต์ต่ำมี 8 บิต ดังนั้นการนำข้อมูลไปเก็บในหน่วยความจำโปรแกรมนั้นจึงควรเก็บในไบต์ต่ำเท่านั้น ในงานวิจัยนี้ไม่มีการเขียนข้อมูลในหน่วยความจำแบบแฟลชในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน แต่จะเขียนข้อมูลในตอนเริ่มต้นครั้งเดียวเท่านั้น เพราะฉะนั้นการอ่านหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชนั้นมีแผนผังงานดังภาพที่ 53 โดยข้อมูลที่ได้อาจจะใช้เฉพาะข้อมูลไบต์ต่ำเท่านั้น ซึ่งข้อมูลที่ใช้คือชุดของตัวอักษรเพื่อแสดงผลในจอ LCD



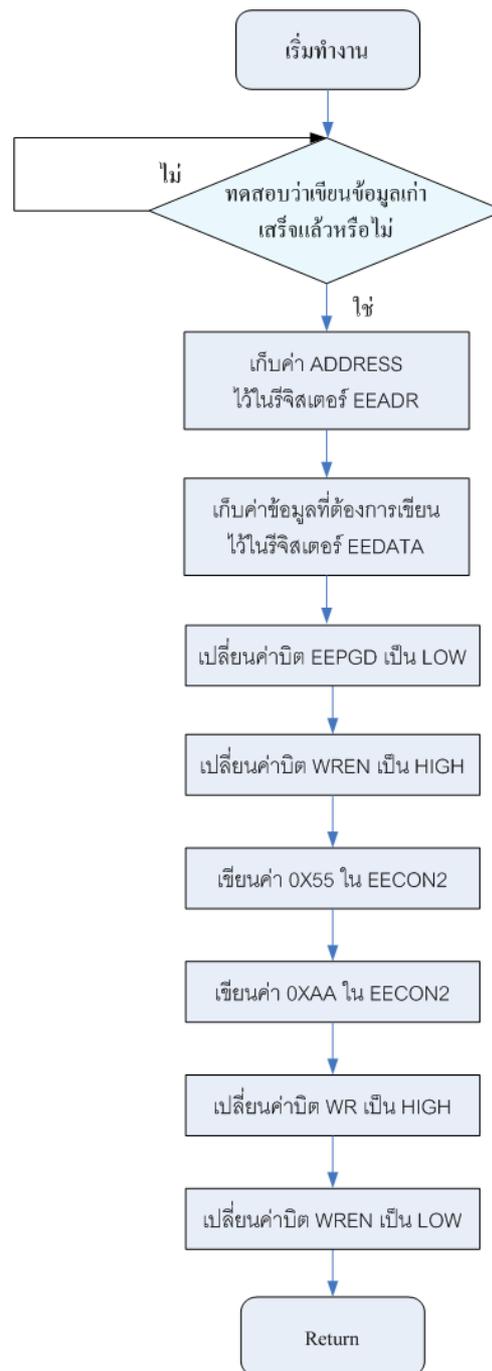
ภาพที่ 53 การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำประเภท FLASH

หน่วยความจำแบบ EEPROM นั้นมีการอ้างแอดเดรสแค่ 8 บิตเท่านั้นซึ่งการอ้างถึงจึงใช้รีจิสเตอร์เพียงแค่ตัวเดียว สำหรับการอ่านข้อมูลจาก EEPROM ซึ่งอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นใช้แผนผังงานดังภาพที่ 54 ข้อมูลที่ได้จากการอ่านนั้นนำไปใช้ในการกำหนดเวลาการเปิดปิดโซลีนอยด์แล้วให้สัมพันธ์กับปริมาตร



ภาพที่ 54 การอ่านข้อมูลจาก EEPROM

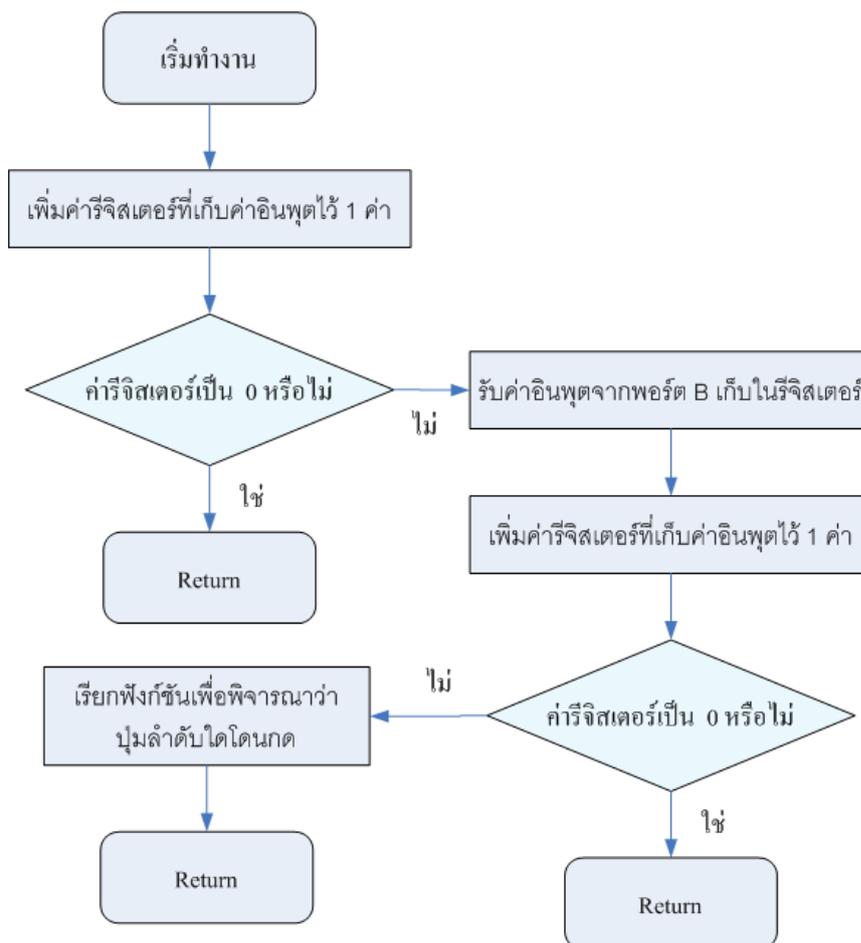
การเขียนข้อมูลในหน่วยความจำ EEPROM ในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานนั้น กระบวนการทำงานคู่ได้ตามแผนผังดังภาพที่ 55 ซึ่งข้อมูลที่น่าไปเก็บนั้นเป็นข้อมูลเวลาในการเปิดปิดโซลินอยด์ว่าล้าให้สัมพันธ์กับปริมาตร



ภาพที่ 55 การเขียนข้อมูลสู่ EEPROM

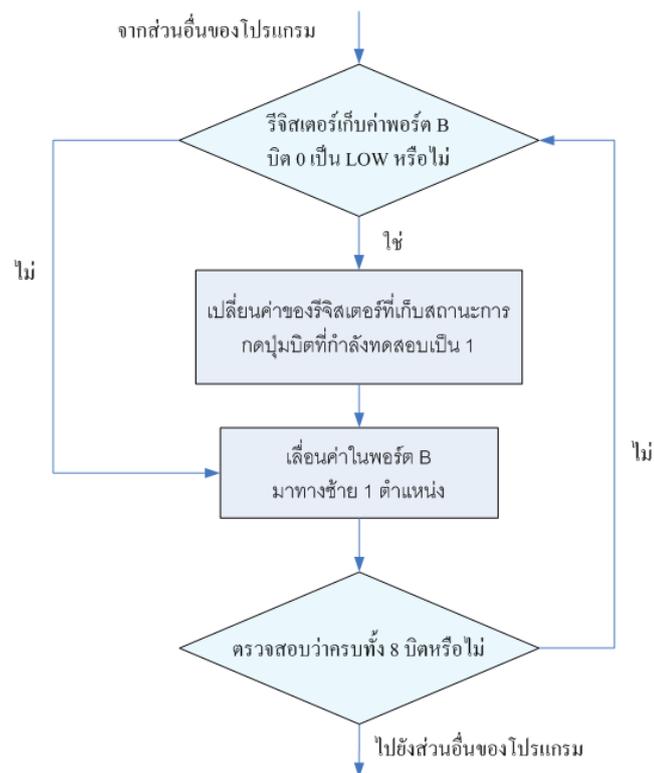
การรับอินพุต

ในการพิจารณาว่ามีการกดสวิทช์ปุ่มใดนั้น รับค่าอินพุตมาจากพอร์ต B ซึ่ง พอร์ต B มีทั้งหมด 8 บิต หากปุ่มใดโดนกดปุ่มนั้นจะ โดนครึ่งลงเป็นลอจิกต่ำซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบทางไฟฟ้า เนื่องจากสวิทช์ที่ใช้เป็นสวิทช์แบบกดติดปล่อยดับ ถึงแม้ว่าจะมีการกรองความถี่สูงซึ่งเข้ามาในขณะที่กดสวิทช์ทั้งในการออกแบบทางไฟฟ้าแล้ว แต่เพื่อเป็นการป้องกันซ้ำในกรณีวงจรกรองความถี่ปล่อยความถี่สูงบางค่าเข้ามาปน ในทางด้านกรออกแบบโปรแกรมเพื่อละทิ้งความถี่สูงนี้ทำได้ดังแผนผังภาพที่ 56 ในงานวิจัยนี้ให้พอร์ต B ทั้งหมดเป็นพอร์ตอินพุตหากมีการกดสวิทช์ กระแสจะโดนครึ่งลงกราวด์ทำให้สถานะบิตเป็น LOW ดังนั้นหากไม่มีการกดสวิทช์เลยค่าของพอร์ต B จะเป็น 0xFF ซึ่งเป็น HIGH ทั้งหมด ดังนั้นหากเพิ่มค่าให้อีก 1 จะเกิด OVERFLOW และค่าเป็น 0x00 แทนที่ หากเป็นเช่นนั้นแสดงว่าปุ่มไม่ได้โดนกดแต่อาจเกิดจากสัญญาณรบกวน เนื่องจากอินพุต 2 ครั้งค่าไม่ตรงกันและกระโดดกลับไปยังโปรแกรมหลัก แต่เพื่อให้เกิดความแน่ใจยิ่งขึ้นจึงตรวจสอบอีกครั้ง โดยรับอินพุตเข้ามาใหม่และทดสอบด้วยวิธีการเดิม หากมีการกดปุ่มจริงๆ จึงค่อยกระโดดไปพิจารณาว่าปุ่มลำดับที่เท่าไร โดนครึ่งและกระโดดกลับเข้าสู่โปรแกรมหลัก



ภาพที่ 56 การรับค่าอินพุตจากสวิตช์

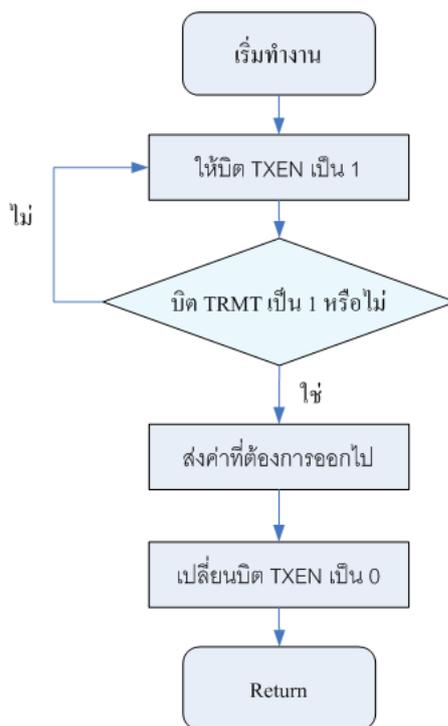
ในการทดสอบว่าปุ่มใดโดนกดบ้างและค้างค่าปุ่มที่โดนกดไว้เพื่อนำค่าไปใช้งานนั้นไปทดสอบเพื่อใช้งานทำได้ตามแผนผังในภาพที่ 57 การทดสอบจะทดสอบทุกบิตของพอร์ต B หากปุ่มใดของสวิตช์ถูกกดค่าของบิตที่โดนกดนั้นจะเป็น Low ในการทดสอบจะเริ่มจากบิต 0 และจะวนไปทดสอบบิต 1, 2, ..., 7 ตามลำดับโดยใช้เทคนิคการเลื่อนบิตมาทางขวาทีละหนึ่งตำแหน่ง หากบิตใดเป็น Low จะทำการเปลี่ยนสถานะรีจิสเตอร์ที่เก็บและค้างค่าของปุ่มที่โดนกดให้เป็น High เมื่อทำครบทั้ง 8 บิตแล้วจึงให้ไปทำงานอื่นต่อ



ภาพที่ 57 ตรวจสอบลำดับปุ่มที่โดนกด

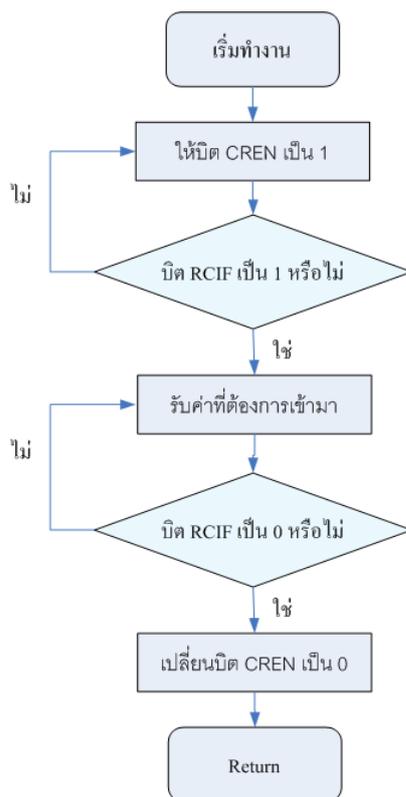
การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกนั้นใช้การเชื่อมต่อด้วยโปรโตคอล RS232 ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานวิจัยนี้สามารถรับและส่งข้อมูล การส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล RS232 ทำได้ดังภาพที่ 58 บิต TXEN เป็นตัวกำหนดให้ส่งข้อมูลออกไปโดยใส่ข้อมูลที่จะส่งในรีจิสเตอร์ TXREG ซึ่งตรวจสอบว่าพร้อมจะส่งหรือไม่โดยการทดสอบที่บิต TRMT



ภาพที่ 58 การส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล RS232

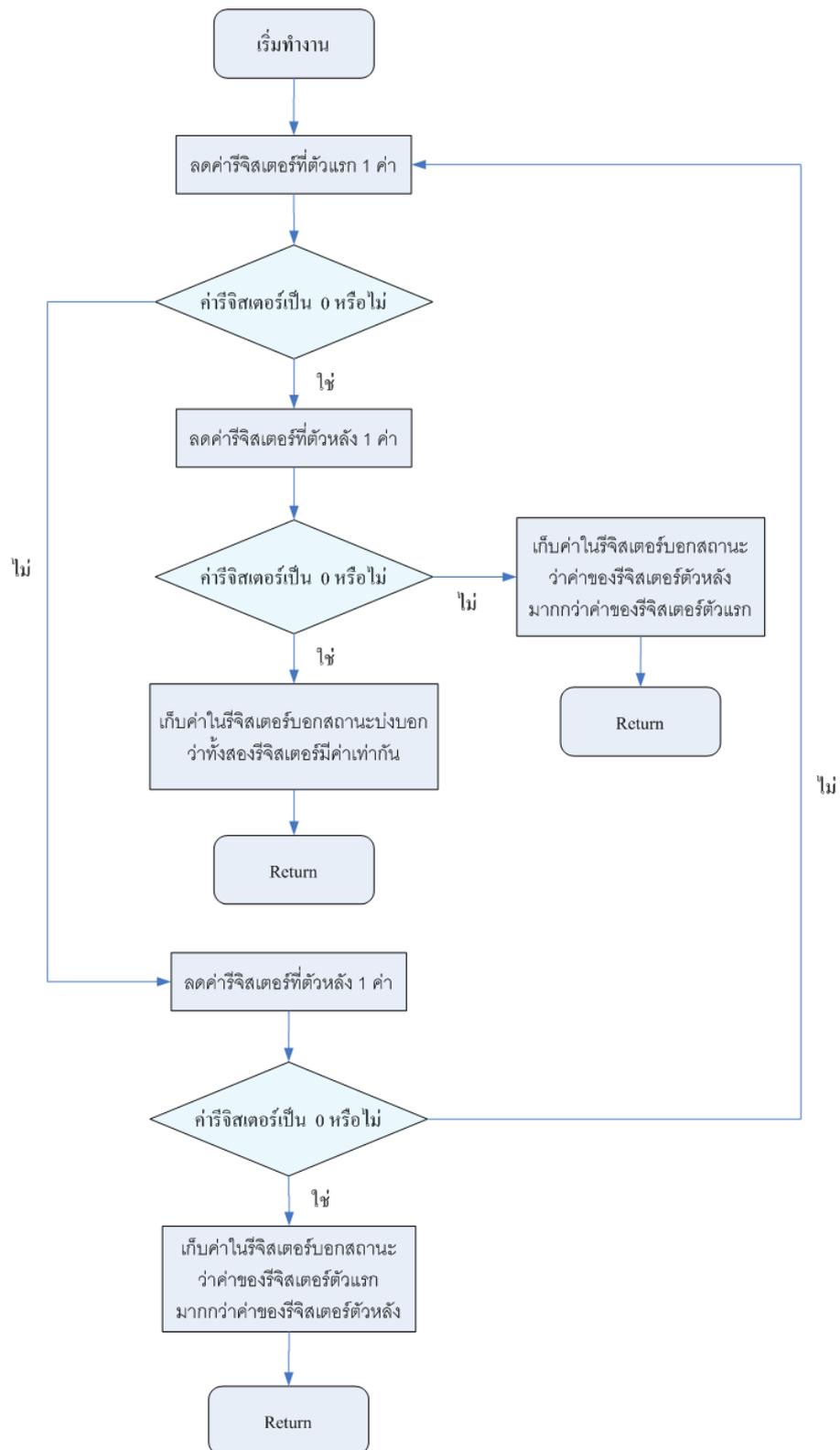
ในการรับข้อมูลผ่าน RS232 ทำได้ดังแผนผังดังภาพที่ 59 ในการรับแตกต่างกับการส่งเล็กน้อยเริ่มจากเปลี่ยนให้ CREN เป็น High ตรวจสอบบิต RCIF ว่าการรับค่าเก่าเสร็จสิ้นหรือไม่ หรือมีค่าค้างหรือไม่ หากเสร็จแล้วจึงค่อยรับข้อมูลเข้ามา หลังจากนั้นจึงตรวจสอบซ้ำว่าการรับเสร็จสิ้นหรือไม่ หากไม่ก็ให้รับค่าเข้ามาใหม่ เมื่อได้ค่าที่ต้องการแล้วจึงกระโดดกลับไปทำงานในโปรแกรมหลัก



