วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

บานาน่าบอร์ด : บอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น

Banana board : A Basic Experimental Microcontroller Board

สิริชัย จันทร์นิ่ม และ นำโชค วัฒนานัย[1*]

[1]อาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

บทความนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น สำหรับใช้ในการเรียนการสอนไมโครคอนโทรลเลอร์และการโปรแกรม ผู้วิจัยได้ออกแบบบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้งบประมาณน้อย พกพาง่าย สะดวกในการใช้งาน สามารถเรียนรู้การเขียนโปรแกรมได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องกังวลกับการต่อฮาร์ดแวร์ บานาน่าบอร์ดรองรับความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในการฝึกเขียนโปรแกรมได้มากถึง 22 เรื่อง สามารถเรียนรู้การเขียนโปรแกรมตั้งแต่ระดับพื้นฐานจนถึงระดับการประยุกต์ใช้งานได้ สามารถเชื่อมต่อผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและสั่งงานผ่านระบบคอมพิวเตอร์ หรือเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดและสั่งงานควบคุมแต่ละบอร์ดได้อย่างอิสระ

Abstract

This paper aims to present a basic experimental microcontroller board for use in teaching the microcontroller and programming. Researchers have designed a microcontroller experiment board is cheap, easy to carry, easy to use. To enable the students to learn programming quickly, without having to worry about the hardware. Banana Board supports the basic knowledge necessary to practice the programming of up to 22 topics. It can learn programming from basic to applied work. The connection can be done through a personal computer or connect the board to communicate

คำสำคัญ : ไมโครคอนโทรลเลอร์ การเรียนด้วยการปฏิบัติ กระบวนการแก้ปัญหา เรียนรู้ด้วยการเล่นอย่างมีระบบ
Keywords : Microcontroller, Learning by doing, Problem-solving process, Learning through play

[*]*ผู้พิมพ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ numchokekmutnb@gmail.com โทร. 08 3137 8607*

1. บทนำ

เป้าหมายของการเรียนไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ความต้องการให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในหลักการทำงานและโครงสร้างพื้นฐาน ตลอดจนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรดิจิตอล ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น Timers, Converters เป็นต้น

การพัฒนาทางเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เป็นผลให้เกิดการพัฒนาวงจรรวม (Integrated circuit) จนกลายมาเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมหรือควบคุมระบบสื่อสาร เป็นต้น ผู้เรียนควรมีความสามารถในการเขียนคำสั่งเพื่อติดต่อและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภายนอกได้ เรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller system) ทั้งในด้านของสถาปัตยกรรม (Processor architecture) ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์หรือการโปรแกรม (Programming) การเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ดีและเกิดประโยชน์สูงสุด ผู้เรียนควรได้มีต้องลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง (Learn and practice) นั่นคือการได้ทำการทดลอง สังเกตผลที่ได้จากการเขียนโปรแกรมควบคุม ตามกิจกรรมและกระบวนการเรียนการสอนที่อาจารย์เป็นผู้กำหนดและออกแบบงานต่างๆที่มีความใกล้เคียงกับงานจริง

เมื่อได้ผ่านกระบวนการเรียนรู้แล้ว ผู้เรียนควรมีความสามารถที่จะนำความรู้และประสบการณ์ที่ได้ศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ สามารถเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เหมาะสมกับงานได้ถูกต้อง ทั้งในด้านการทำวิชาโครงงานหรือแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงาน แต่การสังเกตพฤติกรรมและสอบถามผู้เรียนในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าในชั้นเรียนที่ผู้วิจัยรับผิดชอบ พบว่าปัญหาของการเรียนการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน คือ ผู้เรียนมีปัญหาในด้านการทำความเข้าใจในหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ (Hardware) ผู้เรียนขาดทักษะด้านกระบวนการคิดแก้ไขปัญหา (Problem-solving process) นอกจากนั้นยังพบว่า ปัญหาของการเรียนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์ เกิดจากการขาดแคลนชุดประลองที่มีไม่เพียงพอต่อการเรียนรู้ บางชุดมีราคาที่สูงเกินกว่าที่ผู้เรียนจะหามาได้เพื่อใช้เรียนรู้ด้วยตนเอง บางชุดมีฟังก์ชั่นการเรียนรู้ที่ไม่ครอบคลุมเนื้อหาของบทเรียน ทำให้ต้องซื้ออุปกรณ์เสริมเพิ่มเติม ผู้เรียนต้องสร้างฮาร์ดแวร์หรือประกอบวงจรขึ้นบางส่วนเพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมแสดงผลตามหัวข้อการเรียนรู้ที่กำหนดในเวลาที่จำกัด แต่มีหัวข้อในการเรียนรู้และฝึกใช้งานควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มาก ทำให้ผู้เรียนติดตามเนื้อหาและทดลองในบางเรื่องไม่ทัน จึงเกิดการท้อแท้และเบื่อหน่ายในการเรียนรู้และฝึกประสบการณ์

