แผงสวิทช์เพื่อทดสอบในโหมด พารามตริก ของแฟลชเมมโมรี

Parametric test mode Switch-Box for Flash Memory.

โดย

นายโอภาส เสือมั่น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

แผงสวิทช์เพื่อทดสอบในโหมด พารามเตริก ของแฟลชเมมโมรี

Parametric test mode switch-box for flash memory.

โดย

นายโอภาส เสือมั่น 45010996

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ชินภัทร นันทจิวากรชัย

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แผงสวิทช์เพื่อทดสอบในโหมด พาราเมตริก ในห้องปฏิบัติการ ดีไวซ์ แอนนาไลซีส

ผู้จัดทำ

นายโอภาส เสือมั่น

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ชินภัทร นันทจิวากรชัย)

แผงสวิทช์เพื่อทดสอบในโหมดของแฟลชเมมโมรี

นาย โอภาส เสือมั่น รหัส 45010996
อาจารย์ ชินภัทร นันทจิวากรชัย
ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอ แผงสวิทช์ที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเพิ่มความสามารถของ เบนช์เทส(Bench Test) ในการทดสอบชิ้นงาน ที่ใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการ Device Analysis ของ บริษัท สแปนชั่น(ประเทศไทย) จำกัด แผงสวิทช์นี้ประกอบด้วยสวิทช์ 3 ทาง จำนวนตั้งแต่ 48 สวิทช์ขึ้นไปปัจจุบัน แผงสวิทช์เหล่านี้ใช้เลือกสัญญาณที่จะไบแอสให้แก่ขาต่างๆของชิ้นงานที่เราต้องการทดสอบ ด้วยระบบแมนนวล ในทางทฤษฎีจะต้องสับสวิทช์เหล่านี้พร้อมกันแต่ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะสับสวิทช์ได้อย่างถูกต้องและไม่สามารถสับสวิทช์ทั้งหมดในเวลาเดียวกันได้ เพื่อที่จะแก้ปัญหาเหล่านี้และเพิ่มความสามารถ รวมถึงป้องกันการสับสวิทช์ที่ผิดพลาดจึงได้มีการศึกษาและพัฒนาแผงสวิทช์ที่ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่ใช้รับคำสั่งต่างๆ โดยส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม มาตรฐาน อาร์เอส 232 ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อควบคุมสวิทช์ตามคำสั่งที่ได้รับ

Parametric test mode switch-box for flash memory.

Mr.Opart Sauemun ID.45010996

Mr.Chinnaphat Nuntajivakhonchai Advisor.

Educational Year 2005

Abstract

This project proposes switch-box controlled by Microcontroller to increate capability of the Bench Test for testing device in Device Analysis (DA) Laboratory of SPANSION (Thailand) Limited. The switch-box comprises of three-way switch more and equal to 48 switches. Nowadays, these switches are used for selecting signal(s) to bias the device by manual adjustment. Ideally, they must be adjusted at the same time. However, in practical adjusting the switches to apply the signal(s) to the device by manual adjustment is quite difficult and cannot do at the same time. For solving this problem, improving capability, and preventing error, this switch-box has been studied and developed. It has been controlled by Personal Computer (PC) using Visual Basic program as developing program for User Interface (UI) and data transmission through the RS-232 serial port. Microcontroller of the switch-box will process all transmitted data and control all switches to apply the signal(s) to the device according to the processed data.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานชิ้นนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากบริษัท สแปนชัน(ประเทศไทย) จำกัด ได้ให้โอกาสให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมในการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆภายใต้การดูแลของอาจารย์ชินภัทร นันทจิวากรชัย และ ดร.ปรอง กองทรัพย์โต และมีพี่ๆและเพื่อนๆ ที่ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆทำให้โครงงานชิ้นนี้สำเร็จลงได้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณในบุคคลเหล่านี้อย่างสุดซึ้งที่ช่วยเอื้อเฟื้อให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานชิ้นนี้ ช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงงานนี้ ข้าพเจ้าขอสดุดีในความเอื้อเฟื้อและความมีน้ำใจของทุกๆท่าน

โอภาส เสือมั่น

สารบัญ

สารบัญ(ต่อ)

สารบัญรูป

สารบัญรูป(ต่อ)

หมายเลขรูป หน้า

สารบัญรูป(ต่อ)

หมายเลขรูป หน้า

สารบัญรูป(ต่อ)