ภาพที่ 59 การรับข้อมูลผ่าน โปรโตคอล RS232

การเปรียบเทียบค่า

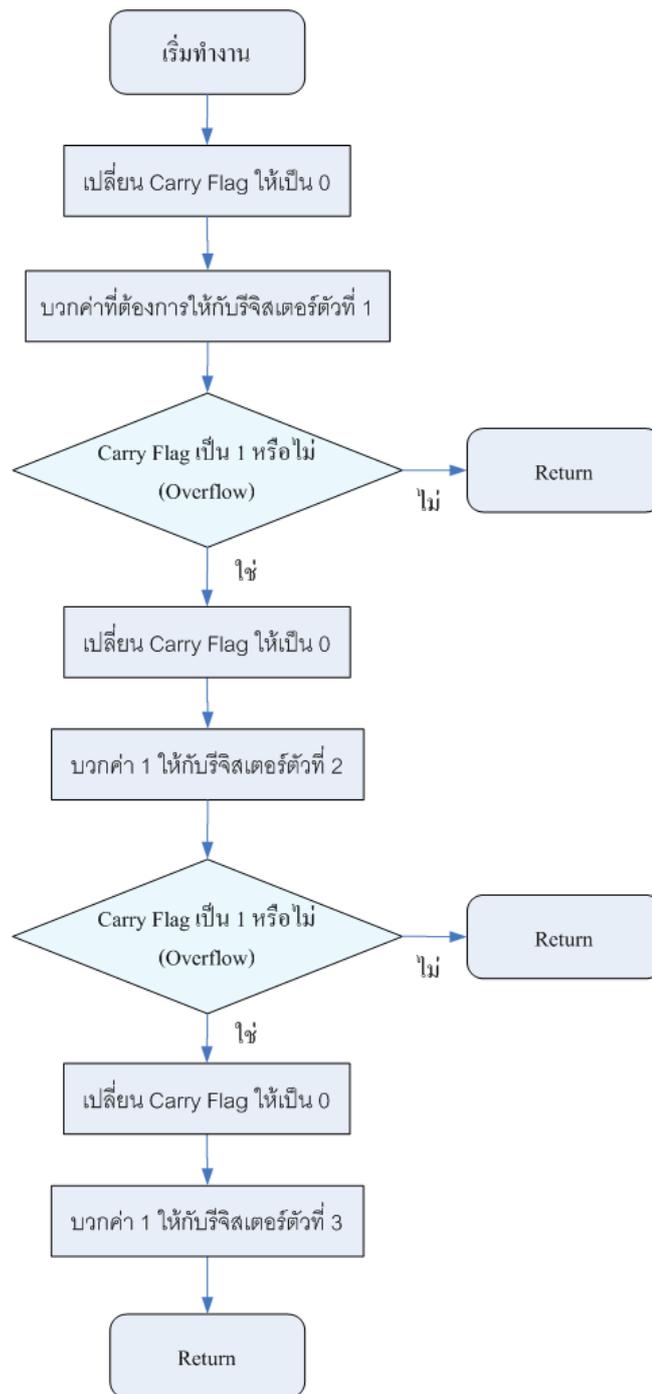
ในงานวิจัยนี้คำสั่งการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์หากพัฒนาด้วยภาษาแอสเซมบลีนั้นจะไม่มีเปรียบเทียบค่าภายในรีจิสเตอร์เท่ากันหรือไม่หากต้องการทำการเปรียบเทียบ 2 รีจิสเตอร์เข้าว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่สามารถทำได้ตามแผนผังภาพที่ 60 เริ่มด้วยการลดค่าภายในรีจิสเตอร์หากรีจิสเตอร์ใดเป็น 0 แสดงว่าตัวนั้นมีค่าน้อยกว่า หากเป็น 0 พร้อมกันแสดงว่าเท่ากัน ซึ่งการเปรียบเทียบนี้มีประโยชน์ในการเปรียบเทียบตัวอักษรว่าเป็นตัวอักษรเดียวกันหรือไม่



ภาพที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบว่าค่าสองค่าเท่ากันหรือไม่

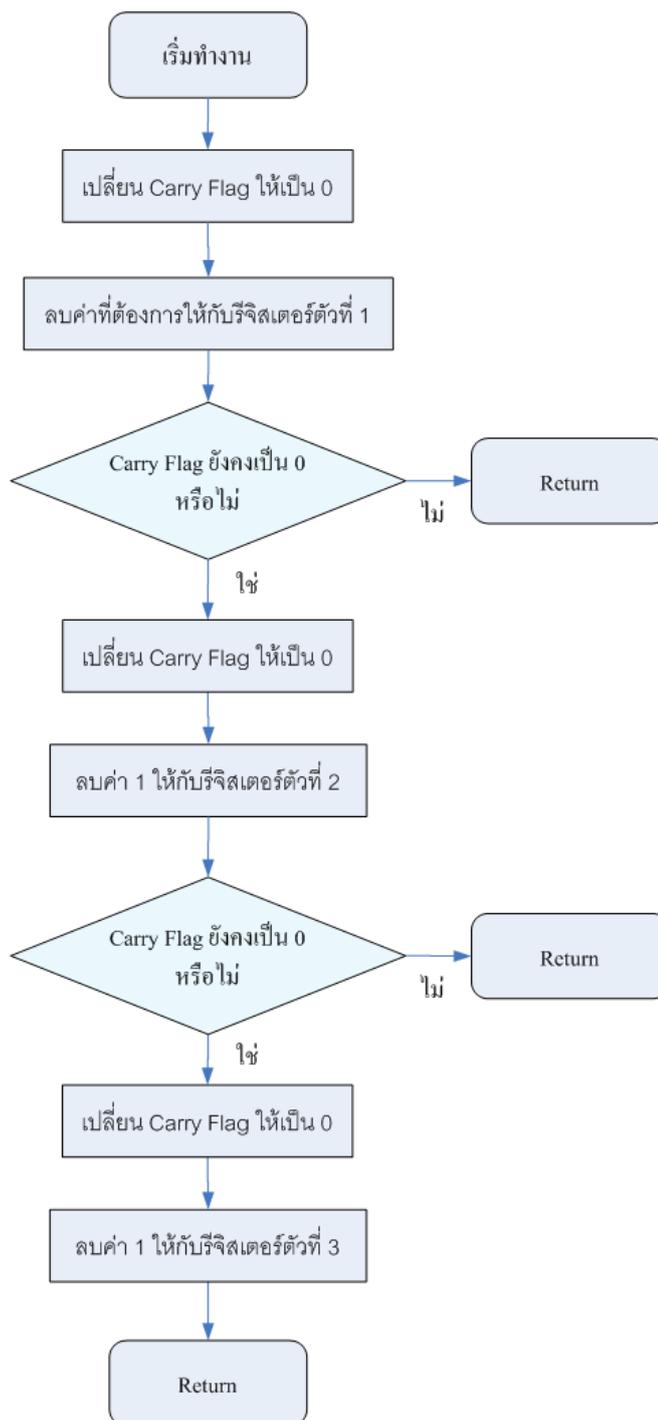
การคำนวณ

ในงานวิจัยนี้มีการคำนวณอยู่บ่อยครั้ง แต่เห็นได้ชัดเจนในการห้วงเวลา สำหรับการห้วงเวลานั้นใช้ 24 บิต ในการห้วงเวลาเปิดปิดโซลีนอยด์ แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถคำนวณได้เพียง 8 บิตเท่านั้น ดังนั้นต้องใช้วิธีการในการคำนวณให้ถูกต้องด้วยในกรณีของหน่วยค่าความจำ 8 บิต ค่าสูงสุดที่สามารถทำได้คือ 255 หากต้องการเพิ่มอีก 2 ค่าเพื่อให้เป็น 257 หรือมากขึ้นไปต้องนำหน่วยความจำอีก 8 บิตมาต่อเชื่อม ดังนั้นวิธีการบวกเลขและทดขึ้นไปสู่ไบต์ถัดไปสามารถทำได้ดังแผนผังภาพที่ 47 Carry Flag เป็นบิตซึ่งบ่งบอกสถานะว่าการบวกนั้นมีเกิดการทดหรือไม่ หากมีการทดแสดงว่าค่านั้นต้องเกิน 255 ดังนั้นจึงต้องมีการบวกบิตถัดไปอีก 1 เพื่อให้ไม่ค่าที่ได้ถูกต้อง ในงานวิจัยนี้ค่าที่นำมาบวกต้องไม่เกิน 8 บิต



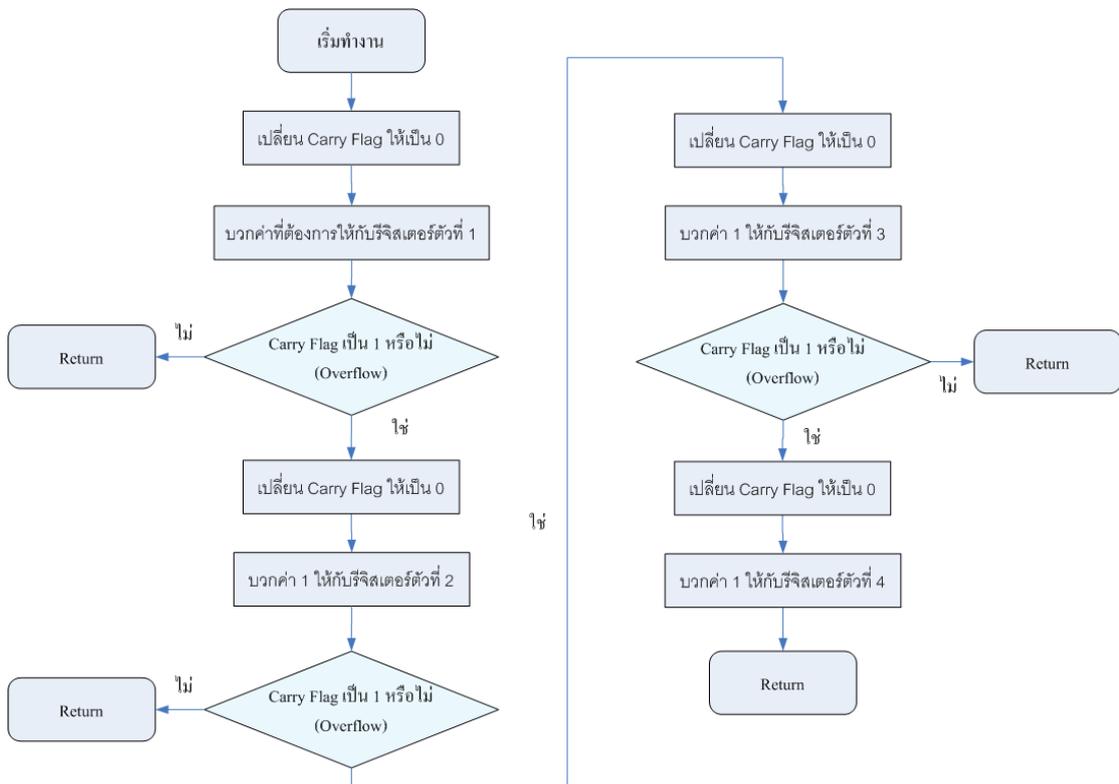
ภาพที่ 61 แสดงการบวกค่า 24 บิตกรณีมีการทด

เช่นเดียวกับการบวกการลบมีวิธีการคล้ายกัน เพียงแต่หาก Carry Flag เป็น 0 แสดงว่าตอนนั้นมีการยืมค่ามาใช้งาน ดังนั้นจึงทำตามแผนภาพดังภาพที่ 62



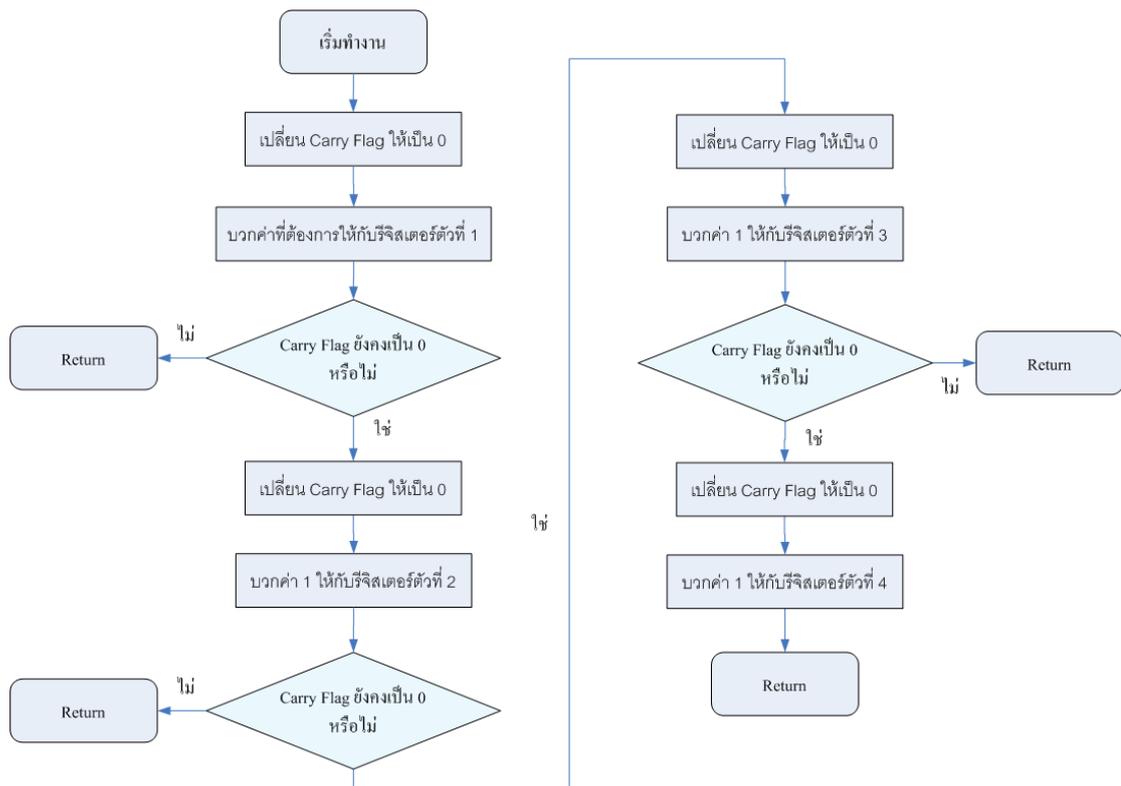
ภาพที่ 62 แสดงการลบค่า 24 บิตกรณีมีการยืม

นอกจากการบวกและลบ เลข 24 บิตแล้วยังมีการบวกลบเลข 32 บิตอีกด้วยซึ่งใช้วิธีการเดียวกันกับการบวกเลข 24 บิต สำหรับการบวกเลข 32 บิต มีแผนผังดังภาพที่ 63 การบวกเลข 32 บิตมีไว้สำหรับการหน่วงเวลาในการปล่อยหยดของเหลวแต่ละครั้งว่าแต่ละหยดห่างกันนานเท่าไร



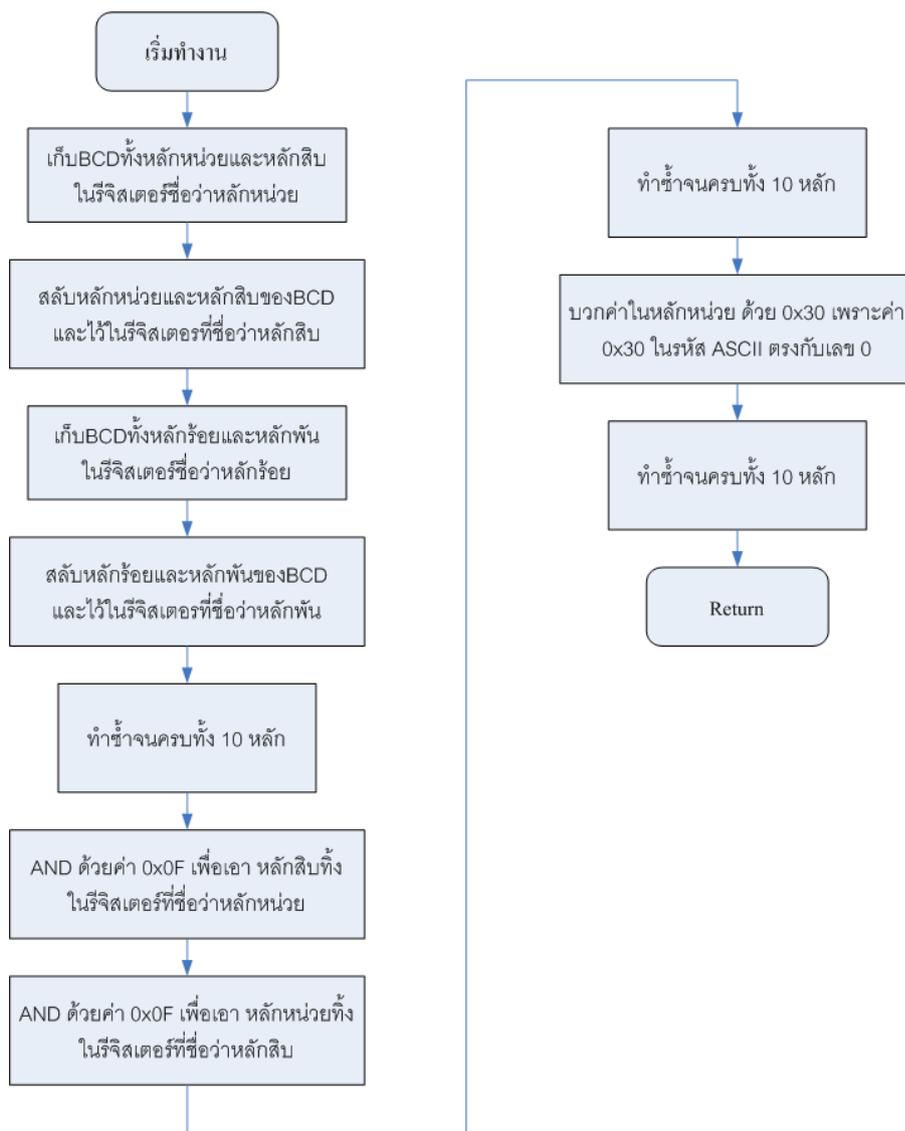
ภาพที่ 63 แสดงการบวกค่า 32 บิตกรณีมีการทด

เช่นเดียวกับการบวกค่าใน 32 บิตการลบค่า 32 บิตก็มีการพิจารณาค่า Carry Flag ว่ามีการยืมหรือไม่ หากมีการยืมเกิดขึ้นจะมีการลบในไบต์ถัดไป ในกรณีของการลบค่า 32 บิตจะเป็นดังแผนผังดังภาพที่ 64



