รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัย

ระบบแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำ

ADVERTISEMENT ON WATERFALL STREAMING

เจริญ วงษ์ชุ่มเย็น

ณัฐวุฒิ ขาวอ่อน

ในฝัน พรรครัตน์

ญาณวีร์ สโรชนันท์จีน

1279031X

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีงบประมาณ 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำ

ผศ. เจริญ วงษ์ชุ่มเย็น
นายณัฐวุฒิ ขาวอ่อน
นางสาวในฝัน พรรครัตน์
นางสาวญาณวีร์ สโรชนันท์จีน

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีรูปแบบการโฆษณาหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการโฆษณาผ่านทางวิทยุ โทรทัศน์ หรือ สื่อสิ่งพิมพ์ ซึ่งการโฆษณารูปแบบหนึ่งที่สามารถดึงดูดความสนใจจากผู้คนได้สูงมากนั่นคือ ระบบแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำ เนื่องด้วยการโฆษณาในรูปแบบนี้เป็นการแสดงที่ตระการตา น่าอัศจรรย์ ประกอบด้วยความงดงามจากสายน้ำที่ถูกตัดออกเป็นรูปแบบตัวอักษรรูปแบบต่างๆ ที่ต่อเนื่องและพริ้วไหว จนทำให้ผู้คนต้องหยุดชื่นชมจนเป็นภาพติดตาตรึงใจกันไปอย่างไม่รู้ตัว

ในโครงการวิจัยนี้จึงศึกษาและพัฒนาระบบการแสดงผลด้วยภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยการศึกษา ออกแบบ และพัฒนา ทั้งหมด 3 ส่วนดังนี้ ส่วนติดต่อผู้ใช้(UI) ที่ใช้แสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ สามารถออกแบบแก้ไขรูปแบบของสายน้ำได้อย่างอิสระ โดยมีการจำลองก่อน และสามารถออกแบบรูปแบบเพื่อทำการประมวลผลตัวอย่างเป็นภาพ ทั้งผู้ใช้ยังสามารถกดแสดงหรือหยุดสายน้ำได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ทันที ส่วนที่สองส่วนชุดการแสดงผลผ่านทางสายน้ำ มีการศึกษา ออกแบบ การตัดน้ำ โดยการใช้โซลินอยด์วาล์ว ซึ่งควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์สามารถควบคุมการรับ-ส่งรูปภาพหรือข้อความมาจากคอมพิวเตอร์ หรือสามารถทำงานในรูปแบบที่ไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ก็ได้ ภายในชุดการแสดงผลสามารถจัดเก็บรูปแบบของน้ำไว้สูงสุด 8 รูปแบบ แต่ละรูปแบบแสดงได้นานสูงสุด 40 วินาที ซึ่งโซลินอยด์วาล์วสามารถตัดน้ำด้วยความเร็วสูงสุด 25 ครั้งต่อวินาที โดยที่แต่ละบอร์ดสามารถทำงานได้อย่างอิสระ หรือเชื่อมต่อการทำงานกับบอร์ดอื่นได้ และส่วนพัฒนาโปรโตคอลที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ กับฮาร์ดแวร์ที่ควบคุมการทำงานของน้ำตก เป็นการสื่อสารด้วยรูปแบบ Serial communication (RS232) สื่อสารกันในลักษณะ Stop and wait ARQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Advertisement on Waterfall Streaming

Asst. Prof. Charoen Vongchumyen
Mr. Natthawut Khao-orn
Miss Naifun Pakkarat
Miss Yanawee Sarotnunjeen

ABSTRACT

Nowadays, there are many kinds of media for advertisement such as radio stations, televisions or on printing media. One of the famous methods that able to draw attention from people is ADVERTISEMENT ON WATERFALL STREAMING. This advertisement is the most amazing idea which the producer designed it to be able to on and off the water valve and create picture or message on the running waterfall. Whoever has a chance to walk pass this advertisement will stop to take a look and stunt for this billions idea.

This project studies is the method of the design and its development of an ADVERTISEMENT ON WATERFALL STREAMING. We separated this project into 3 parts. First, user Interface (UI) for contact between user and waterfall controller that user can design and edit pattern of waterfall streaming. User can see the preview and simulation on the UI. Moreover, user can control the waterfall (Play and Stop). Second, we studied and designed the waterfall solenoid valve to control the waterfall streaming. The controller boards that control solenoid valve connect with UI. So, we are able to control, sending and receiving the pattern from UI. This unit can work with or without connect to UI. It is able to keep maximum 8 patterns in the memory and each pattern can play 40 seconds long. The solenoid valve can cut water 25 times per second. And also the board can be isolate or can connect with another board. The last part is protocol for being a language to talk between UI and waterfall streaming controller by using Serial communication (RS232) and using stop and wait ARQ protocol.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

สารบัญ III

สารบัญตาราง V

สารบัญรูป VI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 บทนำ 3

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR 3

2.3 การตัดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว 7

2.4 ทรานซิสเตอร์ 9

2.5 สายสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่อบอร์ดคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ 15

2.6 ระบบบัสไอสแควร์ซี 17

2.7 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล USART 21

2.8 อีอีพรอม (EEPROM:Ectrically Erasable Programmable Read-Only Memory) 23

2.9 การแปลงภาพสีไปเป็นภาพขาวดำ 27

2.10 เครื่องมือที่ใช้พัฒนา 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงาน 29

3.1 รายละเอียดโปรแกรมที่จะพัฒนา 29

3.2 ขอบเขตและข้อจำกัดของโปรแกรมที่พัฒนา 30

3.3 ภาพรวมของระบบ 31

3.4 ส่วนประกอบของระบบ 32

3.5 การเก็บข้อมูลในหน่วยความจำอีอีพรอม 43

3.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ 45

3.7 ปริมาณน้ำที่ต้องใช้หมุนเวียนในระบบ 48

3.8 การออกแบบวงจรสำหรับจ่ายไฟให้กับโซลินอยด์วาล์ว 49

3.9 ความเร็วในการตัดน้ำที่เหมาะสม 50

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 52

4.1 บทนำ 52

4.2 การทดลองวงจรตัดน้ำ 52

4.3 การทดลองการเขียนอีอีพรอม 56

4.4 การทดลองการทำงานของหน้าจอแสดงผล 58

4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของน้ำตก 69

4.6 การแปลงรูปภาพเป็นรูปแบบสำหรับแสดงผล 71

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 75

5.1 สรุปผลการทำงาน 75

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 77

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ 78

บรรณานุกรม 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 โครงสร้างขาของพอร์ตอนุกรม DB9 16

3.1 จำนวนครั้งที่สามารถเปิด-ปิดได้สูงสุด ก่อนที่น้ำจะตกถึงพื้น 51

4.1 ผลลัพธ์การทดลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว 52

4.2 การเปรียบเทียบเวลาสำหรับการประมวลผลภาพ 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป หน้า

1.1 ตัวอย่างการแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำงานฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี 1

2.1 บอร์ด ATmega128 4

2.2 บล็อกไดอะแกรม AVR(ATmega128) 5

2.3 ขาพอร์ต AVR(ATmega128) 6

2.4 ลักษณะของโซลินอยด์วาล์ว 7

2.5 ขดลวดโซลินอยด์ 7

2.6 สภาวะต่างๆ ของโซลินอยด์ 8

2.7 ขดลวดโซลินอยด์ชนิดเปียก (Wet solenoid) 8

2.8 ขดลวดโซลินอยด์ชนิดแห้ง (Dry solenoid) 9

2.9 โครงสร้างทรานซิสเตอร์ 10

2.10 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ 10

2.11 การทำงานที่บริเวณคัตออฟ 11

2.12 วงจรสมมุติ 12

2.13 การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณอิ่มตัว 12

2.14 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า 13

2.15 การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ในบริเวณแอกตีฟ 13

2.16 DB9-male ตัวผู้ 16

2.17 DB9-Female ตัวเมีย 16

2.18 ขาสัญญาณของ RS232 16

2.19 การทำแฮนด์เชค 17

2.20 ไดอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆ ในบัส I^2C 19

2.21 รูปแบบเฟรมข้อมูลในการส่งข้อมูลแบบ UASRT 22

2.22 ไอซี 24LC128(128K I^2C CMOS Serial EEPROM) 23

2.23 แอดเดรสของ Control Byte และ Address High Byte/Low Byte 24

2.24 กระบวนการเขียนแบบไบต์ 25

2.25 กระบวนการเขียนแบบเพจ (Page Write) 25

2.26 กระบวนการอ่านแบบสุ่ม (Random Read) 26

2.27 กระบวนการอ่านแบบเรียงลำดับ (Sequential Read) 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป หน้า

2.28 กระบวนการอ่านข้อมูลแอดเดรสปัจจุบัน (Current Address Read) 27
2.29 ตัวอย่างภาพที่อยู่โหมดขาวดำ 27
2.30 ระดับเฉดสีในโหมดภาพขาวดำ ตั้งแต่สีดำไปจนสีขาว 27
2.31 ตัวอย่างการแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำ 28
3.1 ภาพรวมของระบบ 32
3.2 การทำงานของส่วนติดต่อกับผู้ใช้ 33
3.3 หน้าจอที่ใช้ในการแสดงผล 33
3.4 การทำงานของชุดแสดงผล 34
3.5 ส่วนประกอบของชุดแสดงผล 35
3.6 ชุดการแสดงผลผ่านสายน้ำ 35
3.7 การจัดการหน่วยความจำโดยวิธี Fixed-block Memory 36
3.8 การจัดการหน่วยความจำโดยวิธี Variable-block Memory 37
3.9 การส่งข้อมูลด้วย Bus topology โดยไม่เจาะจงผู้รับ 38
3.10 การส่งข้อมูลด้วย Bus topology โดยเจาะจงผู้รับ 38
3.11 แพ็กเกตของข้อมูล 39
3.12 รูปแบบโปรโตคอลที่ส่งจากชุดควบคุมกลับมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ 39
3.13 การทำงานของแพ็กเกตข้อมูล 40
3.14 แพ็กเกตสำหรับการทดสอบการเชื่อมต่อ 41
3.15 แพ็กเกตสำหรับสั่งการให้แสดงผล 41
3.16 แพ็กเกตสำหรับระงับการแสดงผล 42
3.17 แพ็กเกตสำหรับการเปิดการเชื่อมต่อ 42
3.18 แพ็กเกตสำหรับการส่งข้อมูล 1000 bytes แรก 42
3.19 แพ็กเกตสำหรับการส่งข้อมูล 1000 bytes ชุดที่ 2 43
3.20 แพ็กเกตสำหรับการปิดการเชื่อมต่อ 43
3.21 การกำหนดตำแหน่งของรูปแบบการแสดงผล 44
3.22 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ 45
3.23 บอร์ดกลางสำหรับเชื่อมต่อกับ PC 46
3.24 บอร์ดสำหรับระบุ ID และ เพิ่มหน่วยความจำ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.25 บอร์ด ET-Base AVR	47
3.26 Interface board	47
3.27 วงจรสำหรับจ่ายไฟให้โซลินอยด์วาล์ว	50
4.1 วงจรรวมสำหรับการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว	53
4.2 วงจรรวมที่สร้างขึ้น	54
4.3 การตัดน้ำที่ความเร็ว 25 ครั้งต่อวินาที	55
4.4 การตัดน้ำที่ความเร็ว 40 ครั้งต่อวินาที	55
4.5 การตัดน้ำที่ความเร็ว 100 ครั้งต่อวินาที	56
4.6 วงจรที่เชื่อมต่ออีอีพรอมเข้ากับ ATmega128	57
4.7 การเขียนข้อมูลลงอีอีพรอมลงในรูปแบบที่ 1	58
4.8 การอ่านข้อมูลจากอีอีพรอมจากรูปแบบที่ 1	58
4.9 หน้าต่างหลักของโปรแกรม	59
4.10 หน้าต่างการสร้างรูปแบบใหม่ โดยสามารถเลือกจากรูปภาพ	60
4.11 หน้าต่าง เลือกรูปภาพที่ต้องการนำมาแปลงเป็นรูปแบบสำหรับแสดงบนน้ำตก	60
4.12 แท็บการแปลงรูปแบบจากตัวอักษร	61
4.13 หน้าต่างเมื่อทำการแปลงข้อความเป็นรูปภาพแล้ว	61
4.14 หน้าต่าง เมื่อทำการแปลงภาพเป็นรูปแบบสำหรับแสดงบนน้ำตก	62
4.15 หน้าต่างหลัก เมื่อทำการแปลงภาพแล้ว	62
4.16 หน้าต่าง การเลือกรูปแบบที่ต้องการ	63
4.17 หน้าต่าง การเลือกรูปแบบที่ต้องการ	64
4.18 บันทึกรูปแบบลงบนคอมพิวเตอร์	65
4.19 หน้าต่างการเปิดไฟล์จากคอมพิวเตอร์	66
4.20 หน้าต่างการตั้งค่าพอร์ตที่เชื่อมต่อชุดแสดงผล	67
4.21 การเลือกรูปแบบที่จะไปบันทึกลงบนชุดแสดงผล	67
4.22 หน้าต่างแจ้งเตือนเมื่อการส่งเสร็จสิ้น	68
4.23 โปรแกรมจับเวลาการประมวลผลภาพ	68
4.24 บอร์ดสำหรับการทำงานแบบไม่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	70
4.25 บอร์ดสำหรับระบุ ID และเพิ่มหน่วยความจำ	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

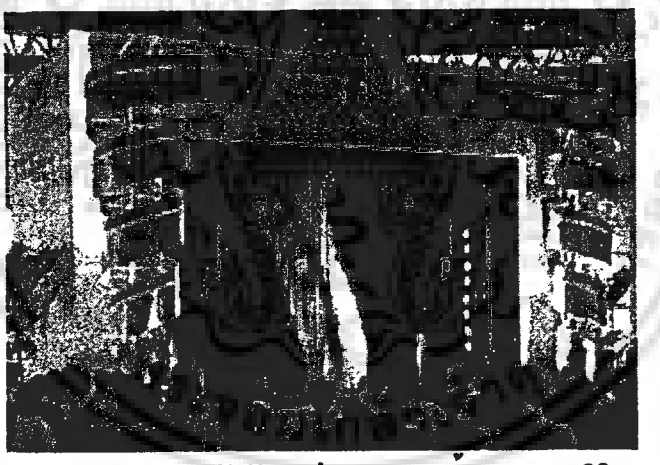
รูป	หน้า
4.26 ตัวอย่างภาพที่มีการรบกวนทางแสงน้อย	71
4.27 ตัวอย่างภาพที่มีการรบกวนทางแสงน้อย	72
4.28 ตัวอย่างภาพที่มีรายละเอียดของภาพมากเกินไป	73
4.29 ตัวอย่างภาพที่มีรายละเอียดของภาพมากเกินไป	73
4.30 ตัวอย่างภาพที่มีสีของภาพใกล้เคียงกัน	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันมีรูปแบบการโฆษณาหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการโฆษณาผ่านทางวิทยุ โทรทัศน์ หรือ สื่อสิ่งพิมพ์ เป็นต้น ซึ่งมีการโฆษณารูปแบบหนึ่งที่สามารถดึงดูดความสนใจจากผู้คนได้สูงมากนั่นคือ ระบบการแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำ (Waterfall, Advertisement on waterfall steaming) เนื่องด้วยการโฆษณาในรูปแบบนี้เป็นการแสดงที่ตระการตาน่าอัศจรรย์ ประกอบด้วยความงดงามจากสายน้ำที่ถูกตัดออกเป็นรูปแบบ-ตัวอักษรรูปแบบต่างๆ ที่ต่อเนื่องและพริ้วไหว จนทำให้ผู้คนต้องหยุดชื่นชมจนเป็นภาพติดตาตรึงใจกันไปอย่างไม่รู้ตัว แต่น่าเสียดายที่การแสดงในรูปแบบนี้ไม่อาจพบเห็นได้ภายในประเทศไทยบ่อยครั้งนัก อันเนื่องมาจากเหตุผลหลายๆประการ เช่น ต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ เทคโนโลยี และ แสดงต่อครั้งสูงมาก อีกทั้งยังไม่มีผู้ผลิตและจัดแสดงในประเทศไทย จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ



รูป 1.1 ตัวอย่างการแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำงานฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบการแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำ
2) เพื่อสร้างบุคลากรความรู้ความสามารถทางด้านคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ การประยุกต์ใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมส่วนต่างๆ ของฮาร์ดแวร์
3) เพื่อลดอัตราการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เพื่อศึกษาออกแบบและพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้(UI) ที่ใช้แสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์
5) เพื่อศึกษาออกแบบ และพัฒนาโปรโตคอลที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล
6) เพื่อศึกษาออกแบบ และพัฒนาระบบการตัดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์วได้
7) เพื่อตรวจสอบระยะที่มองเห็นได้ชัดและแสดงภาพจำลองของน้ำที่ตกลงมาผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

เพื่อออกแบบและจัดสร้างระบบการนำภาพและตัวอักษรมาแสดงผลผ่านทางสายน้ำ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน และติดตั้งในที่ต่างๆ ได้ ซึ่งระบบจะแสดงภาพผ่านทางสายน้ำ โดยสามารถควบคุมน้ำให้ร่วงหล่นลงมาเป็นภาพหรือข้อความต่างๆ ได้อย่างอิสระ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและควบคุมการกำหนดรูปแบบต่างๆ (On-PC mode) ซึ่งในขณะเดียวกัน ระบบมีความสามารถให้บอร์ดควบคุมวาล์วให้สามารถทำงานได้ด้วยตนเองโดยปราศจากการเชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์ (Stand alone mode) ซึ่งระบบสามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้ที่หลากหลาย สำหรับ On-PC mode ระบบรองรับให้ผู้ใช้สามารถออกแบบแก้ไขรูปแบบของสายน้ำได้อย่างอิสระ โดยมีการจำลองก่อนทำการบันทึกลงหน่วยความจำของบอร์ดจริง หรือในกรณีที่ผู้ใช้ไม่ต้องการบันทึกรูปแบบของสายน้ำลงบนหน่วยความจำของบอร์ดทันที ก็สามารถบันทึกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ เพื่อเปิดดูและนำไปบันทึกได้ในภายหลัง อีกทั้งผู้ใช้ยังสามารถกดแสดงหรือหยุดสายน้ำได้จากคอมพิวเตอร์ทันที สำหรับ Stand alone mode สามารถนำทุกบอร์ดมาเชื่อมต่อกันให้ได้ สายน้ำที่มีขนาดใหญ่ หรือมีมิติเพิ่มขึ้นได้ โดยจะมีบอร์ดกลางซึ่งเป็นสวิตซ์ควบคุมการทำงานของทุกๆ บอร์ดร่วมกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้รับความรู้ ความเข้าใจ ในเรื่องการใช้โซลินอยด์วาล์วเป็นตัวตัดน้ำ
2) ได้รับความรู้ ความเข้าใจ ในเรื่องการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller)
3) ได้รับความรู้ ความเข้าใจ ในเรื่องการส่งผ่านข้อมูลผ่าน RS 232
4) ได้รับความรู้ ความเข้าใจ ในเรื่องส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface)
5) ได้ระบบการแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำ
6) สามารถนำผลงานที่ได้ไปใช้ในเชิงธุรกิจ
7) สามารถลดอัตราการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

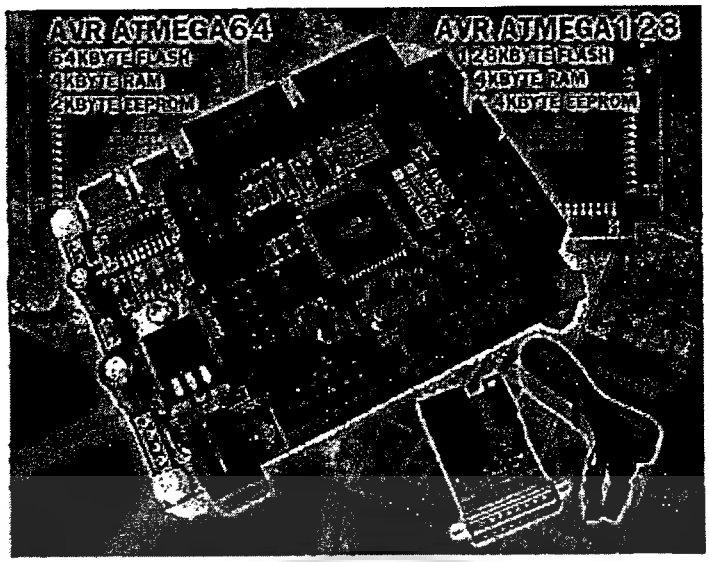
2.1 บทนำ

ความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบัน ทำให้ปัจจุบันแนวคิดเกี่ยวกับธรรมชาติที่หาได้ยากและสวยงามดั่งศิลปะถูกพัฒนาขึ้นไปในแนวทางของการวาดรูปภาพหรือเขียนข้อความด้วยน้ำ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จาก Graphical waterfall ทำให้มาซึ่งลายเส้นที่เคลื่อนไหว รูปทรง และการพริ้วไหวของแถบริบบิ้นที่ถูกสร้างขึ้นจากศิลปะและธรรมชาติ เมื่อ Graphical waterfall ถูกโปรแกรมขึ้นจะประกอบด้วยภาพกราฟฟิกเคลื่อนไหวมากมาย ไม่ว่าจะเป็นข้อความ ตัวอักษร และ โลโก้ต่างๆซึ่งสร้างความตื่นตาตื่นใจและน่าพิศวง จนทำให้ผู้คนที่ผ่านไปผ่านมา ต้องหยุดชื่นชมและจดจ่อรอดูว่าจะมีอะไรเกิดขึ้นต่อไป

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นหนึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL (ผู้นำทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51) AVR จัดเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่จาก ATMEL มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC(Advanced RISC architecture) คือหนึ่งคำสั่งทำงานใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก (instructions in a single clock cycle) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพและความสามารถสูง แบ่งออกเป็นหลายอนุกรม ในแต่ละอนุกรมยังแบ่งออกเป็นหลายเบอร์ เพื่อรองรับความต้องการที่แตกต่างของผู้ใช้งาน ในขณะที่ยังคงความประสิทธิภาพที่เท่ากัน สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ที่นำมาใช้ คือ Atmega128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



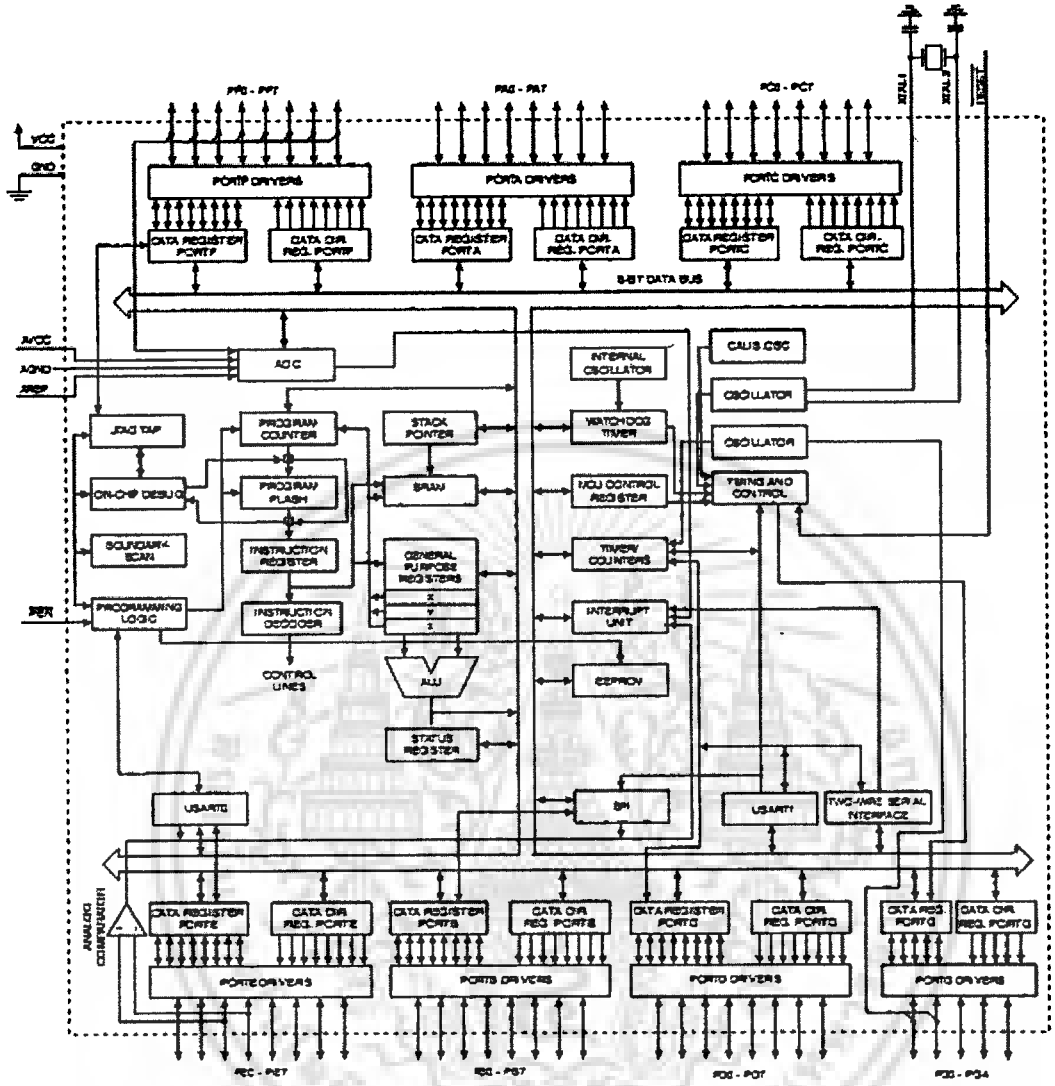
รูป 2.1 บอร์ด ATmega128

2.2.1 คุณสมบัติที่สำคัญ

1) สถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ Advanced RISC
2) มีคำสั่งควบคุมการทำงานมากถึง 133 คำสั่ง โดยมีความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่งต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา (1MIP/1MHz)
3) มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว (ทำให้สะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C เป็นอย่างมาก)
4) ความเร็วในการทำงาน 1 MIPS ต่อ 1 MHz และมากถึง 16 MIPS เมื่อใช้ความถี่ที่ 16 MHz
5) หน่วยความจำ ROM แบบ Flash (มีโหมดป้องกันหน่วยความจำ) ขนาด 128 กิโลไบต์ (เขียน/ลบได้ 10,000 ครั้ง)
6) หน่วยความจำข้อมูลแบบอีอีพรอม ขนาด 4 กิโลไบต์ (เขียน/ลบได้ 100,000 ครั้ง)
7) หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM 4 กิโลไบต์
8) ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทั้ง 8 บิตและ 16 บิต พร้อมปรีสเกลเลอร์
9) มีระบบตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของซอฟแวร์ (Watchdog Timer with On-Chip Oscillator)
10) โมดูลสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulator) มีจำนวน 6 ช่อง
11) มีโมดูลแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) ขนาด 10 บิต มากถึง 8 ช่อง
12) โมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อก(Analog Comparator)
13) การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมีทั้งแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) หรือแบบ RS232, SPI (Serial Peripheral Interface) และแบบ I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14) มี 6 อินพุตเอาท์พุตพอร์ต

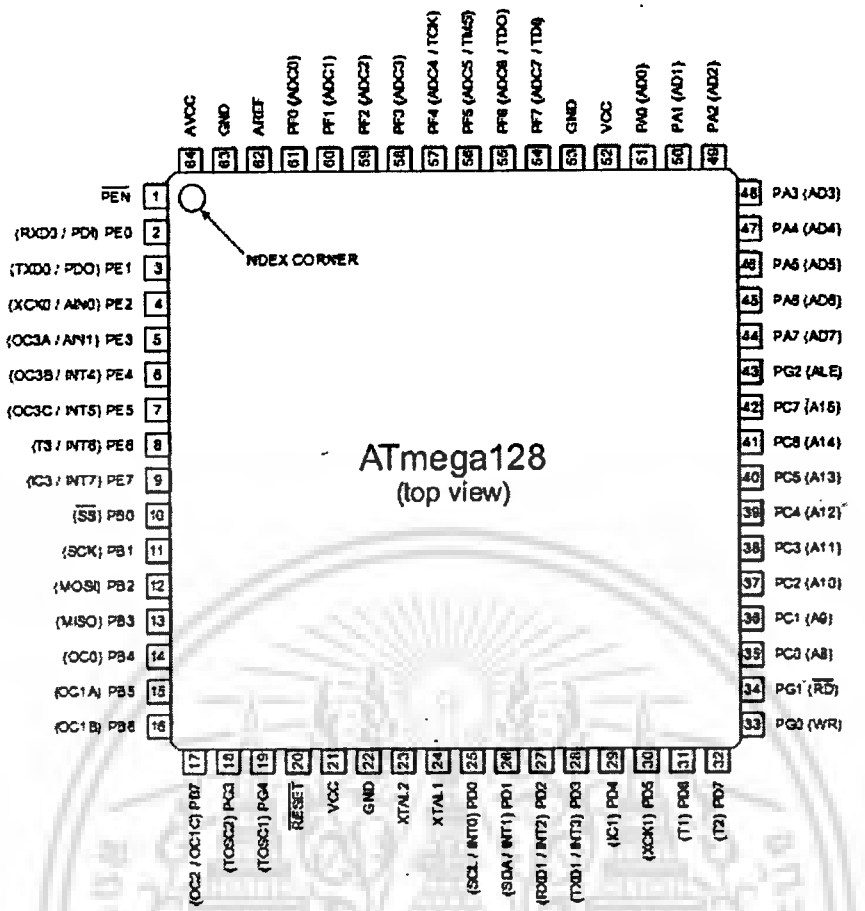


รูป 2.2 บล็อกไดอะแกรม AVR(ATmega128)

2.2.2 ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 128 มีจำนวน 64 ขา โดยแบ่งขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตอิสระ จำนวน 48 ขา ประกอบไปด้วย PA, PB, PC, PD, PE, PF ขนาด 8 บิต รายละเอียดขาพอร์ตทั้งหมดแสดงดังรูป 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 ขาพอร์ต AVR(ATmega128)