หมายเลขรูป หน้า

สารบัญตาราง

หมายเลขตาราง หน้า

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเนื่องจาก บ.สแปนชัน ประเทศไทย จำกัด ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบการทดสอบชิ้นงานที่ทางบริษัทผลิตขึ้น เพื่อให้สามารถทดสอบชิ้นงานได้รวดเร็วขึ้น รวมทั้งมีความเที่ยงตรงในการทดสอบและป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากผู้ปฏิบัติงานในการป้อนสัญญาณไฟฟ้าให้แก่ตัวชิ้นงาน อีกทั้งเป็นการสนับสนุนนักศึกษาให้ฝึกการออกแบบและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ ให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นสิ่งที่กำลังขาดแคลนในระบบอุตสาหกรรมของไทย เพราะสิ่งประดิษฐ์ที่นักศึกษาของไทยประดิษฐ์คิดค้นขึ้นส่วนใหญ่จะไม่ได้รับการพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้ ในอุตสาหกรรมตามที่ได้ออกแบบมา

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาแผงสวิทช์ที่ควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรเลอร์ เพื่อใช้ร่วมกับเครื่องเบนช์เทส ในการทดสอบชิ้นงานแบบพาราเมตริก ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ Device Analysis ของบริษัท สแปนชัน ประเทศไทยจำกัด

1.3 เป้าหมายของโครงงาน

สร้างต้นแบบแผงสวิทช์ที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ สั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์

1.4 ขั้นตอนการดำเนิดงาน

1.4.1 ศึกษาและทำความเข้าใจลำดับการทำสอบทางไฟฟ้าและหลักการทำงานของเครื่องเบนช์เทส

1.4.2 ศึกษาและทำความเข้าใจหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมทั้งออกแบบแผง สวิทช์ที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.4.3 ศึกษาและทำความเข้าใจหลักการใช้โปรแกรม Visual Basic เพื่อพัฒนาโปรแกรมในการติดต่อระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับไมโครคอนโทรลเลอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

เมื่อโครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์คาดว่าจะช่วยลดเวลาในการเซตระบบและลดความผิดพลาดโดยผู้ปฏิบัติงาน

1.6 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า(Electrical Test)

การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าคือการตรวจสอบและคัดแยกอุปกรณ์ที่เสียคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical failures) ออกจากอุปกรณ์อื่นๆ อุปกรณ์ที่เสียคือการที่อุปกรณ์ตัวนั้นแสดงคุณสมบัติไม่

เป็นไปตามที่กำหนด หรือกล่าวได้ว่า การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นการกระตุ้นอุปกรณ์ด้วย Device Under Test (DUT) แล้ววัดการตอบสนองออกมาโดยอยู่ในช่วงที่กำหนด

ในระบบการผลิต ระบบทดสอบจะประกอบด้วย เครื่องเทส(Tester) กับ เครื่องลำเลียง (Handler) โดยเครื่องลำเลียงจะทำหน้าที่ส่งยูนิตมาที่บริเวณทดสอบ(Test Side) และจะตำแหน่งของยูนิตให้เหมาะสมกับการทดสอบ เมื่อเครื่องทดสอบทำการทดสอบยูนิตเรียบร้อยแล้วจะทำการบอกให้เครื่องลำเลียงทำการแยกยูนิตที่ดีกับที่เสียออกจากกัน

รูปที่ 1.1 เครื่อง Tester (ซ้าย)และ Handler (ขวา)

ในกระบวนการทดสอบจะมีโปรแกรมสำหรับทดสอบ โดยเฉพาะซึ่งเขียนจากภาษาชั้นสูง เช่น C++ หรือPascal ซึ่งประกอบด้วย Test blocks หลายๆชุด ในระบบการทดสอบจะมี 2 ส่วนคือ Production และ Quality assurance(QA) ในส่วนของ Production จะมีการทดสอบที่มีข้อจำกัดมากว่าการทดสอบแบบ QA โดยแบบ QA จะทดสอบให้อุปกรณ์มีคุณสมบัติตามดาต้าชีท(Data Sheet) ช่วงของค่าเอาท์พุทที่ยอมรับได้เรียกว่า guardbands โดยจะต้องมีค่าที่ยอมรับผลที่เกิดจากการกระเพื่อมของสัญญาณหรือสัญญาณรบกวนได้บ้าง แต่ก็ต้องไม่กว้างจนเกินไป ถ้าความกว้างของ Guardbands ที่เหมาะสมตัวยูนิตที่ผ่านการทดสอบแบบ Production ก็มีความเป็นไปได้สูงที่จะผ่านในการทดสอบแบบ QA ด้วย โดยไม่ต้องกังวลเมื่อนำไปใช้งานปกติ

การทดสอบทางไฟฟ้าสามารถแบ่งตามลักษณะการทดสอบได้ 2 แบบคือ

- การทดสอบตามฟังก์ชัน(Function Test) จะเป็นการทดสอบว่าอุปกรณ์นั้นสามารถทำงานตามฟังก์ชันการทำงานของเครื่องนั้นหรือไม่