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับการจัดการเรียนการสอนไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุมาลี Ming-Puu และ A.H.G. Al-Dhaher เช่นเดียวกัน นั่นคือ ปัญหาในด้านสิ่งแวดล้อมของการปฏิบัติ เช่น ความไม่พร้อมของเครื่องมือ เป็นต้น นอกจากนั้นผู้สอนบางคนไม่เชี่ยวชาญในด้านเนื้อหาสาระ ผู้เรียนขาดโอกาสในการฝึกประสบการณ์ที่ใกล้เคียงกับงานจริง ขาดสื่อที่มีคุณภาพในการช่วยเสริมสร้างทักษะกระบวนการแก้ปัญหา ผู้เรียนไม่สามารถลำดับความคิดรวบยอดได้อย่างชัดเจน ผู้เรียนมีปัญหาในด้านกระบวนการแก้ปัญหา (Problem-solving process) ขาดการลงมือปฏิบัติ (Hand-on activities) จึงไม่มีประสบการณ์ (No experience) นอกจากนั้นยังเกิดจากราคาจำหน่ายที่สูงเกิดที่ผู้เรียนจะมีไว้ใช้ทดลองส่วนตัว พัฒนาการของเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นและความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ เป็นต้น

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ บอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีฟังก์ชั่นพื้นฐานเพียงพอต่อการเรียนรู้และฝึกประสบการณ์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เป็นการแก้ปัญหาความไม่เพียงพอของปริมาณชุดทดลอง ลดปัญหาด้านราคาซึ่งต้องใช้งบประมาณลงทุนสูงเพื่อจัดสรรให้เพียงพอกับการใช้ทดลองของทุกคน มีความครบถ้วนสมบูรณ์ของหัวข้อที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีความหลากหลายในบอร์ดเพียงชุดเดียว ส่วนผลการทดลองใช้และรูปแบบของการเรียนรู้นี้จะได้นำเสนอในฉบับต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 แนวคิด

เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นวิชาที่ผู้เรียนจะต้องมีทักษะกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบกิจกรรมในชั้นเรียนทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมที่ผู้สอนควรจัดให้นักศึกษานั้น ควรที่จะเน้นให้ผู้เรียนได้มีการลงมือทำด้วยตนเอง (Active) เรียนรู้ร่วมกัน (Collaborative) ทำงานต่างๆร่วมกันเป็นทีม (Team-based learning environment) โดยผู้สอนได้กำหนดกิจกรรมหรือบทเรียนในลักษณะของปัญหาต่างๆ (Problem-based lesson) ที่ตรงกับลักษณะของงานจริง (Real world) ให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติเพื่อให้เกิดประสบการณ์ (Though hand-on experiences)

การพัฒนาชุดฝึกไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบโครงสร้างของบอร์ดที่เน้นประโยชน์สูงสุดให้เกิดกับผู้เรียน จัดอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นต่อการศึกษาและทดลอง เรียนรู้ด้วยการเล่นอย่างมีระบบ (Learning through play) ตามแนวคิดของนักจิตวิทยาการศึกษาที่มีชื่อเสียงระดับโลก คือ Seymour Papert ซึ่งเป็นผู้ที่นำเสนอทฤษฎีการเรียนรู้ด้วยการให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism/Constructionism) โดยในประเทศไทยนั้น แพเพิร์ทได้เข้าเยี่ยมชมโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัยและได้นำเสนอทฤษฎีนี้ให้กับโรงเรียน เพราะเห็นว่าเด็กทุกคนมีความสามารถในการเรียนรู้ได้ดีจากการที่พวกเขาได้สร้างสรรค์เอง ซึ่งการเล่น (Play) ก็คือกระบวนการศึกษาที่เด็กเป็นศูนย์กลางอย่างแท้จริง