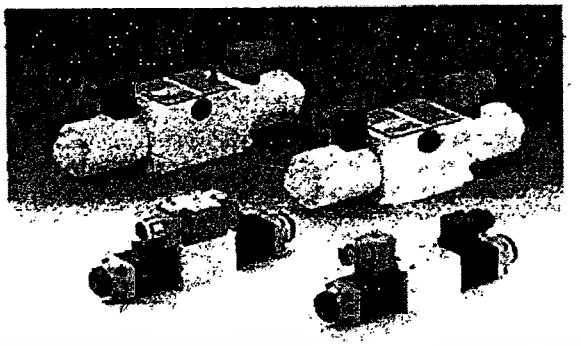
2.2.3 AVR Studio 4 คอมไพลเลอร์ (AVR Studio 4 C Complier)

เป็นซอฟแวร์สำหรับการแปลโปรแกรมภาษา C ของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นรหัสเครื่อง การใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยโปรแกรมภาษาซี

พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR สามารถทำงานเป็นได้ทั้งพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตดิจิตอลและเป็นพอร์ตอินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยที่การแปลงสัญญาณอะนาล็อกนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของขาพอร์ตนั้น

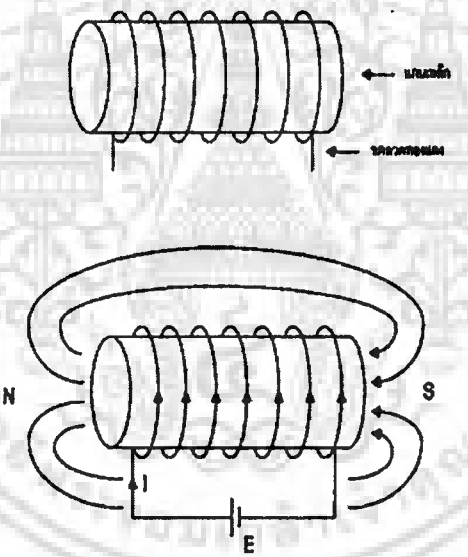
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การตัดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว



รูป 2.4 ลักษณะของโซลินอยด์วาล์ว

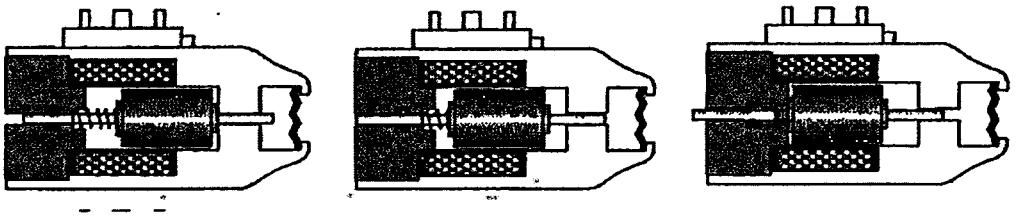
2.3.1 หลักการทำงานของขดลวดโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid)



รูป 2.5 ขดลวดโซลินอยด์

ขดลวดโซลินอยด์ คือ ขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าที่ขดลวดจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบขดลวด แล้วรวมตัวกันเป็นสนามแม่เหล็กที่ใหญ่ขึ้น โดยมีทิศทางวิ่งจากขั้ว N ไปขั้ว S จากหลักการทำงานขดลวดโซลินอยด์ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าที่ขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบขดลวด ทำให้เกิดการดูดแกน Armature ซึ่งสามารถเอาชนะแรงสปริงที่ดันแกน Armature ไว้ ทำให้แกน Armature เคลื่อนที่ไปอยู่ตรงกลางของขดลวด ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) ข) ค)

รูป 2.6 สภาวะต่างๆ ของโซลินอยด์

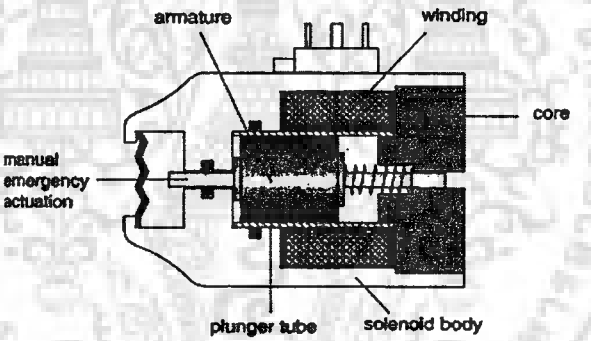
ก) สภาวะปกติ (ไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวด)

ข) สภาวะทำงาน (ระหว่างป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวด)

ค) สภาวะสุดท้าย (ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวด)

ขดลวดโซลินอยด์ที่ใช้ในงานควบคุมระบบไฮดรอลิกสามารถจำแนกออกได้ 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 ขดลวดโซลินอยด์ชนิดเปียก (Wet solenoid)



รูป 2.7 ขดลวดโซลินอยด์ชนิดเปียก (Wet solenoid)

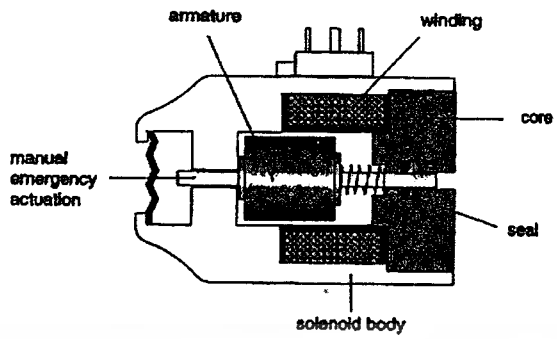
ขดลวดโซลินอยด์ชนิดนี้ จะเห็นได้ว่าภายในห้องเลื่อนของแกน Armature จะมีน้ำมันไฮดรอลิกอยู่ด้วย พร้อมกับมีการต่อช่องทางระบายน้ำมันดังกล่าว ซึ่งสามารถไหลกลับสู่ถังพักน้ำมันได้ด้วย โดยส่วนใหญ่ ขดลวดโซลินอยด์ชนิดนี้จะใช้กับขดลวดโซลินอยด์สำหรับ ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เท่านั้น

ส่วนข้อดีของขดลวดโซลินอยด์ชนิดนี้ คือ

1) ใช้น้ำมันเป็นซีล (Seal) บาง ๆ ทำให้ลดการเสียดสีระหว่างแท่ง Armature กับผนังห้องเลื่อน
2) ป้องกันการเกิดสนิมภายในห้องเลื่อนแกน Armature
3) น้ำมันทำหน้าที่เป็นเบาะกันกระแทกในจังหวะทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ขดลวดโซลินอยด์ชนิดแห้ง (Dry solenoid)



รูป 2.8 ขดลวดโซลินอยด์ชนิดแห้ง (Dry solenoid)

ขดลวดโซลินอยด์ชนิดนี้ จะมีซีล (Seal) รีดน้ำมันที่บริเวณช่วงปลายแกน Armature เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันไฮดรอลิกซึมผ่านเข้าไปภายในห้องเลื่อนแกน Armature ได้ ขดลวดโซลินอยด์ชนิดนี้ สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับก็ได้

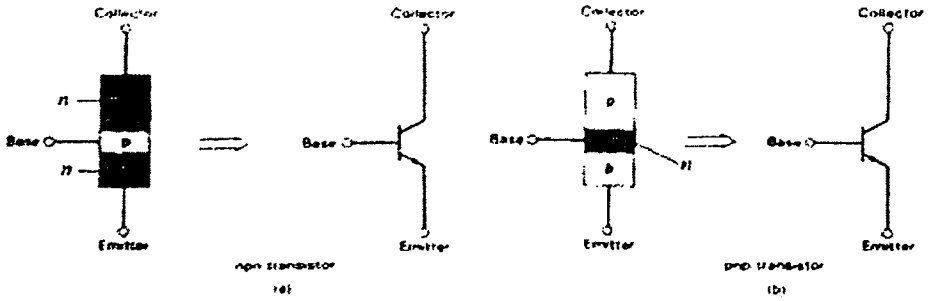
2.4 ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์แบ่งได้เป็นสองประเภทคือ ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ (Bipolar Junction Transistor, BJTs) และทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า (Field Effect Transistors,FETs) ทรานซิสเตอร์จะมีขาเชื่อมต่อสามจุด อธิบายโดยย่อคือเมื่อมีการปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่ขาหนึ่งจะส่งผลให้ความนำไฟฟ้าระหว่างขาที่เหลือสูงขึ้นอันทำให้สามารถควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามหลักทางฟิสิกส์ในการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั้งสองแบบ (ชนิดรอยต่อคู่และชนิดสนามไฟฟ้า) มีความแตกต่างกันอยู่มาก ซึ่งจะกล่าวถึงเฉพาะทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่

2.4.1 ประเภทของทรานซิสเตอร์ (Type of Transistors)

ทรานซิสเตอร์แบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภท คือ ทรานซิสเตอร์แบบ npn (npn Transistor) และทรานซิสเตอร์แบบ pnp (pnp Transistor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



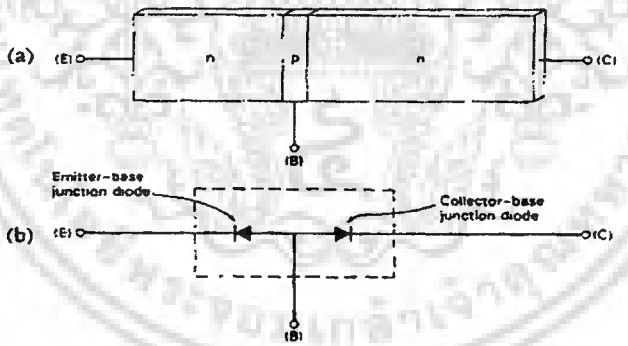
รูป 2.9 โครงสร้างทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์แบบ npn ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด n จำนวน 2 ชิ้นต่อเชื่อมกับสารกึ่งตัวนำชนิด p จำนวน 1 ชิ้น

ทรานซิสเตอร์แบบ pnp ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด p จำนวน 2 ชิ้นต่อเชื่อมกับสารกึ่งตัวนำชนิด n จำนวน 1 ชิ้น

2.4.2 โครงสร้างและการทำงานของทรานซิสเตอร์ (Transistor Construction and Operation)

ได้กล่าวมาแล้วว่าทรานซิสเตอร์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 3 ชิ้นต่อเชื่อมกัน ดังนั้นจึงมีรอยต่อ pn จำนวน 2 ตำแหน่ง



รูป 2.10 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์

ตำแหน่งที่อิมิตเตอร์กับเบสเชื่อมกันเป็นรอยต่อ PN เรียกว่า รอยต่ออิมิเตอร์-เบส (Emitter Base Junction) ส่วนตำแหน่งที่คอลเลคเตอร์กับเบสต่อเชื่อมกันเรียกว่า รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส (Collector Base Junction) เขียนแทนได้ด้วย ค่าเทียบเคียงของไดโอด เมื่อนำหลักการมาร่วมพิจารณา ทำให้ทราบว่าการที่จะนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานได้นั้นต้องต่อแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการไบอัสที่รอยต่อหรือไดโอดเทียบเคียงทั้งสอง เนื่องจากทรานซิสเตอร์ มี 3 ขั้ว การต่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานจึงเป็นไปได้ 3 แบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

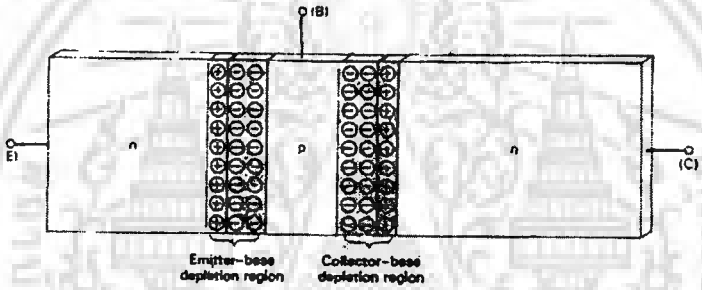
1) การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณคัตออฟ (Cut-off Region)

2) การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณอิ่มตัว (Saturation Region)

3) การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณแอกตีฟ (Active Region)

ในการอธิบายถึงการทำงานที่บริเวณต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์นั้น จะเริ่มต้นจากกรณีไม่มีการต่อแรงดันที่ขั้วของทรานซิสเตอร์ หรือกรณีไม่ได้รับการไบอัส

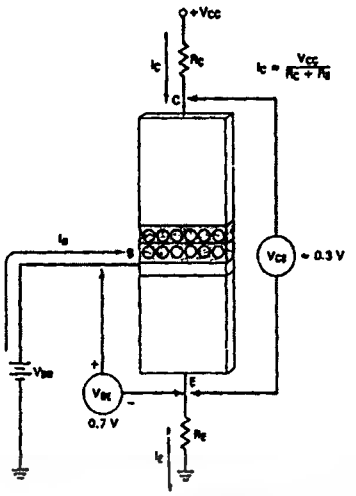
กรณีไม่ได้รับการไบอัส ขณะทรานซิสเตอร์ไม่ได้รับการไบอัส จะเกิดบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ที่รอยต่อทั้งสอง การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณคัตออฟเป็นการไบอัสกลับที่รอยต่อทั้ง 2 ตำแหน่ง ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านขั้วทั้งสามมีค่าใกล้ศูนย์ จากการต่อวงจรในลักษณะดังกล่าวบริเวณปลอดพาหะทั้งสองบริเวณจะขยายกว้างขึ้น จึงมีเพียงกระแสย้อนกลับ (Reverse Current) กระแสรั่วไหลปริมาณต่ำมากเท่านั้นที่ไหลจากคอลเลคเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ได้



รูป 2.11 การทำงานที่บริเวณคัตออฟ

การทำงานที่บริเวณอิ่มตัว เมื่อทราบว่าถ้าค่า IB เพิ่มขึ้น IC ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อ IC เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด หรือ เรียกว่า ทรานซิสเตอร์เกิดการอิ่มตัว ณ ตำแหน่งนี้ค่า IC จะเพิ่มตามค่า IB ไม่ได้อีกแล้ว การหาค่า IC ทำได้โดยใช้ VCC หารด้วยผลรวมของความต้านทานที่ขั้วคอลเลคเตอร์ (RC) กับความต้านทาน ที่ขั้วอิมิตเตอร์(RE) ดังรูป 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

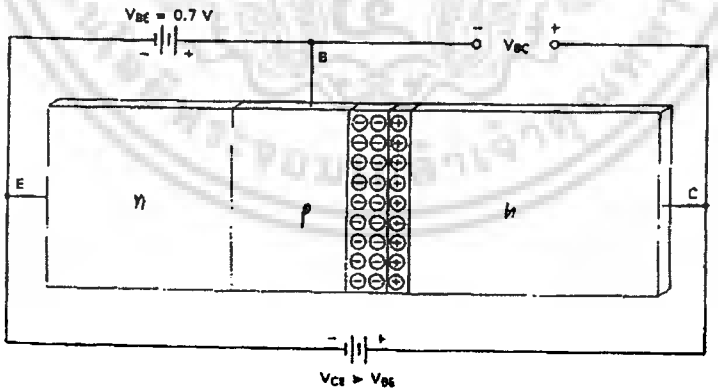


รูป 2.12 วงจรสมมุติ

สมมติขณะที่ V_{CE} ของทรานซิสเตอร์มีค่า 0 V (สภาพในอุดมคติ) I_C จะขึ้นอยู่กับค่า V_{CC}, R_C และ R_E ดังนี้

$$I_C = V_{CC} / (R_C + R_E) \qquad (2.1)$$

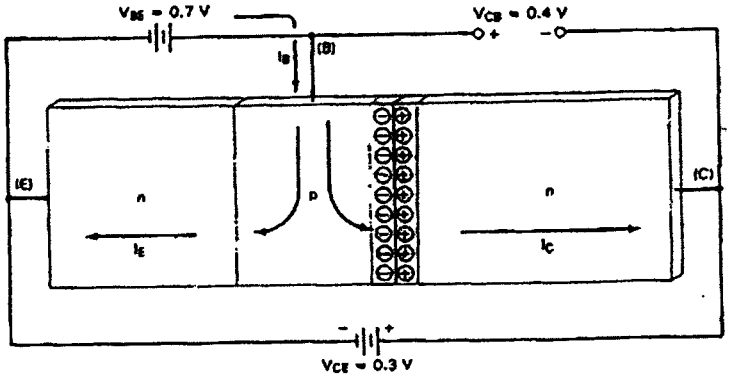
การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณอิ่มตัว เป็นการไบอัสตรงที่รอยต่อทั้ง 2 ตำแหน่ง ของทรานซิสเตอร์



รูป 2.13 การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณอิ่มตัว

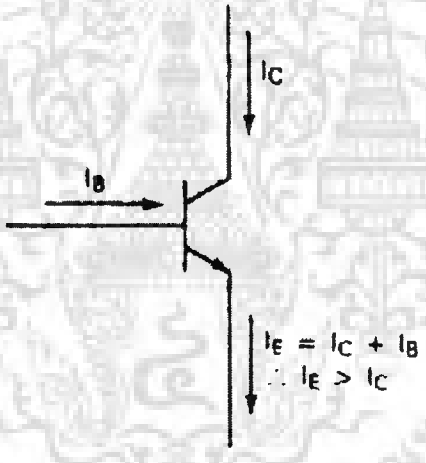
สมมติค่า V_{CE} ของทรานซิสเตอร์ขณะอิ่มตัว มีค่า 0.3 V (ซึ่งต่ำกว่า V_{BE} ที่มีค่า0.7 V) บริเวณรอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส จะได้รับการไบอัสตรงด้วยผลต่างระหว่างแรงดัน V_{BE} กับ V_{CE} (เท่ากับ 0.4 V) กระแสไฟฟ้า I_E, I_C และ I_B จะมีทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.14 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า

การทำงานที่บริเวณแอกตีฟ การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณแอกตีฟเป็นการแอกตีฟเป็นการไบอัสตรงที่รอยต่อ อิมิตเตอร์-เบส และไบอัสกลับที่รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส



รูป 2.15 การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ในบริเวณแอกตีฟ

การอธิบายหลักการทำงานของทรานซิสเตอร์ในบริเวณนี้จะง่ายขึ้น ถ้าพิจารณาเฉพาะรอยต่ออิมิตเตอร์-เบส สมมติ V_{BE} มีค่ามากพอที่จะทำให้ไดโอดทำงาน (Si ประมาณ 0.7 V และGe ประมาณ 0.3 V)] รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบสได้รับการไบอัสกลับ ทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างกว่าที่รอยต่ออิมิตเตอร์-เบสซึ่ง ได้รับการไบอัสตรง ดังนั้น ความต้านทานที่เบส (R_B) จึงมีค่าสูง เมื่อพิจารณาในรูปของไดโอดจะเห็นว่า IB เป็นกระแสที่มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) และเป็นส่วนหนึ่งของ I_E ดังนั้น I_E ส่วนใหญ่จึงเป็นกระแส I_C ซึ่งผ่านรอยต่อคอลเลคเตอร์- เบสของทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพิกัดของทรานซิสเตอร์มีหลายประเภท ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงค่าพิกัดเฉพาะบางประเภทอันเป็นพื้นฐาน สำคัญสำหรับการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความเสียหายใดๆซึ่งได้แก่ พิกัดเบตาไฟฟ้ากระแสตรง, พิกัดอัลฟาไฟฟ้ากระแสตรง, พิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด และพิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

เบตาไฟฟ้ากระแสตรง (DC BETA) พิกัดเบตาไฟฟ้ากระแสตรงของทรานซิสเตอร์ซึ่งมักเรียกสั้น ๆ ว่าเบตา เป็นอัตราส่วนของ I_C ต่อ I_B เขียน เป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$\text{Beta} = I_C / I_B \qquad (2.2)$$

วงจรทรานซิสเตอร์ส่วนมากมีสัญญาณอินพุตจ่ายให้ขั้วเบส และสัญญาณเอาต์พุตออกจากขั้วคอลเลคเตอร์ เบตาของทรานซิสเตอร์จึงเป็นสัญลักษณ์แทนอัตราขยายกระแส dc (dc Current Gain) ของทรานซิลเตอร์

หาค่ากระแสอิมิตเตอร์ได้ ดังนี้

$$I_C = \text{Beta} * I_B \qquad (2.3)$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$= I_B + \text{Beta} * I_B$$

$$I_E = I_B(1+\text{Beta}) \qquad (2.4)$$

เราใช้เบตาและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วใดขั้วหนึ่งหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วอื่น ๆ ได้

อัลฟาไฟฟ้ากระแสตรง (DC Alpha) พิกัดอัลฟาของทรานซิสเตอร์ ซึ่งมักเรียกสั้น ๆ ว่า อัลฟา คือ อัตราส่วน I_C ต่อ I_E เขียนเป็น สมการได้ ดังนี้

$$\text{Alpha} = \text{IC} / \text{IE} \qquad (2.5)$$

เมื่อนำกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์มาร่วมพิจารณา จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ ขั้วทั้งสามของทรานซิสเตอร์เป็นดังสมการ 1 คือ

$$I_E = I_B + I_C \qquad (2.6)$$

$$I_C = I_E - I_B \qquad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สายสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่อบอร์ดคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์

สายสัญญาณ ที่เลือกใช้คือ RS-232

2.5.1 พอร์ตอนุกรม RS232 (Serial Port)

RS-232 ย่อมาจาก Recommended Standard-232 (มาตรฐานแนะนำรุ่น 232) เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Port) กำหนดโดย EIA (Electronics Industry Association) หรือ สมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา ใช้กับการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยใช้สายเชื่อมต่อ DB แบบ 25 และ 9 เข็ม ที่ไม่ประสานจังหวะระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วง มีการทำงานแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) ลักษณะโดยทั่วไปของการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 คือเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด ซึ่งเดิมทีเป็นการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็ม ซึ่งจริงๆ แล้วทั้งสองฝั่งจะเป็นอะไรก็ได้ การสื่อสารเป็นแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมเพื่อทำแฮนด์เชค (Hand-shake) หรือไม่ก็ได้ มาตรฐาน RS-232 จำกัดความยาวสายไว้ที่ 50 ฟุต (หรือประมาณ 15 เมตร) สำหรับการส่งสัญญาณที่ความเร็ว 19,200 บิทต่อวินาที โดยที่ความยาวสายจะต้องสั้นลงถ้าต้องการสื่อสารที่ความเร็วสูงขึ้น และถ้ามีสัญญาณรบกวนมากๆ เช่น ในโรงงาน หรือบริเวณใกล้เครื่องจักรที่เป็นแบบมีการสวิทช์สัญญาณไฟฟ้าที่กระแสสูงๆ ก็จะทำให้ต้องมีการลดความเร็วในการส่งสัญญาณลงหรือใช้สายที่สั้นลง

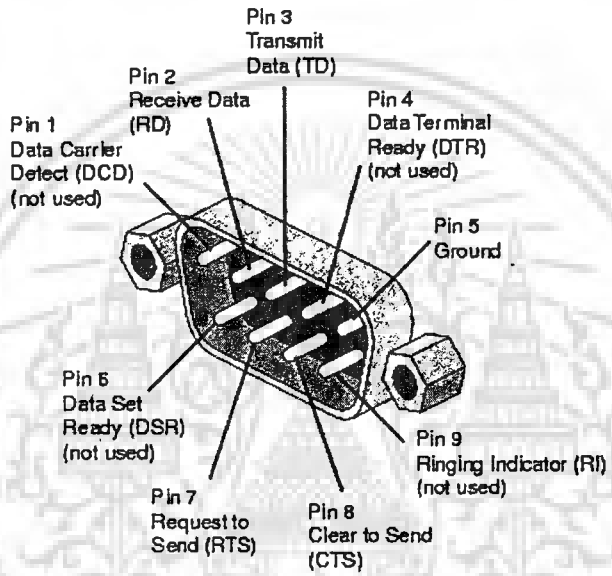
RS-232 มีจุดเริ่มต้นจากความต้องการที่จะกำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็มในสมัยนั้น ตัวมาตรฐานจะกำหนดสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อนี้ด้วยกันทั้งหมด 4 หัวข้อหลักๆ ด้วยกันคือ

1) คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสัญญาณ
2) คุณสมบัติทางกลของการเชื่อมต่อ ซึ่งหมายถึงตัวคอนเน็กเตอร์
3) หน้าที่การทำงานของวงจรสำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูล
4) มาตรฐานการเชื่อมต่อสำหรับระบบสื่อสารเฉพาะอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.16 DB9-male ตัวผู้

รูป 2.17 DB9-Female ตัวเมีย

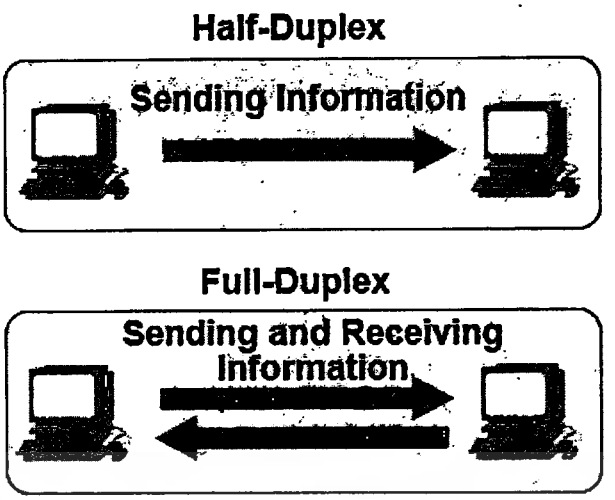


รูป 2.18 ขาสัญญาณของ RS232

ตาราง 2.1 โครงสร้างขาของพอร์ตอนุกรม DB9

ขา	คำอธิบาย	ชนิด
1	Data Carrier Detect (DCD)	Input
2	Received Data (RXD)	Input
3	Transmitted Data (TXD)	Output
4	Data Terminal Ready (DTR)	Output
5	Signal Ground (GND)	Input
6	Data Set Ready (DSR)	Input
7	Request To Send (RTS)	Output
8	Clear to Send (CTS)	Input
9	Ring Indicator (RI)	Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.19 การทำแฮนด์เชค

2.5.1.1 การทำงานของขาสัญญาณ DB9

1) TXD เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล
2) RXD เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล
3) DTR แสดงสภาวะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน, DSR ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อด้วยเปิดอยู่หรือไม่ เมื่อเปิดพอร์ตอนุกรม ขา DTR จะ ON เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าต้องการติดต่อด้วย ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา DSR ว่าอุปกรณ์พร้อมหรือไม่
4) RTS แสดงสภาวะพอร์ตว่าต้องการส่งข้อมูล, CTS ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่ออยู่ต้องการส่งข้อมูลหรือไม่ เมื่อต้องการส่งข้อมูลขา RTS จะ ON และจะส่งข้อมูลออกที่ขา TXD เมื่อส่งเสร็จก็จะ OFF ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือไม่
5) GND ขากราวด์ (Ground)

2.6 ระบบบัสไอสแควร์ซี

ไอสแควร์ซี(I^2C – Inter-IC Communication) เป็นการสื่อสารอนุกรม แบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Philips Semiconductors ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อสั่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ serial data (SDA) และสาย serial clock (SCL) เป็นสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน ซึ่งสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนหลายๆ ตัว เข้าด้วยกันได้ ทำให้ MCU ใช้พอร์ตเพียง 2 พอร์ตเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I2C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (standard mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (fast mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400 pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 แบบ คือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10-bit addressing)

ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของบัส I^2C คือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยอุปกรณ์บนบัส I^2C ตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12V การต่อร่วมกันบนบัส I2C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกันการกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสาย SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน และต้องต่อตัวต้านทานพูลอัป (Rp) เข้ากับแรงดัน +5V ไว้ด้วยเสมอ ในกรณีที่อาจมีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัส I2C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขา SDA และ SCL เรียกว่า RS ก่อนต่อเข้าสู่บัส I^2C

2.6.1 หลักการของบัสไอสแควร์ซี

บัสไอสแควร์ซีประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือ เรียกว่า โปรโตคอล (protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูลเรียกว่า ตัวส่ง (transmitter) อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ (receiver) อุปกรณ์บนบัส I^2C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่งบางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I^2C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งอย่างเดียว อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I^2C เรียกว่า มาสเตอร์ (master) อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I^2C เรียกว่า สเลฟ (slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I^2C คือ

1) การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น
2) ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้นสัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาควบคุมแทน

2.6.2 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัสไอสแควร์ซี

มีด้วยกัน 5 สภาวะ ดังนี้

1) บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ หมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

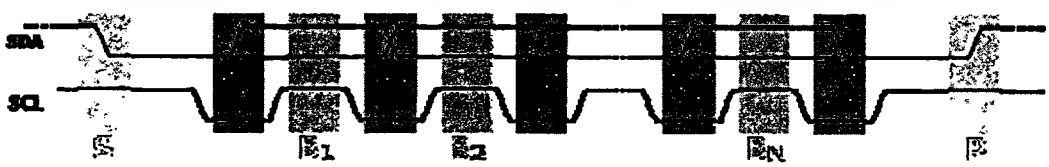
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่าสภาวะ เริ่มต้น (START)

3) หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะหยุด (STOP)

4) ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น "0" หรือ "1" ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุด หรือ สภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดนั้น เกิดความผิดพลาดขึ้น

5) รับข้อมูล (acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่าง สมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูล มา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์ จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษ ซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาเพื่อตอบสนองบิตรับรู้ที่ส่งมาจากตัวส่ง ทางด้านตัวรับจะส่งบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะ กำเนิดบิตรับรู้เพื่อตอบสนอง ให้ทราบว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เรียบร้อยแล้ว



รูป 2.20 ไดอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆ ในบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การเขียนโปรแกรมติดต่อบัสไอสแควร์ซี