ภาพที่ 64 แสดงการลบค่า 32 บิตกรณีมีการยืม

กระบวนการเปลี่ยนเลขฐาน 16 มาเป็น BCD ใช้วิธีการ Double Dabble ซึ่งได้เลข BCD สองหลักมาใช้งานแต่ เลข BCD เหล่านี้ยังนำมาแสดงผลบนจอ LCD ไม่ได้เนื่องจากต้องเปลี่ยนค่าเลขเหล่านี้ให้เป็นตัวอักษรรหัส ASCII ก่อน ภายในชุดของข้อมูล BCD นั้น รีจิสเตอร์ 1 ตัวจะเก็บค่าเลข BCD สองค่า โดยแบ่งเป็น 4 บิตบนและ 4 บิตล่าง โดย 4 บิตบนจะเก็บหลักที่สูงกว่าส่วน 4 บิตล่างจะเก็บบิตที่ต่ำกว่า เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจพิจารณาภาพที่ 65

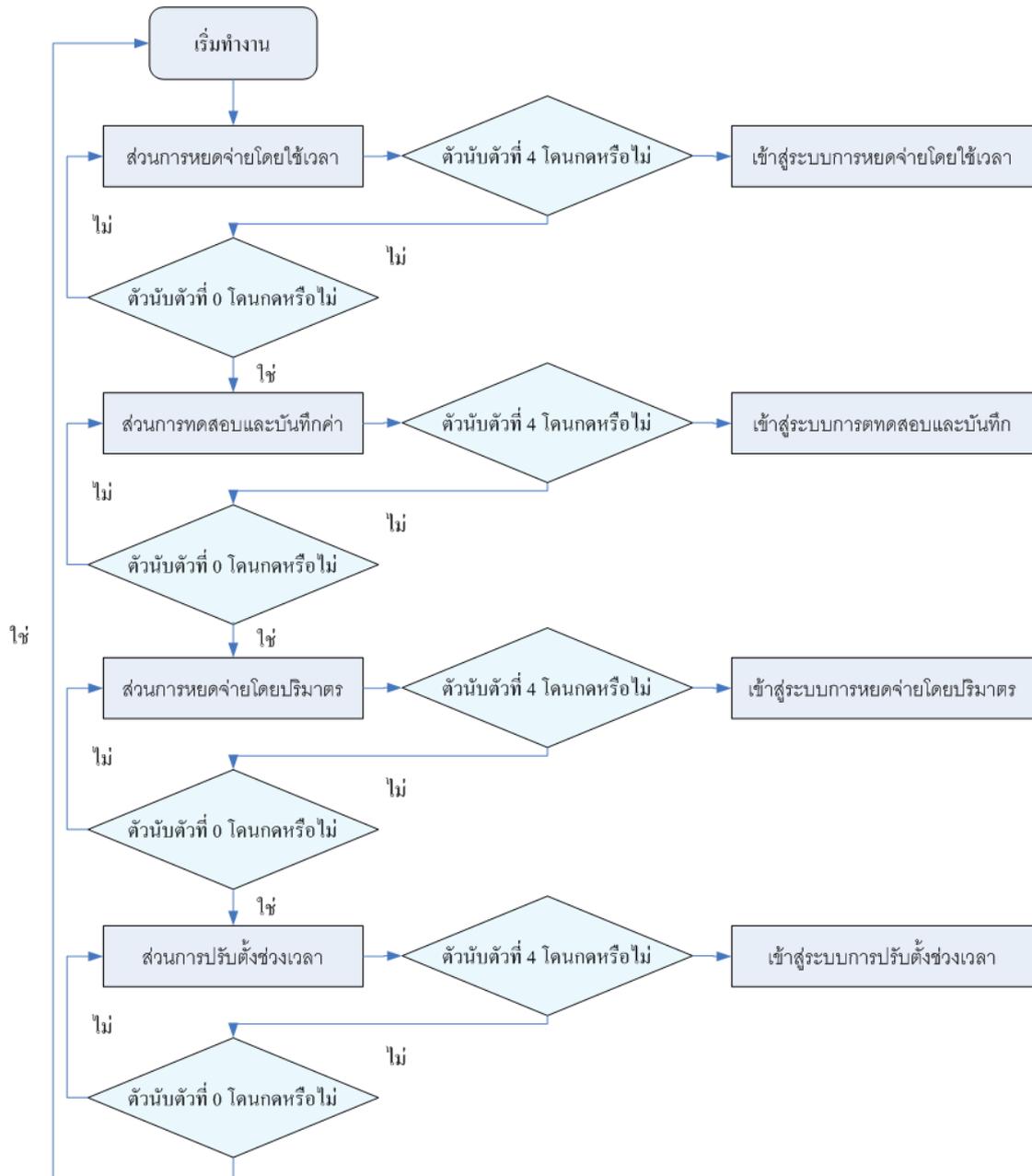


ภาพที่ 65 การทำBCDให้เป็นตัวอักษร

โปรแกรมหลัก

เนื่องจากปริมาณของเหลวขึ้นกับมวลของเหลวและความหนาแน่น ดังนั้นส่วนทดสอบและบันทึกค่าในผังงาน(Flow chart)นั้น ทำงานโดยการหยุดของเหลวและซึ่งหยุดของเหลวที่ปล่อยออกไปว่ามีน้ำหนักตามต้องการหรือไม่ หากไม่ก็ทำการเพิ่มหรือลดเวลาในการเปิดวาล์วควบคุมการหยุดของเหลวให้สัมพันธ์กับน้ำหนักของของเหลวที่ต้องการ หลังจากนั้นบันทึกค่าเวลาในหน่วยความจำ EEPROM เพื่อนำเวลานี้ไปใช้ในส่วนของการหยุดจ่ายของเหลวตามค่าที่ได้บันทึกไว้ในส่วนการหยุดจ่ายของเหลวตามเวลานั้นทำงาน โดยให้ผู้ใช้เลือกเวลาในการเปิดปิดวาล์วควบคุม

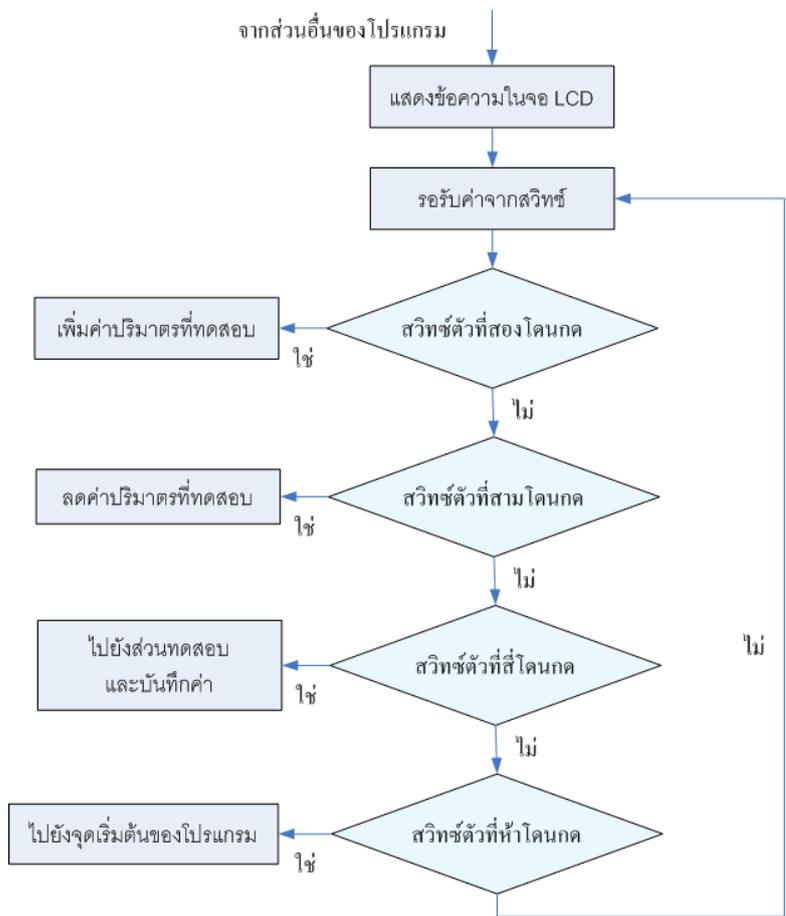
การจ่ายของเหลว และเครื่องหยดจ่ายของเหลวจะทำงานตามเวลาที่ได้ตั้งไว้ ซึ่งตั้งสมมติฐานไว้ว่า หากใช้เวลาในการเปิดวาล์วเป็นระยะเวลาสั้นจะได้ ปริมาณมาก



ภาพที่ 66 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

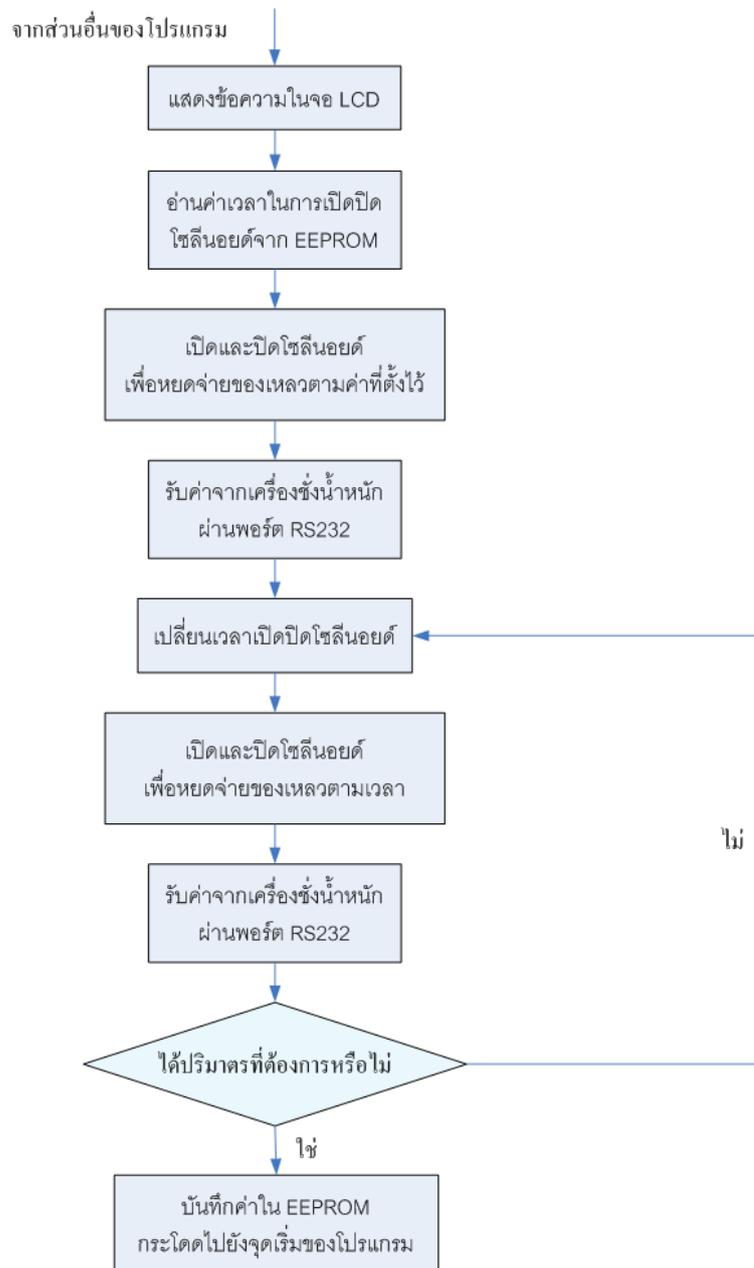
ส่วนทดสอบและบันทึกค่าแสดงข้อความผ่านทางจอ LCD เพื่อบอกผู้ใช้ให้ทราบว่าขณะนี้ อยู่ในส่วนของโปรแกรม และรอรับค่าจากสวิทช์ เพื่อให้ผู้ใช้เป็นคนกำหนดว่าต้องการทำงานอะไรซึ่งมีกลับไปยังจุดเริ่มต้นของโปรแกรม การปรับค่าปริมาตรของของเหลวที่ต้องการทดสอบ

และบันทึกค่าเวลาหยดจ่ายให้สัมพันธ์กัน และเมื่อปรับปรับค่าปริมาตรของเหลวได้ตามต้องการจึงเข้าสู่การทดสอบและบันทึกค่าต่อไปดูการทำงานได้จากแผนผังภาพที่ 67



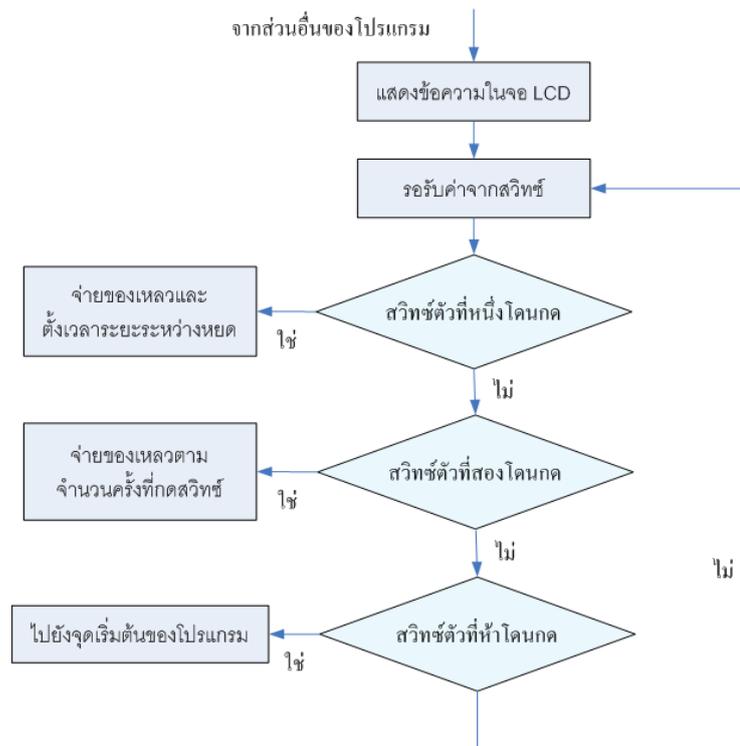
ภาพที่ 67 เมนูการทดสอบและบันทึกค่า

เมื่อเลือกปริมาตรของเหลวที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะนำเวลาที่เก็บไว้มาเป็นฐานการอ้างอิงจาก EEPROM หลังจากนั้นจะทำการหยดจ่ายของเหลวตามค่าเวลาที่ได้ตั้งไว้ รอรับค่าน้ำหนักจากเครื่องชั่งดิจิตอล หากน้ำหนักของหยดของเหลวมีค่าน้อย ก็เพิ่มเวลาการหยดจ่าย หากน้ำหนักของเหลวมีค่ามากจึงลดเวลาการหยดจ่าย เมื่อได้เวลาที่ต้องการแล้วจึงบันทึกข้อมูลลง EEPROM ดังแผนผังงานภาพที่ 68



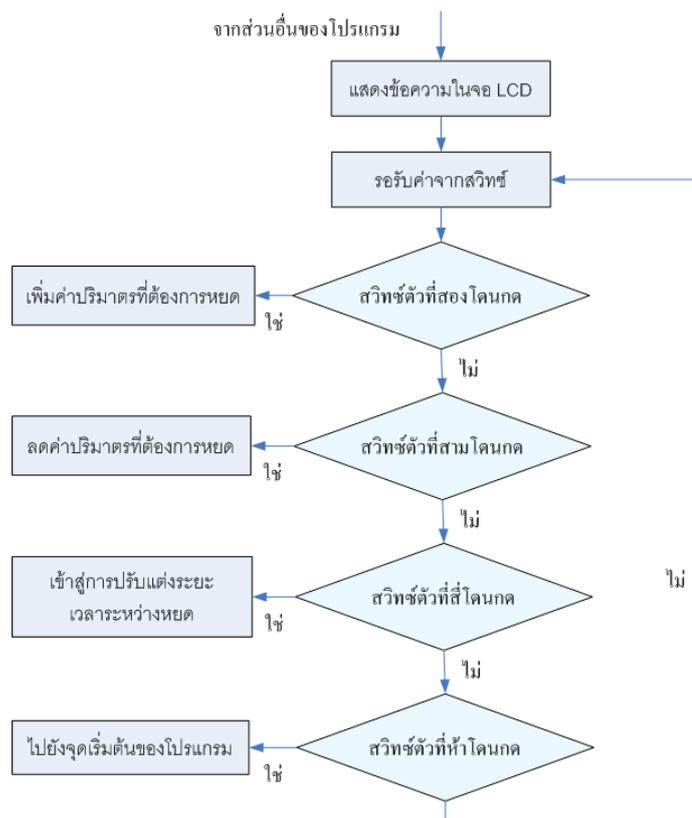
ภาพที่ 68 การจ่ายหยดของเหลวและนำค่าน้ำหนักที่ได้มาปรับแก้

การหยดจ่ายของเหลวตามปริมาตรซึ่งใช้ปริมาตรเป็นตัวกำหนดเวลาการเปิดปิดโซลินอยด์ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลานั้นดูได้จาก Lookup Table ใน EEPROM ซึ่งสามารถเลือกวิธีการทำงานได้สองวิธี คือกำหนดเวลาในการจ่ายหยดแต่ละครั้งว่าต้องการให้ห่างกันเป็นเวลานานเท่าไร ส่วนอีกวิธีนั้นกำหนดการหยดแต่ละครั้งด้วยสวิทช์ที่ใช้ทำกด หากมีการกดสวิทช์ เครื่องหยดจ่ายจะทำการหยดของเหลว รายละเอียดดูได้ตั้งแผนผังในภาพที่ 69



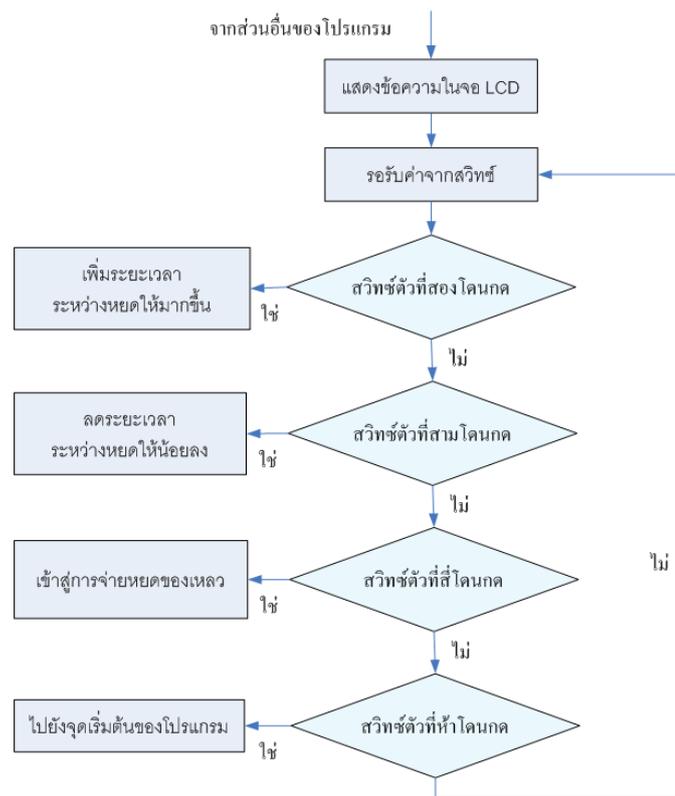
ภาพที่ 69 เมนูให้เลือกรการตั้งระยะเวลาระหว่างหยุดหรือการเหยียบสวิตช์