- การทดสอบแบบพาราเมตริก(Parametric Test) เป็นการทดสอบอุปกรณ์นั้นสามารถแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆเช่น แรงดัน ,กระแส หรือ กำลังงานไฟฟ้า ได้ถูกต้องหรือไม่ การทดสอบแบบพาราเมตริกจะทำการโดยการป้อนแรงดันคงที่ ที่โหนดใดโหนดหนึ่งแล้ววัดผลตอบสนองทาง

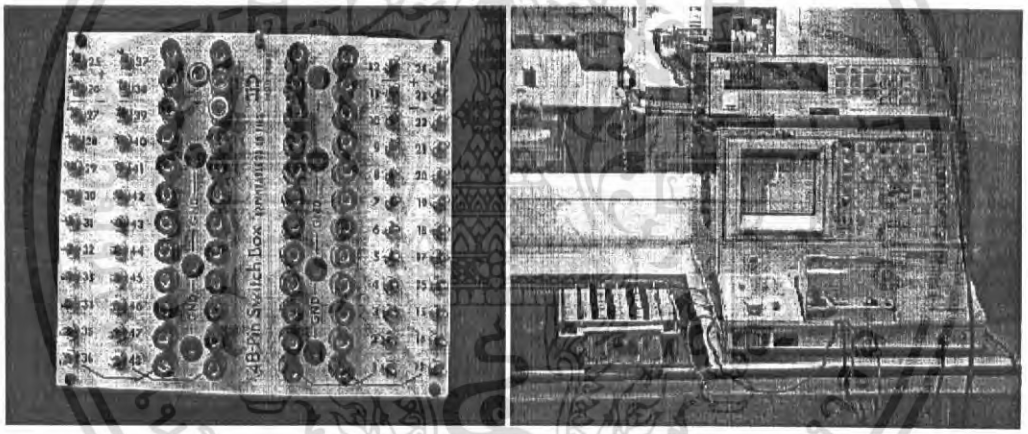
กระแส (Force-Voltage-Measure-Current : FVMC) หรือป้อนกระแสคงที่ที่โหนดใดโหนดหนึ่ง แล้ววัดผลการตอบสนองของแรงดัน (Forct-Current-Measure-Voltage)

การทดสอบทางไฟฟ้ามักจะทดสอบที่อุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส และจะทดสอบที่อุณหภูมิต่ำๆ ค่าหนึ่งและที่อุณหภูมิสูงๆ อีกค่าหนึ่งซึ่งต่างกันตามการใช้งานดังนี้

- Commercial Grade 0 และ 75 องศาเซลเซียส
- Extended Grade - 40 และ 85 องศาเซลเซียส
- Military Grade - 40 และ 100,125 องศาเซลเซียส

1.7 เครื่องเคิฟ เทรเซอร์(curve tracer 370A)

1.7.1 ลักษณะทางกายภาพของเครื่องเคิฟ เทรเซอร์(Curve Tracer)



รูปที่ 1.2 ลักษณะภายนอกของ Curve Tracer model 370Aและแผงสวิตช์ที่ใช้ในการเลือกสัญญาณให้แก่ชิ้นงาน

1.6.2 หลักการทำงาน

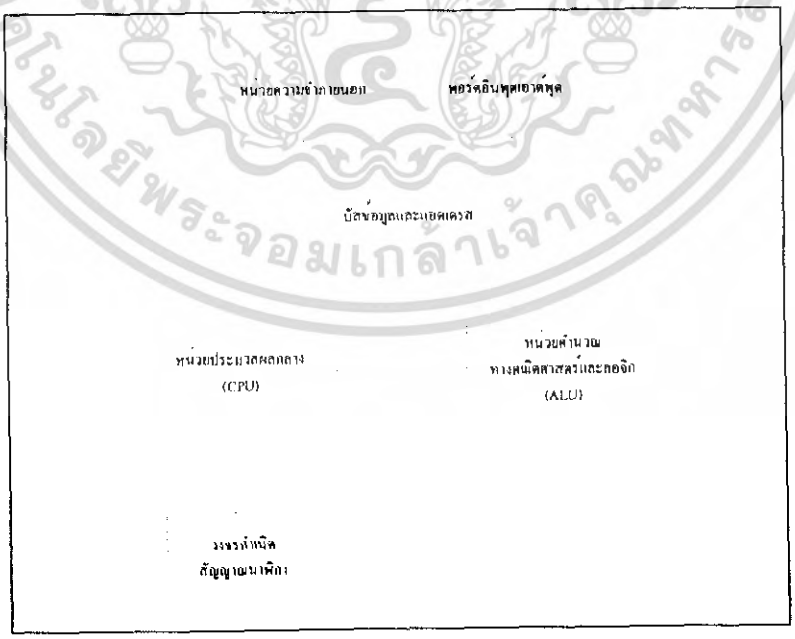
เครื่องเคิฟ เทรซเซอร์ เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดสอบชิปแบบพาราเมตริก โดยการป้อนสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชิปจะแบ่งเป็นแรงดันไฟบวก, ไฟลบและสถานะปล่อยลอยซึ่งในสถานะปล่อยลอยนี้สามารถจ่ายแรงดันค่าต่างให้กับชิป แล้วทำการวัดเอาท์พุตที่เกิดขึ้น ในการเลือกว่าจะจ่ายสัญญาณชนิดใดนั้นจะทำการเลือกผ่านทางแผงสวิตช์สามทางดังในรูปที่ 1.1 จากรูปจะเห็นว่าเป็นแผงสวิทช์ที่ทำการเลือกโดยผู้ใช้งานทำการเลือกทีละสวิทช์ จนครบทุกสวิทช์ ซึ่งในความเป็นจริงในการทดสอบบางโหมดจำเป็นต้องเลือกสวิทช์มากกว่าหนึ่งสวิทช์พร้อมๆกัน