ตัวอย่างของงานวิจัย ที่มีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกัน คือ ต้องการให้ผู้เรียนวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และวิทยาการคอมฯ ได้เรียนรู้การเขียนโปรแกรม การเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ มีความเข้าใจในโครงสร้างของฮาร์ดแวร์สามารถควบคุมด้วยซอฟต์แวร์ ตลอดจนงานอิเล็กทรอนิกส์และการโปรแกรม โดยใช้เป็นสื่อในการสร้างกิจกรรมเพื่อให้ผู้เรียนมีประสบการณ์จากการได้ลงมือทำ (Experience with implementing hand-on) ซึ่งสิ่งสำคัญที่สุดในการออกแบบบอร์ดในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ความต้องการให้เป็นบอร์ดที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด พกพาได้สะดวก ใช้งานง่าย มีหลายฟังก์ชั่นให้ได้เรียนรู้ แต่มีราคาต่ำกว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขายในเชิงพาณิชย์ทั่วไป

2.2 กำหนดหัวข้อการเรียนรู้

หัวข้อการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหลักสูตรสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ฉบับปรับปรุงปี พ.ศ.2555 และงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดหัวข้อที่ใช้สำหรับสร้างฟังก์ชันการเรียนรู้ที่เพียงพอและสอดคล้องกับหลักสูตร โดยคำอธิบายรายวิชาดังนี้

ตารางที่ 1 คำอธิบายรายวิชา

020213017 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) สถาปัตยกรรมของไมโครคอมพิวเตอร์ สถาปัตยกรรมของไมโครโปรเซสเซอร์ สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ หน่วยความจำ หน่วยอินพุต/เอาต์พุต พื้นฐานไดอะแกรม ชุดคำสั่ง การเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี การเขียนโปรแกรมภาษาซี การพัฒนาโปรแกรมการอินเตอร์รัพ ตัวนับ ตัวจับเวลา ห้วงเวลาการทำงานและสัญญาณควบคุมต่างๆ การเชื่อมโยงอุปกรณ์ภายนอกผ่านหน่วยส่งและรับข้อมูลพื้นฐาน การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัลและการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะลอก
020213504 การประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Applications) โมดูลฮาร์ดแวร์และการเชื่อมต่อ การแสดงผลแบบแอลอีดี การแสดงผลแบบเจ็ดส่วน แอลซีดี หรืออื่นๆ สวิตช์แบบเมตริกซ์ การสื่อสารข้อมูลเบื้องต้นและมาตรฐานการส่งข้อมูลแบบต่างๆ I^2C หรือ SPI หน่วยความจำภายนอก นาฬิกาเวลาจริง การสร้างสัญญาณพัลส์วิดธ์มอดูเลชัน การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ การนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้วิจัย	หัวข้อ	เครื่องมือ
Alfredo del Rio	Pushbuttons, Switches (either manually-operated or node-controlled), Light-Emitting Diodes (LEDs), 7 segment displays, LCD screens (either serial or standard types as Trident MDLS 16265)	Simulation tool
Bonifacio	8 LEDs, 8 switches, two seven-segment displays, hexadecimal keyboard	Software tool
Istvan	4x4 matrix keyboard, LCD module, 8 LED diodes, RS232 interface, I^2C bus, serial EEPROM, analog input, PWM output, Analog output, PIC port expansion, LCD connector, LDR-key connector	PIC16F877 Trainer board with 16F877 microcontroller
Jianjian Song	Push-button switches, LEDs, Potentiometers, a 4x4 keypad, an LCD, an RS232 transceiver, an I^2C thermometer, various resistors and pin connectors ect.	Made up (new)

ดังจะเห็นได้จากคำอธิบายรายวิชาในหลักสูตรและตัวอย่างของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าหัวข้อการเรียนรู้นั้นค่อนข้างมาก บางหัวข้อผู้เรียนต้องต่อวงจรและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อทดลองเอง ทำให้ต้องใช้เวลาและความรอบครอบในการต่อวงจรอย่างมาก จากแนวคิดดังได้กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบหัวข้อการทดลอง มีฟังก์ชันการเรียนรู้ที่ครอบคลุมและสอดคล้องกับหลักสูตร สำหรับใช้เป็นพื้นฐานของการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วย 22 เรื่อง ดังตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อได้หัวข้อแล้วจึงนำไปออกแบบวงจรต่อไป