เริ่มต้นด้วยการสร้างสภาวะมาตรฐานของบัสไอสแควร์ซี อันประกอบด้วย สภาวะเริ่มต้น,สภาวะสิ้นสุดการส่งข้อมูล,สภาวะหยุด, สัญญาณนาฬิกาบนขาสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม, การเขียนและอ่านข้อมูลกับอุปกรณ์บนระบบบัสไอสแควร์ซี

2.6.3.1 การสร้างสภาวะเริ่มต้น

1) เมื่อต้องการติดต่อกับบัสไอสแควร์ซีสิ่งแรกที่ต้องทำสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์คือ การทำให้บัสว่างด้วยการกำหนดให้สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมและขาสายข้อมูลอนุกรมมีลอจิกเป็น “1” ทั้งคู่
2) จากนั้นทำให้ขาสายข้อมูลอนุกรมมีลอจิก “0” โดยที่ขาสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมยังคงเป็นลอจิก “1” อยู่
3) กำหนดให้ขาสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมมีลอจิกเป็น “0” ถึงตอนนี้ทั้งสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมและสายข้อมูลอนุกรมจะมีลอจิกเป็น “0” ทั้งคู่พร้อมที่จะติดต่อได้แล้ว

2.6.3.2 การสร้างสภาวะหยุด

1) เมื่อต้องการหยุดส่งข้อมูล ต้องส่งสภาวะหยุดออกไปโดยในตอนแรกต้องกำหนดให้ขาสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม และสายข้อมูลอนุกรมเป็นลอจิก “0” ทั้งคู่ก่อน
2) กำหนดให้ขาสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมมีลอจิกเป็น “1” โดยสายข้อมูลอนุกรมยังคงมีลอจิกเป็น “0”
3) กำหนดให้ขาสายข้อมูลอนุกรมมีลอจิกเป็น “1” ทำให้กลับเข้าสู่บัสว่างอีกครั้งพร้อมที่จะรับหรือส่งข้อมูลต่อไป

2.6.3.3 การส่งข้อมูลลอจิก “0” และลอจิก “1”

หลังจากส่งบิตเริ่มต้นแล้วลำดับต่อไปคือ ส่งข้อมูลควบคุมซึ่งจะเป็นขบวนของลอจิก “0” และ “1” ดังนี้

1) กำหนดให้ขาสายข้อมูลอนุกรมเป็น “0” สำหรับการส่งข้อมูลลอจิก “0”
2) กำหนดให้ขาสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมเป็น “1” สำหรับการป้อนสัญญาณนาฬิกาในขณะที่ขาสายข้อมูลอนุกรมยังคงเป็น “0” อยู่
3) จากนั้นทำให้ขาสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมกลับมามีสถานะเป็นลอจิก “0” เหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.4 ในขณะที่การส่งข้อมูลลอจิก "1" มีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดให้ขาสายข้อมูลอนุกรมมีลอจิกเป็น "1" สำหรับการส่งข้อมูลลอจิก "1"
2) กำหนดให้ขาสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมเป็น "1" สำหรับการส่งสัญญาณนาฬิกาโดยที่ขาสายข้อมูลอนุกรมยังคงเป็น "1"
3) จากนั้นทำให้ขาสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมกลับมามีสถานะเป็นลอจิก "0" เหมือนเดิม

ข้อมูลที่ใช้ในการส่งไปยังขาสายข้อมูลอนุกรมนั้นจะกำหนดที่แอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) แล้วทำการส่งออกไปยังแฟลกทดด้วยการใช้คำสั่งหมุนข้อมูล (RLC A) เพื่อถ่ายทอดต่อไปยังขาสายข้อมูลอนุกรมต่อไป

2.6.4 บิตแสดงแอดเดรสอุปกรณ์

บนระบบบัส I^2C สามารถที่จะต่ออุปกรณ์ได้มากกว่าหนึ่งตัว การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวนั้นจะอ้างอิงด้วยแอดเดรสของอุปกรณ์ตัวนั้น โดยมีแอดเดรสทั้งแบบ 7 บิต และ 10 บิต

2.6.4.1 การอ้างอิงแอดเดรสแบบ 7 บิตและ 10 บิต

แอดเดรสแบบ 7 บิต จะอ้างถึงอุปกรณ์แต่ละตัวด้วยแอดเดรสบิตที่ 1 ถึง 7ส่วนบิตที่ 0 จะเป็นบิตกำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟ โดยบิตที่ 0 ถ้ากำหนดให้เป็น 0 จะเป็นการเขียนข้อมูลให้กับอุปกรณ์สเลฟและหากเป็น 1 จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

2.7 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล USART

ชุดควบคุมนั้นถูกพัฒนาบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมนั้น สามารถกระทำผ่านโมดูล USART (Universal Synchronous and Asynchronous) เพื่อสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ทั้งแบบซิงโครนัส (ข้อมูลมีความต่อเนื่อง มีการกำหนดสัญญาณมาตรฐานที่เหมือนกันทั้งทางด้านรับและด้านส่ง เพื่อให้การรับส่งมีความสัมพันธ์กัน) และอะซิงโครนัส (ข้อมูลไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องมีบิตเริ่มต้น (Start bit) บิตข้อมูล (Data bit) และบิตหยุด (Stop bit) มีบิตพาริตี้ (Parity bit) หรือไม่มีก็ได้)

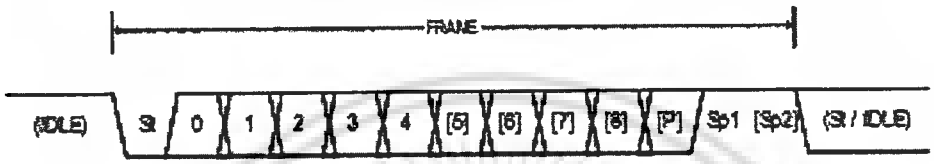
2.7.1 โมดูล UASRT แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

1) ส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator) เพื่อใช้ในการกำหนดอัตราบอดในการรับส่งข้อมูล โดยสามารถกำหนดได้ทั้งภายในและภายนอก ผ่านทางขา XCK (Transfer Clock)
2) ส่วนส่งข้อมูลอนุกรม (Transmitter) โดยส่งข้อมูลออกทางขาพอร์ต TxD
3) ส่วนรับข้อมูลอนุกรม (Receiver) โดยการรับข้อมูลจากขาพอร์ต RxD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรีจีสเตอร์ควบคุมการทำงาน 3 ตัวประกอบไปด้วย UCSRA, UCSRB และ UCSRC การส่งข้อมูลอนุกรมในรูปแบบอะซิงโครนัส จะเป็นการส่งข้อมูลเป็นเฟรมลักษณะของเฟรมข้อมูลอนุกรมนี้ประ กอบไปด้วย

1) บิตเริ่มต้นข้อมูล (Start bit)
2) บิตข้อมูล (Data bit)
3) พาริตี้บิต (Parity bit)
4) บิตหยุดข้อมูล (Stop bit)



รูป 2.21 รูปแบบเฟรมข้อมูลในการส่งข้อมูลแบบ UASRT

2.7.2 คุณสมบัติที่สำคัญของโมดูล USART

1) การสื่อสารข้อมูลแบบฟูลดูเพลกซ์ (Full Duplex) ตัวรับและตัวส่งแยกอิสระต่อกัน สามารถรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน (พร้อมกัน)
2) ทำงานได้ทั้งในรูปแบบซิงโครนัสและอะซิงโครนัส
3) มีคุณสมบัติของพอร์ตอนุกรมครบถ้วน เช่น การกำหนดบิตข้อมูล การกำหนดบิตหยุด และการกำหนดพาริตี้ เป็นต้น
4) มีส่วนตรวจสอบความผิดพลาดของเฟรมข้อมูลและข้อมูลโอเวอร์รัน (Framing Error and Data Overrun Detection)
5) โหมดการสื่อสารแบบมัลติโปรเซสเซอร์
6) โหมดทวีคูณความเร็วในการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

2.7.3 รีจิสเตอร์

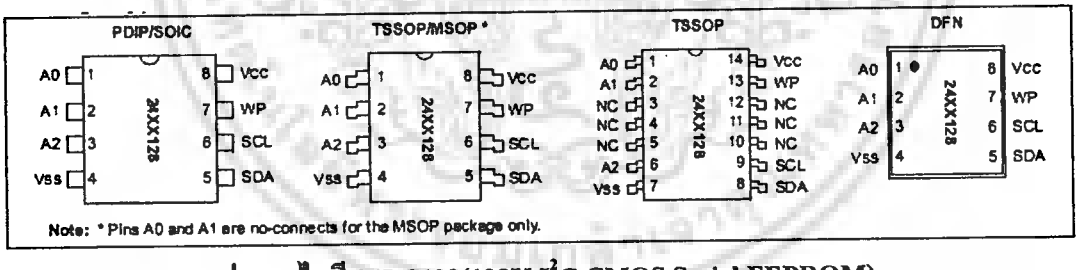
1) รีจีสเตอร์ UDR (USART I/O Data Register) รีจีสเตอร์อ่านเขียนข้อมูลขนาด 8 บิต โดยแบ่งออกเป็น 2 ตัวคือ RXB ใช้รับข้อมูลจากภายนอกเข้ามาในไมโครคอนโทรลเลอร์ และTXB ใช้สำหรับส่งข้อมูลออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์การอ่านเขียนข้อมูลจะทำกับรีจีสเตอร์ UDR โดยตรง
2) รีจีสเตอร์ UCSRA (USART Control and Status Register A) รีจีสเตอร์ควบคุมการทำงานและแสดงสถานะการทำงานของโมดูล USART ชุด A เกี่ยวข้องกับสถานะของการสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) รีจีสเตอร์ UCSRB (USART Control and Status Register B) รีจีสเตอร์ควบคุมการทำงานและแสดงสถานะการทำงานของโมดูล USART ชุด B เกี่ยวข้องกับบิตกำหนดอินเตอร์รัปต์และการกำหนดขนาดของข้อมูลแบบ 0 บิตข้อมูล (Data Bit)
4) รีจีสเตอร์ UCSRC (USART Control and Status Register C) รีจีสเตอร์ควบคุมการทำงานและแสดงสถานะการทำงานของโมดูล USART ชุด C เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราบอดในการรับส่งข้อมูล
5) รีจีสเตอร์ UBRRL และ UBRRH (USART Baud Rate Registers) รีจีสเตอร์กำหนดอัตราบอด

2.8 อีอีพรอม (EEPROM:Ectrically Erasable Programmable Read-Only Memory)

หน่วยความจำรอมที่ผู้ใช้สามารถลบหรือแก้ไขหรือเขียนซ้ำข้อมูลที่บรรจุอยู่ภายในได้ และสามารถกระทำซ้ำได้หลายครั้ง โดยอาศัยแอพพลิเคชั่นที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าปกติ อีอีพรอมจะต่างจากอีพรอมตรงที่ไม่จำเป็นต้องถอดออกจากเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการแก้ไขข้อมูล การลบข้อมูลในอีอีพรอมจะเป็นการลบข้อมูลทั้งหมด ไม่สามารถเลือกลบเฉพาะบางส่วนได้ อย่างไรก็ตามมันมีอายุการใช้งานจำกัดขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งในการลบหรือแก้ไขข้อมูล เช่น 10 ครั้ง หรือ 100 ครั้ง รูปแบบพิเศษของอีอีพรอม คือ หน่วยความจำแฟลช (Flash Memory) ซึ่งใช้ระดับไฟปกติในเครื่องพีซีสำหรับการลบหรือเขียนหรือแก้ไขข้อมูล ซึ่งในที่นี้ใช้อีอีพรอม เบอร์ 24LC128



รูป 2.22 ไอซี 24LC128(128K I^2C CMOS Serial EEPROM)

2.8.1 ขั้นตอนการติดต่อไอซี 24LC128

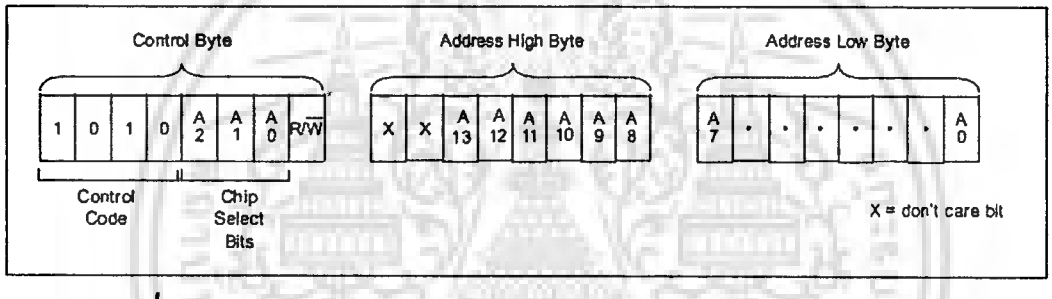
การติดต่อกับไอซี 24LC128 จะใช้การติดต่อแบบ I^2C เริ่มต้นโดยการสร้างสัญญาณติดต่อหรือที่เรียกว่า สภาวะเริ่มต้น (START Condition) จากนั้นตามด้วยแอดเดรสของไอซี 24LC128 (Control Byte) มีค่าเท่ากับ 0xA0 (10100000_2) จากนั้นจึงเริ่มต้นเข้าสู่กระบวนการอ่านหรือเขียนข้อมูลในตำแหน่งแอดเดรสของไอซี 24LC128 และหยุดการติดต่อด้วยการสร้างสัญญาณที่เรียกว่า สภาวะหยุด (STOP Condition) กระบวนการสร้างสัญญาณติดต่อจะเป็นหน้าที่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่เรียกว่า มาสเตอร์ ในที่นี้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR รายละเอียดเกี่ยวกับการเขียน 24LC128 มีดังนี้

2.8.1.1 รูปแบบไบต์ควบคุมและแอดเดรสที่อ่าน

จากรูป 2.23 รายละเอียดของไบต์ควบคุม (Control Byte) และไบต์กำหนดแอดเดรส (Address High Byte/Low Byte) ที่จะอ่านของอุปกรณ์สเลฟ โดยไบต์ควบคุมจะประกอบไปด้วย 4 บิตบน คือ 1010_2 (CONTROL CODE) ซึ่งเป็นบิตคงที่จากทางผู้ผลิตชิพ และตำแหน่งบิตที่ใช้งานสามารถกำหนดได้อีก 3 บิต คือ A2,A1,A0 (CHIP SELECT BITS) สำหรับบิตสุดท้ายจะใช้เป็นบิตกำหนดการอ่าน/เขียนบัส I^2C (R/W) ไบต์ถัดมาคือไบต์กำหนดแอดเดรส ที่ใช้ในการอ้างถึงเพื่อไปอ่านหรือเขียนข้อมูลไอซี 24LC128 ประกอบด้วย 2 ไบต์ เพื่อให้สามารถอ้างอิงแอดเดรสได้ถึง 128 Kbit โดยบิตที่ 6 และ 7 ของ ADDRESS HIGH BYTE จะเป็นบิตที่ผู้ใช้งานไม่ต้องสนใจ (Don't Care bit) เพราะจะใช้งานเพียง 14 บิตเท่านั้นประกอบไปด้วยบิต A0 ถึงบิต A13

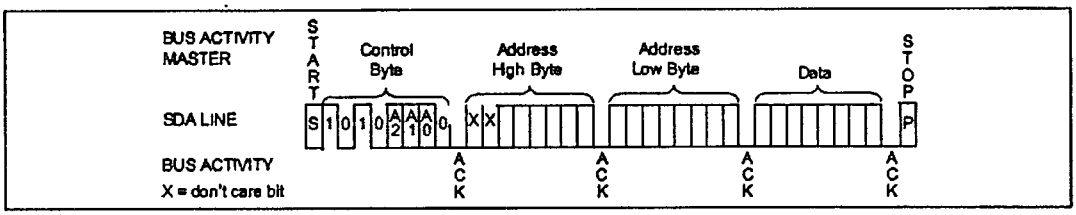


รูป 2.23 แอดเดรสของ Control Byte และ Address High Byte/Low Byte

2.8.1.2 กระบวนการเขียนแบบไบต์

จากรูป 2.24 ขั้นตอนการเขียนข้อมูลไปที่ไอซี 24LC128 อีอีพรอมแบบไบต์ (เขียนข้อมูลเพียง 1 ไบต์) เริ่มต้นด้วยกระบวนการสร้างสัญญาณเริ่มต้น (START) ตามด้วยไบต์ควบคุม (CONTROL BYTE) ตามด้วยตำแหน่งแอดเดรสที่จะเขียน (ADDRESS HIGH BYTE และ ADDRESS LOW BYTE) จากนั้นตามด้วยข้อมูลที่จะเขียน 1 ไบต์ (DATA) แล้วจบการเขียนข้อมูลด้วยสัญญาณหยุด (STOP) ในทุกๆ ขั้นตอนการเขียนข้อมูลจะกำหนดสัญญาณตอบรับ

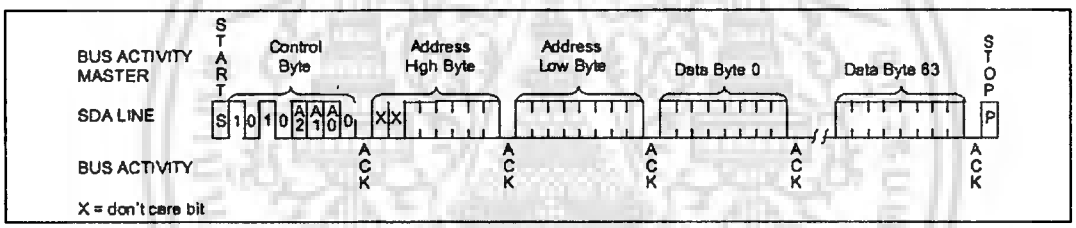
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.24 กระบวนการเขียนแบบไบต์

2.8.1.3 กระบวนการเขียนแบบเพจ

สำหรับขั้นตอนการเขียนข้อมูลไปที่ไอซี 24LC128 อีอีพรอม แบบเพจ(เขียนข้อมูลต่อเนื่อง) แสดงในรูป 2.25 โดยเริ่มต้นด้วยกระบวนการสร้างสัญญาณเริ่มต้น (START) ตามด้วยไบต์ควบคุม (CONTROL BYTE) ตามด้วยตำแหน่งแอดเดรสที่จะเขียน (ADDRESS HIGH BYTE และ ADDRESS LOW BYTE) จากนั้นตามด้วยข้อมูลที่จะเขียนไบต์แรก (DATA BYTE 0) จนถึงไบต์สุดท้าย (DATA BYTE 63) แล้วจบการเขียนข้อมูลด้วยสัญญาณหยุด(STOP) และในทุกๆ ขั้นตอนการเขียนข้อมูลจะกำหนดสัญญาณตอบรับ(ACK) ด้วย

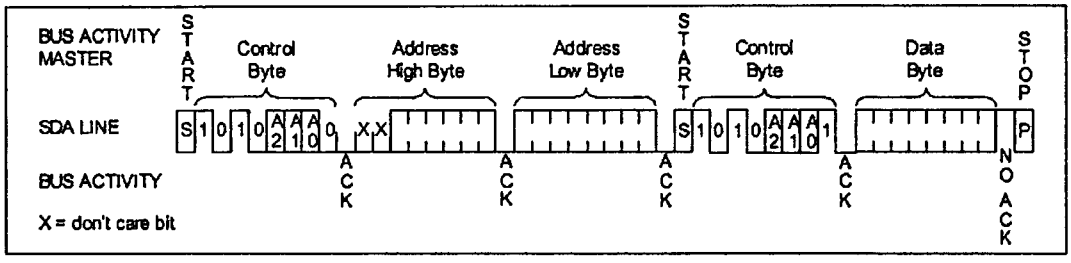


รูป 2.25 กระบวนการเขียนแบบเพจ (Page Write)

2.8.1.4 กระบวนการอ่านแบบสุ่ม

สำหรับขั้นตอนการอ่านข้อมูลไปที่ไอซี 24LC128 อีอีพรอม แบบสุ่ม (อ่านข้อมูลเพียง 1 ไบต์) แสดงตามรูป 2.26 เริ่มต้นด้วยกระบวนการสร้างสัญญาณเริ่มต้น (START) ตามด้วยไบต์ควบคุม (CONTROL BYTE) ตามด้วยแอดเดรสที่จะอ่าน (ADDRESS HIGH BYTE และ ADDRESS LOW BYTE) และเริ่มกระบวนการสร้างสัญญาณเริ่มต้นอีกครั้ง จากนั้นตามด้วยไบต์ควบคุม (เพื่อเปลี่ยนจากโหมดเขียนเป็นโหมดอ่าน สังเกตได้จากบิดต่ำสุดของไบต์ควบคุมจะเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1) และอ่านข้อมูล 1 ไบต์ (DATA) แล้วจบการอ่านข้อมูลด้วยการสร้างสัญญาณหยุด (STOP) ในทุกๆ ขั้นตอนของการอ่านข้อมูลจะกำหนดสัญญาณตอบรับ (ACK) ด้วย สำหรับไบต์ข้อมูล อาจไม่ต้องการสัญญาณตอบรับก็ได้ (NO ACK) เนื่องจากจะเข้าสู่ขั้นตอนการส่งสัญญาณหยุดการอ่านข้อมูลแล้ว

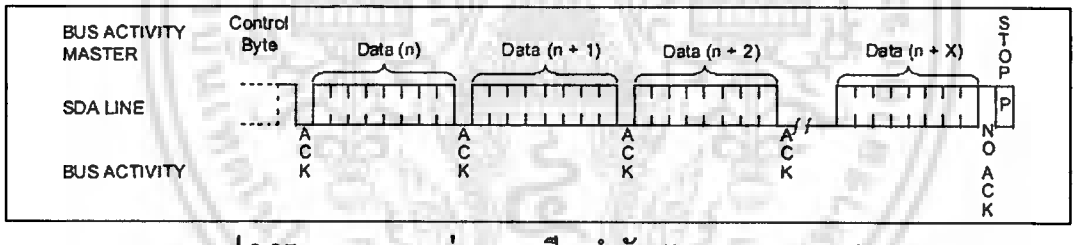
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.26 กระบวนการอ่านแบบสุ่ม (Random Read)

2.8.1.5 กระบวนการอ่านแบบเรียงลำดับ

ในรูป 2.27 แสดงขั้นตอนการอ่านข้อมูลจากไอซี 24LC128 อีอีพรอมแบบเรียงลำดับ (อ่านข้อมูลต่อเนื่อง) เริ่มต้นด้วยกระบวนการสร้างสัญญาณเริ่มต้น (START) ตามด้วยไบต์ควบคุม (CONTROL BYTE) ตามด้วยแอดเดรสที่จะอ่าน (ADDRESS HIGH BYTE และ ADDRESS LOW BYTE) และเริ่มกระบวนการสร้างสัญญาณเริ่มต้นอีกครั้ง จากนั้นตามด้วยไบต์ควบคุม แล้วอ่านข้อมูลต่อเนื่องจนกว่าจะส่งสัญญาณหยุด (STOP) ในทุกๆ ขั้นตอนการเขียนข้อมูลจะกำหนดสัญญาณตอบรับ (ACK) ด้วย ไบต์ข้อมูลสุดท้าย อาจไม่ต้องการสัญญาณตอบรับก็ได้ (NO ACK) เนื่องจากจะเข้าสู่ขั้นตอนการส่งสัญญาณหยุดเพื่อหยุดการอ่านข้อมูลแล้ว

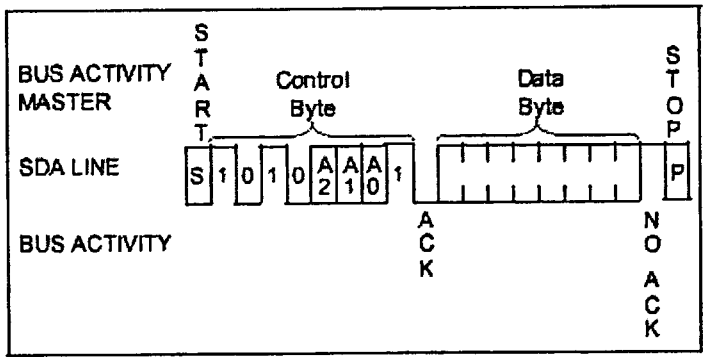


รูป 2.27 กระบวนการอ่านแบบเรียงลำดับ (Sequential Read)

2.8.1.6 กระบวนการอ่านข้อมูลแอดเดรสปัจจุบัน

หากไม่ได้กำหนดตำแหน่งแอดเดรสที่จะอ่านข้อมูล กระบวนการอ่านข้อมูลจะมีรูปแบบดังรูป 2.28 คือ จะเริ่มด้วยกระบวนการสร้างสัญญาณเริ่มต้น (START) ตามด้วยไบต์ควบคุม (CONTROL BYTE) จากนั้นอ่านข้อมูลที่แอดเดรสตำแหน่งปัจจุบัน โดยจะไม่มีขั้นตอนการสร้างสัญญาณเริ่มต้น (START) ตามด้วยไบต์ควบคุม (CONTROL BYTE) ตามด้วยแอดเดรสที่จะอ่าน (ADDRESS HIGH BYTE และ ADDRESS LOW BYTE) ซึ่งต่างไปจากกระบวนการอ่านแบบสุ่มและกระบวนการอ่านแบบเรียงลำดับ

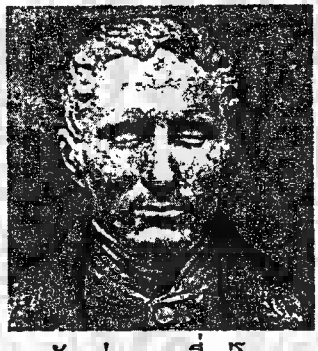
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.28 กระบวนการอ่านข้อมูลแอดเดรสปัจจุบัน (Current Address Read)

2.9 การแปลงภาพสีไปเป็นภาพขาวดำ

ในการแปลงภาพสีไปเป็นภาพขาวดำนั้น สามารถทำได้มากกว่า 1 วิธี ความแตกต่างของน้ำหนักของสีต่างๆ ทำให้เกิดผลกระทบในการจับภาพทั่วไปของกล้องถ่ายรูป วิธีการทั่วไป จะเน้นการใกล้เคียงกันของความสว่างของภาพขาวดำกับความสว่างของภาพสี



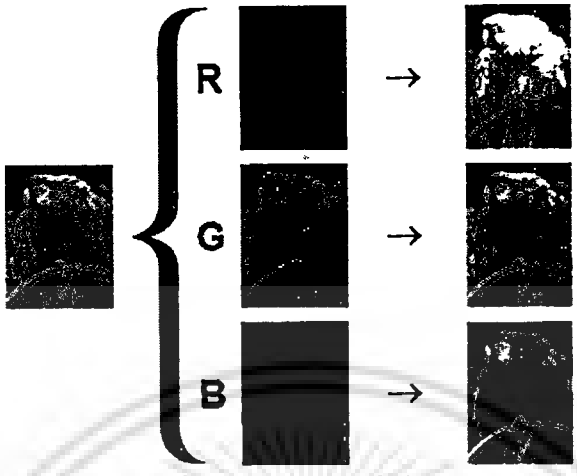
รูป 2.29 ตัวอย่างภาพที่อยู่โหมดขาวดำ

รูป 2.30 ระดับเฉดสีในโหมดภาพขาวดำ ตั้งแต่สีดำไปจนสีขาว

ในการแปลงสีใดๆเป็นสีขาว-ดำนั้น ในขั้นแรก จะทำการรับค่าสีของภาพนั้นๆเข้ามา โดยแบ่งเป็น 3 เฉดสี คือ แดง เขียว และฟ้า (RGB) หรือสีที่เป็นแม่สีทั้ง 3 โดยจะนำ 30% ของสีแดง, 59% ของสีเขียว และ 11%ของสีฟ้า (โดยน้ำหนักนี้ จะขึ้นอยู่กับสีที่เราต้องการให้เป็นสีหลักในการแปลง) และเมื่อนำค่าสีทั้ง 3 เข้าไปคูณกับอัตราแล้ว จึงนำทั้งหมดมารวมกันโดยเมื่อรวมกันก็จะครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100% โดยถ้าเทียบเฉดสีก็คือ จะมีเฉดสีทั้งหมด 255 สี และนำค่าสีที่ได้ ใส่คืนให้ค่าสีทั้ง 3 ซึ่ง ถ้าใน 3 ค่านั้น ถ้าหากเท่ากันหมด ก็จะแสดงออกมาในรูปแบบสีขาวดำ



รูป 2.31 ตัวอย่างการแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำ

2.10เครื่องมือที่ใช้พัฒนา

ภาษาC# คือ Visual C# เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่เขียนในรูปแบบของอ็อปเจ็ค ทำให้เขียนง่าย มี tool ที่ใช้ในการทำงานหลากหลาย และสามารถติดต่อ Serial Port ได้ง่ายโดยผ่านฟังก์ชั่นภายใน มีหน้าตา Interface ที่สวยงาม และมีฟังก์ชันการทำงานที่ง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้งาน

เหตุผลสำหรับการเลือกใช้ภาษา C# ในการเขียนส่วนติดต่อผู้ใช้งานคือ ภาษา C# นั้น เป็นภาษาที่มีรูปร่างหน้าตาและโครงสร้างในแบบที่เรามักจะเรียกว่า "C-Style Language" หรือ ภาษาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับภาษา C ซึ่งแม้แต่ภาษาที่โปรแกรมเมอร์ชาวไทยคุ้นเคยกันดีอย่าง Java และ PHP นั้นก็จัดอยู่ในภาษากลุ่มนี้เช่นกัน นั่นก็เพราะว่า "C-Style" เป็นรูปแบบภาษาที่โปรแกรมเมอร์ส่วนใหญ่ที่มักมีพื้นฐานมาจากภาษา C คุ้นเคย แต่ก็อาจจะเป็นภาษาที่ดูแปลกตา สำหรับผู้ที่ไม่มีพื้นฐานการเขียนโปรแกรมมาก่อน หรือผู้ที่คุ้นเคยกับภาษาที่ค่อนข้างดูคล้ายกับภาษาพูดอย่าง Visual Basic ไปเลยก็เป็นได้ ดังนั้นถ้าคุณมีพื้นฐานจากภาษาในกลุ่ม C-Style อยู่ก่อน ก็อาจจะข้ามในส่วนของการแนะนำโครงสร้างภาษานี้และไปเริ่มอ่านในส่วนของการแนะนำฟีเจอร์เฉพาะของภาษา C#