บทที่ 2
ไมโครคอนโทรลเลอร์

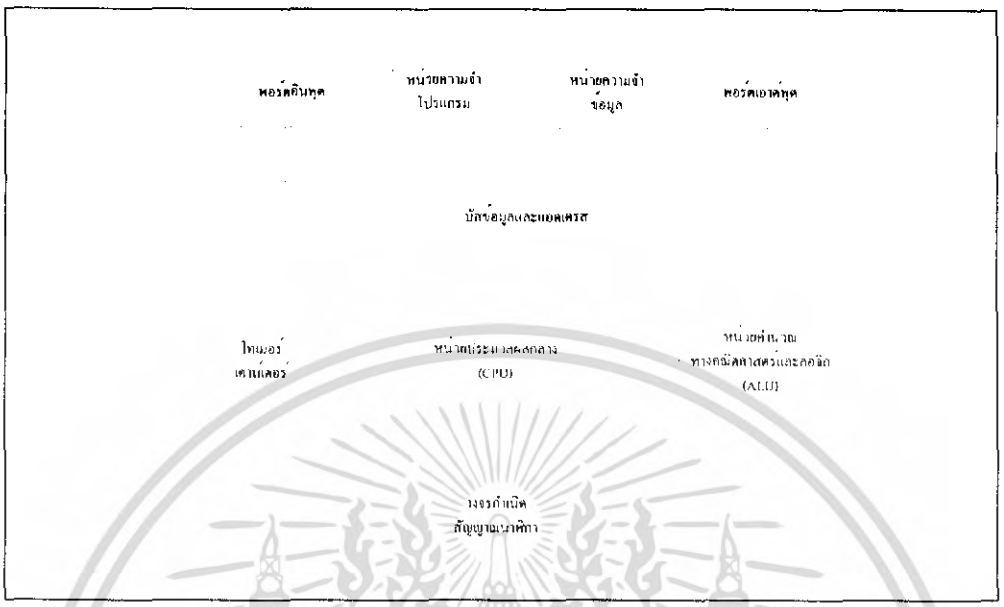
2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์(microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่รวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำมารวมกันคือ "ไมโคร"(Micro) ซึ่งหมายถึง ไมโครโปรเซสเซอร์(Microprocessor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็ก ภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู(CPU : Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก(AUL : Arithmetic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ และวงจรสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือคำว่า "คอนโทรลเลอร์" (Controller) หมายถึงอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