เมื่อเลือกใช้การตั้งเวลาให้หยุดแต่ละหยุดแล้ว จึงมีค่าที่กำหนดสองค่าคือปริมาตรและระยะเวลาระหว่างหยุด ดังนั้นในการกำหนดค่านั้นจะเริ่มโดยกำหนดค่าปริมาตรก่อนและกำหนดระยะเวลาระหว่างหยุดในภายหลัง โดยรายละเอียดการกำหนดปริมาตรเป็นดังภาพที่ 70



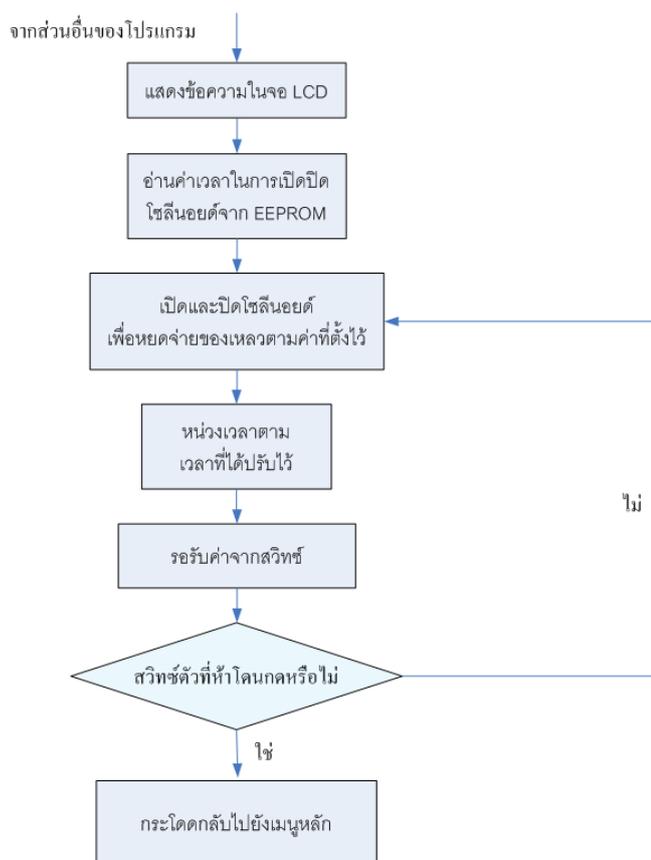
ภาพที่ 70 การตั้งค่าปริมาตรที่ต้องการหยุดสำหรับการตั้งระยะเวลาห่างหยุด

การหยุดจ่ายของเหลวนั้นนอกจากกำหนดปริมาตรให้ได้ตามต้องการแล้วยังมีการกำหนดเวลาในการหยุดแต่ละหยุด ว่าต้องการให้แต่ละหยุดนั้นหยุดห่างกันนานเท่าไรเพื่อสำหรับการหยุดของเหลวที่มีการหยุดต่อเนื่องกัน การกำหนดระยะเวลาในการหยุดแต่ละหยุดนั้นทำได้ดังแผนผังในภาพที่ 71



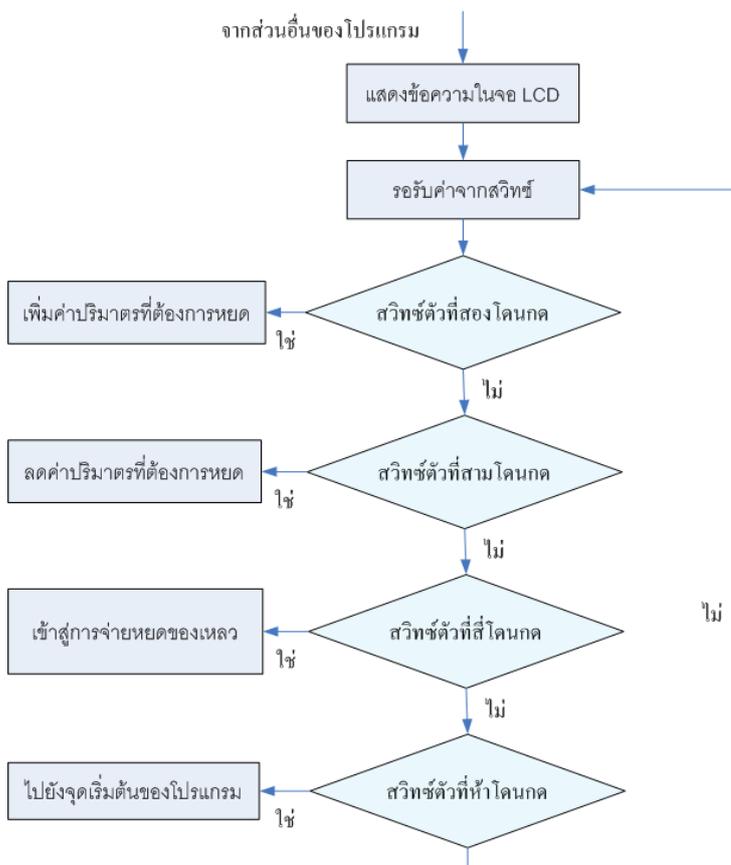
ภาพที่ 71 การตั้งระยะเวลาระหว่างหยด

เมื่อกำหนดค่าที่ต้องการเรียบร้อยแล้วจึงเข้าสู่ระบบการหยดจ่ายของเหลว โดยจะเริ่มหยดของเหลวโดยการเปิดโซลินอยด์แล้วตามค่าที่เก็บไว้ใน EEPROM เพื่อให้ได้ปริมาตรตามต้องการ เมื่อได้ปริมาตรตามต้องการแล้วจึงปิดโซลินอยด์หนึ่งเวลาเพื่อให้ครบเวลาเพื่อจะหยดของเหลวหยดถัดไปตามที่ได้ตั้งไว้ก่อนหน้า ตรวจสอบว่ามีการกดสวิตช์เพื่อหยุดการหยดถัดไปหรือไม่ หากไม่จึงทำการหยดของเหลว ดูได้จากผังงานภาพที่ 72



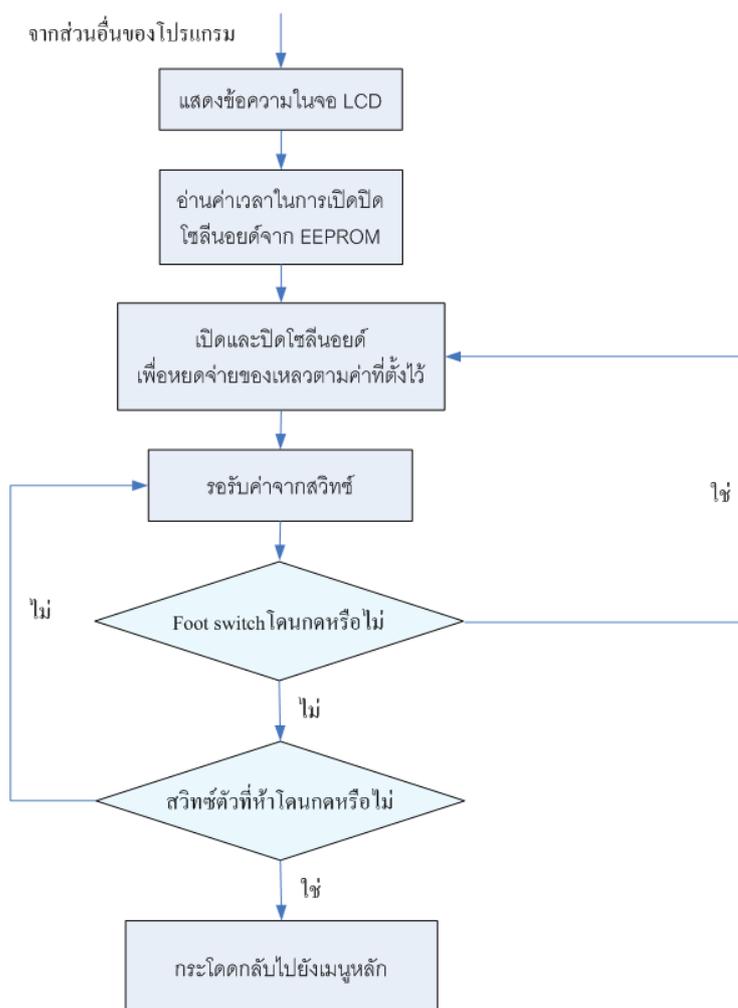
ภาพที่ 72 การหยดจ่ายของเหลวเมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว

สำหรับการหยดซึ่งผู้ใช้งานกำหนดเองว่าต้องการหยดเมื่อไร โดยใช้ทำเหยียบสวิตช์เมื่อต้องการหยดนั้นทำได้โดยตั้งค่าแค่เพียงปริมาณที่ต้องการหยดเท่านั้น ซึ่งการทำงานดูได้ตามผังงานภาพที่ 73



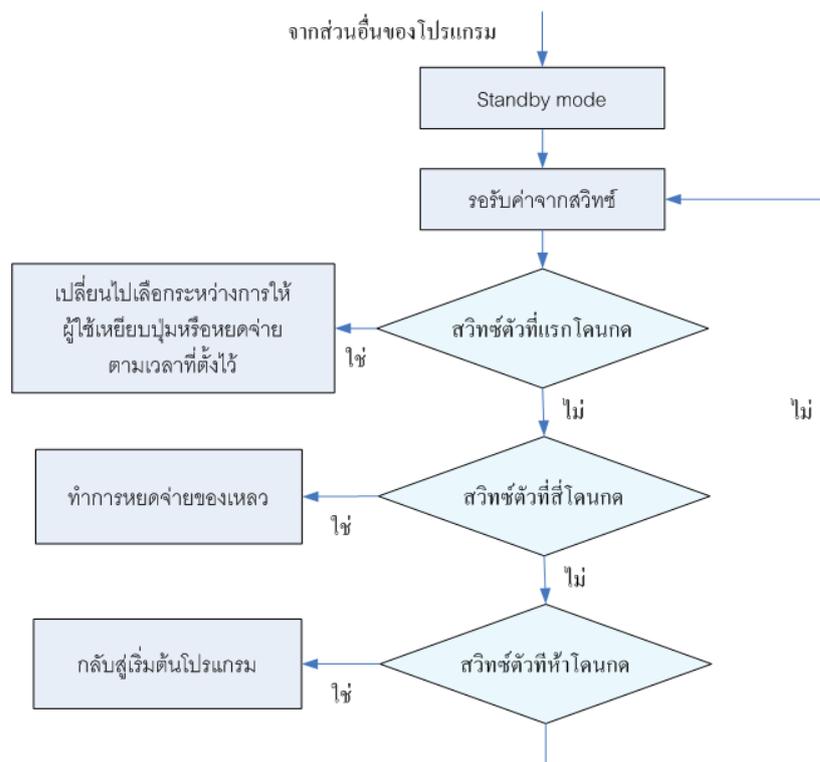
ภาพที่ 73 การตั้งค่าปริมาตรที่ต้องการหยุดสำหรับการเหยียบสวิทช์

เมื่อได้ปริมาตรที่ต้องการแล้วจึงจ่ายหยุดของเหลวออกไปโดยการจ่ายหยุดของเหลวในแต่ละครั้ง ต้องรอจนกระทั่งผู้ใช้เหยียบปุ่มสวิทช์จึงจ่ายของเหลวออกไป หลังจากจ่ายของเหลวออกไปแล้วมีการตรวจสอบว่าผู้ใช้ต้องการออกไปทำอย่างอื่นหรือไม่โดยการรอกดปุ่ม ซึ่งสังเกตได้จากแผนผังงานภาพที่ 74



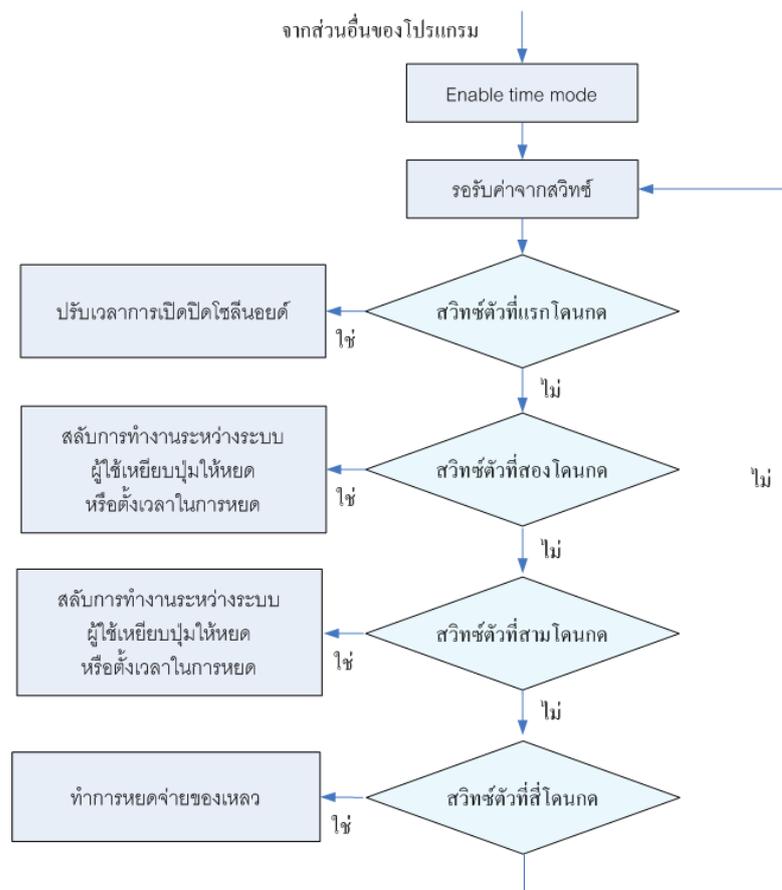
ภาพที่ 74 การหยดจ่ายของเหลวตามปริมาตรสำหรับการเหยียบสวิตช์

การหยดจ่ายของเหลวโดยปรับระยะเวลาการเปิดปิดโซลีนอยด์นั้น มีประโยชน์สำหรับผู้ใช้ในการสังเกตขนาดของหยดเองและปรับเวลาด้วยตนเองเหมาะสำหรับใช้ในงานที่ไม่ทราบขนาดหยดที่แน่นอน ซึ่งภายในยังแยกออกไปเป็นสองประเภทคือ การหยดจ่ายโดยรอให้ผู้ใช้เป็นคนเหยียบเป็นสวิตช์และการหยดจ่ายโดยเวลาในการหยดแต่ละหยดได้รับการตั้งไว้โดยผู้ใช้ เมื่อเข้าสู่ระบบนี้จะแบ่งเป็นเมนูย่อยต่าง ๆ กัน สำหรับการหยดจ่ายในเมนูหลักในระบบนี้มีแผนผังดังภาพที่



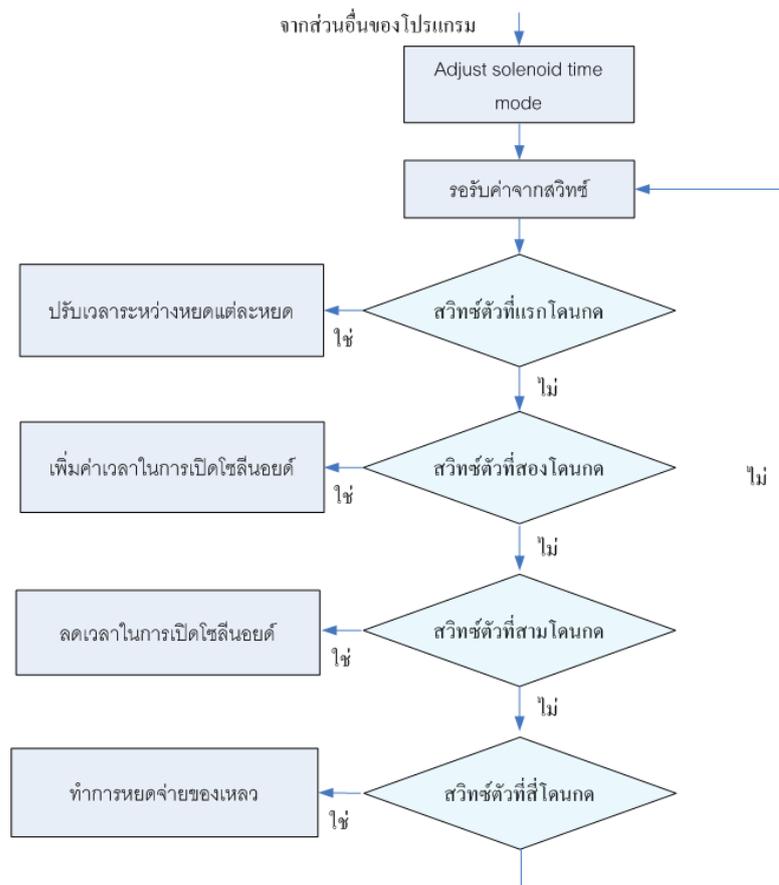
ภาพที่ 75 ระบบรอรับการใช้งาน

เมื่อต้องการใช้ระบบการหยุดจ่ายแบบตั้งระยะเวลาระหว่างหยุด ต้องตั้งค่าให้เครื่องรับรู้ก่อนว่าต้องทำงานในระบบหยุดจ่ายแบบตั้งเวลา เมื่อเข้าระบบการเลือกนี้หากผู้ใช้กดปุ่มที่สองหรือที่สาม ซึ่งหากระบบเดิมเป็นแบบตั้งระยะเวลาว่างหยุดก็จะเปลี่ยนไปเป็นการหยุดโดยการหยุดเหยียบสวิตช์ของผู้ใช้ หากเป็นการหยุดโดยการหยุดเหยียบสวิตช์ของผู้ใช้ก็จะเปลี่ยนไปเป็นการหยุดโดยตั้งระยะเวลาว่างหยุด หากต้องการทำงานในโหมดถัดไปให้กดปุ่มที่ 1 ซึ่งดูได้ดังแผนผังภาพที่ 76