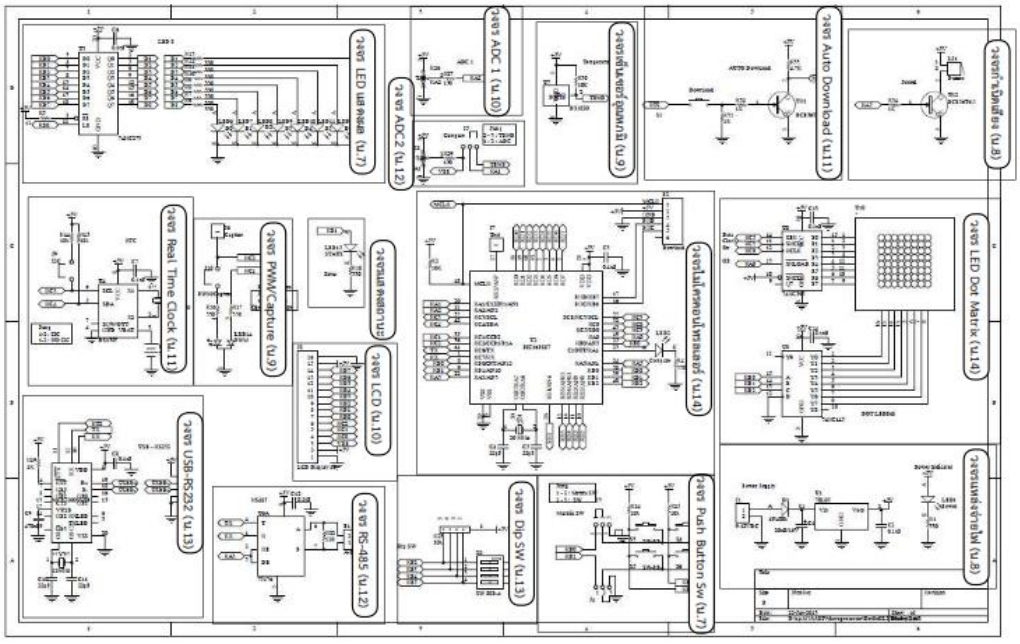
ตารางที่ 3 หัวข้อเรื่องที่ใช้ในการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น

ลำดับ	เรื่อง	ลักษณะงาน
1	LED Status (เพียงดวงเดียว)	ควบคุมพอร์ตเป็นบิตได้
2	LED 8 ดวง (O/P)	ควบคุมพอร์ตเป็นไบต์ได้
3	USB-RS232	ใช้การควบคุมเป็น USB เป็น RS232
4	LED dot matrix (SPI)	ใช้ SPI กับ TPIC 6B595 (serial to parallel) and multiplex
5	Sound (1bit)	การกำเนิดเสียง
6	RS232 Input/Output	รับส่งข้อมูลเป็นการอ่านและส่งค่าย่านทางพอร์ตอนุกรม
7	RTC (I^2C)	ใช้ I^2C อ่านและเขียนเวลาจริง
8	Dip switch	ใช้ Dip Sw เพื่ออ่านค่าตำแหน่งในกรณีเป็น Network
9	Push button switch (I/P)	การอ่านค่าสวิตช์
10	External interrupt	อินเตอร์รัพต์ภายนอก
10	Level Change on Port B	อินเตอร์รัพต์จากการเปลี่ยนแปลงค่าที่พอร์ต B
12	Matrix Switch	การ scan switch
13	EEPROM	เก็บและอ่านค่าจากหน่วยความจำถาวร
14	PWM	ควบคุมการสร้างสัญญาณแบบ PWM
15	ADC	อ่านค่าอานาลอกเพื่อเปลี่ยนเป็นดิจิตอล
16	Timer 0	ใช้ Timer ช่อง 0
17	WDT (Watch Dog Timer)	ใช้งาน Watch dog timer
18	RS485	สื่อสารแบบเครือข่าย
19	Capture	รับสัญญาณจากภายนอกมาประมวลผล
20	Comparator	เปรียบเทียบสัญญาณ 2 สัญญาณ
21	LCD	แสดงผลตัวอักษรที่ LCD
22	Temp Sensor (On eWire)	ตรวจสอบจับอุณหภูมิโดยใช้การสื่อสารเพียง 1 เส้น