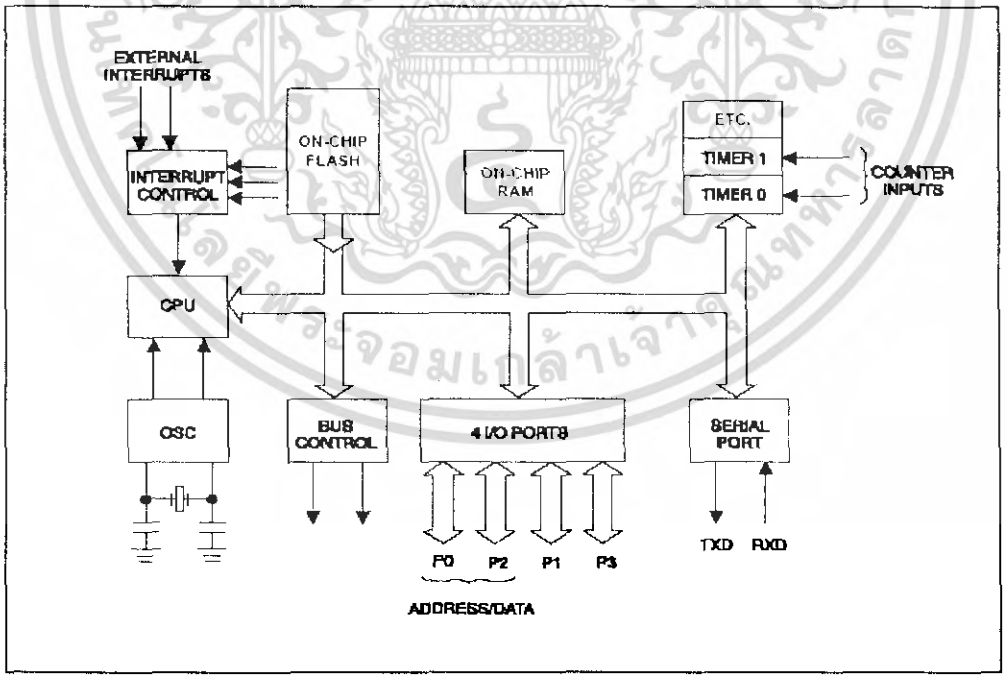


รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์

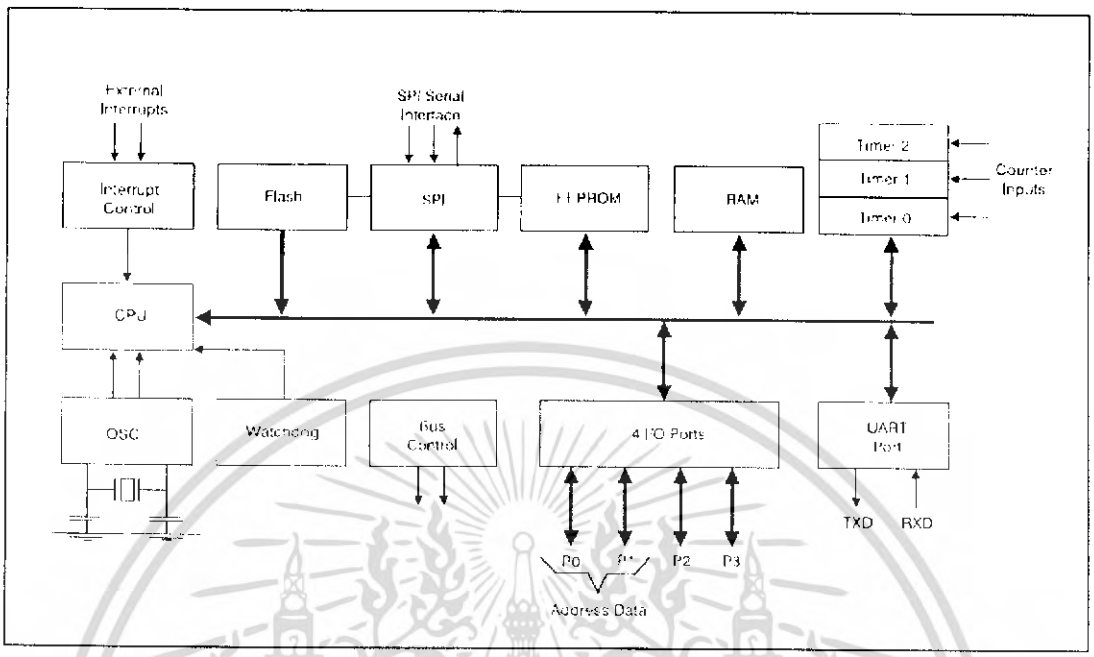


รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช



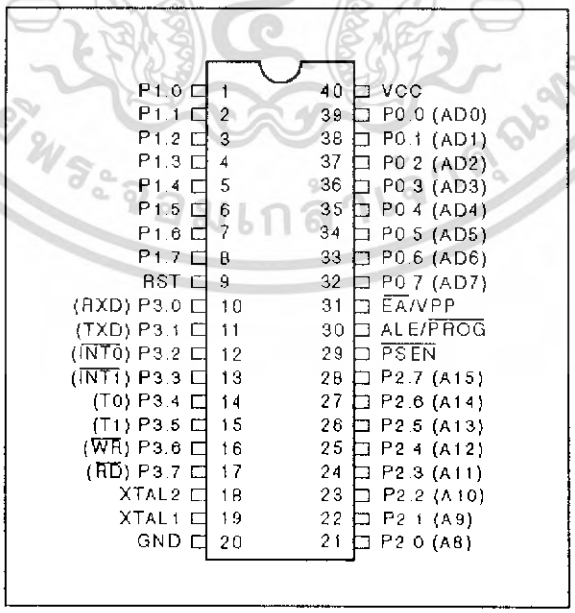
รูปที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx



รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89sxx

2.2.1 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูป 2.5 และ 2.6 โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

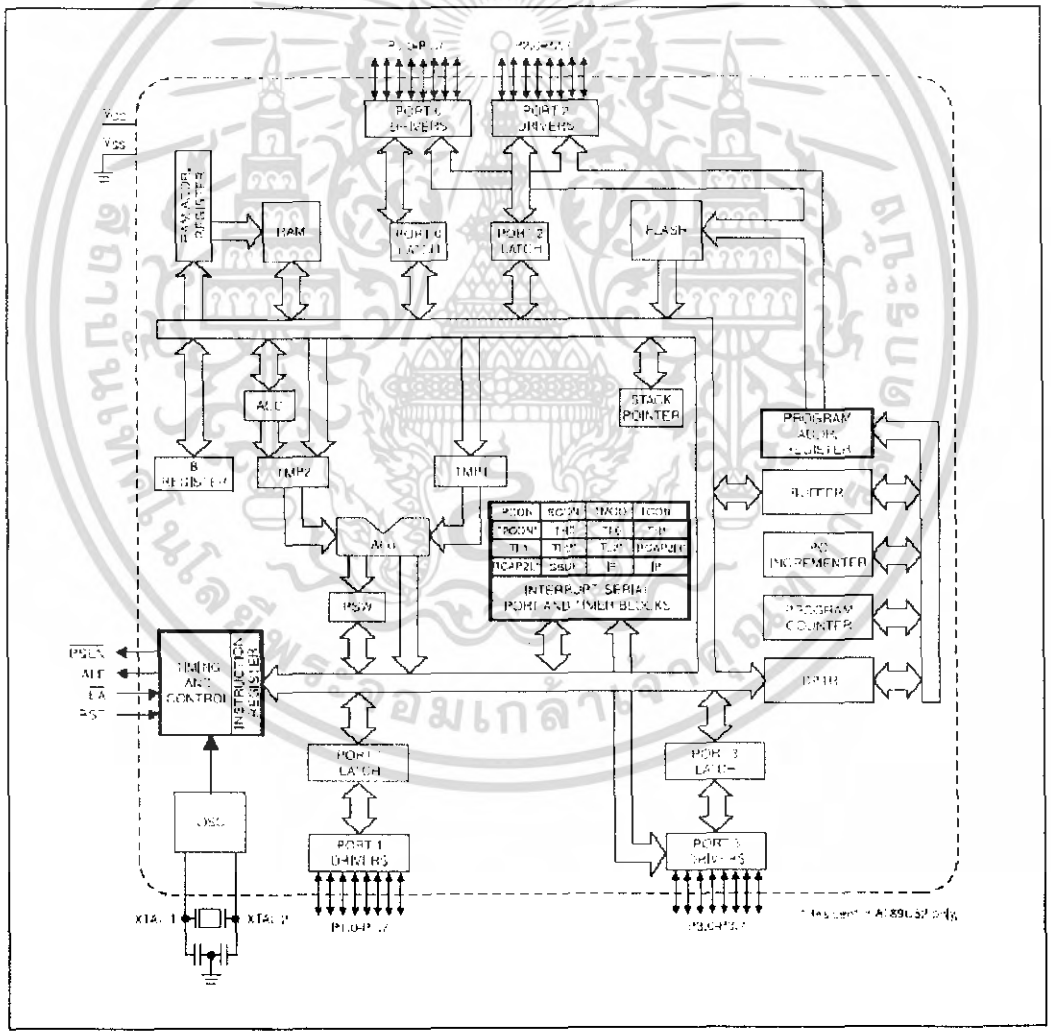


รูปที่ 2.5 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5x

ขา Vccใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0 – P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อดับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0 – A7)และขาข้อมูล (D0 – D7) ด้วยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานเป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและข้อมูล



รูปที่ 2.6 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ขาพอร์ต 1 (P1.0 – P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนั้นในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P2.0 – P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้นอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8 – A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0 – P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอต์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นต่อไปนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือ ขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือ ขา TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา $\overline{\text{INT0}}$

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา $\overline{\text{INT1}}$

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือ T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือ T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ $\overline{WR}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ $\overline{\text{RD}}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซต สถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมคชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

ขา $\overline{\text{ALE}}$ /PROG (Address Latch Enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็น

ขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีพรอม

ขา $\overline{\text{PSEN}}$ **(Program store Enable)** ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละแมคชีนไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำภายใน ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆออกมา

ขา $\overline{\text{EA}}$ **/Vpp (External Access enable/Programming voltage input)** ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น "0" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น"1" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในโมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12 โวล์ต

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

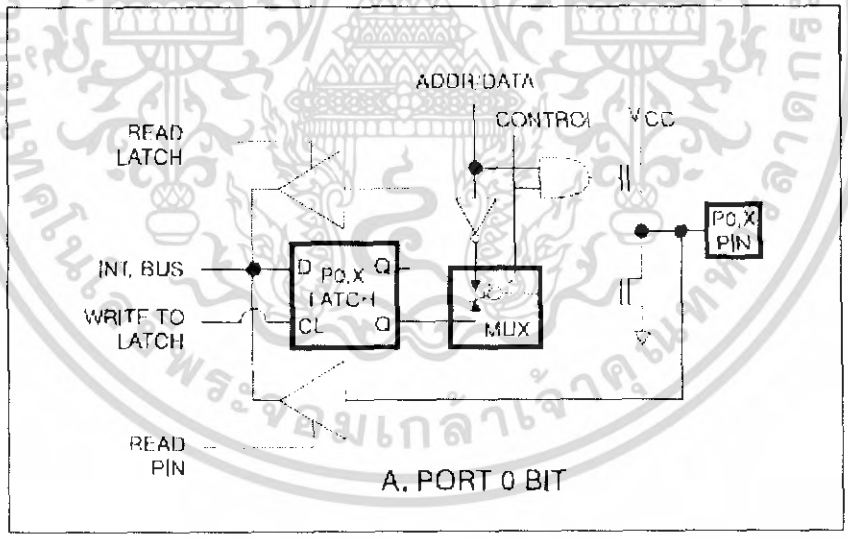
2.2.2 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ตคือ พอร์ต 0 ถึงพอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงจรแลตช์และวงจรขับตลอดจนบัฟเฟอร์อินพุต ดังแสดงให้เห็นในสถาปัตยกรรมรูปที่ 2.6

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป และใช้ในการติดต่อหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ต และพอร์ต 1 บางขานอกจากจะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตตามปกติแล้ว ยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ใด ดังสรุปได้ในตารางที่ 2.1

ขา	เบอร์ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
P1.0	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2 เป็นขาอินพุตนับค่าของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2
P1.1	AT89C52/AT89Sxx	ขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2
P1.4	AT89Sxx	ขา $\overline{SS}$ (Slave Select) เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไมโคร – คอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟ ในระบบการติดต่อแบบ SPI
P1.5	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data output , Slave data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.6	AT89Sxx	ขา MISO (Master data input , Slave data output) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.7	AT89Sxx	ขา SCK (Master clock output) เป็นสัญญาณนาฬิกาของการติดต่อกับพอร์ต SPI

ตารางที่ 2.1 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Atmel



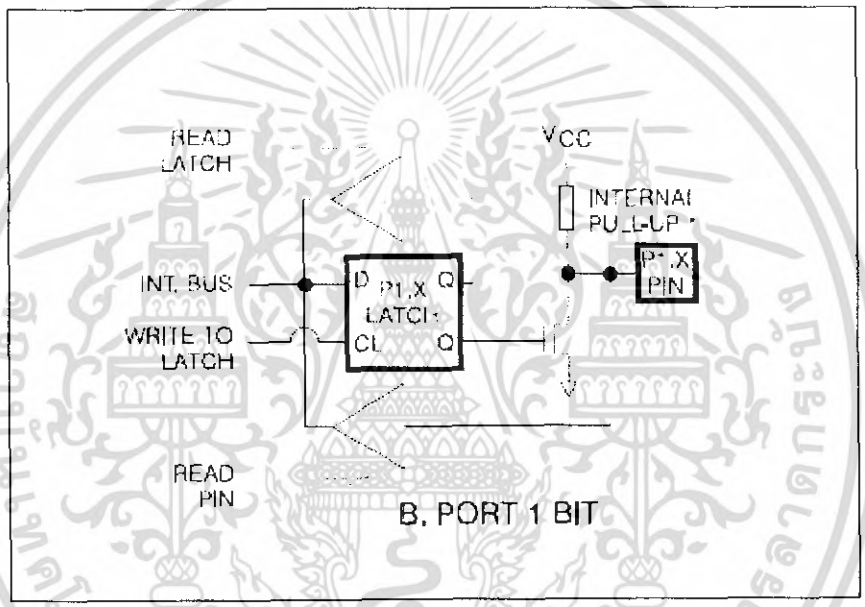
รูปที่ 2.7 วงจรภายในของพอร์ต 0

ในรูปที่ 2.7 เป็นวงจรของพอร์ต 0 วงจรแลตช์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจรดีฟลิปฟลอปนั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของวงจรแลตช์สามารถกระทำได้อย่างอิสระด้วยสัญญาณที่แยกจากกัน นี่นคือสัญญาณอ่านข้อมูลจากขาพอร์ต และสัญญาณอ่านข้อมูลจากวงจร