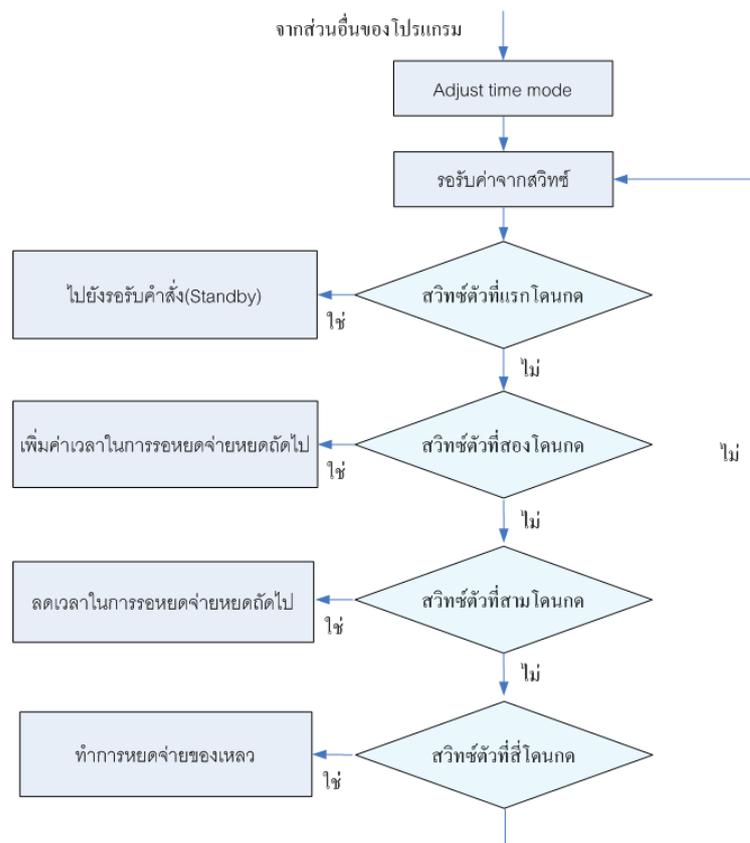
ภาพที่ 76 การเลือกให้ใช้ระบบการตั้งเวลาระหว่างหยุด

ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งก็คือการตั้งเวลาการเปิดโซลีนอยด์ เพราะการตั้งเวลาการเปิดโซลีนอยด์จะเป็นส่วนการกำหนดปริมาตรของหยุดของเหลว หากผู้ใช้กดปุ่มที่สองเวลาในการเปิดโซลีนอยด์จะลดลง ส่วนปุ่มที่สามจะเป็นการเพิ่มเวลาในการเปิดโซลีนอยด์ทำให้ปริมาตรของเหลวเพิ่มขึ้น แผนผังการทำงานดูได้ดังภาพที่ 77



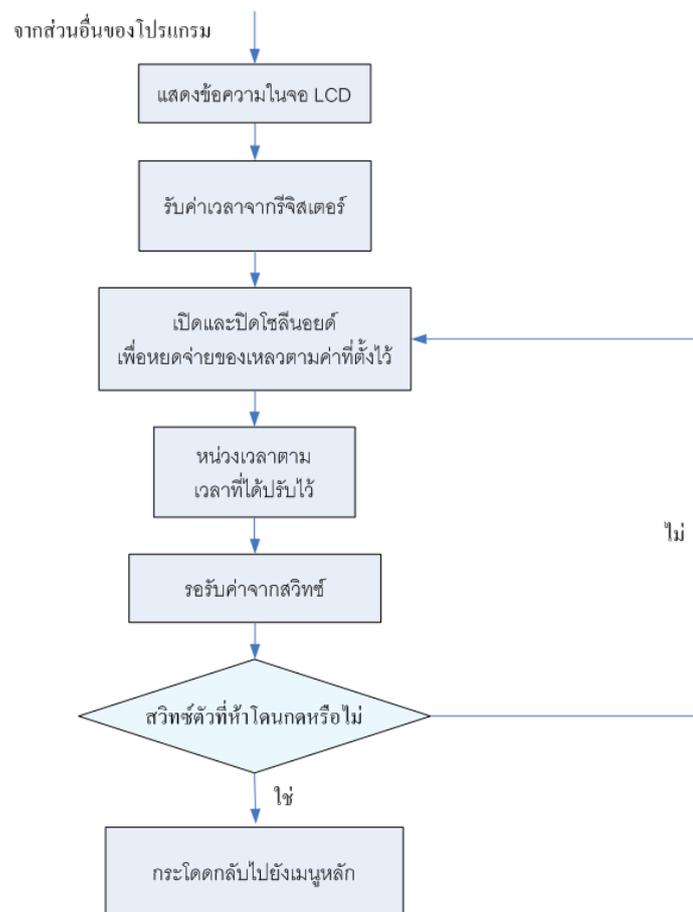
ภาพที่ 77 การตั้งเวลาระหว่างหยด

การกำหนดระยะเวลาระหว่างหยดของเหลวต้องมีการปรับแต่งด้วยเช่นกัน และวิธีการปรับค่าไม่แตกต่างกับการปรับการเปิดปิดโซลินอยด์ กดปุ่มที่สองเมื่อต้องการเพิ่มระยะเวลาให้แต่ละหยดห่างกันมาก และกดปุ่มที่สามเมื่อลดให้เวลาระหว่างหยดน้อยลง เมื่อกดปุ่มแรกอีกครั้งกลับไปหน้ารอรับคำสั่ง ซึ่งดูได้ดังแผนผังภาพที่ 78



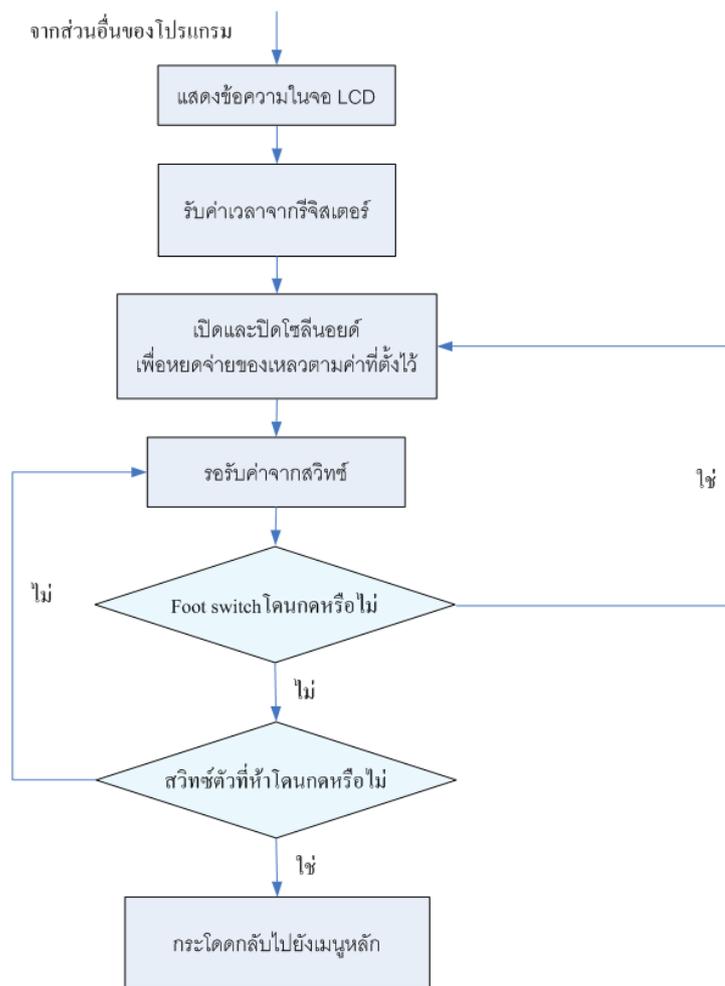
ภาพที่ 78 การตั้งเวลาการเปิดโซลินอยด์

การหยุดจ่ายโดยให้เครื่องกำหนดระยะเวลาระหว่างหยุดให้มีการทำงาน โดยการเปิดโซลินอยด์ตามค่าที่ตั้งไว้ตอนต้น เมื่อโซลินอยด์ปิดแล้วจึงค่อยหน่วงเวลาเพื่อรอจ่ายหยุดถัดไป เมื่อขณะจ่ายหยุดของเหลวผู้ใช้สามารถกลับไปจุดเริ่มของการหยุดจ่ายด้วยการกดปุ่มที่ห้า ซึ่งแผนผังการทำงานดูได้ดังภาพที่ 79



ภาพที่ 79 การหยดจ่ายของเหลวเมื่อตั้งเวลาระหว่างหยดไว้แล้ว

สำหรับการหยดจ่ายของเหลวโดยผู้ใช้เป็นคนเหยียบปุ่มสวิทช์นั้น เมื่อเริ่มทำงานจะรอรับค่าจากสวิทช์ว่ามีการเหยียบหรือไม่ หากมีการเหยียบจึงค่อยจ่ายหยดของเหลวออกไป และเมื่อผู้ใช้ต้องการยกเลิกการจ่ายหยดของเหลวจึงค่อยกดปุ่มที่ห้า ซึ่งดูได้ดังภาพที่ 80



ภาพที่ 80 การหยดจ่ายของเหลวเมื่อมีการเหยียบสวิตช์

ผลและวิจารณ์

ผล

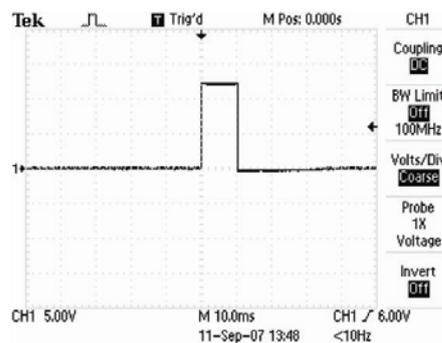
ในการพัฒนาสามารถสร้างเครื่องหยดจ่ายของเหลวได้ตามที่ได้ออกแบบไว้(ภาพที่ 81) โดยเครื่องสามารถหยดจ่ายของเหลวได้ทั้งแบบอัตโนมัติ(กำหนดเวลาหยด) และแบบใช้คนบังคับ(หยดเมื่อใช้เท้าเหยียบปุ่ม) นอกจากนั้นสามารถเก็บค่าปริมาตรซึ่งสัมพันธ์กับเวลาในการเปิดปิดวาล์วไว้ใน EEPROM และนำค่านั้นๆมาใช้งาน เวลาในการเปิดปิดวาล์วความละเอียดอยู่ที่ 0.1 มิลลิวินาที โดยเริ่มต้นที่ 10 มิลลิวินาที(เป็นค่าต่ำสุดที่โซลินอยด์เริ่มทำงานได้) และสิ้นสุดที่ 1677721.5 ไมโครวินาที เวลาสำหรับการหยดแต่ละหยดในระบบอัตโนมัตินั้น ความละเอียดอยู่ที่ 100 มิลลิวินาที ผลจากการทดลองหยดของเหลว ได้ของเหลวหยดที่มีปริมาตรต่างกันเมื่อใช้เวลาหยดต่างกัน ซึ่งหากใช้เวลาต่างกันมากในแต่ละครั้งในการหยดจ่าย ความแตกต่างของปริมาตรของแต่ละหยดสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า(ภาพที่ 82) แรงดันตกคร่อมโซลินอยด์วาล์วมีความราบเรียบไม่มีแรงดันรบกวนความถี่สูงซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำจากขดลวดภายในตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งสังเกตได้จากออสซิลโลสโคป ดังแสดงไว้ในภาพที่ 83



ภาพที่ 81 แสดงเครื่องหยดจ่ายของเหลวที่พัฒนาสำเร็จ



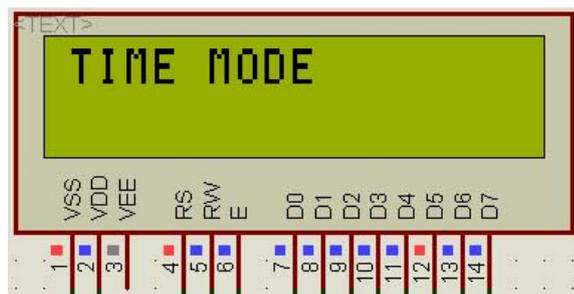
ภาพที่ 82 ตัวอย่างหยดของเหลวที่ใช้เวลาต่างๆกัน คือ 90ms, 70ms, 50ms, 30ms, 10ms ตามลำดับ จากซ้ายไปขวา



ภาพที่ 83 แสดงแรงดันตกคร่อมโซลีนอยด์แล้ว

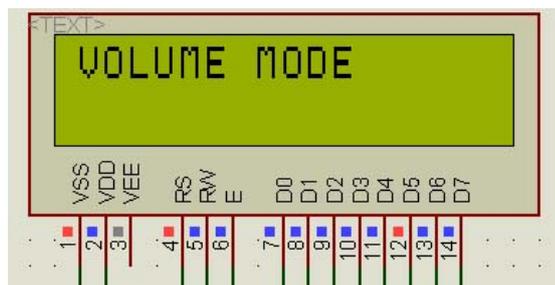
ผลที่ได้จากการพัฒนาเครื่องหยดจ่ายของเหลวขนาดเล็กแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อยๆ คือ ส่วนผลการทำงานของเครื่องตามฟังก์ชัน และส่วนของผลการหยดจ่ายของเหลว ซึ่งผลการทำงานของเครื่องตามฟังก์ชันนั้น สำหรับงานวิจัยนี้แสดงรูปผ่านโปรแกรม Proteus เพื่อความสะดวกในการจำลองการทำงานและการนำภาพมาแสดง ส่วนผลการหยดจ่ายของเหลวนั้นทำการทดลองในห้องวิจัยคณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและบันทึกผลโดยให้เครื่องทำงานจริง ซึ่งผลของทั้งสองส่วนที่กล่าวมาข้างต้นมีดังต่อไปนี้

เมื่อเปิดเครื่องหยดจ่ายของเหลวขนาดเล็กจอ LCD จะแสดงผลดังภาพที่ 84 เป็นหน้าจอแสดงให้ผู้ใช้ได้เลือกว่าต้องการทำงานในการหยดจ่ายของเหลวตามเวลาหรือไม่ หากต้องการให้เครื่องหยดจ่ายของเหลวตามเวลา ให้กดปุ่ม ENTER (สวิตซ์ตัวที่ 4) บนตัวเครื่องเพื่อให้เข้าไปทำงานในระบบการหยดจ่ายของเหลวตามเวลา หากมีการกดปุ่ม MODE (สวิตซ์ตัวแรก) หน้าจอ LCD จะเลื่อนไปแสดงข้อความเกี่ยวกับการหยดจ่ายของเหลวตามปริมาตรที่ต้องการ หากไม่มีการกดสวิตซ์ใดๆหรือสวิตซ์ปุ่มอื่นหน้าจอก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง



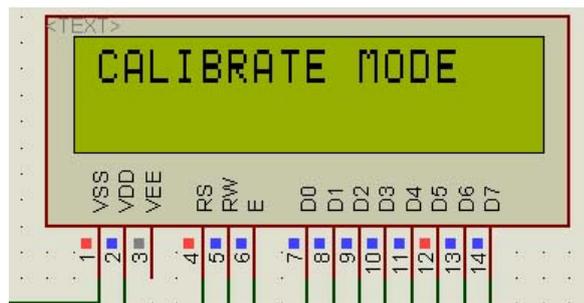
ภาพที่ 84 แสดงจอ LCD เมื่อเริ่มต้นเปิดเครื่อง

หน้าจอแสดงระบบการหยดจ่ายของเหลวตามปริมาตรแสดงได้ดังภาพที่ 85 ซึ่งหากผู้ใช้ต้องการใช้งานในระบบนี้ให้กดปุ่ม ENTER เพื่อเข้าใช้งานหากยังไม่ต้องการใช้งานในระบบนี้ให้กดปุ่ม MODE เพื่อผ่านเข้าไปในหน้าจอการปรับเทียบค่าน้ำหนักกับการหยดจ่าย เช่นเดียวกันกับหน้าจอแสดงการหยดจ่ายตามเวลา หากไม่มีการกดสวิตช์ใดๆหรือสวิตช์ปุ่มอื่นหน้าจอก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง



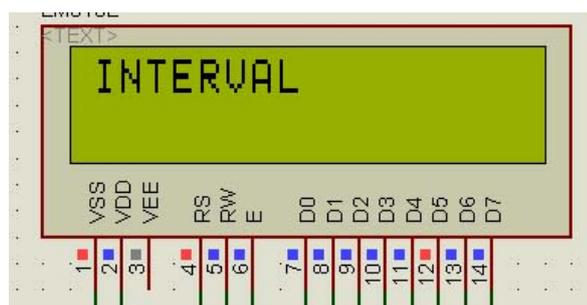
ภาพที่ 85 จอLCDแสดงให้เลือกหยดจ่ายของเหลวตามปริมาตร

หน้าจอแสดงระบบการปรับเทียบค่าน้ำหนักแสดงตามภาพที่ 86 เมื่อมีการกดปุ่ม ENTER โปรแกรมจะนำเข้าไปใช้งานการปรับเทียบค่าน้ำหนัก และหากต้องการเปลี่ยนไปใช้งานส่วนปรับค่าของเวลา ให้ผู้ใช้กดปุ่ม MODE หากไม่มีการกดสวิตช์ใดๆหรือสวิตช์ปุ่มอื่นหน้าจอก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 86 จอLCDแสดงให้เลือกทดสอบและบันทึกค่า

หน้าจอแสดงการปรับค่าเวลานั้นแสดงได้ดังภาพที่ 87 ซึ่งเป็นส่วนในการปรับเปลี่ยนค่าช่วงเวลาหากมีการกดปุ่ม MODE หน้าจอจะเปลี่ยนไปเป็นการหยดจ่ายของเหลวตามเวลาหรือกลับไปยังหน้าจอเริ่มต้นนั่นเอง หากมีการกดปุ่ม ENTER จึงเข้าสู่การใช้งานระบบนี้ ส่วนปุ่มอื่นๆ ไม่มีผลต่อการทำงานใดๆ



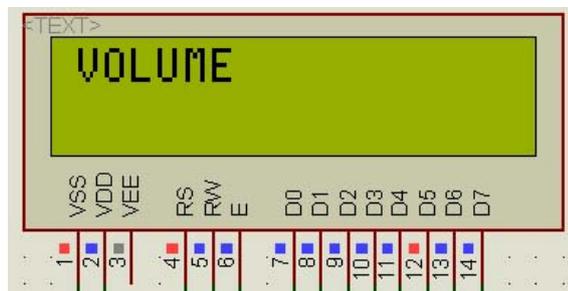
ภาพที่ 87 จอLCDแสดงหน้าจอการปรับค่าช่วงเวลา