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 รายละเอียดโปรแกรมที่จะพัฒนา

3.1.1 Input Specification

1) รูปภาพ หรือ ข้อความที่ต้องการที่จะนำมาแปลง เพื่อแสดงบนน้ำตกได้ โดยมี GUI ที่ง่ายต่อการใช้งาน
2) ควบคุมการทำงานฮาร์ดแวร์ด้วย GUI ให้แสดงภาพบนน้ำตกตามรูปแบบที่ต้องการ

3.1.2 Output Specification

1) แสดงรูปภาพที่ผ่านการแปลงแล้วบน GUI เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบความพึงพอใจ ก่อนจะสั่งให้แสดงจริงบนน้ำตก
2) จำลองการทำงานของน้ำตกโดยแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหวบน GUI
3) บันทึกรูปภาพที่ต้องการแสดงผลไว้ในลักษณะไฟล์เฉพาะ
4) ส่งภาพที่ต้องการแสดงบนน้ำตกเก็บไว้ในหน่วยความจำของฮาร์ดแวร์เพื่อใช้ในการแสดงผลต่อไป โดยควบคุมจากคอมพิวเตอร์(On PC Mode)หรือตัวฮาร์ดแวร์เอง (Stand Alone Mode)

3.1.3 Functional Specification

1) สามารถนำภาพที่ต้องการมาแปลงให้แสดงค่าด้วยน้ำตกได้
2) สามารถนำข้อความที่ต้องการมาแปลงเป็นภาพ และแสดงค่าด้วยน้ำตกได้
3) สามารถบันทึกภาพที่ได้แปลงแล้วสำหรับนำไปแสดงค่าบนน้ำตกลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้
4) สามารถเรียกใช้ภาพที่ได้บันทึกแล้ว เพื่อนำมาแสดงค่าบนน้ำตกได้
5) สามารถจำลองการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้
6) สามารถกำหนดการทำงานของน้ำตกได้ทั้งทางซอฟท์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์และผ่านการทำงานแบบ Stand alone
7) สามารถเรียกใช้ข้อมูลภาพแบบต่างๆ จากบนบอร์ดได้
8) สามารถสั่งการทำงานน้ำตกได้ด้วยซอฟท์แวร์บนคอมพิวเตอร์ ได้แก่ การเล่น และหยุดเล่นน้ำตก
9) สามารถบันทึกข้อมูลภาพแบบต่างๆ สำหรับแสดงบนน้ำตกลงบอร์ดได้
10) บอร์ดแต่ละตัว รองรับการใช้งานน้ำตกได้จำนวน 16 วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) วาล์วแต่ละตัวสามารถแสดงภาพได้ความเร็วสูงสุด 25 ครั้งต่อวินาที
12) สามารถรองรับการทำงานของบอร์ดได้มากที่สุดจำนวน 255 บอร์ด
13) สามารถรองรับรูปแบบการแสดงผลบนบอร์ดได้สูงที่สุด 15 แบบ ซึ่งแต่ละแบบสามารถแสดงการทำงานได้ 40 วินาที

3.2 ขอบเขตและข้อจำกัดของโปรแกรมที่พัฒนา

3.2.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

1) สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตกได้ด้วย Serial communication (RS232)
2) ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมผ่าน GUI
3) สามารถนำภาพหรือข้อความที่ต้องการมาแปลงให้แสดงค่าด้วยน้ำตกได้ โดยที่จำกัดความสูงของภาพสูงสุด 1,000 pixel (แสดงผลด้วยความเร็ว 25 ครั้ง/วินาที โดยที่แสดงสูงสุด 40 วินาที) และความกว้างของภาพสูงสุด 256 pixel หรือ (16 บอร์ด x 16 วาล์ว)
4) สามารถบันทึกภาพที่ได้แปลงแล้วลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ในลักษณะไฟล์เฉพาะ
5) สามารถเรียกใช้ภาพที่ได้บันทึกแล้ว เพื่อนำมาแสดงค่าบนน้ำตกได้
6) สามารถจำลองการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้
7) สามารถควบคุมอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตกได้ผ่านหน้าจอ GUI โดยที่สามารถสั่งคำสั่งแสดงผล (Play) , คำสั่งหยุดแสดงผล (Stop) เป็นต้น
8) สามารถบันทึกข้อมูลภาพแบบต่างๆ สำหรับแสดงบนน้ำตก ลงบอร์ดได้

3.2.2 โปรโตคอลที่ใช้สื่อสารระหว่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตก

1) สื่อสารด้วยรูปแบบ Serial communication (RS232)
2) สื่อสารในลักษณะ Stop and wait ARQ
3) รองรับการต่อพ่วงกับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตกได้สูงสุด 255 จุด
4) รองรับการควบคุมรูปแบบของการแสดงผลได้สูงสุด 15 แบบ
5) รองรับรูปแบบของคำสั่งได้สูงสุด 16 คำสั่ง
6) รองรับขนาดของแพ็กเกตรวม header สูงสุด 1,275 bytes

3.2.3 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตก

1) สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ด้วย Serial communication (RS232)
2) สามารถทำงานได้โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม (On PC mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม (Stand-alone mode) โดยที่แต่ละบอร์ดสามารถทำงานได้อย่างอิสระ หรือเชื่อมต่อการทำงานกับบอร์ดอื่นได้ เช่น คำสั่งแสดงผล (Play) , คำสั่งหยุดแสดงผล (Stop) เป็นต้น
4) สามารถจดจำรูปแบบการแสดงผลได้สูงสุด 8 รูปแบบ
5) สามารถแสดงผลแต่ละรูปแบบได้นานสูงสุด 40 วินาที
6) สามารถตัดน้ำด้วยความเร็วสูงสุด 25 ครั้งต่อวินาที
7) สามารถควบคุมน้ำตกได้สูงสุด 16 วาล์ว ต่อควบคุมการทำงานของน้ำตก 1 จุด
8) ขนาดของวาล์วแต่ละตัวเท่ากับ 2 หุน มีการเว้นระยะระหว่างวาล์วแต่ละตัว 4 หุน

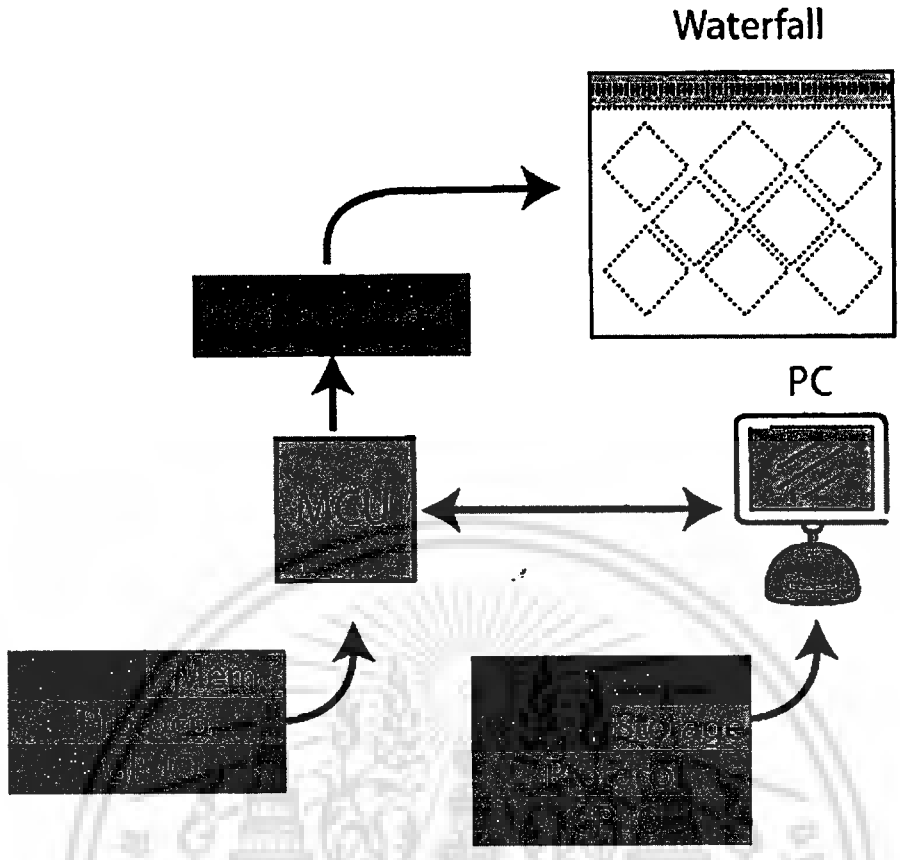
3.3 ภาพรวมของระบบ

โครงการวิจัยนี้จึงศึกษาและพัฒนาระบบการแสดงผลด้วยภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยการศึกษา ออกแบบ และพัฒนา ทั้งหมด 3 ส่วนดังนี้

1) ส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI)
2) ส่วนชุดควบคุมการแสดงผลผ่านทางสายน้ำ
3) ส่วนโปรโตคอลที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ กับฮาร์ดแวร์ที่ควบคุมการทำงานของน้ำตก

ในการศึกษาได้ทำการออกแบบส่วนต่างๆ ส่วนติดต่อผู้ใช้ ให้รองรับการทำงานที่หลากหลาย ส่วนชุดควบคุมการแสดงผล และโปรโตคอลเพื่อรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับชุดควบคุมการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.1 ภาพรวมของระบบ

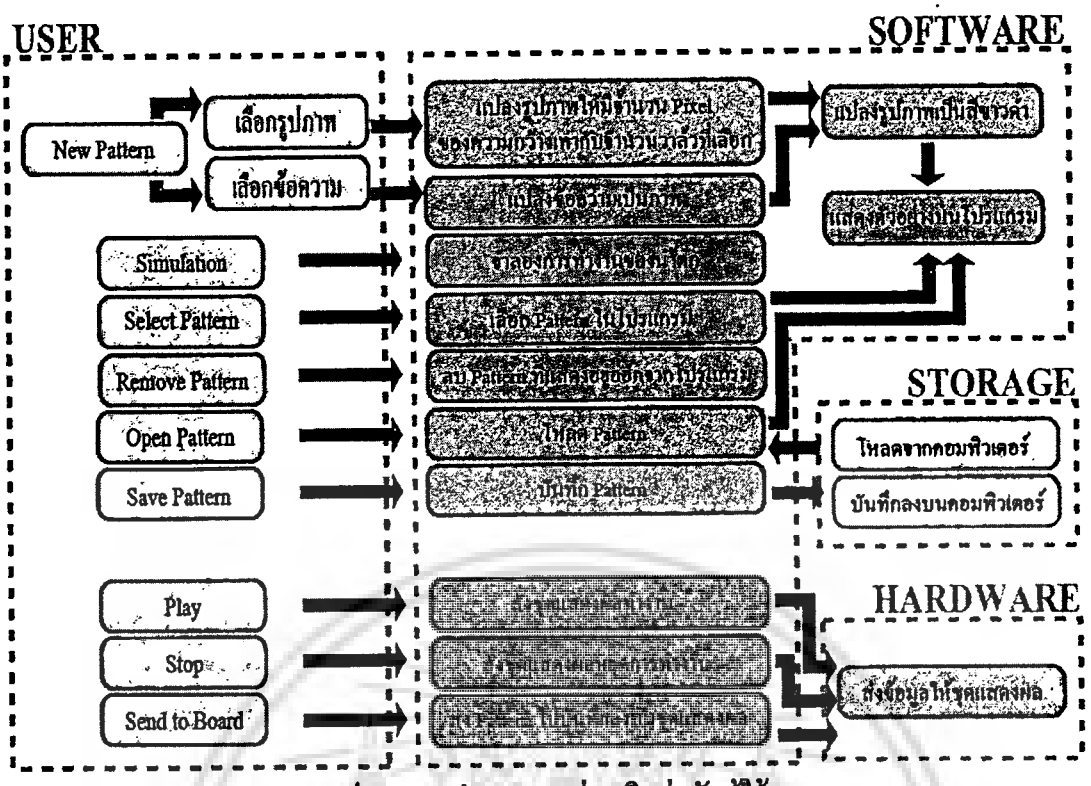
3.4 ส่วนประกอบของระบบ

ในระบบแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำประกอบไปด้วย ชุดการแสดงผลผ่านทางสายน้ำ ส่วนของคอนโทรลเลอร์ ส่วน Interface Board และส่วนการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

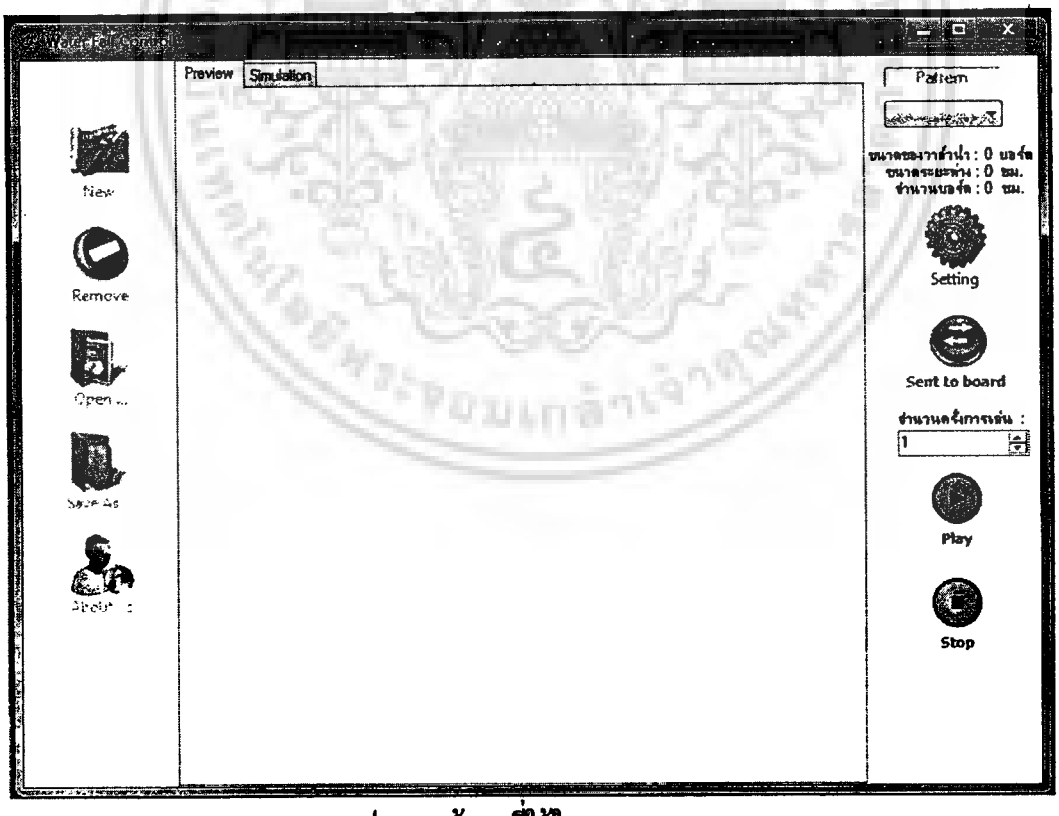
3.4.1 ส่วนที่ใช้ในการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

รองรับให้ผู้ใช้สามารถออกแบบแก้ไขรูปแบบของสายน้ำได้อย่างอิสระ โดยมีการจำลองก่อนทำการบันทึกลงหน่วยความจำของบอร์ดจริง หรือในกรณีที่ผู้ใช้ไม่ต้องการบันทึกรูปแบบของสายน้ำลงบนหน่วยความจำของบอร์ดทันที ก็สามารถบันทึกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ เพื่อเปิดดูและนำไปบันทึกได้ในภายหลัง และสามารถนำภาพหรือตัวอักษรมาออกแบบเป็นรูปแบบที่ต้องการพร้อมทั้งแสดงตัวอย่างและจำลองการทำงานให้กับผู้ใช้ อีกทั้งผู้ใช้ยังสามารถกดแสดงหรือหยุดสายน้ำได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2 การทำงานของส่วนติดต่อกับผู้ใช้



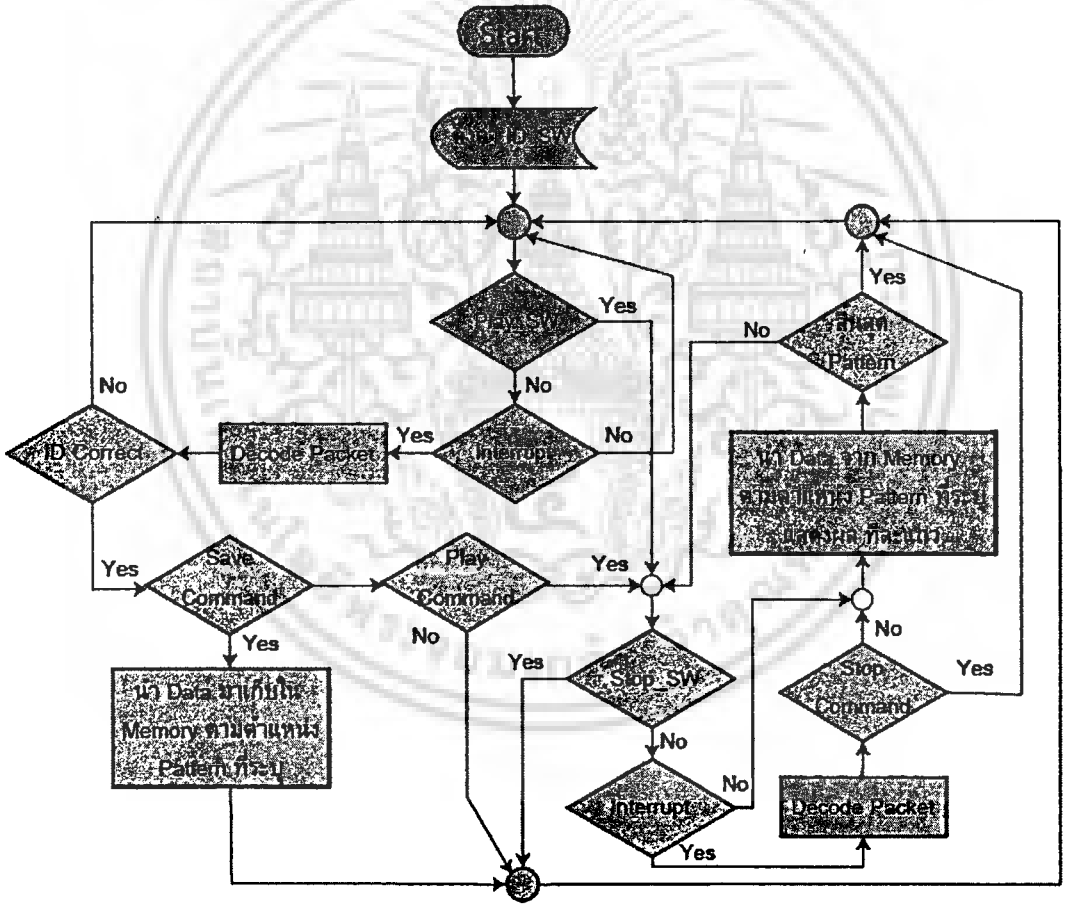
รูป 3.3 หน้าจอที่ใช้ในการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ชุดควบคุมการแสดงผลผ่านทางสายน้ำ

ชุดการแสดงผลนั้นสามารถทำงานได้โดยผ่านการควบคุมจากคอมพิวเตอร์หรือสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง ซึ่งชุดการแสดงผลจะถูกแยกออกเป็นบอร์ดย่อยๆ โดยที่แต่ละบอร์ดจะมีหน้าที่ควบคุมสายน้ำบอร์ดละ 16 เส้น และแต่ละบอร์ดสามารถทำงานแยกกันอย่างอิสระหรือต่อพ่วงกันได้

ชุดการแสดงผลจะทำการรับข้อมูล (รูปแบบการแสดงผล) จากคอมพิวเตอร์มาเก็บไว้ภายในหน่วยความจำของชุดควบคุมการแสดงผล หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้รับมากำหนดการเปิด-ปิดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว โดยใช้ความเร็วสูงสุดในการเปิด-ปิดน้ำ 25 ครั้งต่อวินาที ซึ่งการปล่อยน้ำลงมาแสดงผลออกเป็นภาพและข้อความตัวอักษรนั้น แต่ละรูปแบบจะมีความยาวในการแสดงผลสูงสุด 40 วินาที



รูป 3.4 การทำงานของชุดแสดงผล

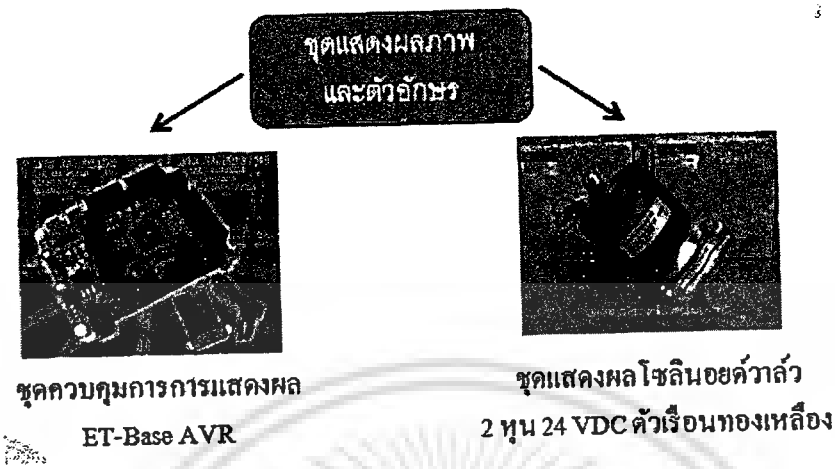
3.4.2.1 ส่วนประกอบของชุดควบคุมการแสดงผลผ่านทางสายน้ำ

ส่วนประกอบของชุดแสดงผลภาพและตัวอักษรมี 2 ส่วน ดังนี้

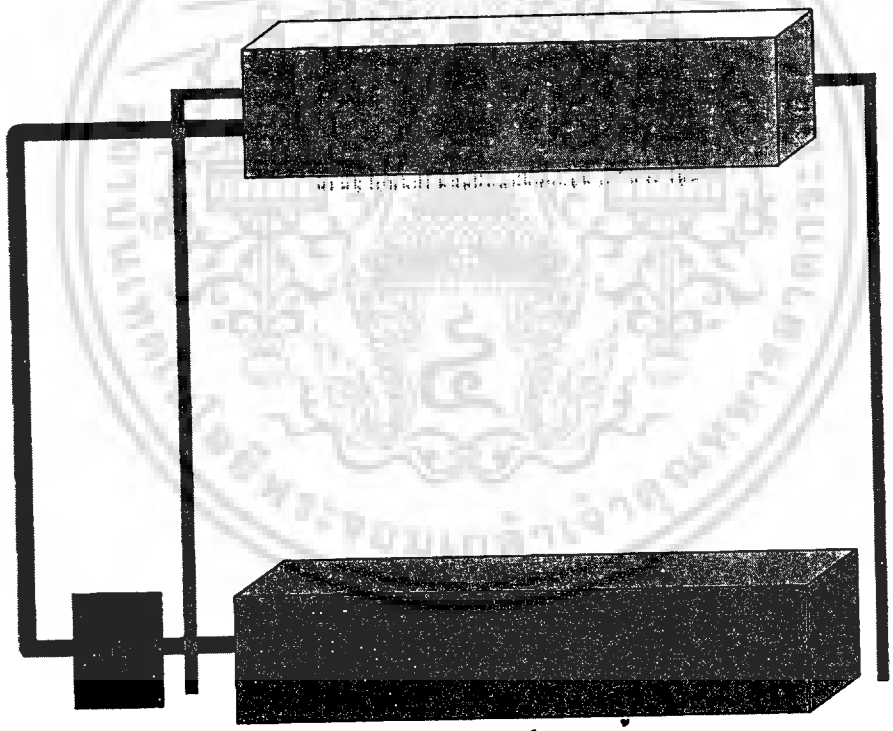
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ชุดควบคุมการแสดงผล ET-Base AVR

2) ชุดแสดงผลโซลินอยด์วาล์ว 2 หุน 24VDC ตัวเรือนทองเหลือง



รูป 3.5 ส่วนประกอบของชุดแสดงผล



รูป 3.6 ชุดการแสดงผลผ่านสายน้ำ

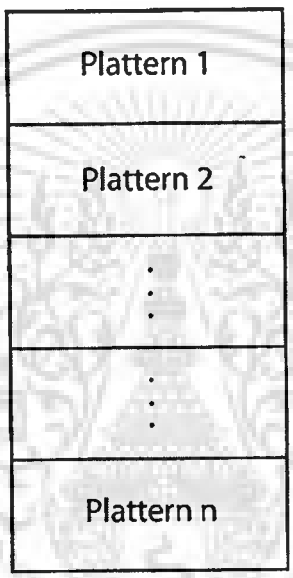
3.4.2.2 ส่วนการกำหนดตำแหน่งในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับการจัดการข้อมูลในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสม ในด้านการใช้งาน ความสะดวกสบาย และความสมเหตุสมผลของงบประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้ วิธีแรกคือ Fixed-block Memory การกำหนดตำแหน่งในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ วิธีที่สอง คือ Variable-block Memory

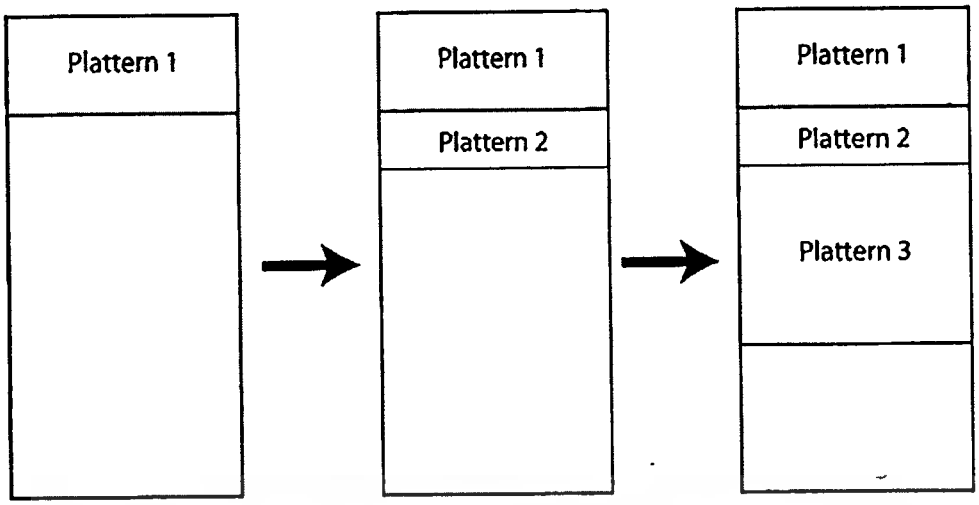
1) การจัดการตำแหน่งโดยวิธี Fixed-block Memory เป็นการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำที่กำหนดขนาดไว้ โดยการกำหนดเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำแบบตายตัว ซึ่งจะทำให้สามารถเก็บรูปแบบของการแสดงผลไว้เป็นสัดส่วน แต่จะทำให้ไม่สามารถใช้พื้นที่ในหน่วยความจำได้เป็นประโยชน์สูงสุดอีกทั้งความยาวของรูปแบบก็จะถูกกำหนดตายตัวตามขนาดของหน่วยความจำในแต่ละ block



รูป 3.7 การจัดการหน่วยความจำโดยวิธี Fixed-block Memory

2) การจัดการตำแหน่งโดยวิธี Variable-block Memory เป็นการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำที่กำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำแบบไม่ตายตัวทำให้สามารถรองรับรูปแบบขนาดต่างๆ ได้ แต่ต้องเพิ่มเรื่องการจัดการหน่วยความจำเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.8 การจัดการหน่วยความจำโดยวิธี Variable-block Memory

3.4.2.3 วิธีที่เลือกใช้

เลือกวิธีการจัดการหน่วยความจำโดยวิธี Fixed-block Memory ซึ่งเป็นการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำที่กำหนดขนาดไว้

3.4.3 ส่วนโปรโตคอลที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ กับฮาร์ดแวร์ที่ควบคุมการทำงานของน้ำตก

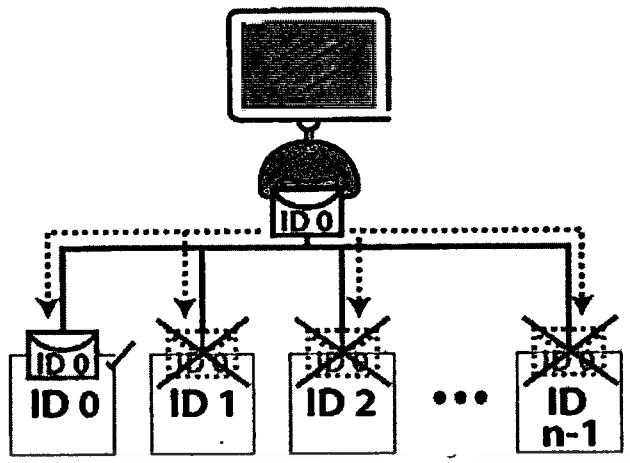
เนื่องจากระบบมีการทำงานที่หลายหลายรูปแบบจึงต้องมีการกำหนดโปรโตคอลที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ กับฮาร์ดแวร์ที่ควบคุมการทำงานของน้ำตกซึ่งมีข้อจำกัดในการพิจารณาดังนี้

1) โปรโตคอลต้องสามารถรองรับการควบคุมบอร์ดจำนวนมากหรือเฉพาะเจาะจงได้
2) โปรโตคอลต้องสามารถบรรจุคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมบอร์ดได้
3) โปรโตคอลต้องสามารถรองรับการระบุหมายเลขของรูปแบบการแสดงผล (รูปแบบ) จำนวนมากหรือเฉพาะเจาะจงได้
4) โปรโตคอลต้องสามารถรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และตัวบอร์ดควบคุมได้และมีความน่าเชื่อถือ