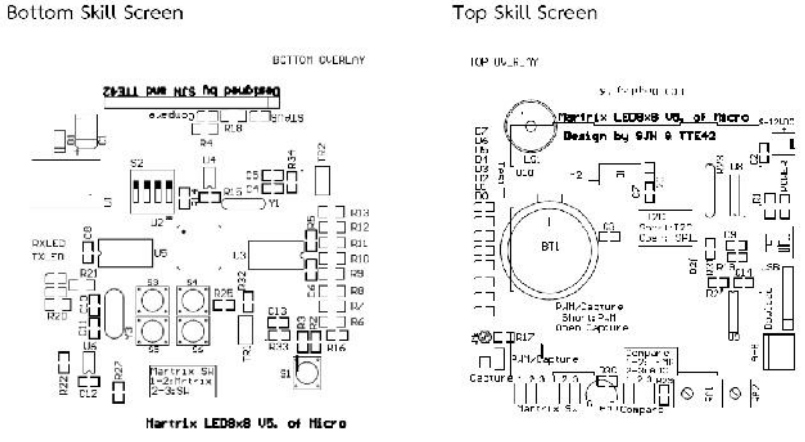
2.3 การออกแบบวงจร

บอร์ดนี้ให้ชื่อว่า “บานาน่าบอร์ด เวอร์ชั่นที่ 1” (Banana board V1.0) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ชนิด Middle Range 8 Bit ขนาด 44 Pin แบบ SMD เบอร์ PIC16F887 เป็นหน่วยประมวลผลกลางประจำบอร์ด ใช้พลังงานได้หลายทางคือ Adapter 12 V, Battery 9 V และ USB จากคอมพิวเตอร์โดยตรง ตัวบอร์ดสามารถใช้ไฟขนาด +5 VDC ภายในบอร์ดมีวงจรเรกูเรต (Regulate) ขนาด 5V/1.5A

ดังที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้นเกี่ยวกับขนาดของชุดทดลองที่ต้องการให้มีขนาดเล็ก เพื่อความสะดวกในการเก็บหรือพกพาไปใช้ทดลองได้ง่าย โดยที่ยังคงมีฟังก์ชันการทดลองที่ครบถ้วนตามหลักสูตร ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบวงจรการทดลองดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นโมดูลที่เป็นพื้นฐานการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ 22 เรื่อง สามารถจัดวงจรให้มีขนาดเล็กแต่มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ในเรื่องต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2



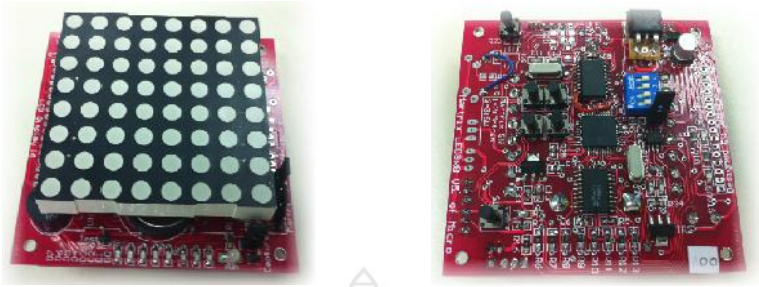
รูปที่ 1 โมดูลทั้งหมดบนบานาน่าบอร์ด



รูปที่ 2 โครงร่าง (Layout) ของบานาน่าบอร์ด เวอร์ชั่น 1

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

บานาน่าบอร์ดมีโมดูลการเรียนรู้ทั้ง 22 โมดูลการเรียนรู้ ได้จัดวางอุปกรณ์ต่างๆเพื่อให้ผู้ใช้สามารถดูผลการโปรแกรมได้ง่ายด้วยภาคแสดงผลต่าง ดังรูปที่ 3 (ก) แสดงส่วนของภาคแสดงผลด้วย LED แบบ Dot Matrix และรูปที่ 3 (ข) แสดงการจัดวางอุปกรณ์ด้านหลังบอร์ด



(ก) (ข)

รูปที่ 3 การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆบนบานาน่าบอร์ด

4. สรุป

บอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นนี้ สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อฝึกเขียนโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F887 บอร์ดทดลองนี้มีขนาดประมาณ 3x3 นิ้ว ราคาอุปกรณ์ที่สร้างทั้งสิ้นประมาณ 1,000 บาท สร้างทั้งหมด 30 บอร์ด มีฟังก์ชันการเรียนรู้ที่ครอบคลุมคำอธิบายรายวิชาได้ 22 การทดลอง สามารถต่อขยายสำหรับทดลองเพิ่มขึ้นได้อีก 4 การทดลอง