การปรับเปลี่ยนค่าต่างๆในระบบการหยดจ่ายตามค่าเวลา การแสดงผลบนจอLCDหน้าแรกเป็นดังภาพที่ 88 ซึ่งผู้ใช้สามารถสั่งงานได้ระบบได้สามแบบคือ กลับไปยังหน้าแรกผ่านปุ่ม CANCEL (สวิทช์ลำดับที่ 5) หรือกดปุ่ม ENTER เพื่อให้เครื่องเริ่มหยดจ่ายของเหลว หากมีการกดปุ่ม MODE จะเป็นการปรับเปลี่ยนค่าเวลาการเปิดโซลินอยด์



ภาพที่ 88 LCDแสดงการทำงานใน Standby mode

ในหน้าจอการแสดงผลการปรับเปลี่ยนค่าเวลาโซลินอยด์นั้นจะแสดงได้ดังภาพที่ 89 ซึ่งหน้าจอนี้จะรอให้ผู้ใช้กดปุ่ม ENTER เพื่อหยุดจ่ายของเหลวตามค่าเวลาที่ได้กำหนดไว้ หากมีการกดปุ่มCANCEL หน้าจอจะเปลี่ยนกลับไปยังหน้าแรกสุด หากมีการกดปุ่ม PLUS หรือ MINUS (ปุ่มลำดับที่ 2 และที่ 3 ตามลำดับ) ตัวเลขแสดงเวลาการหยุดจ่ายจะแสดงขึ้นมาดังภาพที่ 90 เพื่อปรับเวลาให้ได้ตามต้องการ สำหรับการเพิ่มค่าของเวลาในแต่ละขั้นนั้นขึ้นกับการปรับค่าในหน้าจอ INTERVALหากต้องการ ไปปรับเปลี่ยนเวลาในการหยุดจ่ายแต่ละหยุดให้นานขึ้นให้กดปุ่ม MODE



ภาพที่ 89 แสดงหน้าจอ LCD การปรับเวลาเปิดโซลินอยด์



ภาพที่ 90 แสดงการเพิ่มเวลาการเปิดโซลินอยด์

สำหรับการปรับเปลี่ยนค่าระยะเวลาระหว่างหยดนั้นแสดงได้ดังภาพที่ 91 เช่นเดียวกันกับการปรับเวลาการเปิดโซลีนอยด์หากมีการกดปุ่ม ENTER เครื่องจะทำการหยดจ่ายของเหลวตามค่าเวลาที่ได้กำหนดไว้ทันที หากมีการกดปุ่มCANCEL หน้าจอจะเปลี่ยนกลับไปยังหน้าแรกสุด หากมีการกดปุ่ม PLUS หรือ MINUS ตัวเลขแสดงเวลาการหยดจ่ายจะแสดงขึ้นมาดังภาพที่ 92 เพื่อปรับเวลาระยะระหว่างหยดให้นานขึ้นหรือเร็วขึ้น สำหรับการเพิ่มค่าของเวลาในแต่ละขั้นนั้นขึ้นกับการปรับค่าในหน้าจอ INTERVAL เช่นเดียวกัน หากต้องการเลือกให้เครื่องทำงานด้วยระบบอัตโนมัติหรือระบบการหยดโดยให้ผู้ใช้เหยียบปุ่มสวิทช์ ให้กดปุ่ม MODE เพื่อเลือกปรับเปลี่ยน



ภาพที่ 91 หน้าจอปรับตั้งค่าระยะเวลาระหว่างหยด



ภาพที่ 92 การปรับระยะเวลาระหว่างหยด

สำหรับการปรับเลือกให้เป็นระบบหยดจ่ายเมื่อผู้ใช้เหยียบสวิทช์หรือระบบหยดจ่ายอัตโนมัตินั้นมีหน้าจอดังภาพที่ 93 เมื่อมีการกดปุ่ม PLUS หรือ MINUS หน้าจอจะแสดงคำว่า YES ในกรณีที่ต้องการให้เป็นระบบอัตโนมัติ และแสดงคำว่า NO ในกรณีที่ระบบหยดจ่ายโดยให้ผู้ใช้เหยียบปุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 94 ส่วนปุ่มอื่นๆที่เหลือนั้น เปรียบเหมือนกับการปรับการหยดจ่ายระหว่างหยด หากมีการกดปุ่ม MODE จะเป็นการกลับไปยังหน้าจอ Standby



ภาพที่ 93 หน้าจอปรับตั้งระบบหยดจ่ายอัตโนมัติหรือใช้เท้าเหยียบปุ่มสวิทช์



ภาพที่ 94 ตั้งค่าให้หยดจ่ายโดยใช้เท้าเหยียบปุ่มสวิทช์

ในการระบบหยดจ่ายค่าตามเวลานั้น สำหรับการหยดจ่ายตามเวลาแบบคนต้องกดปุ่มเหยียบจะแสดงหน้าจอในภาพที่ 95 และสำหรับการหยดจ่ายของเหลวแบบอัตโนมัติแสดงดังภาพที่ 96 ในขณะที่ทำงานจะรอรับปุ่ม CANCEL เพื่อกระโดดกลับไปยังหน้าจอปรับค่าต่างๆ ในหน้า Standby เพื่อตั้งค่าการทำงานใหม่

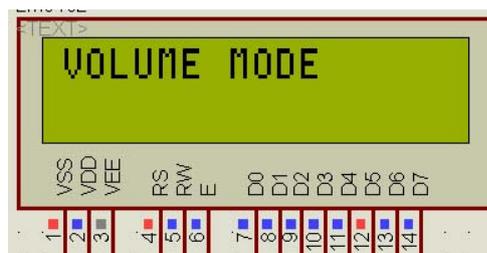


ภาพที่ 95 การทำงานแบบใช้เท้าเหยียบปุ่ม



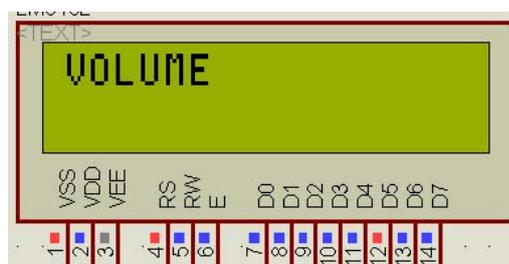
ภาพที่ 96 ทำงานด้วยการหดย้ายอัตโนมัติ

สำหรับการหดย้ายแบบปรับเปลี่ยนค่าปริมาตรของเหลวนั้นสำหรับหน้าจอแสดงหน้าจอแรกนั้นแสดงดังภาพที่ 97 รอให้ผู้ใช้กดปุ่ม ENTER หรือว่า CANCEL เพื่อหดย้ายของเหลวหรือกลับไปสู่หน้าจอแรก สำหรับปุ่มMODE ใช้เพื่อเปลี่ยนหน้าจอไปสู่การปรับปริมาตรการหดย้ายของเหลว



ภาพที่ 97 หน้าจอรอรับคำสั่งในระบบการหดย้ายของเหลวตามปริมาตร

สำหรับการปรับเปลี่ยนปริมาตรการหดย้ายของเหลวนั้นมีหน้าจอแสดงดังภาพที่ 98 เมื่อมีการกดปุ่ม PLUS ปริมาตรการหดย้ายจะเพิ่มขึ้นและหากมีการกดปุ่ม MINUS ปริมาตรการหดย้ายจะมีค่าลดลงดังภาพที่ 99 และหากมีการกดปุ่ม ENTER เครื่องหดย้ายของเหลวขนาดเล็กจะทำการหดย้ายของเหลวในทันที



ภาพที่ 98 หน้าจอการปรับตั้งค่าปริมาตรของเหลวที่ต้องการหดย้าย

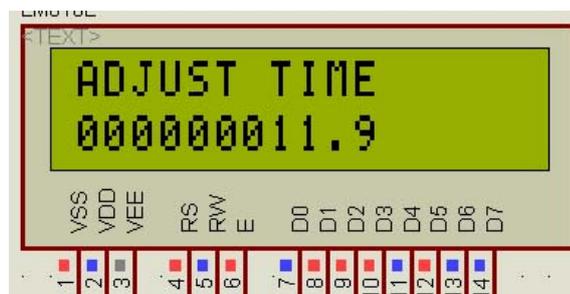


ภาพที่ 99 หน้าจอการเปลี่ยนค่าปริมาตรของเหลวที่การหยดจ่าย

สำหรับการปรับค่าเวลาระหว่างหยดนั้นหน้าจอแสดงดังภาพที่ 100 เมื่อมีการกดปุ่ม PLUS และ MINUS เวลาระหว่างหยดจะถูกปรับเปลี่ยนโดยที่ PLUS จะเป็นการเพิ่มเวลาระหว่างหยด และ MINUS จะเป็นการลดเวลาระหว่างหยด โดยแสดงได้ดังภาพที่ 101 หากมีการกดปุ่ม MODE หน้าจอจะเปลี่ยนไปเป็นการกำหนดให้ของเหลวหยดจ่ายอัตโนมัติหรือหยดจ่ายของเหลวเมื่อมีคนเหยียบปุ่มสวิทช์ สำหรับปุ่ม ENTER และปุ่ม CANCEL เป็นปุ่มสำหรับการเริ่มการหยดจ่ายและกลับไปทำงานยังหน้าจอแรกตามลำดับ



ภาพที่ 100 หน้าจอการตั้งค่าระยะเวลาระหว่างหยดสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร



ภาพที่ 101 หน้าจอการปรับเปลี่ยนระยะเวลาระหว่างหยดสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร

เช่นเดียวกันกับการปรับค่าการหยดจ่ายของเหลวตามเวลา การหยดจ่ายของเหลวตามปริมาตรก็มีการกำหนดสถานะการหยดจ่ายแบบอัตโนมัติและให้ผู้ใช้เหยียบปุ่มได้เช่นเดียวกัน โดยหน้าจอกำหนดสถานะแสดงได้ดังภาพที่ 102 และเมื่อมีการกดปุ่ม PLUS และ MINUS เพื่อปรับเปลี่ยนสถานะการทำงานของ โดย YES หมายถึงใช้ระบบอัตโนมัติตามภาพที่ 103 และ NO หมายถึงใช้ระบบควบคุม สำหรับปุ่ม ENTER และปุ่ม CANCEL เป็นปุ่มสำหรับเริ่มการหยดจ่าย และกลับไปทำงานยังหน้าจอแรกตามลำดับ



ภาพที่ 102 หน้าจอการเลือกใช้ระบบอัตโนมัติหรือใช้เท้าเหยียบปุ่มสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร



ภาพที่ 103 หน้าจอเมื่อเลือกใช้ระบบอัตโนมัติสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร

เมื่อเริ่มหยดจ่ายของเหลวสำหรับการหยดจ่ายโดยใช้คนเหยียบจะแสดงหน้าจอในภาพที่ 104 และสำหรับการหยดจ่ายของเหลวแบบอัตโนมัติแสดงดังภาพที่ 105 ในขณะที่ทำงานจะรอรับปุ่ม CANCEL เพื่อกระโดดกลับไปยังหน้าจอปรับค่าต่างๆ ในหน้า Volume Mode เพื่อตั้งค่าการทำงานใหม่

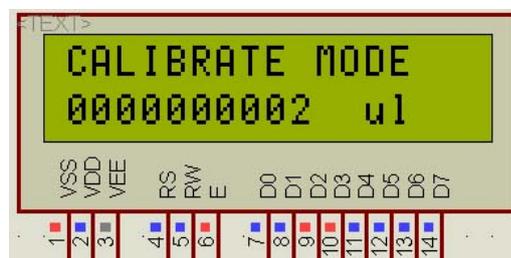


ภาพที่ 104 หน้าจอการทำงานสำหรับใช้เท้าเหยียบสวิตช์สำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร



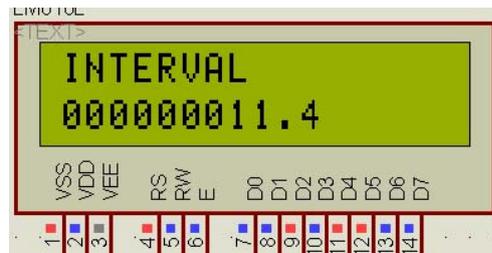
ภาพที่ 105 หน้าจอการทำงานระบบอัตโนมัติสำหรับการหยดจ่ายตามปริมาตร

ในการทดสอบและเปรียบเทียบค่านั้น แตกต่างจากระบบอื่นตรงที่ไม่มีหน้าจอ Standby แต่เป็นหน้าจอปรับค่าเลขซึ่งเมื่อกดปุ่ม PLUS จะเพิ่มค่าปริมาตรที่ต้องการทดสอบและหยดจ่าย และปุ่ม MINUS ดังภาพที่ 106 เพื่อลดค่าปริมาตรที่ต้องการหยดจ่าย หากมีการกดปุ่ม ENTER ระบบจะทำการหยดจ่ายทันทีและทำการปรับค่าและหยดจ่ายสลับกันจนกระทั่งระบบได้ค่าเวลาที่แปรผันถูกต้องกับค่าปริมาตรที่ต้องการจึงจะหยุดการหยดจ่าย และรอให้ผู้ใช้เปลี่ยนค่าปริมาตรใหม่หรือรอปุ่ม CANCEL เพื่อกระโดดกลับไปยังหน้าจอเริ่มต้น



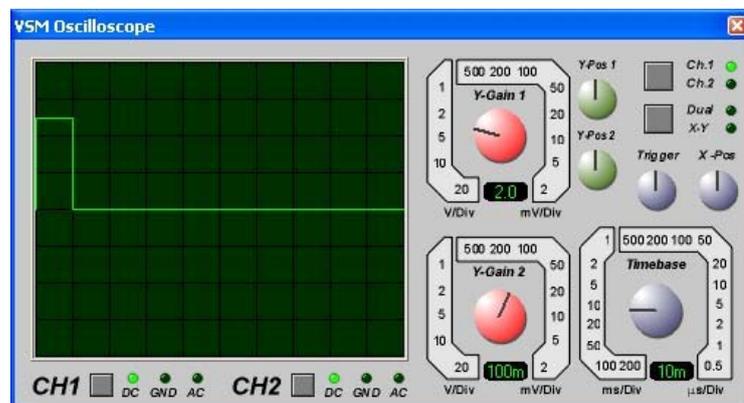
ภาพที่ 106 หน้าจอการทำงานระบบทดสอบและบันทึกค่า

สำหรับการปรับค่าเวลาให้เวลาเปลี่ยนจากเพิ่มค่าละ 1 ไมโครวินาที เป็น 2 ไมโครวินาที หรือเวลาที่มากกว่า เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สะดวกในการปรับเวลาที่นานมากๆ นั้น สามารถปรับได้ดัง หน้าจอในภาพที่ 107 โดยกดปุ่ม PLUS สำหรับเพิ่มค่าช่วงเวลาและMINUS สำหรับลดค่าช่วงเวลา และรอรับปุ่ม CANCEL เพื่อกระโดดกลับหน้าจอหลัก



ภาพที่ 107 หน้าจอการปรับค่าช่วงเวลา

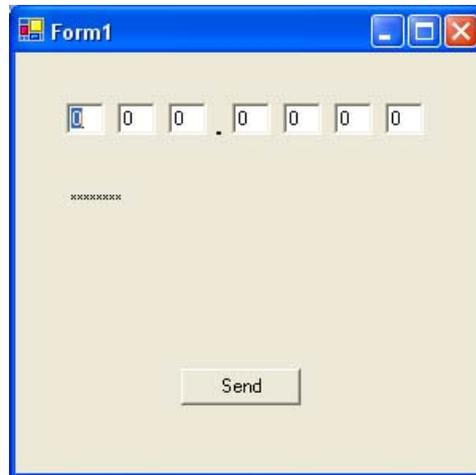
สำหรับการทดสอบเพื่อดูว่าในระบบการหาค่าตามปริมาตรว่าทำงานได้ถูกต้องหรือไม่ดูได้จากกราฟค่า จากOSCILLOSCOPE ในPROTEUS และเปรียบเทียบกับค่าที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ EEPROM เมื่อทำการทดลองแล้วพบว่าทำงานได้ถูกต้องจริงดังภาพที่ 108 และเมื่อนำไปทดลองกับระบบจริงค่าก็ไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 108 แสดงการจำลองการทำงานของสัญญาณใน PROTEUS

สำหรับการทดสอบระบบการปรับเทียบ(Calibration) นั้น เนื่องจากมีความไม่สะดวกในการทดลองกับระบบจริงเนื่องจากเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม (Denver Instruments รุ่นTC-254) นั้นตอบสนองการทำงานที่ค่อนข้างช้า ดังนั้นจึงพัฒนาซอฟต์แวร์ จำลองการส่งค่านำหนักของเครื่องชั่งภาพที่ 109 โดยค่าที่ส่งจากเครื่องชั่งจะมีมาตรฐานดังนี้คือส่งค่า 1 ตามด้วย

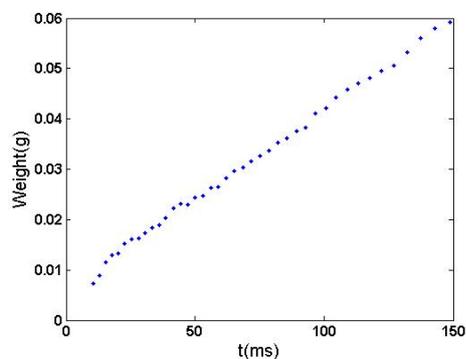
ช่องว่างตามด้วยเครื่องหมาย + ตามด้วยช่องว่างและตามด้วยตัวเลขค่าน้ำหนักสามตำแหน่งและจุดทศนิยมและตัวเลขท้ายจุดทศนิยมสี่ตำแหน่งเช่น 1 + 0.9905 หรือ 1 + 50.9269 เป็นต้น



ภาพที่ 109 โปรแกรมการจำลองการทำงานการส่งค่าน้ำหนักของเครื่องชั่งน้ำหนัก

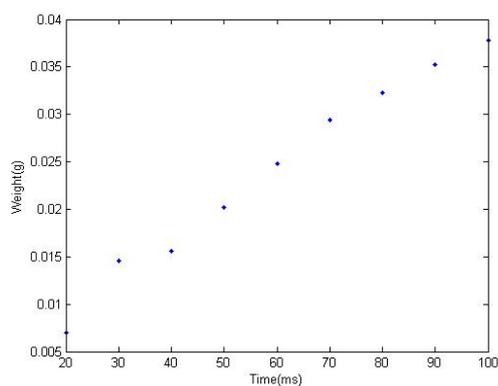
เมื่อทดลองส่งค่าตัวเลขผ่านทางซอฟต์แวร์ เป็นชุดๆ พบว่าเครื่องสามารถหาเวลาที่สัมพันธ์กับปริมาตรได้อย่างถูกต้อง