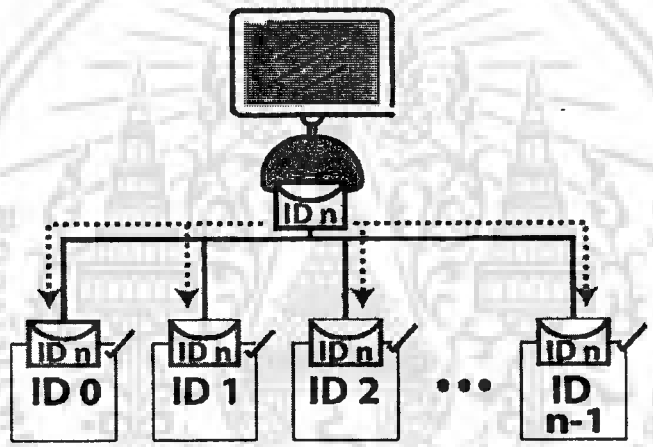
3.4.3.1 รูปแบบโปรโตคอลที่เลือกใช้

รูปแบบการส่งผ่านข้อมูลที่ใช้ในโครงการจะเป็นการสื่อสารในรูปแบบอนุกรม (Serial communication) หรือมาตรฐาน RS-232 โดยที่จะสื่อสารด้วยโปรโตคอล Stop-and-Wait ARQ และมีรูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดต่างๆ ในลักษณะ Bus topology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.9 การส่งข้อมูลด้วย Bus topology โดยไม่เจาะจงผู้รับ



รูป 3.10 การส่งข้อมูลด้วย Bus topology โดยเจาะจงผู้รับ

3.4.3.2 รูปแบบของแพ็กเกตของข้อมูล

แพ็กเกตของข้อมูลที่ออกแบบประกอบไปด้วย Header ขนาด 5 bytes และข้อมูลสูงสุด 1270 bytes ภายใน Header ประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1) ID ขนาด 8 bits : ใช้ระบุหมายเลขชุดแสดงผล รองรับชุดแสดงผลได้สูงสุด 255 บอร์ด ในกรณีที่ ID = 0xFF จะเป็น Broadcast ID
2) ACK bit : ใช้สำหรับควบคุมการไหลของข้อมูล
3) SYN bit : ใช้สำหรับการทำ Handshaking
4) FIN bit : ใช้สำหรับระบุแพ็กเกตสุดท้าย
5) Commands ขนาด 4 bit : ใช้เพื่อระบุคำสั่ง (Command)

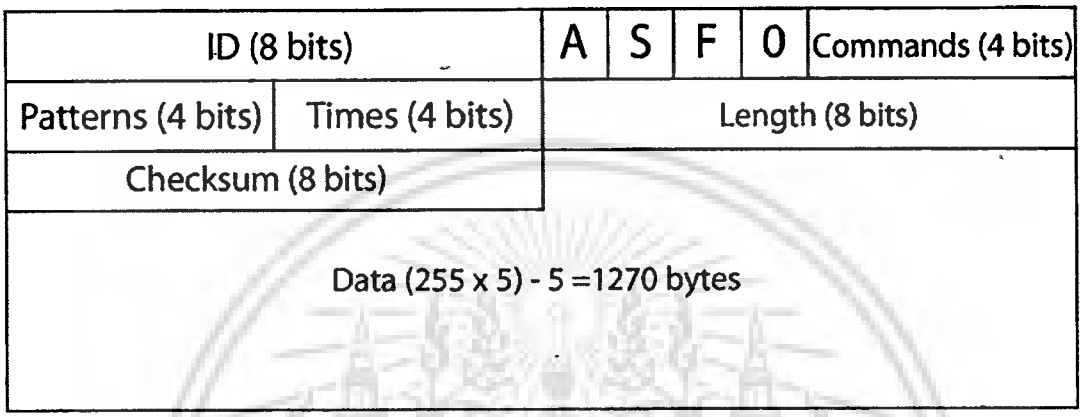
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) Patterns ขนาด 4 bits : ใช้ระบุหมายเลขรูปแบบ รองรับได้สูงสุด 15 รูปแบบ ในกรณีที่ รูปแบบ = 0x0F ให้เลือกทุกรูปแบบ

7) Times ขนาด 4 bits : ใช้เพื่อระบุจำนวนรอบในการแสดงผล

8) Length ขนาด 8 bits : ใช้เพื่อระบุขนาดของแพ็กเกต (Header+data) หน่วยเป็น Block (1 block = 5 byte)

9) Checksum ขนาด 8 bits : ใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแพ็กเกต



รูป 3.11 แพ็กเกตของข้อมูล

รูป 3.12 รูปแบบโปรโตคอลที่ส่งจากชุดควบคุมกลับมายังเครื่องคอมพิวเตอร์

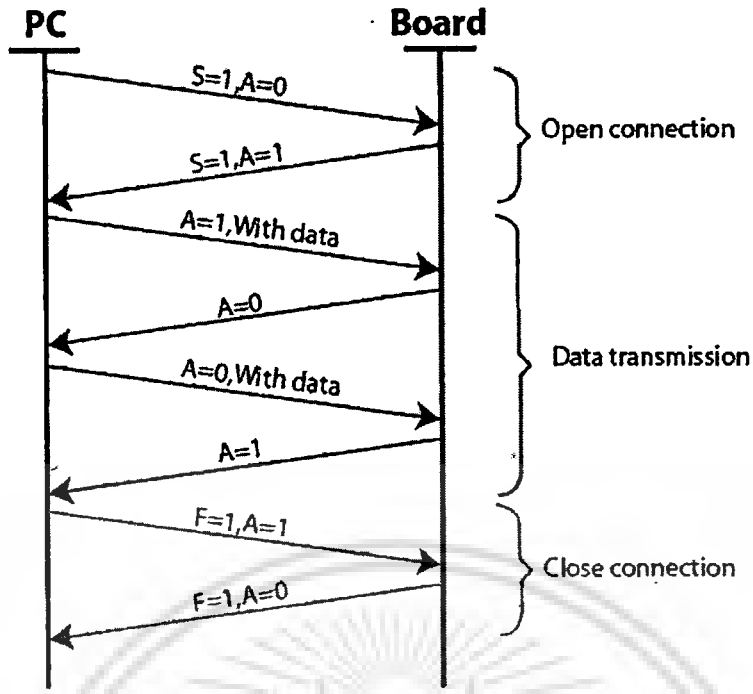
3.4.3.3 การใช้งานโปรโตคอล

ใช้การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดควบคุม จะแบ่งรูปแบบของแพ็กเกตออกเป็น 2 รูปแบบคือ

1) แพ็กเกตควบคุม (Control packet) : เป็นแพ็กเกตที่ไม่บรรจุข้อมูลอยู่ จะไม่มีการ SYN และทำ Handshake เช่น Play, Stop เป็นต้น

2) แพ็กเกตข้อมูล (Data packet) : เป็นแพ็กเกตที่บรรจุข้อมูลอยู่ มีการ SYN และทำ Handshake เช่น SendToBoard เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.13 การทำงานของแพ็กเกตข้อมูล

3.4.3.4 คำสั่งสำหรับควบคุมการแสดงผล

ในการใช้งานส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อควบคุมการทำงานของชุดควบคุมการแสดงผลนั้น จะใช้ฟิลด์ Commands ขนาด 4 bits เพื่อระบุคำสั่งต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดคำสั่งและขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอลดังนี้

1) Commands = 0 : Test Device แพ็กเกตที่มีค่า Commands = 0 เป็นแพ็กเกตชนิดแพ็กเกตควบคุม คำสั่งนี้มีไว้สำหรับการทดสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ควบคุมการแสดงผล โดยที่แพ็กเกตชนิดนี้จะถูกส่งออกไปทีละบอร์ดเพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อและรอแพ็กเกตตอบกลับจากแต่ละบอร์ด ถ้าแพ็กเกตที่ตอบกลับมานั้นมี ID ตรงกับ ID ที่ส่งไปก็จะคืนค่าเป็น TRUE แต่ถ้าไม่มีแพ็กเกตตอบกลับมาหรือแพ็กเกตที่ตอบกลับมานั้นมีค่า ID ไม่ตรงกับที่ส่งไป จะคืนค่าเป็น FALSE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID (8 bits)		0	0	1	0	0
0	0	1				
Checksum (8 bits)						

ID (8 bits)	1	1	1	1	0	0	1	0

รูป 3.14 แพ็กเกตสำหรับการทดสอบการเชื่อมต่อ

2) Commands = 1 : Play แพ็กเกตที่มีค่า Commands = 1 เป็นแพ็กเกตชนิดแพ็กเกตควบคุม คำสั่งนี้มีไว้เพื่อสั่งการให้อุปกรณ์ควบคุมการแสดงผลแสดงรูปแบบการแสดงออกมา โดยต้องทำการระบุ ID บอร์ดที่ต้องการแสดงผลในฟิลด์ ID, ระบุรูปแบบที่ต้องการให้แสดงผลในฟิลด์ Pattern และระบุรอบของการแสดงผลในฟิลด์ Timers ในกรณีที่ต้องการให้ทุกบอร์ดแสดงผลต้องกำหนดค่า ID = 0xFF และในกรณีที่ต้องการสั่งให้แสดงผลรูปแบบการแสดงผลทั้งหมดต้องกำหนดค่า Pattern = 0x0F แพ็กเกตนี้จะไม่มีการรอรับค่ากลับจากชุดควบคุมการแสดงผล

ID (8 bits)		0	0	1	0	1
Patterns (4 bits)	Times (4 bits)	1				
Checksum (8 bits)						

รูป 3.15 แพ็กเกตสำหรับสั่งการให้แสดงผล

3) Commands = 2 : Stop แพ็กเกตที่มีค่า Commands = 2 เป็นแพ็กเกตชนิดแพ็กเกตควบคุม คำสั่งนี้มีไว้เพื่อระงับการแสดงผลเท่านั้น ไม่สามารถระงับการทำงานอื่นๆ ของอุปกรณ์ได้ และแพ็กเกตนี้จะไม่มีการรอรับค่ากลับจากชุดควบคุมการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID (8 bits)		0	0	1	0	2
0	0	1				
Checksum (8 bits)						

รูป 3.16 แพ็กเกตสำหรับระงับการแสดงผล

4) Commands = 3 : Send to board แพ็กเกตที่มีค่า Commands = 2 เป็นแพ็กเกตชนิดแพ็กเกตข้อมูล ดังนั้นจึงมีการ SYN และทำ Handshake เพื่อความถูกต้องของข้อมูล คำสั่งนี้มีไว้เพื่อส่งรูปแบบการแสดงผลที่ออกแบบไปจัดเก็บไว้ในชุดควบคุมการแสดงผล โดยต้องทำการระบุ ID บอร์ดที่ต้องการนำรูปแบบการแสดงผลไปเก็บในฟิลด์ ID และระบุหมายเลขของรูปแบบการแสดงผลที่ฟิลด์ Pattern เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่ได้คำนวณไว้ต่อหนึ่งรูปแบบนั้นมีขนาด 2,000 bytes จึงได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 1000 bytes เพื่อส่งข้อมูลออกไป

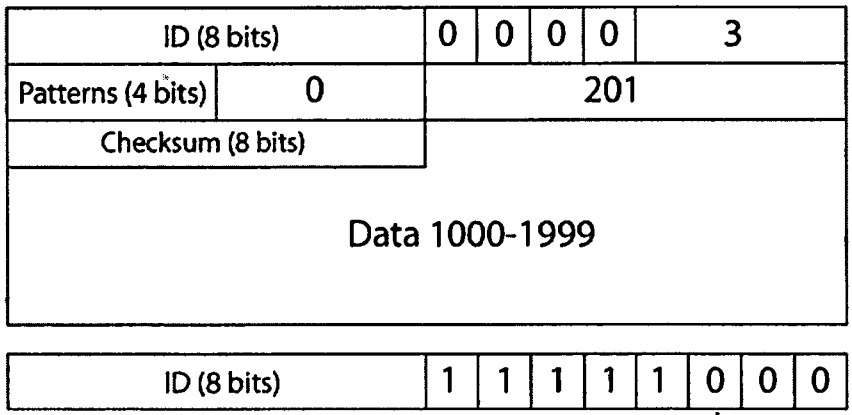
ID (8 bits)		0	1	0	0	3			
Patterns (4 bits)	0	1							
Checksum (8 bits)									
ID (8 bits)		1	1	1	1	1	1	0	0

รูป 3.17 แพ็กเกตสำหรับการเปิดการเชื่อมต่อ

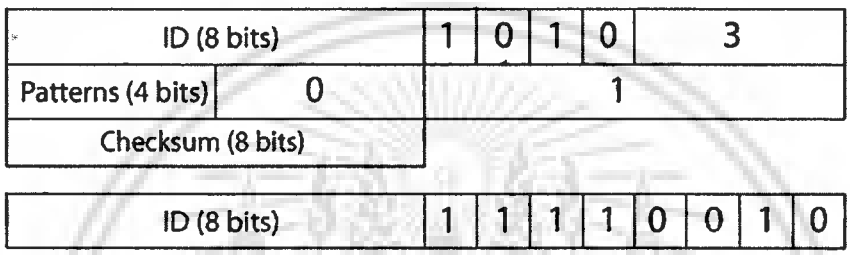
ID (8 bits)		1	0	0	0	3			
Patterns (4 bits)	0	201							
Checksum (8 bits)									
Data 0-999									
ID (8 bits)		1	1	1	1	0	0	0	0

รูป 3.18 แพ็กเกตสำหรับการส่งข้อมูล 1000 bytes แรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.19 แพ็กเกตสำหรับการส่งข้อมูล 1000 bytes ชุดที่ 2



รูป 3.20 แพ็กเกตสำหรับการปิดการเชื่อมต่อ

3.5 การเก็บข้อมูลในหน่วยความจำอีอีพรอม

บอร์ดควบคุมการทำงานของชุดแสดงผลจะต้องนำรูปแบบการแสดงผลที่ได้รับมาจัดเก็บในหน่วยความจำอีอีพรอมก่อน หลังจากนั้นจึงทำการโหลดรูปแบบการแสดงผลออกมาเพื่อใช้แสดงผลต่อไป

รูปแบบการเก็บข้อมูลในหน่วยความจำที่นำมาใช้คือการจัดเก็บโดยระบุตำแหน่งที่แน่นอนของแต่ละรูปแบบ (Fixed-block memory) แบบตายตัว ซึ่งจะทำให้สามารถเก็บรูปแบบของการแสดงผลไว้เป็นสัดส่วน ทั้งความยาวของรูปแบบ ก็จะถูกกำหนดตายตัวตามขนาดของหน่วยความจำในแต่ละ block

3.5.1 การคำนวณพื้นที่หน่วยความจำที่ต้องใช้นั้นพิจารณาจากการใช้งาน

1) แต่ละบอร์ดใช้ไซลินอยด์วาล์ว 16 วาล์ว (16 bits)
2) แต่ละบอร์ดจัดเก็บรูปแบบได้ 8 รูปแบบ
3) แต่ละรูปแบบแสดงผลนาน 40 วินาที
4) แต่ละรูปแบบตัดน้ำด้วยความเร็วสูงสุด 25 ครั้ง/วินาที

ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

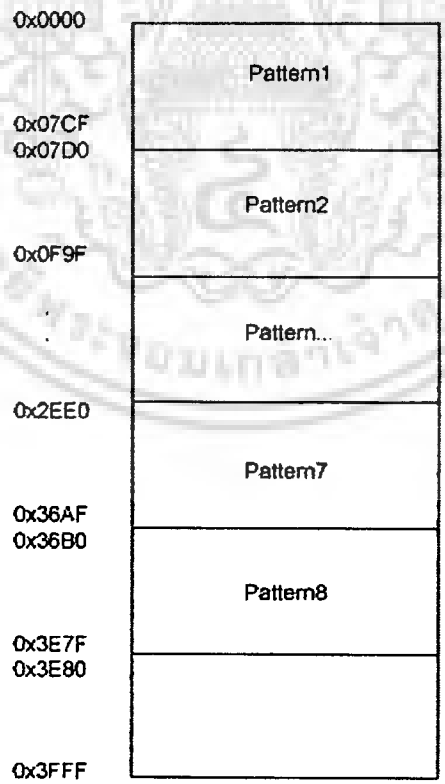
จำนวนวาล์ว x จำนวนรูปแบบ x เวลาในการแสดงผล x อัตราเร็วในการตัดน้ำ (3.1)

ซึ่งจากการคำนวณ = 16 x 8 x 40 x 25 = 128,000 bits (15,625 kbyte) เพราะฉะนั้น ขนาดของหน่วยความจำสูงสุดคือ 128,000 bits หรือ 15,625 bytes โดยแต่ละรูปแบบจะถูกกำหนดขนาดสูงสุดไว้ที่ 16,000 bits หรือ 1,953 bytes

3.5.1.1 การเก็บรูปแบบลงในหน่วยความจำ

ซึ่งในแต่ละรูปแบบเก็บดังนี้

1) รูปแบบที่ 1 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x0000 – 0x07CF
2) รูปแบบที่ 2 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x07D0 – 0x0F9F
3) รูปแบบที่ 3 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x0FA0 – 0x176F
4) รูปแบบที่ 4 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x1770 – 0x1F3F
5) รูปแบบที่ 5 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x1F40 – 0x270F
6) รูปแบบที่ 6 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x2710 – 0x2EDF
7) รูปแบบที่ 7 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x2EE0 – 0x36AF
8) รูปแบบที่ 8 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x36B0 – 0x3E7F



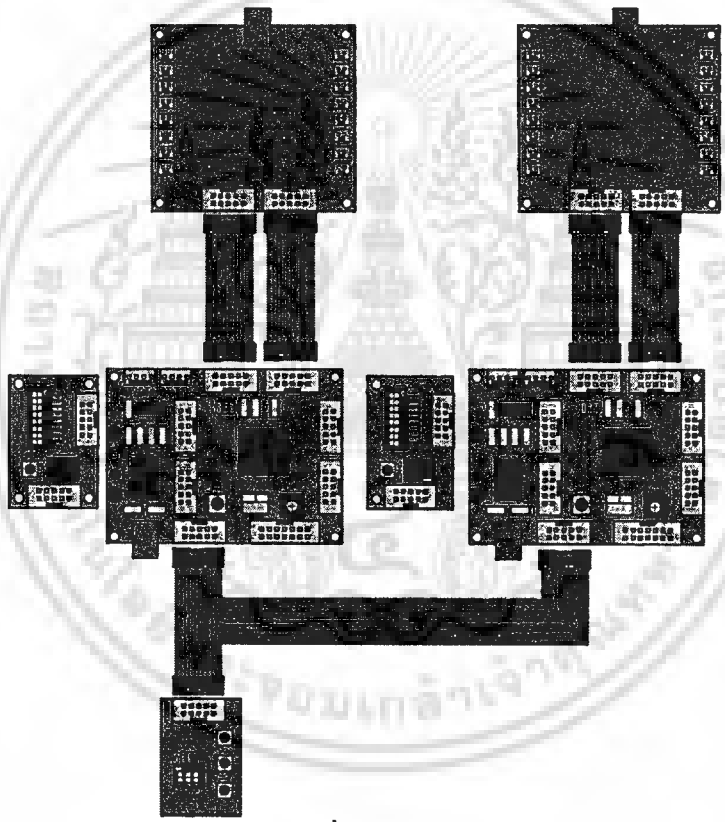
รูป 3.21 การกำหนดตำแหน่งของรูปแบบการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ

การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ คำนึงเรื่องความต้องการที่หลากหลายของผู้ใช้เป็นหลัก จึงเป็นเหตุผลที่ทำการแบ่งการควบคุมการแสดงผลออกเป็นบอร์ดย่อยๆ ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดของการแสดงผลได้ตามต้องการ (กำหนดจำนวนบอร์ดควบคุม) ดังนั้นจึงมีการออกแบบอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆออกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ มีรายละเอียดดังนี้

1) บอร์ดกลางสำหรับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
2) บอร์ดสำหรับระบุ ID และเพิ่มหน่วยความจำ
3) บอร์ด ET base AVR
4) Interface board

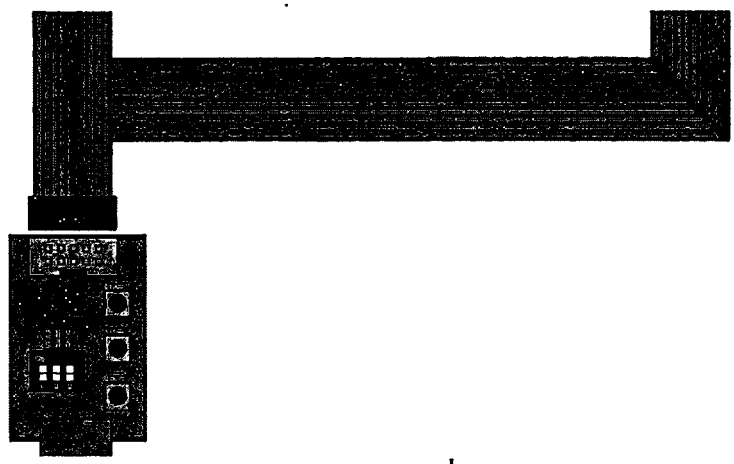


รูป 3.22 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ

3.6.1 บอร์ดกลางสำหรับเชื่อมต่อกับ PC

เป็นบอร์ดที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ด ET-Base AVR ผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งจะเชื่อมต่อกันแบบ Bus topology ภายในบอร์ดมีการเพิ่ม Pattern_SW , PLAY_SW , STOP_SW, PLAYALL_SW เพื่อใช้ในการควบคุมในการทำงานแบบไม่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

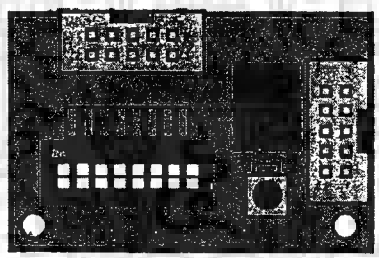
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.23 บอร์ดกลางสำหรับเชื่อมต่อกับ PC

3.6.2 บอร์ดสำหรับระบุ ID และ เพิ่มหน่วยความจำ

เนื่องจากมีการแยกการควบคุมโซลินอยด์วาล์วออกไปตามบอร์ดต่างๆ จึงต้องมีการระบุ ID ของแต่ละบอร์ดเพื่อใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ อีกทั้งหน่วยความจำภายใน ET-Base AVR ไม่เพียงพอสำหรับการจัดเก็บรูปแบบการแสดงผลทั้งหมดจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มหน่วยความจำเข้าไป และมี TEST_SW เพิ่มเข้ามาเพื่อทำการทดสอบน้ำตก



รูป 3.24 บอร์ดสำหรับระบุ ID และ เพิ่มหน่วยความจำ

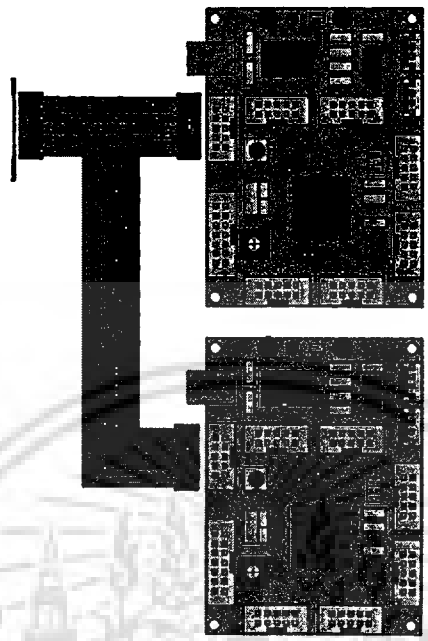
3.6.3 บอร์ด ET base AVR

บอร์ดแต่ละบอร์ดถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วได้บอร์ดละ 16 วาล์ว เหตุผลที่ทำการแบ่งการควบคุมวาล์วไปหลายบอร์ด คือต้องการให้ชุดควบคุมสามารถย่อ-ขยายอัตราส่วนของการแสดงผลได้ (ลด – เพิ่มจำนวนวาล์ว)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ที่เลือกใช้ คือ ATmega128 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL (ผู้นำทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51) AVR จัดเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่จาก ATMEL มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Advanced RISC architecture) คือหนึ่งคำสั่งทำงานใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก (instructions in a single clock cycle) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพและความสามารถสูง แบ่งออกเป็นหลายอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

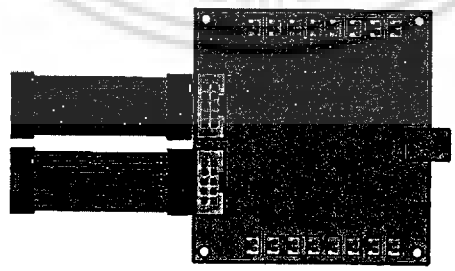
ในแต่ละอนุกรมยังแบ่งออกเป็นหลายเบอร์ เพื่อรองรับความต้องการที่แตกต่างของผู้ใช้งาน ในขณะที่ยังคงความประสิทธิภาพที่เท่ากัน



รูป 3.25 บอร์ด ET-Base AVR

3.6.4 Interface board

อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการปล่อยน้ำ คือโซลินอยด์วาล์ว 24VDC ขนาด 2 หุน ตัวเรือนทองเหลือง เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปิด-ปิดน้ำได้โดยใช้ไฟฟ้าในการควบคุม แต่โซลินอยด์วาล์ว โดยปกติจะใช้กระแสโดยเฉลี่ยประมาณ 250-500 mA ดังนั้นจึงต้องมี Interface Board เพื่อเพิ่มกระแสและความต่างศักย์ให้กับตัวโซลินอยด์วาล์ว



รูป 3.26 Interface board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ปริมาณน้ำที่ต้องใช้หมุนเวียนในระบบ

ในกรณีที่ต้องการให้น้ำที่ไหลออกมาจากแต่ละวาล์วมีความสม่ำเสมอและมีปริมาณน้ำที่เท่ากัน นั้นจำเป็นต้องควบคุมแรงดันน้ำในแต่ละวาล์วให้คงที่ วิธีการควบคุมแรงดันน้ำเพื่อให้ได้แรงดันน้ำที่เกือบคงที่ ที่ง่ายและไม่จำเป็นต้องลงทุนมากนัก คือการทำระบบน้ำล้น โดยที่แรงดันของน้ำจะถูกรักษาระดับไว้ที่ผิวน้ำเสมอ ซึ่งต้องทำการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องใช้หมุนเวียนในระบบให้เพียงพอต่อการรักษาแรงดันของน้ำไว้ โดยทำการคำนวณจากกรณีที่น้ำจะไหลมากที่สุดนั้นคือกรณีที่วาล์วทั้ง 16 วาล์วเปิดพร้อมกัน

สามารถคำนวณปริมาตรของน้ำที่ไหลในแต่ละวาล์วได้จากสูตร

$$Q = Av \qquad (3.2)$$

Q คือ ปริมาตรน้ำที่ไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวาล์ว

V คือ ความเร็วของน้ำที่ไหล

และความเร็วของน้ำที่ไหลสามารถคำนวณได้จากสูตรการคลื่นที่ในแนวดิ่ง ดังนี้

$$v = u + gt \qquad (3.3)$$

v คือ ความเร็วปลาย

u คือ ความเร็วต้น

g คือ ความเร่งในแนวดิ่ง

t คือ เวลา

ซึ่งสมมติให้ ความเร็วต้นมีค่าเท่ากับ 0,น้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในแนวดิ่งมีค่าเท่ากับ 9.8 m^2/s, และเวลาที่ใช้มีค่าเท่ากับ 1 วินาที จะได้ 0+(9.8x1) = 9.8 เมตร/วินาที

และสามารถหาพื้นที่หน้าตัดของวาล์ว ได้จากสูตร

$$\text{พื้นที่วงกลม} = \pi r^2 \qquad (3.4)$$

ซึ่งวาล์วที่ใช้มีรัศมีขนาด 1 หุน หรือ 0.3125 เซนติเมตร ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของวาล์วมีขนาด $3.14 \times 0.3125^2 = 0.31$ ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้พื้นที่หน้าตัดและความเร็วของน้ำที่ไหลมา ก็จะสามารถคำนวณหาค่าปริมาตรน้ำที่ไหลได้ดังนี้ 0.31x9.8 = 3.038 ลิตร/วินาที

ในกรณีที่ใช้วาล์วทั้งหมด 32 วาล์วจะต้องใช้น้ำ ทั้งหมด 3.3038x32 = 105.72 ลิตร/วินาที หรือ 6,343.2 ลิตร/นาที

3.8 การออกแบบวงจรสำหรับจ่ายไฟให้กับโซลินอยด์วาล์ว

โซลินอยด์วาล์วที่เลือกใช้ในการเปิด-ปิดน้ำนั้น ต้องใช้ไฟ 24 VDC 300-500 mA ต่อวาล์ว ดังนั้นจึงได้ออกแบบวงจรจ่ายไฟโดยใช้เฟท และทรานซิสเตอร์มาต่อร่วมกันเป็นวงจรผสม โดยทรานซิสเตอร์นั้นจะทำหน้าที่ขยายกระแสไฟฟ้าสัญญาณเอาต์พุตจากบอร์ด ET Base AVR เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้เพียงพอที่จะไปกระตุ้นการทำงานของเฟท ให้ขยายแรงดันจาก 5V เป็น 24V เพื่อจ่ายไฟให้กับโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งในการใช้งานทรานซิสเตอร์นั้น จำเป็นต้องคำนวณหาค่าความต้านทานที่ขา B ของทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ต้องการจากขา C ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$I_C = \beta I_B \qquad (3.5)$$

โดยที่ทรานซิสเตอร์ที่เลือกนำมาใช้คือ BD139 มีค่า β เฉลี่ยอยู่ที่ 200 และโซลินอยด์วาล์วที่นำมาใช้ต้องการกระแสไฟฟ้าประมาณ 300-500 mA ซึ่งในที่นี้จะจำกัดกระแสไว้ที่ 300 mA ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้วาล์วทำงานได้ ดังนั้น จึงสามารถคำนวณหาค่ากระแสที่ขา B ได้จากสูตร