ผู้วิจัยมุ่งหวังให้ผู้เรียนได้ทำเข้าใจในหลักการทำงานของอุปกรณ์ได้อย่างลึกซึ้ง มีทักษะกระบวนการคิดอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยไม่ต้องเสียเวลาในการต่อประกอบวงจรเพื่อการทดลอง ผู้วิจัยต้องการให้ผู้เรียนได้มีทักษะและประสบการณ์เกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงาน ทำการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างแม่นยำในเบื้องต้นเสียก่อน ซึ่งเมื่อมีผู้เรียนมีความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบต่างๆที่สัมพันธ์กันดีแล้ว ผู้เรียนจะสามารถนำทักษะและประสบการณ์ที่ได้จากบอร์ดนี้ไปทำการออกแบบและประยุกต์ต่อยอดต่อไปได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.ประดิษฐ์ เหมือนคิด ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล ที่ให้แนวคิดสำหรับออกแบบและสร้างสื่อ เพื่อฝึกฝนทักษะกระบวนการคิดของนักศึกษาที่ไม่มีพื้นฐานในด้านการโปรแกรม เรียนรู้จากจุดเริ่มต้นอย่างง่าย ให้ได้เข้าใจและมีกำลังใจในการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์และการเขียนโปรแกรมควบคุม และขอบใจนักศึกษาชั้นปีที่หนึ่ง ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ได้สละเวลาร่วมกันประกอบอุปกรณ์และต่อวงจร

6. เอกสารอ้างอิง

สุมาลี จันทร์ชลอ และ สุชิน ชินสีห์, **การพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพชุดการสอนทดลองการับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกของ PIC ไมโครคอนโทรเลอร์**.วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 31 ฉบับที่ 1, น. 141-155, พ.ศ.2551.

Ming-Puu Chen, Chiung-Hui Chiu, and Cheng-Chih Wu, **Instructional Simulations for Teaching High School Computer Science Concepts: A Technology Acceptance Perspective**.in IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning, 2010, pp. 216-218.

A.H.G. Al-Dhaher, **Integrating hardware and software for the development of microcontroller-based systems.** Micorpeocessors and Microsystems, Elsevier Science, vol. 25, pp. 317-328, 2001.

Denise Martinez and Kathy Horak Smith.**An Engineering and Education Interdisciplinary Learning Experience.** in 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Boulder, Co., 2003 November 5-8, pp. 31-34.

ชัยอนันต์ สมุทวณิช.**เพลิน**. กรุงเทพฯ: บ.เอดิสัน เพรส โพรดักส์ จำกัด, พ.ศ.2541.

Kathleen A. Kramer and Michael Anderson.**A PIC18 Robot-Centered Microcontroller Systems Laboratory.** in 41st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Rapid City, SD, October 12-15, 2011.

José L. Cruz-Rivera.**Incorporating Multicomputer Hardware-Software Design Concepts into the Undergraduate Curriculum through Physical Implementation**. IEEE Frontiers in Education Conference, pp. 1146-1148, 1997.

Yusman Yusof, M. F. Abu Hassan, and Nur Zulaikhah Nadzri.**Hands-on Undergraduate Real-Time Systems and Hardware-Software Development.** in IEEE Conference on Digital Object Identifier, 2012 pp. 1-6.

Frank J. Mercede. **Hand-on Projects to Introduce Electrical and Computer Engineering**. in 38th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Saratoga Springs, NY, 2008.

John Sarik and Ioannis Kymissis.**Lab Kits Using the Arduino Prototyping Platform**. in 40th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Washington, DC, 2010.

Michael Opuszynski, Hemant Belani, Ryan Andrews, Joshua Potvin, and Ying Sun.**Experiential Learning in an Undergraduate Biomeasurement Course: Embedded Instrumentation**. in 35th IEEE Bioengineering Conference, 2009, pp. 1-2.

Alfredo del Rio and J. J. R. Andina.**UVI51: A SIMULATION TOOL FOR TEACHINGLEARNING THE 8051 MICROCONTROLLER.** in 30th MEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Kansas City, MO, 2000, October 18 - 21.

Bonifacio Martin-del-Brio and Carlos Bernal-Ruiz.**Visual 11: A Software Tool for Learning Microcontroller Fundamentals**.IEEE, 1998.

Istvan Matijevics.**Education of Mobile Robot Architecture**. IEEE, 2006.

Jianjian Song, Xiaoyan Mu, Huihui Xu, and Mark Yoder.**Learning and Practicing Fundamentals of Electrical and Computer Engineering through Building and Programming a Microcontroller with Multiple Peripherals.** in 40th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Washington, DC, 2010, October 27 - 30.