ผลจากการทดสอบซึ่งใช้ กระจกนิรภัยพลาสติก ขนาด 10 cc และ เข็มขนาด 26 G(เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในประมาณ 0.24 มิลลิเมตร) ความยาวหนึ่งนิ้ว ปลายตัดตรง ทดสอบกับหยดน้ำกลั่น โดยควบคุมเวลาในการเปิดปิดวาล์วให้แตกต่างกัน โดยมีความคุมความดันเกจอินพุตให้เป็น 1.5 บาร์ แล้วนำหยดน้ำที่ได้นำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม(Denver Instruments รุ่นTC-254) จดบันทึก และ ได้ผลดังภาพที่ 110



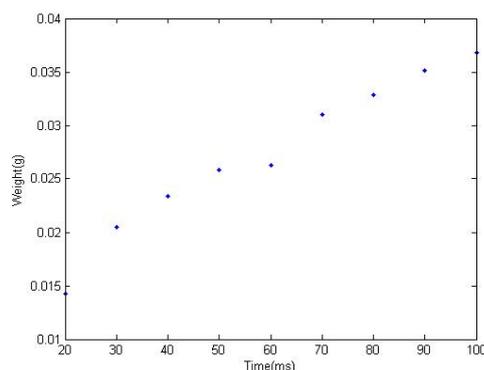
ภาพที่ 110 เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของน้ำ

และผลการทดสอบซึ่งเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของเหลว โดยใช้สารละลายน้ำตาลทราย ซึ่งสูตรทางเคมีของสารละลายน้ำตาลทรายคือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ เมื่อคำนวณหามวลโมเลกุลจะได้ 342 ดังนั้น น้ำตาลทรายใน 1 mol จะมีน้ำหนัก 342 g ดังนั้นหากใช้น้ำตาลทราย 1 g จะได้ 0.0029240 mol ในกรณีของการใช้น้ำตาลทราย 1 g ต่อปริมาตร 10 ml ดังนั้นสารละลายจะมีความเข้มข้นเป็น 0.2924 Molar ซึ่งผลของการทดลองมีลักษณะดังภาพที่ 111



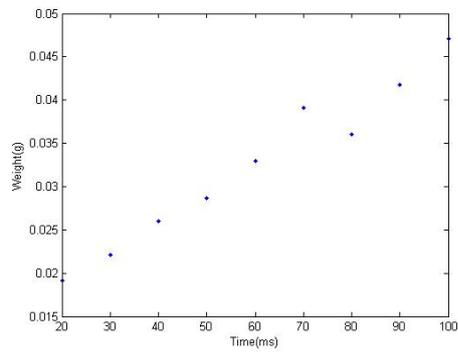
ภาพที่ 111 เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 0.2924 Molar

ในกรณีของผลการทดลองหยดจ่ายของเหลวดังภาพที่ 112 ความเข้มข้นของเหลวจะมีค่าเป็น 2 g ต่อปริมาตร 10 ml เมื่อคำนวณแล้วจะมีความเข้มข้นเป็น 0.5848 Molar



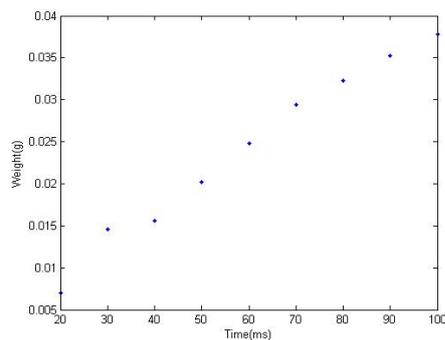
ภาพที่ 112 เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 0.5848 Molar

เช่นเดียวกันกับการหาความเข้มข้นก่อนหน้าวิธีคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลทรายซึ่งมีน้ำตาลทราย 3 g ต่อปริมาตร 10 ml จะได้ความเข้มข้นเป็น 0.8772 Molar ผลการทดลองหยดจ่ายของเหลวดูได้จากภาพที่ 113



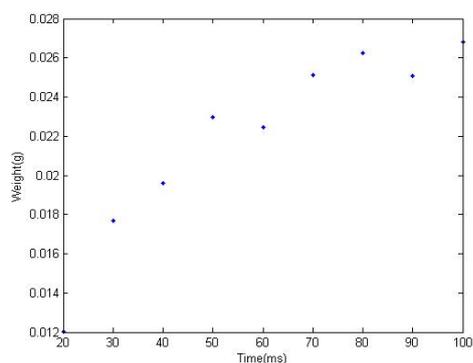
ภาพที่ 113 เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 0.8772 Molar

กรณีของสารละลายน้ำตาลทรายความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 4 g ต่อปริมาตร 10 ml มีความเข้มข้น 1.1696 Molar ซึ่งผลการทดลองหาค่าของเหลวคู่ได้ดังภาพที่ 114



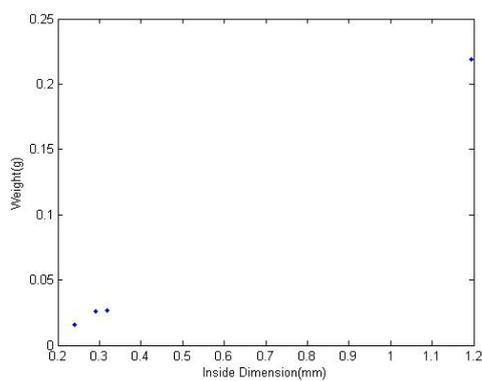
ภาพที่ 114 เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 1.1696 Molar

สำหรับกรณีของน้ำตาลทรายความเข้มข้น 5 g ต่อปริมาตร 10 ml จะมีความเข้มข้นคิดเป็น 1.462 Molar ซึ่งผลการทดลองหาค่าของเหลวคู่ได้จากภาพที่ 115



ภาพที่ 115 เวลาที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักของสารละลาย 1.462 Molar

ในกรณีของการเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มที่ทำการหยดจ่ายพบว่ามีลักษณะดังกราฟในภาพที่ 116 ในการทดลองใช้เวลาในการหยดจ่าย 30 มิลลิวินาที



ภาพที่ 116 เมื่อเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มหยดจ่าย

วิจารณ์

นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความมีนัยสำคัญของเวลาที่ทำให้น้ำหนักเปลี่ยนแปลง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม
จากสมการ

$$SS_T = SS_b + SS_w \quad (7)$$

โดยที่

SS_T แทน Total sum of squares

SS_b แทน Between groups sum of squares

SS_w แทน Within groups sum of squares

จากสมการ

$$SS_T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (8)$$

$$SS_b = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2 \quad (9)$$

$$SS_w = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad (10)$$

โดย

X_{ij} แทน ตัวแปรตาม

\bar{X} แทน ค่าเฉลี่ยทั้งหมด

\bar{X}_j แทน ค่าเฉลี่ยภายในกลุ่ม

k แทน จำนวนกลุ่ม

n_j แทน จำนวนสมาชิกภายในกลุ่ม

ตั้งสมมุติฐาน ในการวิเคราะห์การแปรปรวนร่วม

H_0 : การเปลี่ยนแปลงเวลาเปิดปิด โซลีนอยด์ว่าไม่มีผลต่อน้ำหนักของเหลวที่หยดจ่าย
กำหนด $\alpha = 0.01$ พิจารณาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

นำค่าที่เก็บจากการทดลองหาผลรวมในแต่ละกลุ่ม โดยแปรเปลี่ยนเวลาในเปิดปิดโซลีนอยด์ และบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ โดยเก็บข้อมูลในแต่ละ ชุด 7 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าที่ได้จากการทดลองหยดจ่ายน้ำแปรผันตามเวลา

	12.8 ms	15.3 ms	17.7 ms	20.3 ms	22.8 ms	25.4 ms	28 ms	30.6 ms
น้ำหนัก(g)	0.00897	0.01197	0.01307	0.01467	0.01617	0.01567	0.01637	0.01687
น้ำหนัก(g)	0.00876	0.01126	0.01306	0.01246	0.01426	0.01586	0.01636	0.01696
น้ำหนัก(g)	0.00867	0.01177	0.01347	0.01457	0.01567	0.01647	0.01627	0.01797
น้ำหนัก(g)	0.00886	0.01126	0.01216	0.01146	0.01466	0.01656	0.01636	0.01766
น้ำหนัก(g)	0.0125	0.0132	0.013	0.0162	0.0141	0.0166	0.0174	0.0163
น้ำหนัก(g)	0.0136	0.0132	0.0131	0.0174	0.0143	0.0168	0.0176	0.0164
น้ำหนัก(g)	0.0139	0.0137	0.0133	0.0175	0.0145	0.0171	0.018	0.0165
T_j	0.07526	0.08636	0.09116	0.10426	0.10366	0.11506	0.11836	0.11866
T_j^2/n_j	0.000809153	0.001065	0.001187	0.001553	0.001535	0.001891	0.002001	0.002011

ตารางที่ 2 ค่าน้ำหนักยกกำลังสอง

	12.8 ms	15.3 ms	17.7 ms	20.3 ms	22.8 ms	25.4 ms	28 ms	30.6 ms
น้ำหนัก(g)	0.0000805	0.000143	0.000171	0.000215	0.000261	0.000246	0.000268	0.000285
น้ำหนัก(g)	0.0000767	0.000127	0.000171	0.000155	0.000203	0.000252	0.000268	0.000288
น้ำหนัก(g)	0.0000752	0.000139	0.000181	0.000212	0.000246	0.000271	0.000265	0.000323
น้ำหนัก(g)	0.0000785	0.000127	0.000148	0.000131	0.000215	0.000274	0.000268	0.000312
น้ำหนัก(g)	0.00015625	0.000174	0.000169	0.000262	0.000199	0.000276	0.000303	0.000266
น้ำหนัก(g)	0.00018496	0.000174	0.000172	0.000303	0.000204	0.000282	0.00031	0.000269
น้ำหนัก(g)	0.00019321	0.000188	0.000177	0.000306	0.00021	0.000292	0.000324	0.000272
SUM	0.00084532	0.001072	0.001188	0.001586	0.001539	0.001893	0.002005	0.002014
	12.8 ms	15.3 ms	17.7 ms	20.3 ms	22.8 ms	25.4 ms	28 ms	30.6 ms

จากสมการที่ 9 จะได้

$$SS_b = \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_j^2}{n_j} \right) - \frac{T^2}{N} \quad (11)$$

นำค่าจากตารางมาคิดจะได้

$$\begin{aligned} SS_b &= 0.012054 - 0.011797 \\ &= 0.000257 \end{aligned} \quad (12)$$

จากสมการที่ 10 จะได้

$$SS_w = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij}^2) - \sum_{j=1}^k \left(\frac{T_j^2}{n_j} \right) \quad (13)$$

จากตารางจะได้

$$\begin{aligned} SS_w &= 0.012141 - 0.012054 \\ &= 0.000087 \end{aligned} \quad (14)$$

จากสมการที่ 8 จะได้

$$SS_T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij}^2) - \left(\frac{T^2}{N} \right) \quad (15)$$

จากตารางจะได้

$$\begin{aligned} SS_T &= 0.012141 - 0.011797 \\ &= 0.000344 \end{aligned} \quad (16)$$

พิจารณาหา df (degree of freedom)

$$df \text{ สำหรับการแปรผันระหว่างกลุ่ม} = 7$$

$$df \text{ สำหรับการแปรผันภายในกลุ่ม} = 56 - 8 = 48$$

$$df \text{ สำหรับการแปรผันทั้งหมด} = 55$$

จากสมการหา MS_b และ MS_w

$$MS_b = \frac{SS_b}{k-1} \quad (17)$$

$$MS_w = \frac{SS_w}{N-k} \quad (18)$$

พิจารณาหา MS_b , MS_w

$$MS_b = 0.000257/7$$

$$= 0.0000367$$

$$MS_w = 0.000087/48$$

$$= 0.0000018$$

$$F = MS_b/MS_w$$

$$= 0.0000367/0.0000018$$

$$= 20.388889$$

นำค่าที่ได้ใส่ในตาราง

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่า F จากการคิดการแปรปรวนร่วม

แหล่งของการแปรผัน	ผลรวมของกำลังสอง SS	df	ค่าประมาณของความแปรปรวน	F	ค่าวิกฤต
ระหว่างกลุ่ม	0.000257	7	0.0000367	20.388889	3.04
ภายในกลุ่ม	0.000087	48	0.0000018		
ทั้งหมด	0.000337	55			

เมื่อพิจารณาจากตารางพบว่า ค่า F ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่า ค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง แสดงให้เห็นว่า สามารถปฏิเสธ H_0 ซึ่งเป็นสมมุติฐานหลัก ซึ่งหมายความว่า เวลาการเปิดปิดโซลินอยด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของของเหลวอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.01$

เมื่อทราบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาการเปิดปิดโซลินอยด์แล้วส่งผลกับค่าน้ำหนักของเหลวอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้นนำค่าน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่ได้มาเปลี่ยนเป็นปริมาตรโดยใช้สมการที่(19) ซึ่งเป็นทฤษฎีของอะคิมิตส์

$$m = \rho V \quad (19)$$

โดยที่

m	แทนมวลของน้ำ (kg)
ρ	แทนความหนาแน่นของของเหลว(kg/m ³)
V	แทนปริมาตรของน้ำ (m ³)

เมื่อแทนค่าความหนาแน่นของน้ำ(1000 kg/m³ โดยประมาณ) ลงไป จะได้น้ำหนักน้ำ 1 มิลลิกรัมต่อปริมาตรน้ำ 1 ไมโครลิตร เมื่อนำค่าปริมาตรที่ได้จากการทดลองไปวาดกราฟ และนำกราฟที่ได้มาทำการปรับเส้นโค้ง (Curve fitting) ด้วยการประมาณค่าแบบวิธีกำลังสองน้อยสุด (least-square approximation) [3] จากสมการเส้นตรง

$$y = a_0 + a_1x + e \quad (20)$$

เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองที่เก็บได้มาวาดกราฟจะได้ดังภาพที่ 117 และได้ความสัมพันธ์ออกมาดังสมการที่ 21

$$V = 6 + 0.35925t \quad (21)$$

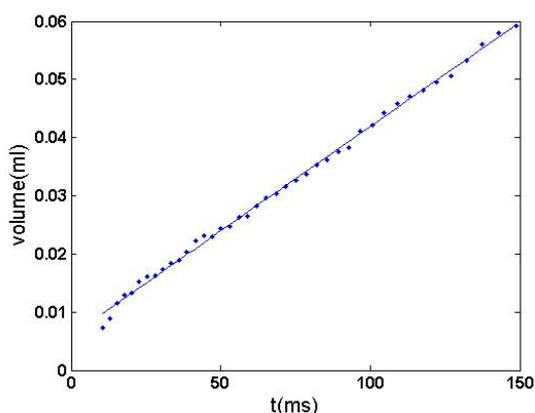
เมื่อ

t	แทนเวลาที่เปิดปิดโซลินอยด์แล้ว(ms)
V	แทนปริมาตรหยดของเหลวที่เครื่องหยดจ่าย ((μ l))

นำสมการที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 (coefficient of determination) [3] ซึ่งเป็นตัวบอกความเที่ยงตรงสำหรับการประมาณค่าด้วยสมการเส้นตรง

$$r^2 = 0.9974 \quad (22)$$

เมื่อพิจารณาจากค่า r^2 พบว่าสามารถใช้สมการที่ 21 หาเวลาในการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว โดยการกำหนดค่าปริมาตรที่ต้องการลงไปในสมการ จากนั้นนำค่าเวลาที่หาได้จากสมการนำไปป้อนให้กับเครื่องหยดจ่ายของเหลวเพื่อทดสอบวัดปริมาตรหยดของเหลวที่ได้จริงจากการทดลอง ซึ่งค่าปริมาตรที่วัดได้จริงใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมาก ซึ่งยืนยันได้จากค่า r^2 ของสมการที่หาได้ซึ่งมีความเที่ยงตรงสูงถึง 99.74 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 117 แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริง

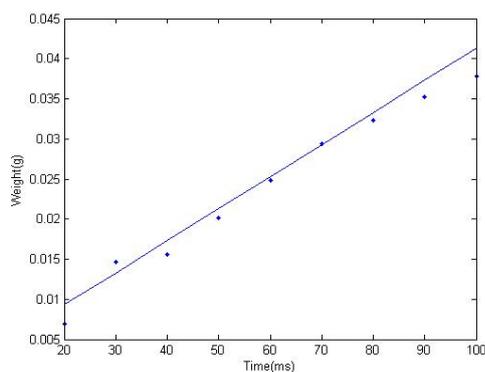
ในกรณีของสารละลายซึ่งมีความเข้มข้นไม่เท่ากัน หาค่าสมการเชิงเส้นประมาณค่าน้ำหนักที่ได้กับเวลาในการหยดจ่ายของเหลว ด้วยการประมาณค่าแบบวิธีกำลังสองน้อยสุด ทำเช่นเดียวกันกับน้ำบริสุทธิ์ ในกรณีของสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.2924 Molar กราฟดังภาพที่ 118 ซึ่งนำค่าเส้นตรงที่ได้มาหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ r^2 เช่นเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้คือ 0.9844 ซึ่งบอกได้ว่าสามารถนำสมการนี้ไปใช้งานแทนค่าจริงได้ ซึ่งค่าของสมการเมื่อคำนวณมาแล้วจะได้ดังสมการที่

$$t = 2500W - 3.25 \quad (23)$$

เมื่อ

t แทนเวลาที่เปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว(ms)

W แทนน้ำหนักหยดของเหลวที่เครื่องหยดจ่าย (g)

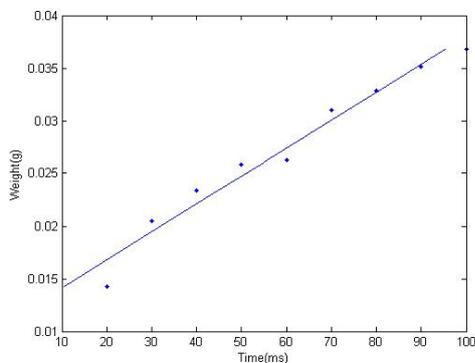


ภาพที่ 118 แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 0.2924 Molar

ในกรณีเดียวกัน ดังนั้นหาสมการเพื่อใช้ประมาณค่ากับสารละลายความเข้มข้น 0.5848 Molar ดังนั้นจะได้สมการที่ 24

$$t = 3773W - 43.396 \quad (24)$$

นำค่าที่ได้มาทำการพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 119 และทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ จะได้ $r^2 = 0.9674$ ซึ่งเป็นค่าค่อนข้างสูง