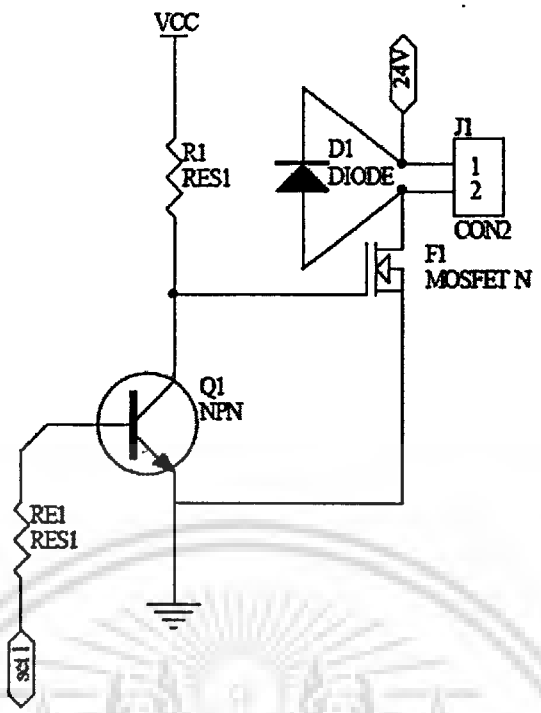
$$I_B = I_C/\beta \qquad (3.6)$$

ซึ่งจะได้กระแสไฟฟ้าที่ขา B มีค่าเท่ากับ 300/(1,000*200) = 1.5 mA หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าความต้านทานที่ต้องใช้ จากสูตร

$$R=V/I \qquad (3.7)$$

ดังนั้นจะได้ค่าความต้านทานที่ต้องใช้อย่างน้อยมีค่าเท่ากับ (5x1,000)/1.5 = 3333.33 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.27 วงจรสำหรับจ่ายไฟให้โซลินอยด์วาล์ว

3.9 ความเร็วในการตัดน้ำที่เหมาะสม

เนื่องจากรูปแบบการแสดงผลของระบบ เป็นการปล่อยให้น้ำร่วงลงมาด้วยความเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาความเร็วในการตัดในที่เหมาะสมที่สามารถทำให้สามารถมองเห็นรูปแบบการแสดงผลได้ชัดที่สุด

ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะเวลาที่น้ำจะตกถึงพื้นได้จากสูตร

$$s = ut+(gt^2)/2 \qquad (3.7)$$

s คือ การกระจัด

u คือ ความเร็วต้น

t คือ เวลา

g คือ ความเร่งในแนวดิ่ง

จากเวลาที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาจำนวนครั้งที่สามารถเปิด-ปิดได้สูงสุด ก่อนที่น้ำจะตกถึงพื้น ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 จำนวนครั้งที่สามารถเปิด-ปิดได้สูงสุด ก่อนที่น้ำจะตกถึงพื้น

ระยะความสูงจากพื้น	ระยะเวลาที่น้ำจะตกถึงพื้น	จำนวนครั้งที่สามารถเปิด-ปิดได้สูงสุด ก่อนที่น้ำจะตกถึงพื้น		
		ตัดน้ำด้วยความเร็ว 25 ครั้ง/วินาที	ตัดน้ำด้วยความเร็ว 40 ครั้ง/วินาที	ตัดน้ำด้วยความเร็ว 100 ครั้ง/วินาที
1	0.452	11	18	45
2	0.639	15	25	63
3	0.782	19	31	78
4	0.903	22	36	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

การทดลองจะแบ่งออกเป็น การทดลองวงจรตัดน้ำ การทดลองการเขียนอีอีพรอม การทดลองการทำงานของหน้าจอแสดงผล

4.2 การทดลองวงจรตัดน้ำ

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1) ทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วว่า สามารถเปิด-ปิดน้ำ ได้ด้วยความเร็วสูงสุดเท่าไหร่และลักษณะของหยดน้ำที่ถูกตัดจะเป็นอย่างไร
2) ทดสอบการควบคุมโซลินอยด์วาล์วด้วย ET-Base AVR

4.2.1 การทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

การทดสอบจะใช้ Logic trainer เป็นเครื่องกำเนิดความถี่ในการเปิด-ปิดน้ำ และมี Power supply เป็นเครื่องกำเนิดไฟ 24VDC ให้กับวงจร

4.2.1.2 ผลลัพธ์ที่ได้

ผลลัพธ์ที่ได้มีรายละเอียดดังนี้

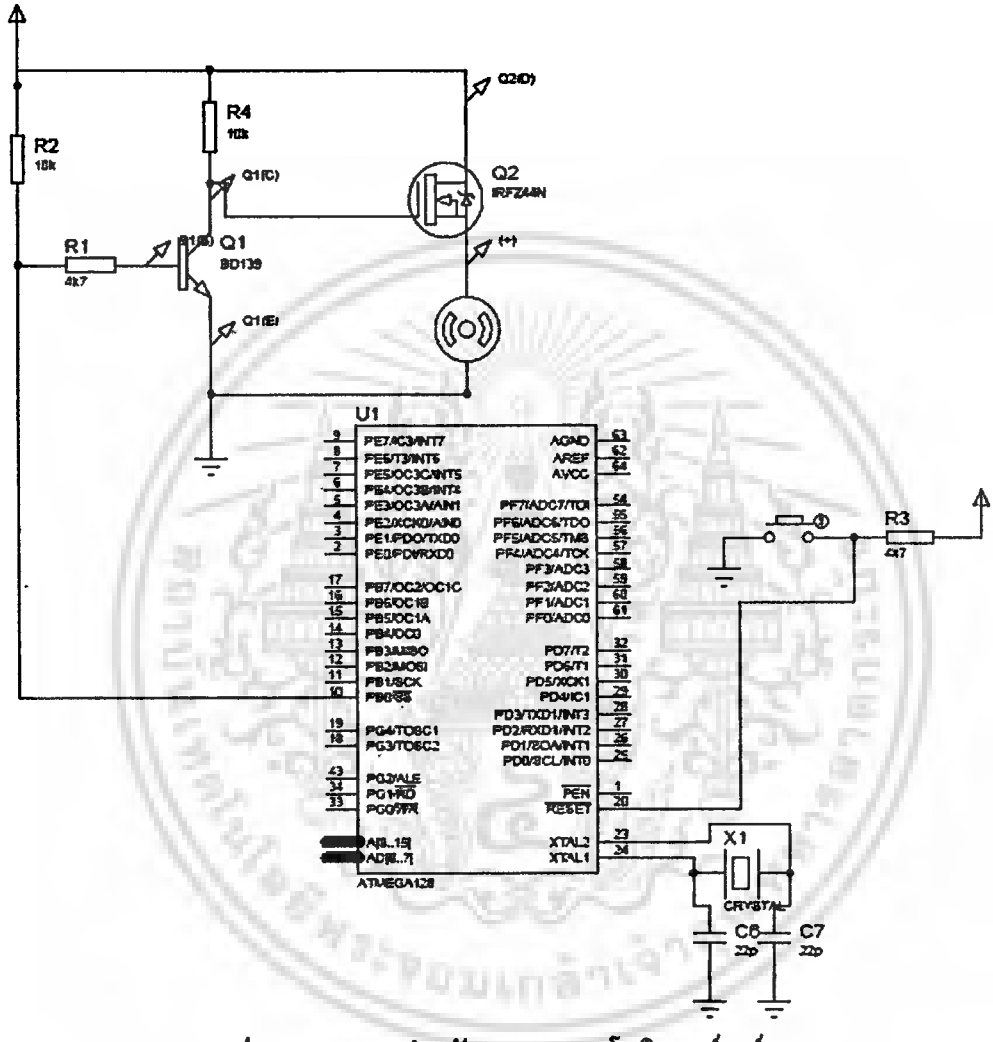
ตาราง 4.1 ผลลัพธ์การทดลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

ความเร็วที่ใช้ในการเปิด-ปิดน้ำ (ครั้งต่อวินาที)	ความสามารถในการเปิด-ปิดวาล์วน้ำ	ลักษณะของน้ำที่ออกมา
10	ได้	เป็นสายน้ำ
20	ได้	เป็นหยดน้ำอย่างชัดเจน
30	ได้	เป็นหยดน้ำแต่เริ่มไม่ชัดเจน
40	ได้	เป็นหยดน้ำแต่ไม่ชัดเจน
50	ได้ แต่เมื่อเปิดเป็นเวลานานจะเกิดปัญหาการดึงแท่งโลหะกลับ	เป็นสายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

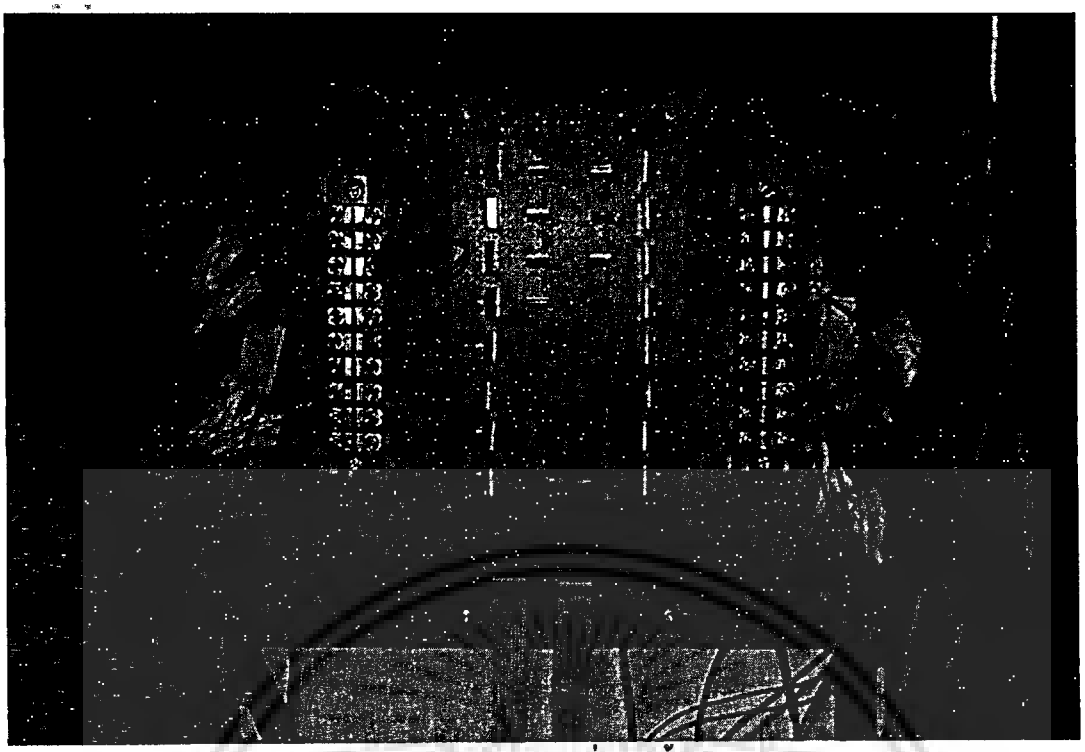
4.2.2 การทดสอบการควบคุมโซลินอยด์วาล์วด้วย ET-Base AVR

เป็นการทดสอบวงจรรวมที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว โดยโปรแกรมการทำงานให้กับ ET-Base AVR ซึ่งวงจรสามารถควบคุมการเปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์วได้อย่างปกติ



รูป 4.1 วงจรรวมสำหรับการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.2 วงจรรวมที่สร้างขึ้น

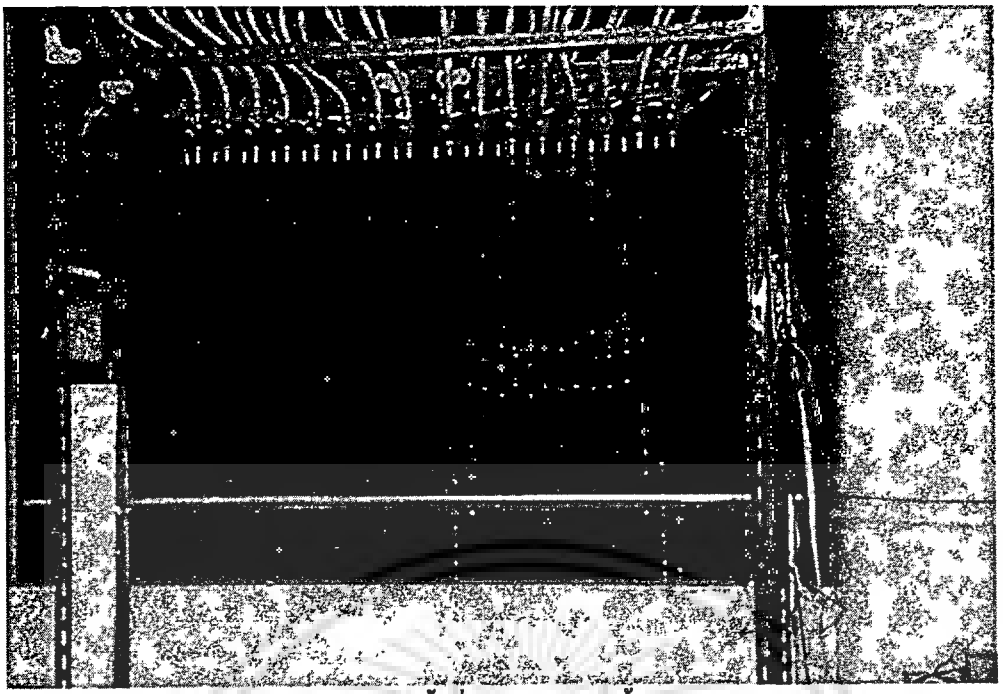
4.2.3 การทดสอบเปรียบเทียบผลลัพธ์การแสดงผลด้วยความเร็วในการตัดน้ำต่างๆ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา ในการปล่อยน้ำที่ความสูง 2 เมตร คือ

4.2.3.1 การตัดน้ำด้วยความเร็ว 25 ครั้ง ต่อวินาที

โดยน้ำ 1 หยดใช้เวลาในการปล่อยน้ำ 40 มิลลิวินาที

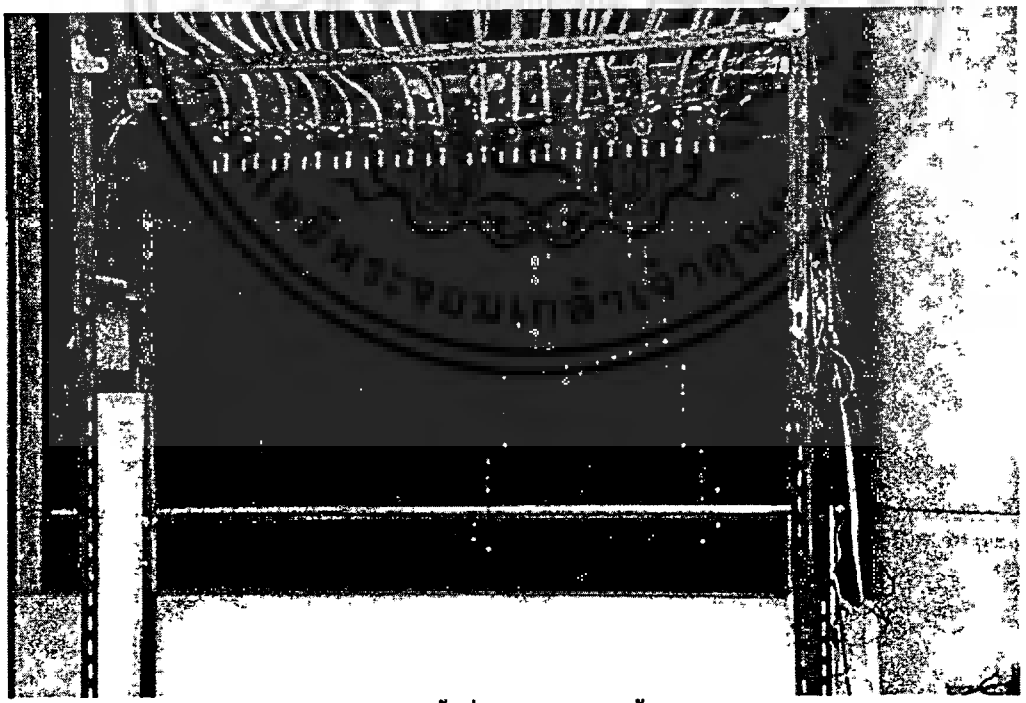
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.3 การตัดน้ำที่ความเร็ว 25 ครั้งต่อวินาที

4.2.3.2 การตัดน้ำด้วยความเร็ว 40 ครั้ง ต่อวินาที

โดยน้ำ 1 หยด ใช้เวลาในการปล่อยน้ำ 25 มิลลิวินาที



รูป 4.4 การตัดน้ำที่ความเร็ว 40 ครั้งต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.3 การตัดน้ำด้วยความเร็ว 100 ครั้ง ต่อวินาที

โดยน้ำ 1 หยด ใช้เวลาในการปล่อยน้ำ 10 มิลลิวินาที

รูป 4.5 การตัดน้ำที่ความเร็ว 100 ครั้งต่อวินาที

4.3 การทดลองการเขียนอีอีพรอม

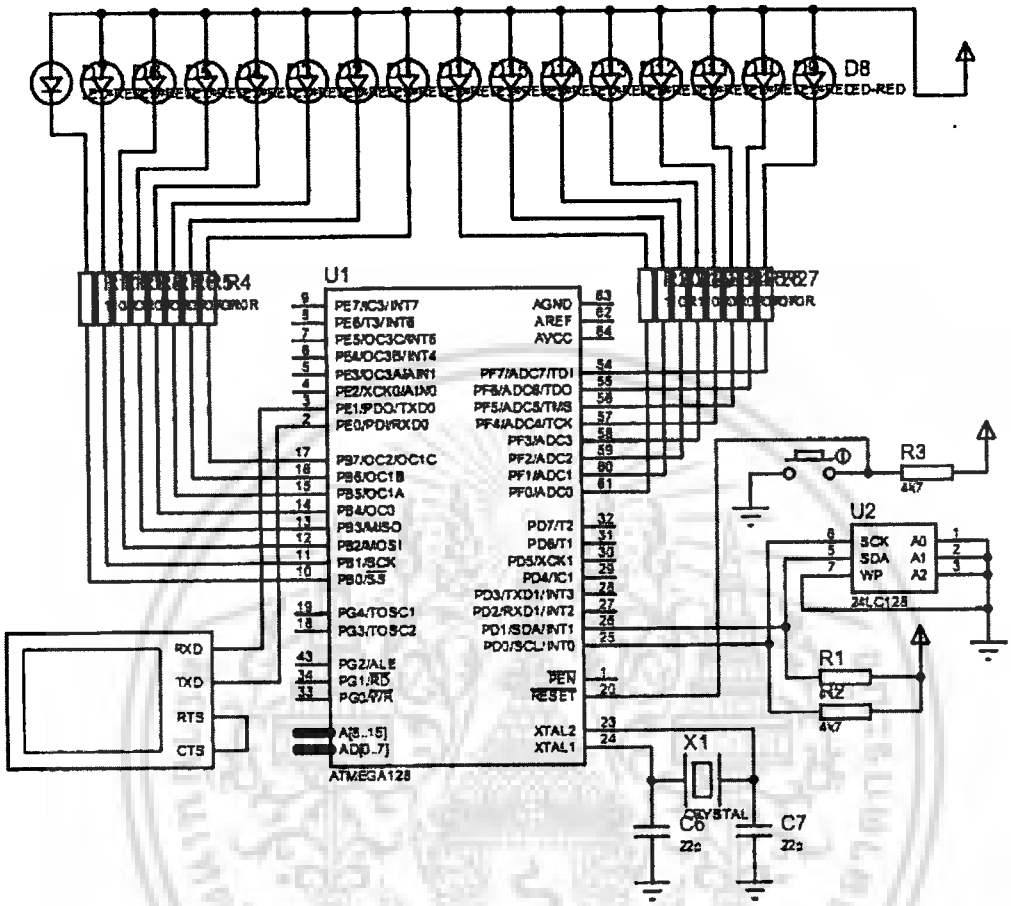
ออกแบบและเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของวงจรอีอีพรอมในโปรแกรม Proteus โดยทำการกำหนดตำแหน่งในอีอีพรอม ดังนี้

1) รูปแบบที่ 1 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x0000 – 0x07CF
2) รูปแบบที่ 2 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x07D0 – 0x0F9F
3) รูปแบบที่ 3 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x0FA0 – 0x176F
4) รูปแบบที่ 4 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x1770 – 0x1F3F
5) รูปแบบที่ 5 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x1F40 – 0x270F
6) รูปแบบที่ 6 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x2710 – 0x2EDF
7) รูปแบบที่ 7 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x2EE0 – 0x36AF
8) รูปแบบที่ 8 เก็บ ณ ตำแหน่งที่ 0x36B0 – 0x3E7F

จากนั้นทำการทดลองเขียนตัวเลขเป็นค่าอักขระ 1 ซึ่งได้เป็นรหัส ASCII หมายเลข 49 ลงไปในแต่ละรูปแบบ เมื่อทำการเขียนเสร็จแล้วจึงทำการอ่านค่ารูปแบบในอีอีพรอมขึ้นมา พร้อมทั้งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางพอร์ตเพื่อสั่งให้หลอดไฟติด โดยในตัวอีอีพรอม 24LC128 ใช้เวลาในการเขียนสูงสุด 5 มิลลิวินาที

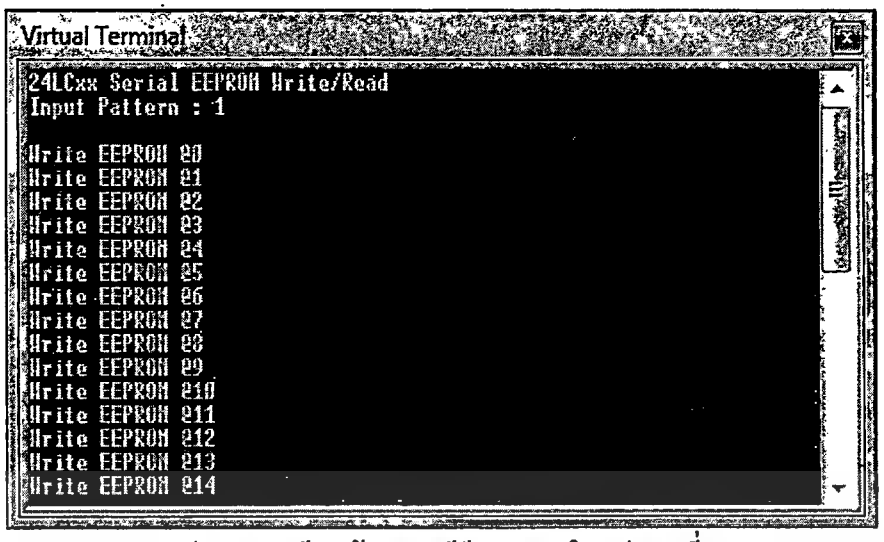


รูป 4.6 วงจรที่เชื่อมต่ออีอีพรอมเข้ากับ ATmega128

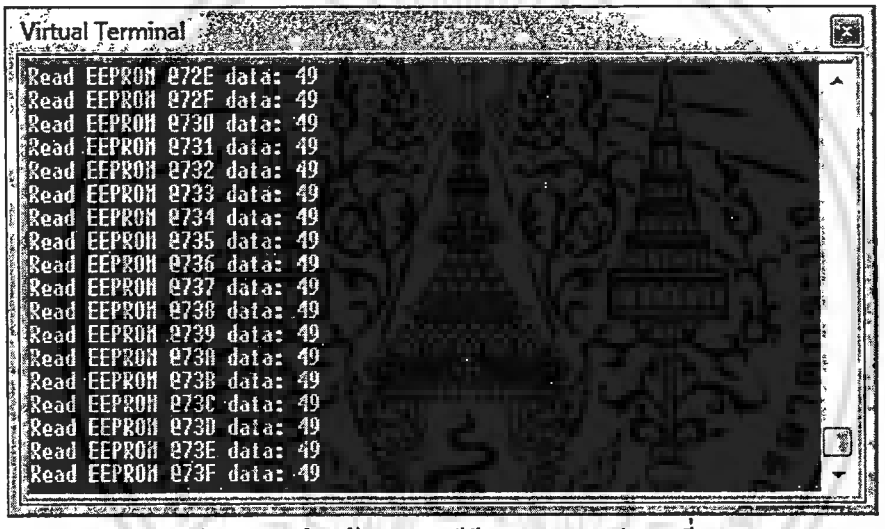
4.3.1 ผลการทดลอง

หน้าต่าง Virtual Terminal แสดงผลการเขียนข้อมูลลงในตำแหน่งที่ 0-1999 หลังจากนั้นทำการอ่านข้อมูลในตำแหน่งของรูปแบบที่ 1 ณ ตำแหน่งที่ 0-1999 ได้ค่าข้อมูลเป็น 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.7 การเขียนข้อมูลลงอีอีพรอมลงในรูปแบบที่ 1



รูป 4.8 การอ่านข้อมูลจากอีอีพรอมจากรูปแบบที่ 1

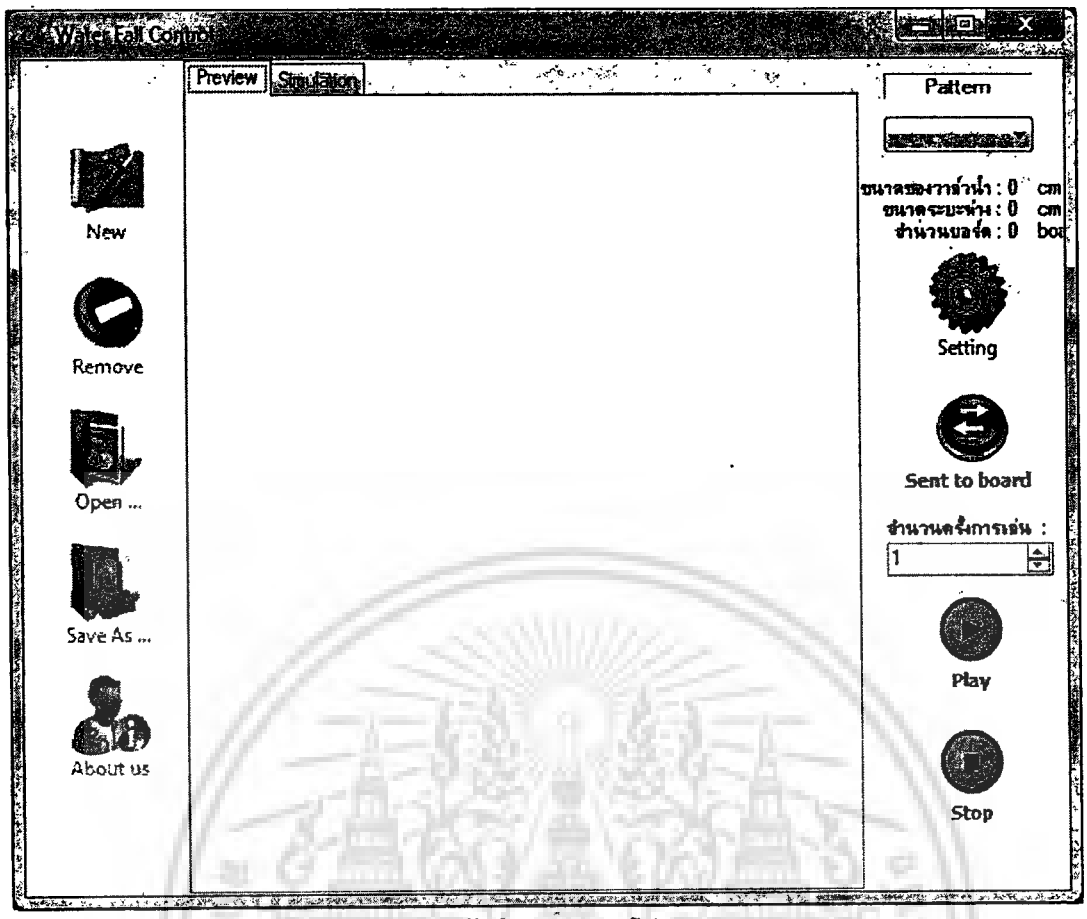
4.4 การทดลองการทำงานของหน้าจอแสดงผล

ทำการออกแบบ พัฒนาหน้าโปรแกรมการออกแบบรูปแบบการแสดงผลภาพ และสายน้ำ โดยสามารถเลือกรูปภาพ แล้วนำมาแปลงเป็นรูปแบบได้ และสามารถบันทึก และเรียกใช้งานรูปแบบในคอมพิวเตอร์ได้ มีการทดลองเปรียบเทียบการทำงานเพื่อเลือกลำดับขั้นตอนการประมวลผลภาพ

4.4.1 การออกแบบ User Interface

ออกแบบเพื่อง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้งาน ทุกคำสั่งสามารถสั่งการทำงานได้จากหน้าต่างนี้ ยกตัวอย่างเช่น สั่งการเล่นและหยุดเล่นน้ำตก การสร้างรูปแบบ ใหม่ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