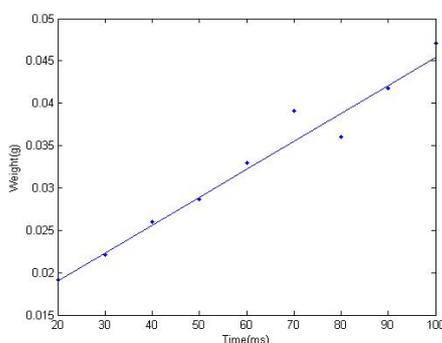


ภาพที่ 119 แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 0.5848 Molar

แจกเช่นเดียวกันวิธีการหาค่าในความเข้มข้นอื่นๆ สำหรับความเข้มข้น 0.8772 Molar ซึ่งหาค่าสมการได้ดังสมการที่ 25

$$t = 3030W - 37.576 \quad (25)$$

นำค่าที่ได้มาทำการพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 120 และทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ จะได้ $r^2 = 0.966$ หมายความว่ากราฟนี้สามารถทำนายผลได้ถูกต้องประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์

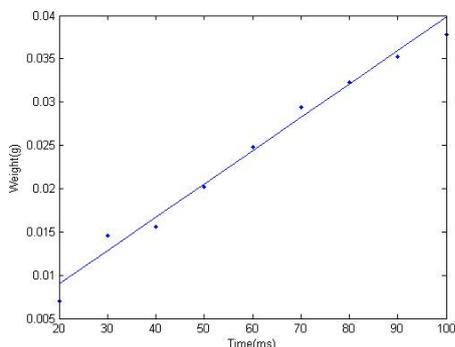


ภาพที่ 120 แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 0.8772 Molar

หาค่าสมการเชิงเส้นประมาณค่าน้ำหนักสำหรับความเข้มข้น 1.1696 Molar ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 26

$$t = 2597W - 3.37 \quad (26)$$

นำสมการที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่าที่หาได้คือ 0.9844 และนำสมการที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 121

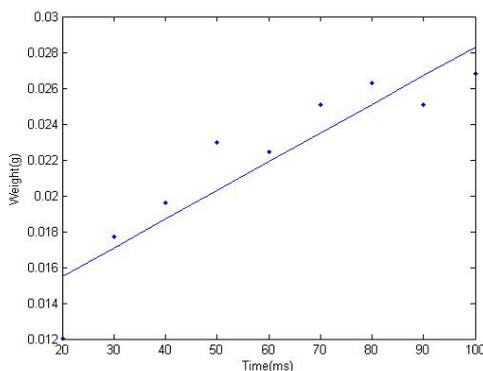


ภาพที่ 121 แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 1.1696 Molar

สำหรับสมการของเหลวซึ่งเป็นสารละลายมีความเข้มข้น 1.462 Molar สามารถหาได้ดังสมการที่ 27

$$t = 6249W - 76.87 \quad (27)$$

จากสมการที่ได้สามารถหาค่า $r^2=0.8414$ ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดในกลุ่มสารละลายที่ทำการวัดมา แต่ถึงอย่างไรก็ตามค่านี้ยังมีค่าค่อนข้างสูง เพราะสามารถประมาณได้แม่นยำถึง 84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเส้นที่ได้จากสมการดูได้ดังภาพที่ 122



ภาพที่ 122 แสดงกราฟเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่าจริงสำหรับสารละลาย 1.462 Molar

เมื่อหลอดหยด วางตั้งฉากกับแนวระดับ แรงที่กระทำเพื่อให้หยดของเหลวหยดจากปลายหลอดหยดประกอบด้วยแรงสองส่วนหลักๆคือแรงที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลวและแรงที่เกิด

จากความดันอากาศซึ่งปล่อยผ่านโซลินอยด์แล้ว ซึ่งแรงอย่างหลังเป็นแรงที่คงที่ ส่วนแรงอย่างแรก นั้นไม่คงที่ เนื่องจากของเหลวที่บรรจุใน หลอดหยดมีปริมาตรเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการหยดจ่าย ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปแรงที่กดเนื่องจากน้ำหนักของเหลวจะลดลงเรื่อยๆ ทำให้หยดของเหลวที่หยด นั้นจะมีปริมาตรลดลง

ดังนั้นตามสมการที่ 28 จะเห็นได้ว่าแรงที่กระทำกับของเหลวจะขึ้นกับปริมาตรและความหนาแน่น เนื่องจากของเหลวที่ใช้ในแต่ละหลอด (ของเหลวที่บรรจุในหลอดหยด) เป็นของเหลวชนิดเดียวกัน ดังนั้นแรงจะขึ้นกับปริมาตรของเหลวเท่านั้น

$$F = \rho Vg \quad (28)$$

โดยที่

F คือแรง (N)

ρ คือความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

V คือปริมาตรของของเหลว (m^3)

g คือแรงโน้มถ่วงโลก (m/s^2)

โดยที่หาความแตกต่างของแรงเมื่อทำการหยดปริมาตรเพื่อนำมาปรับแก้ความดันให้ที่จ่ายให้หยดของเหลว จะได้สมการที่ 29

$$\Delta F = \rho g(V_1 - V_2) \quad (29)$$

โดยที่

V_1 คือปริมาตรของเหลวก่อนหยด (m^3)

V_2 คือปริมาตรของเหลวหลังหยด (m^3)

เพราะฉะนั้นหากต้องการความแม่นยำมากๆ ในการหยดจ่ายของเหลวต้องปรับเปลี่ยนความดันอากาศที่จ่ายให้กับการหยด เพื่อให้แรงที่กระทำต่อระบบคงที่เสมอ จากสมการที่ 30 ซึ่งเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบและแรงที่กระทำกับระบบ

$$F = PA \quad (30)$$

หากต้องการให้แรงซึ่งกระทำกับของเหลวคงที่ต้องปรับความดันอากาศซึ่งปล่อยผ่านโซลีนอยด์แล้ว ตามสมการที่ 31

$$\Delta P = \frac{\Delta F}{A} \quad (31)$$

ซึ่งเพื่อให้ง่ายในการคำนวณ แทนค่าสมการที่ 29 ในสมการที่ 31 จะได้ดังสมการที่ 32

$$\Delta P = \frac{\rho g (V_1 - V_2)}{A} \quad (32)$$

สำหรับน้ำบริสุทธิ์ซึ่งมีความหนาแน่นประมาณ 1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและโดยปกติแล้วพื้นที่หน้าตัดของหลอดหยด ที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าประมาณ 2.0106×10^{-4} ตารางเมตร เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตรหยดจ่ายแบบต่างๆกัน และแทนค่าต่างๆในสมการที่ 32 จะได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงปริมาตรและแรงที่กระทำต่อหยดของเหลว

ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง(ml)	ความดันที่ต้องเปลี่ยนแปลง (nPa)
1	0.4879
2	0.9758
3	1.4637
4	1.9517
5	2.4396
6	2.9275
7	3.4154
8	3.9033
9	4.3912
10	4.8791

เช่นเดียวกันกับวิธีวิเคราะห์เวลา การวิเคราะห์หาน้ำหนักสำคัญของเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดหยดของเหลวที่มีผลต่อน้ำหนักของของเหลวทำได้โดย วิเคราะห์หาความแปรปรวนร่วม โดยเลือกตัวขนาดเต็มจีดยามาสามค่าที่ใกล้เคียงกันเพื่อวิเคราะห์ โดยกำหนดเวลาเปิดปิดโซลินอยด์คงที่

ตั้งสมมุติฐานดังนี้ H_0 : การเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางไม่มีผลต่อน้ำหนักของเหลวที่หยดจ่ายกำหนด $\alpha = 0.01$ พิจารณาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักที่วัดได้

	23 G	24 G	26 G
น้ำหนัก (g)	0.2396	0.0265	0.0247
น้ำหนัก (g)	0.2451	0.0267	0.0277
น้ำหนัก (g)	0.1497	0.028	0.0246
น้ำหนัก (g)	0.2415	0.0242	0.0276
T_j	0.8759	0.1054	0.1046
T_j^2/n_j	0.1918	0.002777	0.002735
\bar{X}_j	0.218975	0.02635	0.02615

ตารางที่ 6 นำน้ำหนักจากตารางที่ 5 มายกกำลังสอง

	23 G	24 G	26 G
น้ำหนัก (g)	0.057408	0.000702	0.00061
น้ำหนัก (g)	0.060074	0.000713	0.000767
น้ำหนัก (g)	0.02241	0.000784	0.000605
น้ำหนัก (g)	0.058322	0.000586	0.000762
T_j	0.198215	0.002785	0.002744

แทนค่าในสมการที่ 11 จะได้

$$SS_b = 0.1973128 - 0.0982649$$

$$= 0.0990479$$

แทนค่าในสมการที่ 13 จะได้

$$\begin{aligned} SS_w &= 0.2037436 - 0.1973128 \\ &= 0.0064308 \end{aligned}$$

หา MS_b และ MS_w

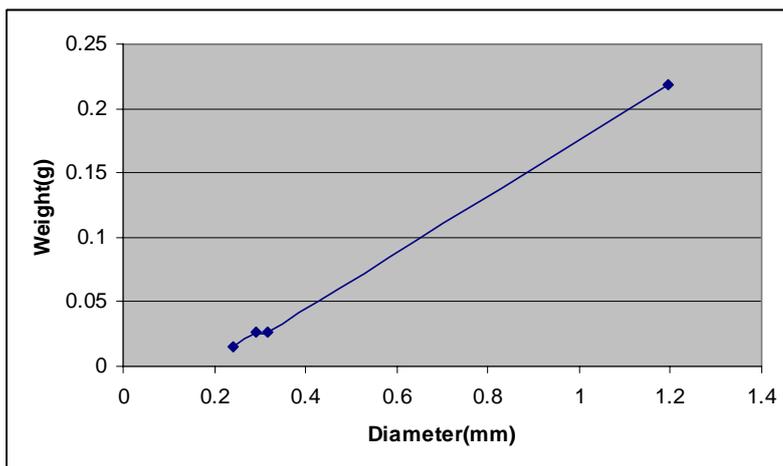
$$\begin{aligned} MS_b &= 0.0990479/3 \\ &= 0.0495239 \\ MS_w &= 0.0064308/9 \\ &= 0.0007145 \\ F &= MS_b/MS_w \\ &= 0.0495239/0.0007145 \\ &= 69.312666 \end{aligned}$$

ตารางที่ 7 ตารางความแปรปรวนร่วมของการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางเข็ม

แหล่งของการแปรผัน	ผลรวมของกำลังสอง SS	df	ค่าประมาณของความแปรปรวน	F	ค่าวิกฤต
ระหว่างกลุ่ม	0.0990479	2	0.0495239	69.312666	8.02
ภายในกลุ่ม	0.0064308	9	0.0007145		
ทั้งหมด	0.1054787	11			

เมื่อพิจารณาจากตารางพบว่า ค่า F ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่า ค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง แสดงให้เห็นว่า สามารถปฏิเสธ H_0 ซึ่งเป็นสมมุติฐานหลัก ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของของเหลวอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.01$

และเนื่องจากค่าที่นำมาวัดน้ำหนักการหยดจ่ายของเหลวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มหยดจ่ายของเหลวมีตัวอย่างค่อนข้างน้อยดังนั้นจึงไม่ค่อยเหมาะสมสำหรับการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด ดังนั้นจึงทำการแสดงกราฟดังภาพที่ 123 เพื่อแสดงว่าหยดของเหลวจะมีน้ำหนักมากขึ้นเมื่อความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเข็มมีขนาดกว้างขึ้น



ภาพที่ 123 แสดงกราฟดูแนวโน้มของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลอดหยดจ่ายกับน้ำหนัก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

สามารถพัฒนาและสร้างเครื่องหยดจ่ายขนาดเล็กที่สามารถควบคุมปริมาณตามเวลาได้จริง โดยเครื่องนี้สามารถปรับความละเอียดเวลามากกว่าเครื่องที่มีในท้องตลาดประมาณ 100 เท่า (ในท้องตลาดเวลาปรับความละเอียดได้ประมาณ 10 มิลลิวินาที) การปรับเปลี่ยนเวลาในการหยดจ่ายโซลีนอยด์วาล์วส่งผลต่อน้ำหนักการหยดจ่ายของเหลวอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับน้ำมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเปิดปิดโซลีนอยด์วาล์วควบคุมความดันอากาศกับปริมาตรที่หยดจ่ายเป็นเชิงเส้น ดังนั้นการควบคุมปริมาตรของหยดน้ำ สามารถทำได้โดยปรับเปลี่ยนเวลาในการเปิดปิดโซลีนอยด์วาล์ว ซึ่งปรับค่าได้สะดวกกว่าและละเอียดกว่าการปรับเปลี่ยนความดันอากาศของแหล่งจ่าย (เกจวัดความดันส่วนใหญ่มีหน่วยเป็น Bar ซึ่งมีค่าประมาณ $100,000 \text{ N/m}^2$) สำหรับการปรับเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มฉีดยาของเหลวมีผลต่อน้ำหนักของเหลวในการหยดจ่ายเช่นเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

อาจจำแนกข้อมูลที่ได้มาออกเป็นกลุ่มๆ ด้วย SVM (Support Vector Machine) ซึ่งเป็นวิธีการจำแนกข้อมูลโดยใช้ Neural Networks เพื่อหาค่าน้ำหนัก (Weight) สำหรับการปรับปรุงให้เครื่องสามารถประมาณค่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามาได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ฐิตาธิ์ ถมยา. 2549. **นิวมติกส์และนิวมติกไฟฟ้าเบื้องต้น**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

พรชัย ผลพิบูลย์ลาภ, สถาพร อุดมสิน และ บุญยิ่ง เจริญ. 2547. การออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่าความอิมิตัวของออกซิเจนในเลือดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ DS80C320. **ENGINEERING TRANSACTIONS** (7): 39-49.

วีระศักดิ์ ทรัพย์วิเชียร, วีระยุทธ สุวรรณประทีป และ สมาน เจริญกิจพูนผล. 2521. **กลศาสตร์วิศวกรรม ฉบับเสริมประสบการณ์ ภาคสถิตยศาสตร์(STATICS)**. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), กรุงเทพฯ.

Boylestad, R.L. and L. Nashelsky. 2006. **Electronic Devices And Circuit Theory**. Pearson Prentice Hall, USA.

Cengel, Y.A. and J.M. Cimbala. 2006. **Fluid Mechanics Fundamentals and applications**, McGraw Hill, USA.

Chapra , S.C. and R.P. Canale. 2006.**Numerical Methods for Engineers**. McGraw Hill, USA.

Falconer, C.B. 2004. **An Explanation of the Double-Dabble Bin-BCD Conversion algorithm**. cbfalconer. Available Source: <http://cbfalconer.home.att.net/download/dubldab.txt>, July 15, 2007.

Roxhed N., S. Rydholm, B. Samel, W. van der Wijngaart, P. Griss and G. Stemme. 2006. Low Cost Device For Precise Microcontroller Range Liquid Dispensing. **Micromech Microeng.** (16): 2740-2746.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ตารางค่าวิกฤต ของ F ที่ระดับ 0.01

df2/df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4052.181	4999.5	5403.352	5624.583	5763.65	5858.986	5928.356	5981.07	6022.473	6055.847
2	98.503	99	99.166	99.249	99.299	99.333	99.356	99.374	99.388	99.399
3	34.116	30.817	29.457	28.71	28.237	27.911	27.672	27.489	27.345	27.229
4	21.198	18	16.694	15.977	15.522	15.207	14.976	14.799	14.659	14.546
5	16.258	13.274	12.06	11.392	10.967	10.672	10.456	10.289	10.158	10.051
6	13.745	10.925	9.78	9.148	8.746	8.466	8.26	8.102	7.976	7.874
7	12.246	9.547	8.451	7.847	7.46	7.191	6.993	6.84	6.719	6.62
8	11.259	8.649	7.591	7.006	6.632	6.371	6.178	6.029	5.911	5.814
9	10.561	8.022	6.992	6.422	6.057	5.802	5.613	5.467	5.351	5.257
10	10.044	7.559	6.552	5.994	5.636	5.386	5.2	5.057	4.942	4.849
11	9.646	7.206	6.217	5.668	5.316	5.069	4.886	4.744	4.632	4.539
12	9.33	6.927	5.953	5.412	5.064	4.821	4.64	4.499	4.388	4.296
13	9.074	6.701	5.739	5.205	4.862	4.62	4.441	4.302	4.191	4.1
14	8.862	6.515	5.564	5.035	4.695	4.456	4.278	4.14	4.03	3.939
15	8.683	6.359	5.417	4.893	4.556	4.318	4.142	4.004	3.895	3.805
16	8.531	6.226	5.292	4.773	4.437	4.202	4.026	3.89	3.78	3.691
17	8.4	6.112	5.185	4.669	4.336	4.102	3.927	3.791	3.682	3.593
18	8.285	6.013	5.092	4.579	4.248	4.015	3.841	3.705	3.597	3.508
19	8.185	5.926	5.01	4.5	4.171	3.939	3.765	3.631	3.523	3.434
20	8.096	5.849	4.938	4.431	4.103	3.871	3.699	3.564	3.457	3.368

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

df2/df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	8.017	5.78	4.874	4.369	4.042	3.812	3.64	3.506	3.398	3.31
22	7.945	5.719	4.817	4.313	3.988	3.758	3.587	3.453	3.346	3.258
23	7.881	5.664	4.765	4.264	3.939	3.71	3.539	3.406	3.299	3.211
24	7.823	5.614	4.718	4.218	3.895	3.667	3.496	3.363	3.256	3.168
25	7.77	5.568	4.675	4.177	3.855	3.627	3.457	3.324	3.217	3.129
26	7.721	5.526	4.637	4.14	3.818	3.591	3.421	3.288	3.182	3.094
27	7.677	5.488	4.601	4.106	3.785	3.558	3.388	3.256	3.149	3.062
28	7.636	5.453	4.568	4.074	3.754	3.528	3.358	3.226	3.12	3.032
29	7.598	5.42	4.538	4.045	3.725	3.499	3.33	3.198	3.092	3.005
30	7.562	5.39	4.51	4.018	3.699	3.473	3.304	3.173	3.067	2.979
40	7.314	5.179	4.313	3.828	3.514	3.291	3.124	2.993	2.888	2.801
60	7.077	4.977	4.126	3.649	3.339	3.119	2.953	2.823	2.718	2.632
120	6.851	4.787	3.949	3.48	3.174	2.956	2.792	2.663	2.559	2.472
inf	6.635	4.605	3.782	3.319	3.017	2.802	2.639	2.511	2.407	2.321

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายกฤต ฝืนเขียน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 8 ตุลาคม 2525
สถานที่เกิด	ตรัง
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตร์คอมพิวเตอร์ (วศ.บ.) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์