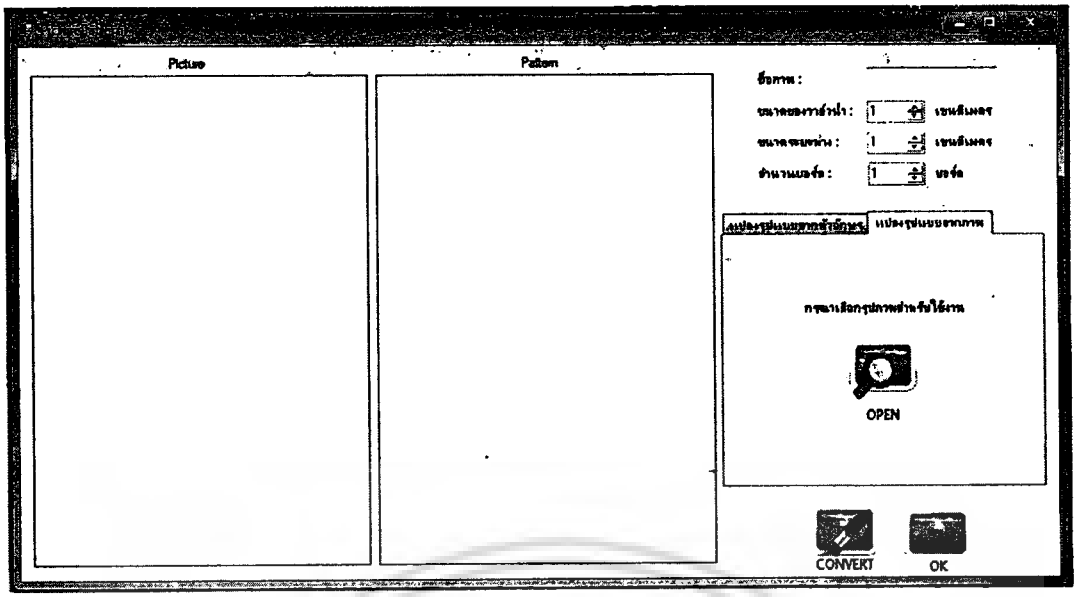


รูป 4.9 หน้าต่างหลักของโปรแกรม

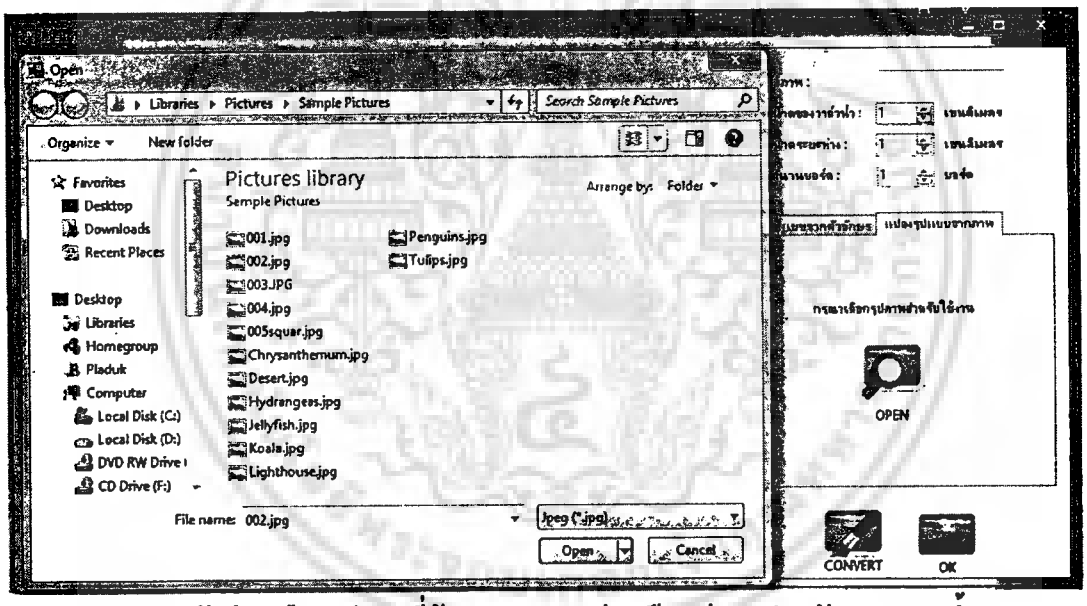
4.4.2 การสร้างรูปแบบใหม่

เมื่อทำการกดปุ่ม New จะปรากฏหน้าต่างการสร้างรูปแบบด้วยรูปภาพหรือข้อความขึ้นมา ดังรูป 4.10 หากต้องการสร้างรูปแบบจากภาพให้เลือกแท็บ "แปลงรูปแบบจากภาพ" แล้วกดปุ่ม OPEN ทำการเลือกรูปภาพที่ต้องการนำมาแปลงเป็นรูปแบบสำหรับแสดงบนน้ำตก ภาพที่ถูกเลือกจะถูกแสดงในช่อง Picture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



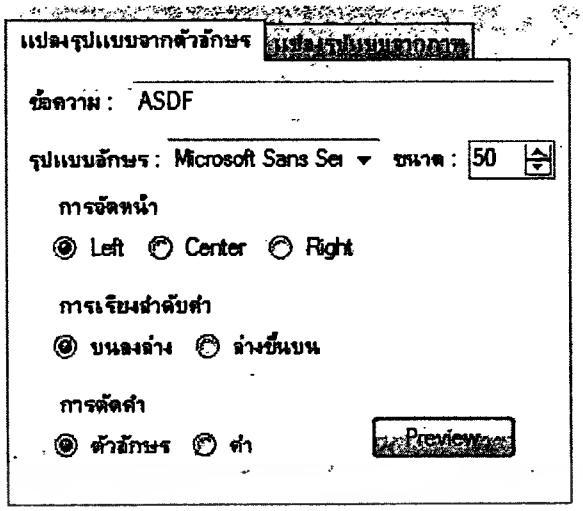
รูป 4.10 หน้าต่างการสร้างรูปแบบใหม่ โดยสามารถเลือกจากรูปภาพ



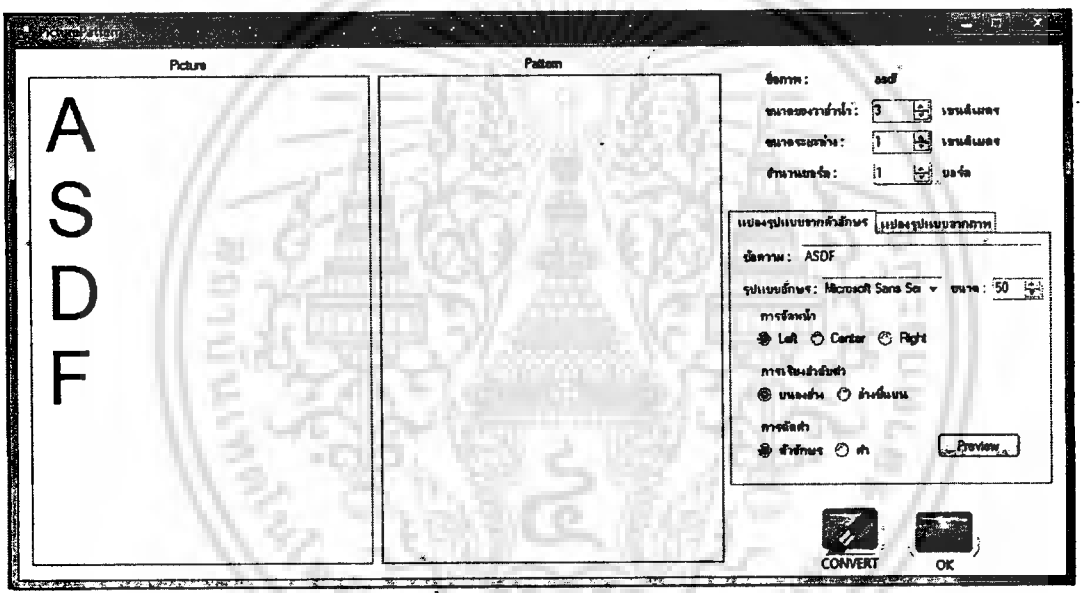
รูป 4.11 หน้าต่าง เลือกรูปภาพที่ต้องการนำมาแปลงเป็นรูปแบบสำหรับแสดงบนน้ำตก

หากต้องการแปลงรูปแบบจากข้อความให้เลือกแท็บ “แปลงรูปแบบจากตัวอักษร” ดังรูป 4.12 โดยพิมพ์ข้อความที่ต้องการแปลงเป็นรูปแบบ เลือกรูปแบบของตัวอักษรที่ต้องการ เลือกขนาดของตัวอักษร สามารถเลือกการจัดหน้า ว่าจะจัดหน้าเป็นชิดซ้าย กลางหน้า หรือชิดขวา การเรียงลำดับของคำ ว่าเรียงจากคำแรกอยู่บน หรือคำสุดท้ายอยู่บน และการตัดคำ ว่าตัดจากแยกทุกตัวอักษร หรือตัดแยกคำ แล้วกด Preview จะแสดงตัวอย่างในช่อง Picture ดังรูป 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



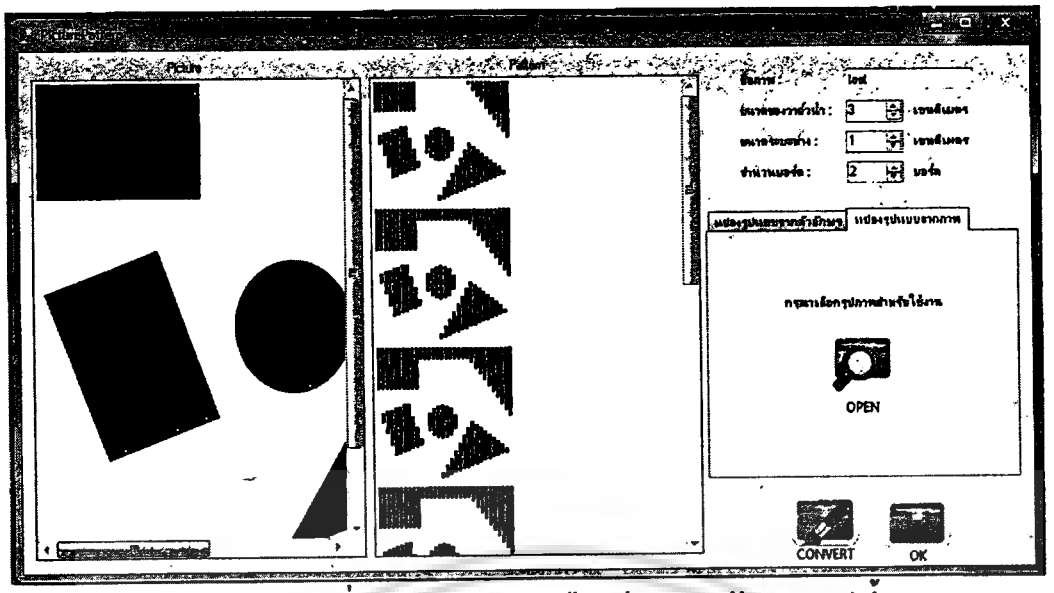
รูป 4.12 แท็บการแปลงรูปแบบจากตัวอักษร



รูป 4.13 หน้าต่างเมื่อทำการแปลงข้อความเป็นรูปภาพแล้ว

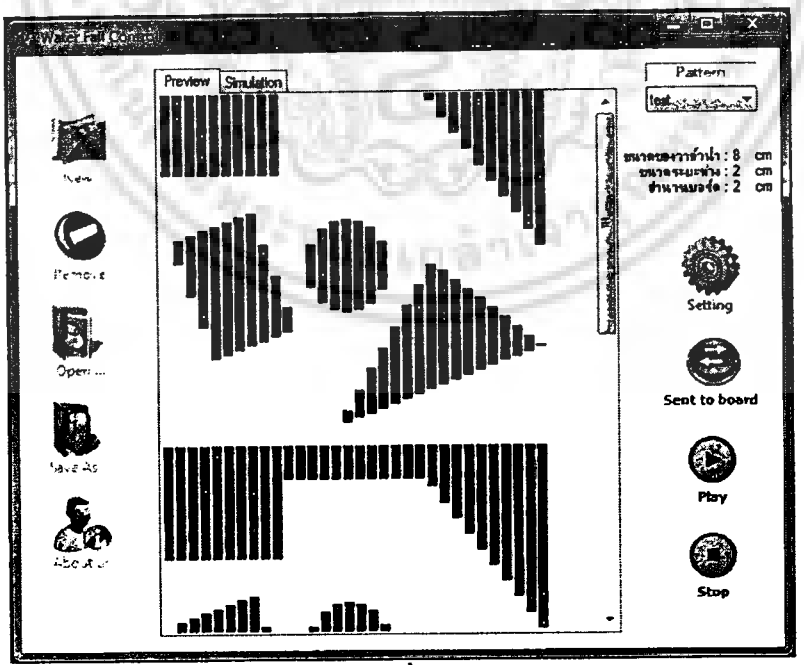
หลังจากเลือกรูปขึ้นมาแล้ว ทำการ CONVERT รูปภาพ เพื่อทำการแปลงภาพนั้นเป็นรูปแบบสำหรับแสดงบนน้ำตก ดังรูป 4.14 (ก่อนทำการแปลงรูปภาพ ต้องกรอกข้อมูลชื่อภาพ ขนาดของวาล์วน้ำที่ใช้ ระยะห่างระหว่างวาล์วน้ำ และจำนวนบอร์ดที่ใช้งานก่อน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.14 หน้าต่าง เมื่อทำการแปลงภาพเป็นรูปแบบสำหรับแสดงบนน้ำตก

จากรูป 4.15 การแปลงรูปให้อยู่ในรูปแบบที่จะแสดงบนน้ำตกนั้นประสบผลสำเร็จ ภาพออกมาอยู่ในรูปแบบที่ต้องการซึ่งมีทั้งขนาดของสายน้ำ และระยะห่างระหว่างสายน้ำ รูปแบบจะมีขนาดความกว้างเท่ากับ ((ขนาดวาล์วน้ำ+ระยะห่างระหว่างวาล์วน้ำ)*จำนวนบอร์ด)-1 พิกเซล และมีความสูงเท่ากับ 1,000 พิกเซล นอกจากนี้แล้วโปรแกรมยังสามารถสร้างรูปแบบได้สูงสุดถึง 20 รูปแบบด้วย

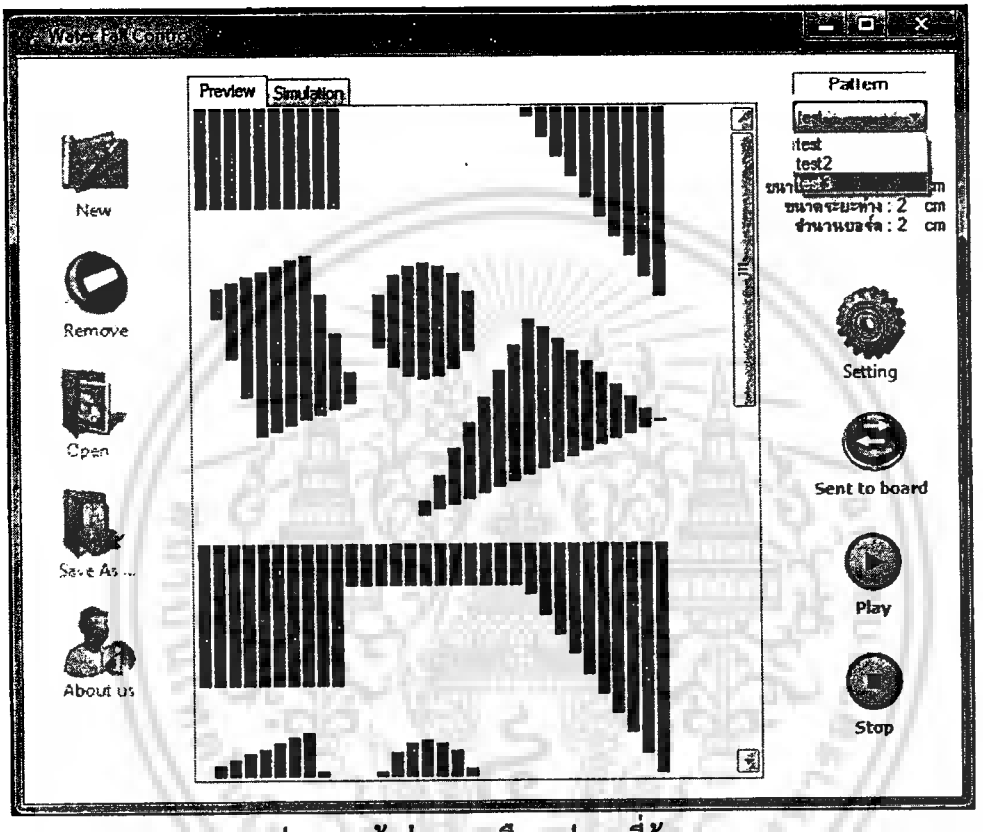


รูป 4.15 หน้าต่างหลัก เมื่อทำการแปลงภาพแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การเลือกรูปแบบที่สร้างเพื่อแสดงบนโปรแกรม

ทำการเลือกรูปแบบที่ต้องการจาก Combo box มุมบนขวามือของโปรแกรม ดังรูป 4.16 โปรแกรมจะแสดงผลรูปแบบที่เลือก ในการสร้างรูปแบบสามารถสร้างได้สูงสุด 20 รูปแบบ ซึ่งผลการสร้างการเลือกรูปแบบนี้ประสบผลสำเร็จสามารถเลือกรูปแบบและนำมาแสดงผลบนโปรแกรมได้ดังต้องการ

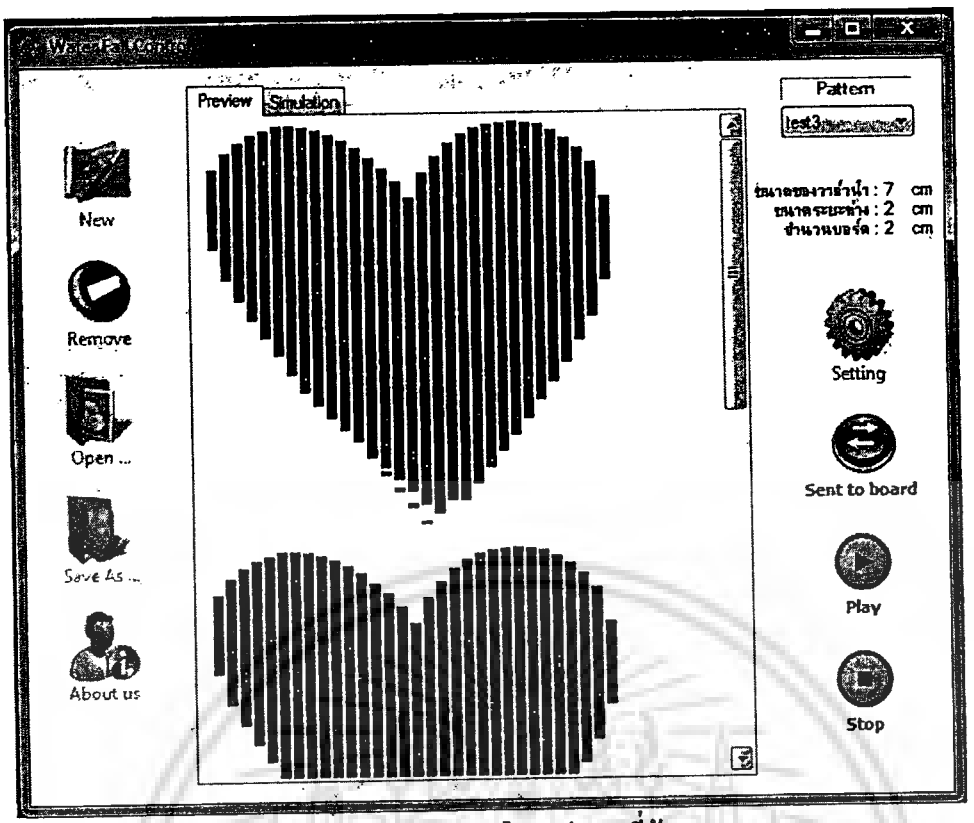


รูป 4.16 หน้าต่าง การเลือกรูปแบบที่ต้องการ

4.4.4 การจำลองน้ำตก

ทำการเลือกแถบ Simulation ซึ่งอยู่ด้านบนของโปรแกรม ดังรูป 4.17 โดยรูปแบบที่ถูกเลือก จะถูกจำลองการเคลื่อนไหวเหมือนน้ำตกที่จะแสดง ซึ่งโปรแกรมมีความต้องการให้มองเห็นการจำลองน้ำตกได้ดังเล่นน้ำตกจริง ดังนั้นจึงสร้างการจำลองน้ำตกขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเห็นภาพลักษณะรูปแบบนี้ที่จะปรากฏบนน้ำตกได้ ซึ่งการสร้างการจำลองน้ำตกนี้สามารถใช้งานได้จริง โดยเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหวของน้ำตกเลื่อนลงด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.17 หน้าต่าง การเลือกรูปแบบที่ต้องการ

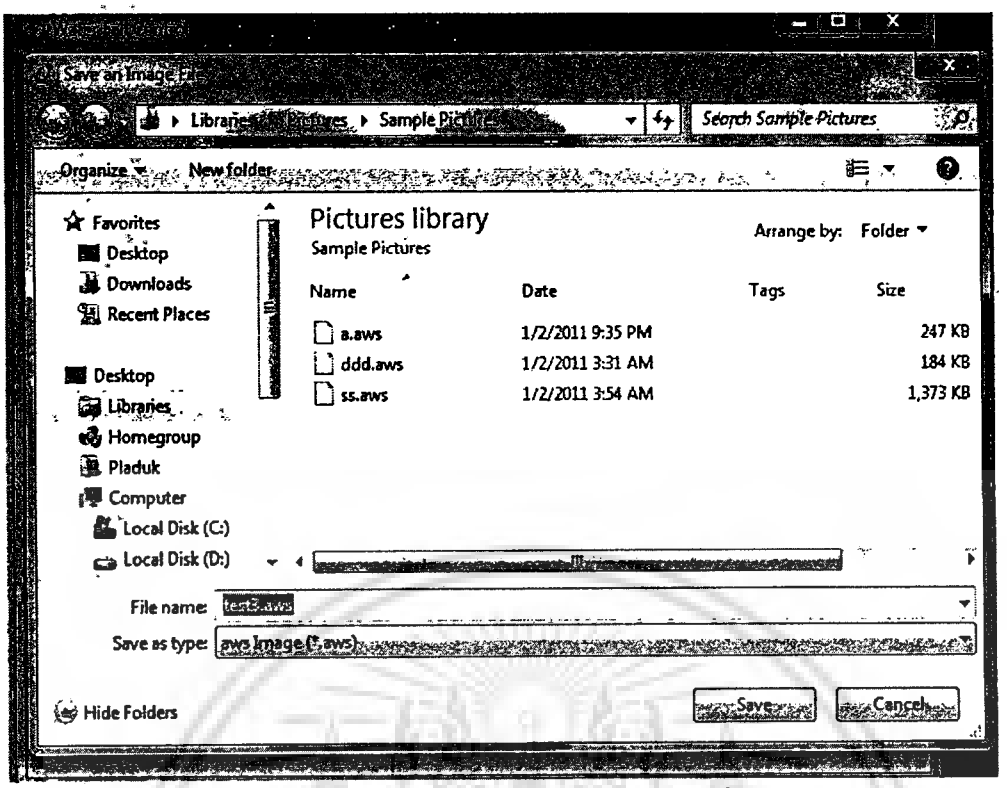
4.4.5 การลบรูปแบบออกจากโปรแกรม

การกดปุ่ม Remove เพื่อทำการลบรูปแบบที่แสดงอยู่ออกจากโปรแกรม การสร้างการลบรูปแบบที่ไม่ต้องการออกจากโปรแกรมประสบผลสำเร็จ สามารถลบรูปแบบที่ไม่ต้องการออกจากโปรแกรมได้

4.4.6 การบันทึกรูปแบบในเครื่องคอมพิวเตอร์

ในการบันทึกรูปแบบที่ใช้งานอยู่บนโปรแกรมลงในคอมพิวเตอร์ ดังรูป 4.18 ให้กดปุ่ม Save รูปแบบจะถูกบันทึกลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็นนามสกุล .aws ซึ่งเป็นนามสกุลของโปรแกรมโดยเฉพาะ การบันทึกรูปแบบลงบนหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ประสบผลสำเร็จ เนื่องจากสามารถบันทึกไฟล์ที่เป็นไฟล์เฉพาะของโปรแกรมได้ ซึ่งเป็นไฟล์ที่สามารถเก็บค่าขนาดของวาล์วน้ำ ระยะห่างระหว่างวาล์วน้ำ และจำนวนบอร์ดได้ และเก็บไฟล์ในนามสกุล .aws เพื่อสะดวกในการนำรูปแบบกลับมาใช้ใหม่ในโปรแกรมโดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



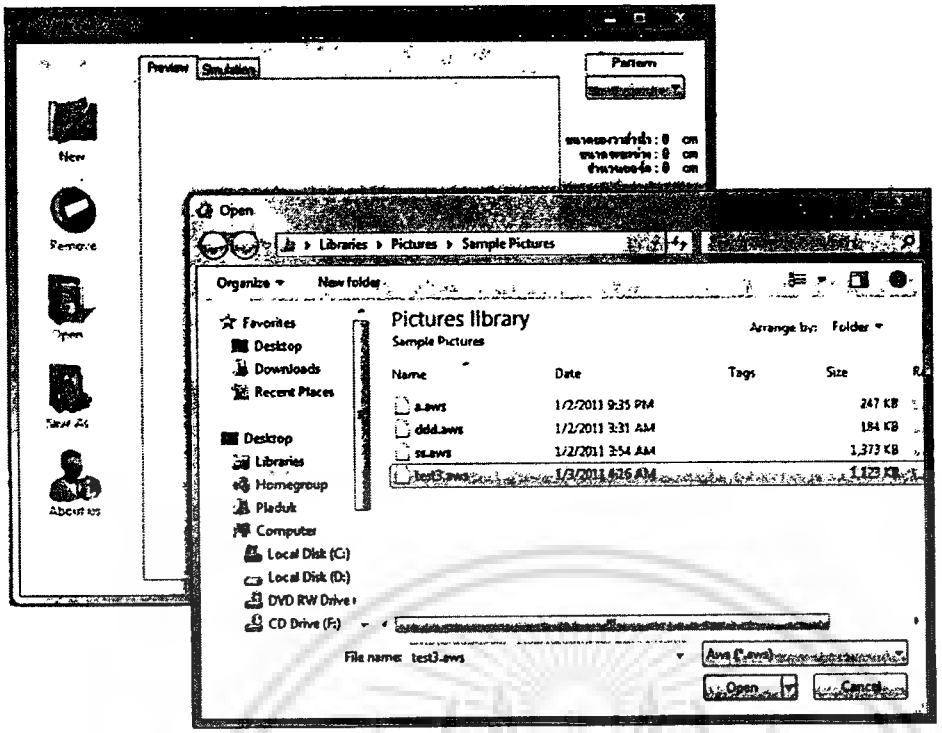
รูป 4.18 บันทึกรูปแบบลงบนคอมพิวเตอร์

4.4.7 การเปิดรูปแบบเพื่อใช้งานบนโปรแกรม

ทำการกดปุ่ม Open จะแสดงหน้าต่างการเปิดไฟล์ขึ้นมา ให้ทำการเลือกไฟล์ ซึ่งจะแสดงเฉพาะไฟล์นามสกุล . aws ซึ่งเป็นนามสกุลไฟล์สำหรับโปรแกรมเท่านั้น เมื่อทำการเลือกไฟล์แล้วทำการกดปุ่ม Open

การเปิดไฟล์ขึ้นมาใช้บนโปรแกรมนั้นประสบผลสำเร็จ ด้วยการเปิดไฟล์ด้วยนามสกุล .aws ซึ่งเป็นไฟล์สำหรับโปรแกรมโดยเฉพาะ ทำให้สามารถทราบข้อมูลของรูปแบบนั้น ซึ่งได้แก่ ขนาดของวาล์วน้ำ ระยะห่างระหว่างวาล์วน้ำ และจำนวนบอร์ด ซึ่งหากไม่ใช่รูปแบบของไฟล์ที่บันทึกจากโปรแกรม จะทำการแจ้งเตือนและไม่สามารถเปิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



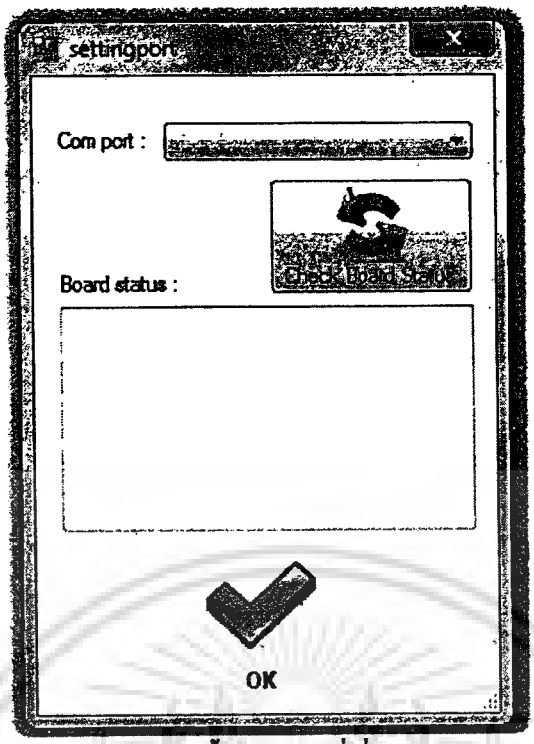
รูป 4.19 หน้าต่างการเปิดไฟล์จากคอมพิวเตอร์

4.4.8 การติดต่อกับชุดแสดงผล

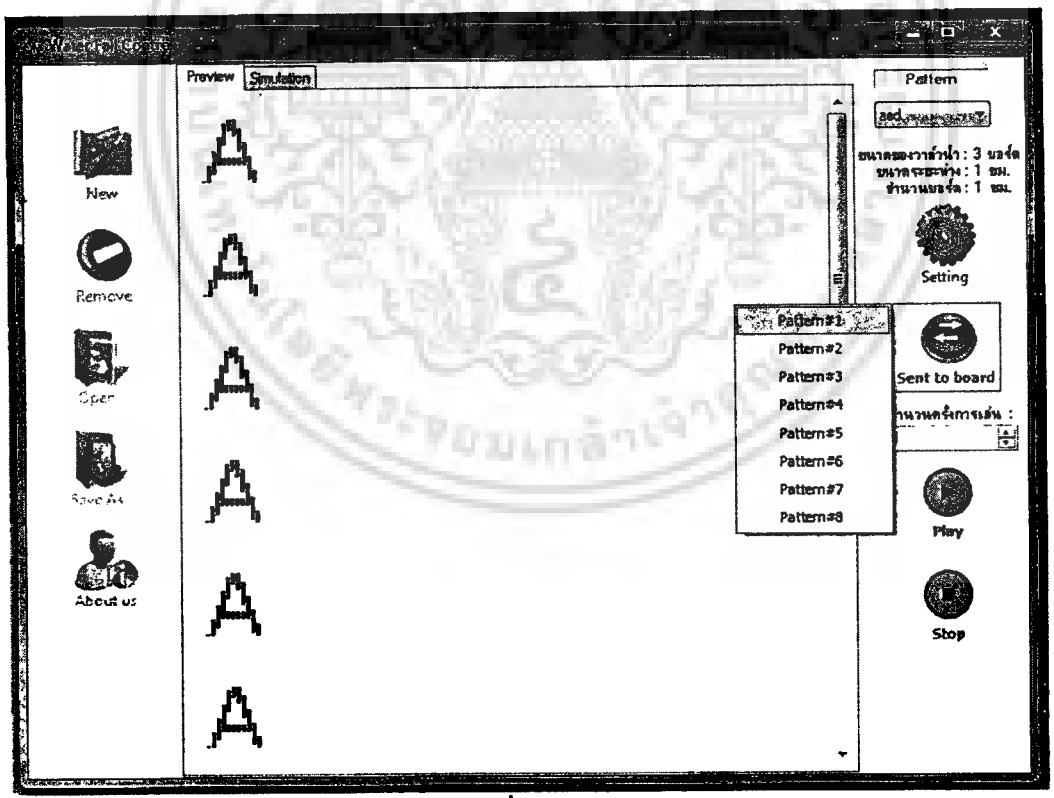
เมื่อทำการสร้างรูปแบบแสดงผลขึ้นมาแล้ว และต้องการนำรูปแบบนั้นไปบันทึกลงบนชุดแสดงผลเพื่อแสดงบนน้ำตก จะต้องทำการตั้งค่าพอร์ตก่อนเพื่อให้ทราบพอร์ตที่จะติดต่อกับบอร์ด ดังรูป 4.20 และส่งรูปแบบไปยังชุดแสดงผลด้วยการเลือกปุ่ม Send to board และเลือก Pattern ที่ต้องการนำไปบันทึก ดังรูป 4.21 หากทำการส่งเสร็จสิ้นแล้วจะแสดงหน้าต่างเตือนการส่งสำเร็จ ดังรูป 4.22

และหากต้องการสั่งให้น้ำตกเล่น ให้เลือกที่ปุ่ม Play หรือต้องการหยุดน้ำตก ให้เลือกปุ่ม Stop โปรแกรมจะทำการสั่งการไปสู่น้ำตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

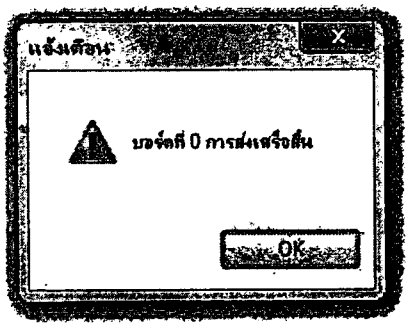


รูป 4.20 หน้าต่างการตั้งค่าพอร์ตที่เชื่อมต่อชุดแสดงผล



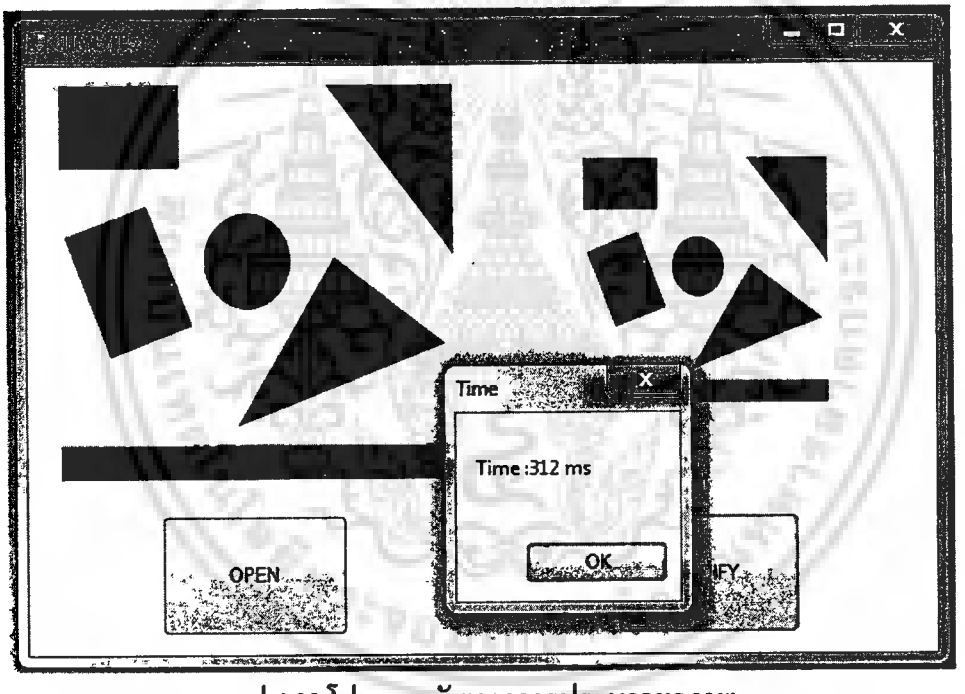
รูป 4.21 การเลือกรูปแบบที่จะไปบันทึกลงบนชุดแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.22 หน้าต่างแจ้งเตือนเมื่อการส่งเสร็จสิ้น

4.4.9 การเปรียบเทียบเวลาสำหรับขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อแปลงเป็นภาพขาวดำ ขนาด 150*113 พิกเซล



รูป 4.23 โปรแกรมจับเวลาการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 การเปรียบเทียบเวลาสำหรับการประมวลผลภาพ

ขนาดรูปภาพที่นำมาทดลอง (พิกเซล * พิกเซล)	เวลาเมื่อทำการแปลงขนาดภาพก่อนการเปลี่ยนสีรูปภาพ (มิลลิวินาที)	เวลาเมื่อทำการเปลี่ยนสีรูปภาพก่อนทำการแปลงขนาดรูปภาพ (มิลลิวินาที)
1024*768	56	1152.33
300*255	39.17	165.33
150*113	39.33	56.17
100*75	40.67	31
30*23	39.67	6

จากตารางแสดงให้เห็นว่าการแปลงภาพโดยการแปลงขนาดภาพก่อนแล้วจึงทำการเปลี่ยนสีรูปภาพจะมีความแตกต่างด้านเวลาไม่มากนัก และใช้เวลาน้อยโดยจะสังเกตได้ว่า ใช้เวลาไม่ถึง 0.1 มิลลิวินาที นอกจากนี้เมื่อประมวลผลภาพในขนาดที่ใหญ่กว่า หรือเท่ากัน จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการแปลงขนาดภาพก่อน แตกต่างกับการประมวลผลแบบเปลี่ยนสีภาพก่อน ค่อนข้างจะเห็นได้ชัด การเปลี่ยนสีของรูปภาพก่อนนั้น ยึดติดแปรผันตามขนาดของภาพ

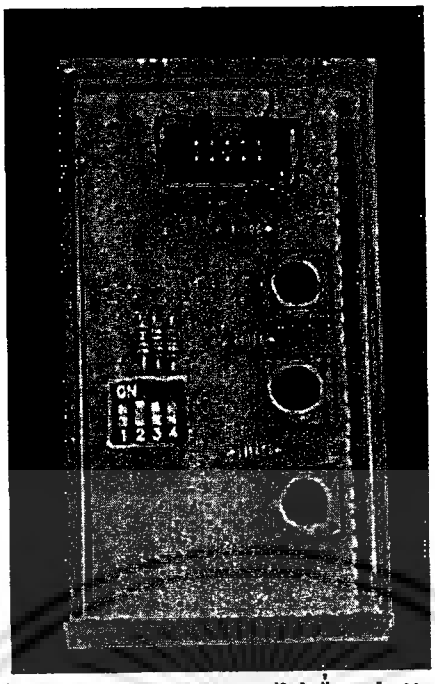
ดังนั้นผู้จัดทำโครงการวิจัยจึงเลือกใช้การแปลงขนาดภาพก่อนที่จะทำการเปลี่ยนสีภาพ เนื่องจากภาพส่วนใหญ่ที่จะนำเข้าสู่โปรแกรมมักเป็นภาพขนาดใหญ่กว่ารูปแบบที่ต้องการจะแปลง และแม้ว่าจะเป็นภาพขนาดเล็กกว่าก็ใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างรวดเร็ว ไม่นานจนเกินควร

4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของน้ำตก

4.5.1 บอร์ดสำหรับการทำงานแบบไม่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

บอร์ดมีการเพิ่ม Pattern_SW , PLAY_SW , STOP_SW, PLAYALL_SW เพื่อใช้ในการควบคุมในการทำงานแบบไม่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

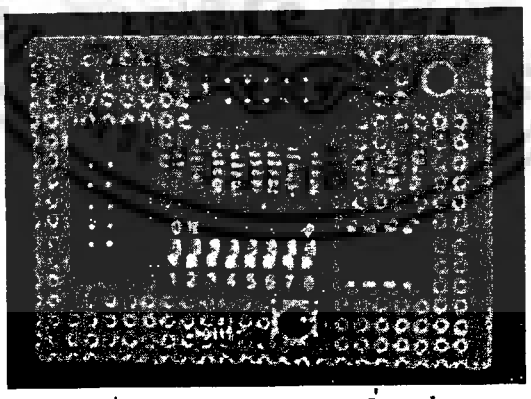
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.24 บอร์ดสำหรับการทำงานแบบไม่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

4.5.2 บอร์ดสำหรับระบุ ID และเพิ่มหน่วยความจำ

มีการระบุ ID ของแต่ละบอร์ดเพื่อใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์อีกทั้งหน่วยความจำภายใน ET-Base AVR ไม่เพียงพอสำหรับการจัดเก็บรูปแบบการแสดงผลทั้งหมดจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มหน่วยความจำเข้าไป และมี TEST_SW เพิ่มเข้ามาเพื่อทำการทดสอบน้ำตก ในส่วนของ ID สามารถระบุได้ 0-255 และมีหน่วยความจำในการเก็บรูปแบบ 8 รูปแบบ



รูป 4.25 บอร์ดสำหรับระบุ ID และเพิ่มหน่วยความจำ

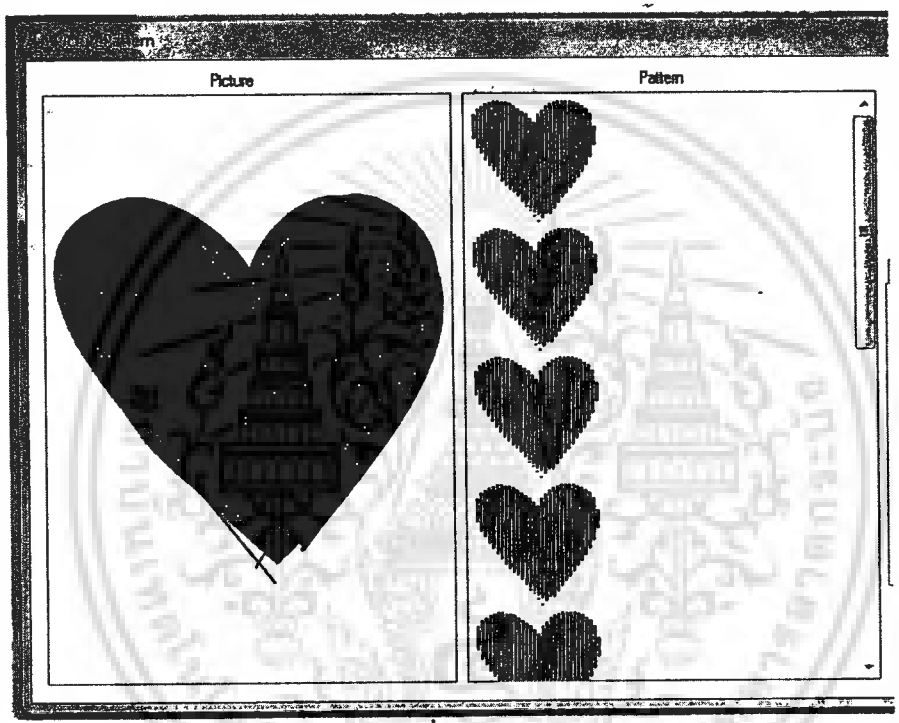
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การแปลงรูปภาพเป็นรูปแบบสำหรับแสดงผล

ตัวอย่างการแปลงรูปแบบจากภาพซึ่งมีความเหมาะสม สำหรับนำมาแปลงเป็นรูปแบบที่แสดงบนน้ำตก

4.6.1 ตัวอย่างภาพที่เหมาะสม

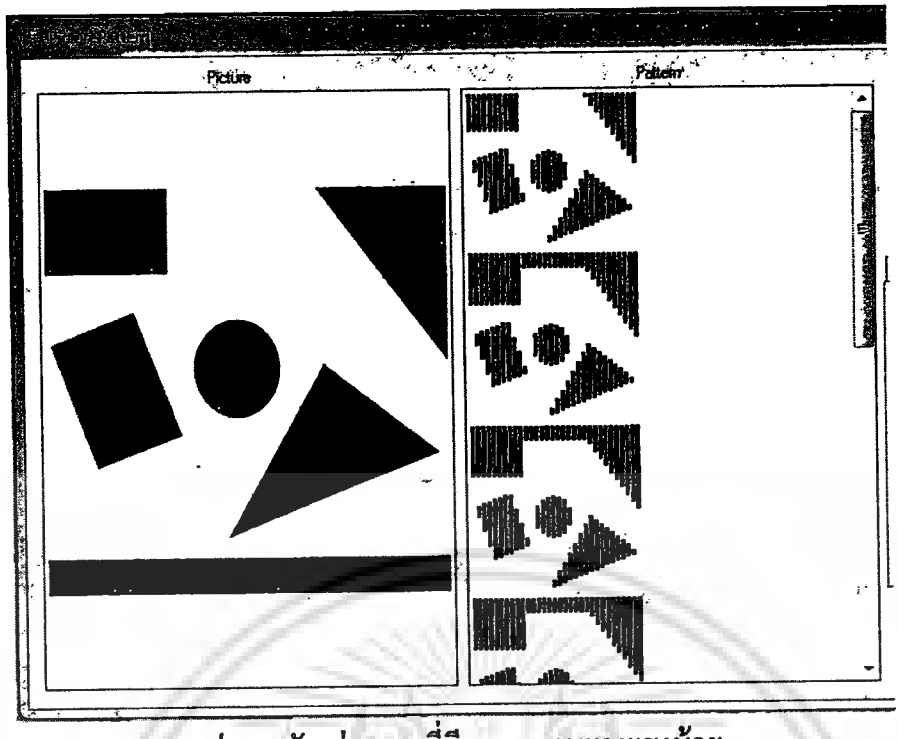
รูปหัวใจดังรูป 4.26 มีเส้นการรบกวนทางแสงน้อย มีรายละเอียดในภาพน้อย เมื่อนำมาแปลงเป็นรูปแบบแล้ว จะยังสามารถรักษารูปร่างของรูปหัวใจไว้ได้อย่างชัดเจน ทำให้เหมาะสมที่จะนำมาแสดงเป็นรูปแบบ



รูป 4.26 ตัวอย่างภาพที่มีการรบกวนทางแสงน้อย

รูป 4.27 มีความเหมาะสมเช่นกันสำหรับนำมาแปลงเป็นรูปแบบสำหรับแสดงบนน้ำตก เนื่องจากมีลักษณะภาพที่คล้ายกับรูป 4.26 รูปหัวใจ คือมีลักษณะเป็นรูปทึบ การรบกวนทางแสงน้อย สีของภาพเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.27 ตัวอย่างภาพที่มีการรบกวนทางแสงน้อย

4.6.2 ตัวอย่างการแปลงรูปแบบจากภาพที่ไม่เหมาะ สำหรับนำมาแปลงเป็นรูปแบบที่แสดงบนน้ำตก

ในภาพภูเขาและเพนกวิน ดังรูป 4.28 และรูป 4.29 มีรายละเอียดของภาพมาก เมื่อนำมาแปลงเป็นรูปแบบสำหรับแสดงบนน้ำตก ไม่สามารถแสดงรายละเอียดดังกล่าวได้ เนื่องจากการแสดงน้ำตกนั้นมีเพียงการปล่อยน้ำ และตัดน้ำ ดังเช่นมีเพียงสีขาว และดำ ไม่สามารถแสดงรูปแบบที่มีหลากหลายสีได้

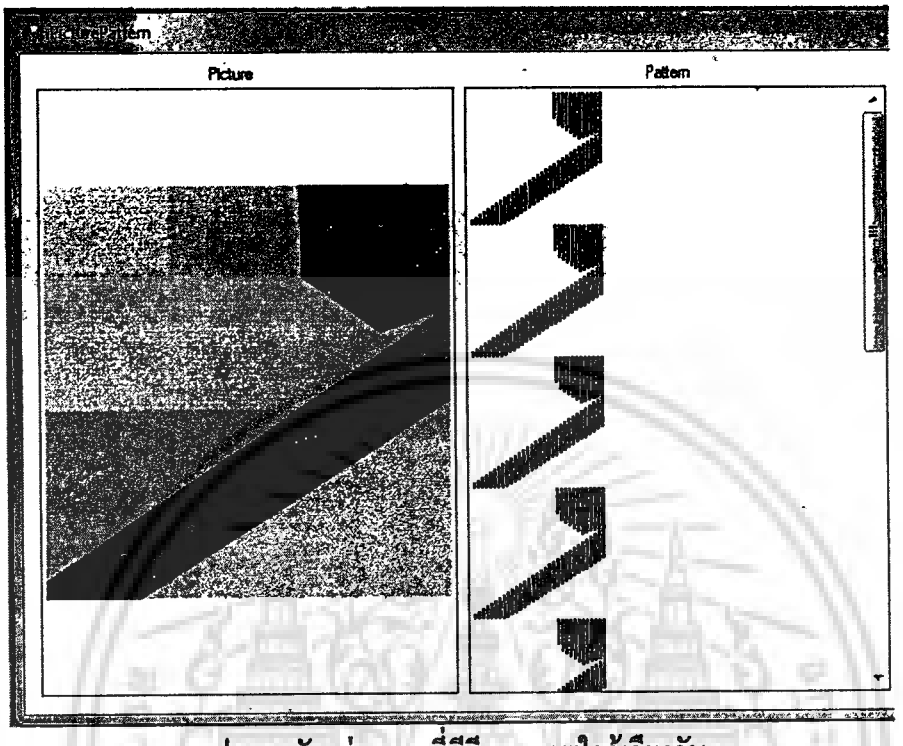
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.28 ตัวอย่างภาพที่มีรายละเอียดของภาพมากเกินไป

รูป 4.29 ตัวอย่างภาพที่มีรายละเอียดของภาพมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีของภาพที่มีความใกล้เคียงกัน อย่างเช่น รูป 4.30 จะเห็นว่าเป็นสีที่มีระดับเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน ทำให้รูปแบบมีสีดำเฉพาะส่วนของภาพที่มีสีเทาและสีน้ำตาลเท่านั้น



รูป 4.30 ตัวอย่างภาพที่มีสีของภาพใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทำงาน

5.1.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ในส่วนของส่วนติดต่อกับผู้ใช้ สามารถพัฒนาได้ตรงตามขอบเขตที่วางไว้ทั้งหมดดังนี้

1) สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตกได้ด้วย Serial communication (RS232) ได้ แต่การเชื่อมต่อจะถูกจำกัดด้วยระยะทางของสาย ซึ่งสามารถยาวได้ประมาณ 3 เมตร
2) ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมผ่าน GUI โดย GUI ที่ออกแบบเน้นความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานแก่ผู้ใช้
3) สามารถนำภาพหรือข้อความที่ต้องการมาแปลงให้แสดงค่าด้วยน้ำตกได้ โดยที่จำกัดความสูงของภาพสูงสุด 1,000 พิกเซล ซึ่งรูปภาพที่เหมาะสมต่อการนำมาแสดงผลนั้น ควรเป็นรูปภาพที่มีรายละเอียดของภาพน้อย มีลักษณะเป็นพื้นที่ทึบหรือขอบที่ชัดเจน มีการรบกวนทางแสงน้อย
4) สามารถบันทึกภาพที่ได้แปลงแล้วลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ในลักษณะไฟล์เฉพาะได้ ซึ่งไฟล์เฉพาะที่ได้จัดทำจะอยู่ในรูปแบบไฟล์นามสกุล .aws
5) สามารถเรียกใช้ภาพที่ได้บันทึกแล้ว เพื่อนำมาแสดงค่าบนน้ำตกได้
6) สามารถจำลองการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ แต่ในกรณีที่รูปแบบการแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ ยังไม่สามารถจำลองได้อย่างราบรื่นเท่าที่ควร
7) สามารถควบคุมอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตกได้ผ่านหน้าจอ GUI โดยที่สามารถสั่งคำสั่งแสดงผล (Play) , คำสั่งหยุดแสดงผล (Stop) ได้ ซึ่งผู้ใช้ยังสามารถเลือกรูปแบบการแสดงผลที่ต้องการ และกำหนดจำนวนรอบการแสดงผลได้อย่างอิสระ
8) สามารถบันทึกข้อมูลภาพแบบต่างๆ สำหรับแสดงบนน้ำตกลงบอร์ดได้ โดยสามารถบันทึกได้สูงสุด 16 บอร์ด ใช้เวลาในการบันทึกประมาณ 10 วินาทีต่อบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 โปรโตคอลที่ใช้สื่อสารระหว่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตก

ในส่วนของโปรโตคอลที่ใช้สื่อสารระหว่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตกสามารถพัฒนาได้ตรงตามขอบเขตที่วางไว้ทั้งหมดดังนี้หน้าตาของโปรแกรมทั้งหมด

1) การสื่อสารด้วยรูปแบบ Serial communication (RS232)
2) สื่อสารในลักษณะ Stop and wait ARQ
3) รองรับการต่อพ่วงกับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตกได้สูงสุด 255 จุด
4) รองรับการควบคุมรูปแบบของการแสดงผลได้สูงสุด 15 แบบ
5) รองรับรูปแบบของคำสั่งได้สูงสุด 16 คำสั่ง
6) รองรับขนาดของแพ็กเกตรวม header สูงสุด 1,275 bytes
7) มีการเพิ่มเติมในส่วนของ Header ให้สามารถรองรับการกำหนดจำนวนรอบของการแสดงผลได้

5.1.3 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตก

ในส่วนของอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของน้ำตกสามารถพัฒนาได้ตรงตามขอบเขตที่วางไว้ทั้งหมดดังนี้

1) สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ด้วย Serial communication (RS232)
2) สามารถทำงานได้โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม (On PC mode)
3) สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม (Stand-alone mode) โดยที่แต่ละบอร์ดสามารถทำงานได้อย่างอิสระ หรือเชื่อมต่อการทำงานกับบอร์ดอื่นได้ เช่น คำสั่งแสดงผล (Play), คำสั่งหยุดแสดงผล (Stop) มีการเพิ่มเติมคำสั่งแสดงรูปแบบการแสดงผลทั้งหมด (Play All)
4) สามารถจดจำรูปแบบการแสดงผลได้สูงสุด 8 รูปแบบ
5) สามารถแสดงผลแต่ละรูปแบบได้นานสูงสุด 40 วินาที
6) สามารถตัดน้ำด้วยความเร็วสูงสุด 25 ครั้งต่อวินาที โดยบอร์ดสำหรับจ่ายไฟให้กับโซลินอยด์วาล์ว (Interface board) ที่ออกแบบไว้นั้น สามารถรองรับได้ความเร็วในการตัดน้ำในระดับนี้ และสามารถเปิดใช้ได้อย่างต่อเนื่อง(ประมาณ 30 นาที)ได้อย่างไม่มีปัญหาใดๆ
7) สามารถควบคุมน้ำตกได้สูงสุด 16 วาล์ว ต่อควบคุมการทำงานของน้ำตก 1 จุด
8) ขนาดของวาล์วแต่ละตัวเท่ากับ 2 หุน มีการเว้นระยะระหว่างวาล์วแต่ละตัว 4 หุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากที่กล่าวไปข้างต้น ระบบแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำได้แบ่งการออกแบบและพัฒนาออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ซึ่งแต่ละส่วนมีปัญหาดังนี้

5.2.1 ปัญหาของส่วนติดต่อกับผู้ใช้

1) เนื่องจากออกแบบให้ระบบมีความสามารถที่ยืดหยุ่น และรองรับความต้องการของผู้ใช้ที่หลากหลาย ทำให้การพัฒนาโปรแกรมค่อนข้างยุ่งยากและมีความสลับซับซ้อน
2) ยังไม่มีผู้ที่พัฒนาระบบนี้ให้มีลักษณะที่ยืดหยุ่น และรองรับความต้องการของผู้ใช้ที่หลากหลาย ผู้พัฒนาจึงต้องศึกษา วิเคราะห์ และออกแบบระบบใหม่ทั้งหมด

5.2.2 ปัญหาของส่วนชุดควบคุม

1) ปัญหาจากสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า(Noise) เนื่องจากชุดควบคุมใช้กระแสไฟเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย ทำให้ผลการทำงานผิดพลาดในหลายๆ ครั้ง
2) สายสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมถูกรบกวนจากภายนอกได้ง่าย ทำให้บางครั้งข้อมูลที่สื่อสารระหว่างพอร์ตอนุกรมผิดพลาดไป แต่ใช้การทำงานของโปรแกรมเพื่อรองรับความผิดพลาดในส่วนนี้ได้เป็นบางส่วน
3) โครงการวิจัยนี้ต้องใช้อุปกรณ์เป็นจำนวนมาก จึงเกิดปัญหาเรื่องต้นทุนการพัฒนาและหาอุปกรณ์ที่ตรงตามความต้องการได้ยาก ส่งผลให้การทำงานล่าช้ากว่ากำหนด
4) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายลำบาก และมีน้ำหนักมาก

5.2.3 ปัญหาของโปรโตคอลที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้และชุดควบคุม

1) โปรโตคอลที่ได้ออกแบบมีความละเอียดของข้อมูลในระดับบิต ซึ่งในการส่งข้อมูล จะต้องนำข้อมูลมาทำการเข้ารหัสอักขระ ASCII ก่อนส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งจะติดปัญหาเรื่องการเข้ารหัสเพราะ ค่า ASCII ถึงแม้จะมีขนาด 8 บิต แต่การเข้ารหัสจะทำเพียง 7 บิต เท่านั้น จึงต้องเปลี่ยนเป็นการเข้ารหัสอักขระแบบ Default แทน
2) เนื่องจากข้อมูลที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรมไปนั้น มีบางค่าไม่อยู่ในตารางการเข้ารหัส ASCII ทำให้การตรวจสอบข้อมูลทำได้ยาก เนื่องจากไม่ทราบข้อมูลแท้จริงที่ส่งไป จำเป็นต้องใช้โปรแกรมอื่นเข้ามาดักจับค่าที่เข้า - ออกระหว่างพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

แนวทางในการนำระบบแสดงผลภาพและตัวอักษรผ่านทางสายน้ำ ไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ร่วมกับงานอื่นๆ นั้น มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากมากนักเนื่องจากระบบมีการออกแบบโครงสร้างที่แยกจากกันอย่างชัดเจน 3 ส่วน ซึ่งในแต่ละส่วนก็สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้อย่างอิสระ เพียงแค่ระบบยังคงต้องสื่อสารบนโปรโตคอลที่ออกแบบและพัฒนาไว้

5.3.1 การพัฒนาและประยุกต์ใช้ร่วมกับงานอื่นๆในส่วนของส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ระบบในตอนนี้ออกแบบให้รองรับการเชื่อมต่อกันของชุดควบคุมได้ทั้งหมด 16 ชุด สามารถควบคุมการแสดงผลได้ 8 รูปแบบ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อให้รองรับชุดควบคุมได้สูงสุด 255 บอร์ดและ ควบคุมการแสดงผลได้สูงสุด 15 รูปแบบ (ความสามารถในการระบุหมายเลขชุดควบคุมและรูปแบบสูงสุดของโปรโตคอล และความสามารถในการเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ) หรือสามารถนำไปปรับปรุงให้สามารถออกแบบการแสดงผลในลักษณะที่มีมิติมากขึ้น (Multilayer)

5.3.2 การพัฒนาและประยุกต์ใช้ร่วมกับงานอื่นๆในส่วนของชุดควบคุมการแสดงผล

ในส่วนของชุดควบคุมการแสดงผลจะถูกจำกัดความสามารถด้วยจำนวนพอร์ตสูงสุดที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรองรับได้ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ให้มีความสามารถในการรองรับการโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ หรือ การจัดเรียงวาล์วในรูปแบบที่ต่างกันออกไปก็สามารถเกิดรูปแบบการแสดงผลที่ต่างกันออกไปได้ ในการขยายความสามารถในการรองรับจำนวนรูปแบบการแสดงผล และระยะเวลาในการแสดงผลต่อรูปแบบ จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงหน่วยความจำอีอีพรอม (EEPROM) และการอ้างอิงหน่วยความจำในส่วนของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ประจิน พลังสันติกุล. 2549. **การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยภาษา C กับ WinAVR (C Compiler).** กรุงเทพฯ : บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด

ประจิน พลังสันติกุล. 2551. **การประยุกต์ใช้งานภาษา C สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เล่ม 2:** กรุงเทพฯ : บริษัทแอพซอฟต์เทค จำกัด

สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร.2552. **เริ่มต้น Visual C# 2008 ฉบับสมบูรณ์.** นนทบุรี : บริษัท ไอดีซี อินโฟ ดิสทรีบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด

Pevnick Design.1989.**History of the Invention of the Graphic Waterfall.**[Online] Available : http://www.pevnickdesign.com/history.html

Visual C# Developer Center.2010.**Introduction to the C# Programing Language.**[Online] Available : http://msdn.microsoft.com/en-us/vcsharp/default.aspx

Kasetsart University,Department of Computer Engineering.2010.**ทรานซิสเตอร์ (Transistors)** [Online] Available : http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode_transistor/-transistor.htm

Develop-station.2009.C#.[Online] Available : http://develop-station.blogspot.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้