แลตช์ ส่วนการเขียนข้อมูลมายังพอร์ตต้องส่งสัญญาณมายังขา CLK ของดีฟลิปฟลอปในขณะที่ข้อมูลจะผ่านมาทางขาบัสข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของดีฟลิปฟลอป

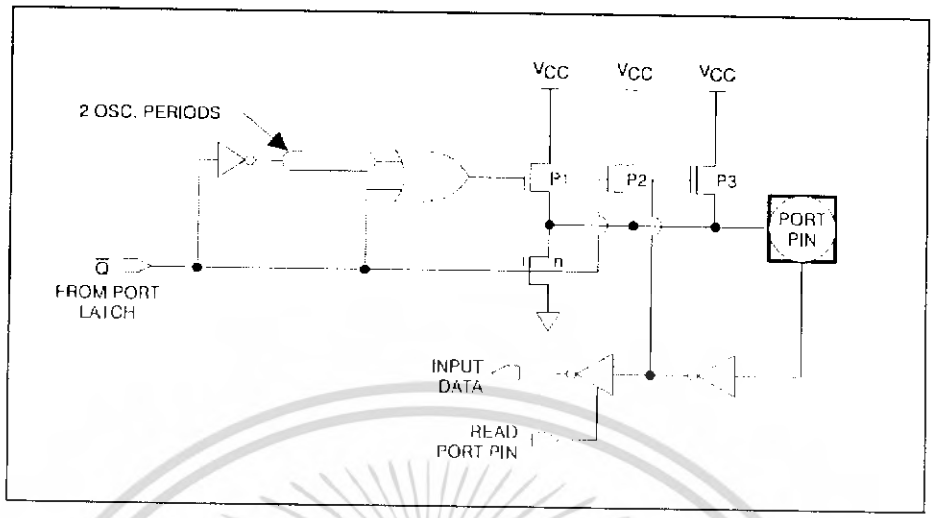
ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่า ต้องการใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติหรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรพูลอัปภายใน หากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปภายนอกเข้าที่ขาพอร์ท 0 ทุกขาด้วย

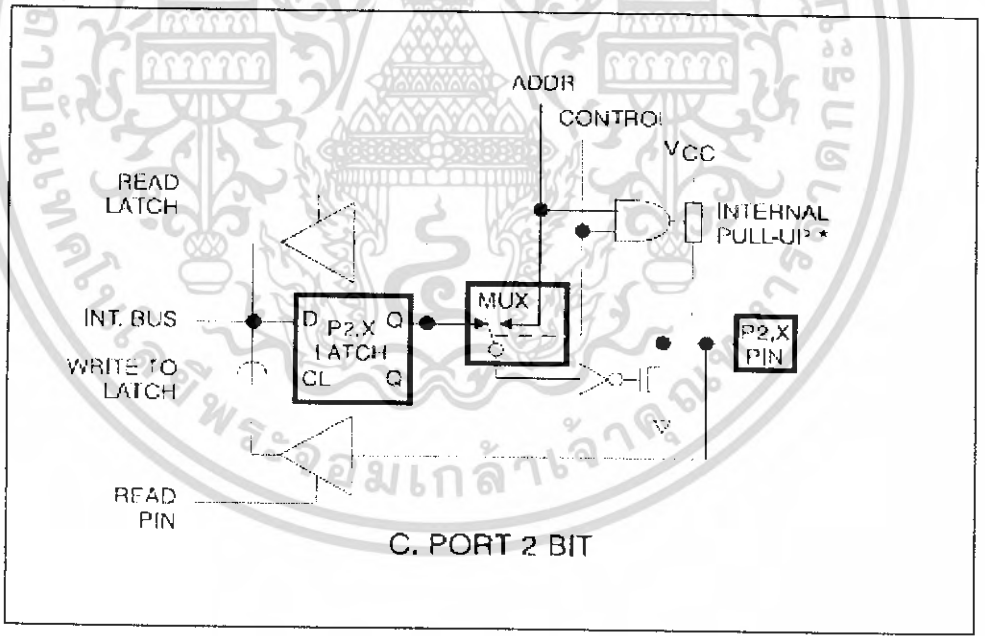


รูปที่ 2.8 วงจรภายในของพอร์ต 1

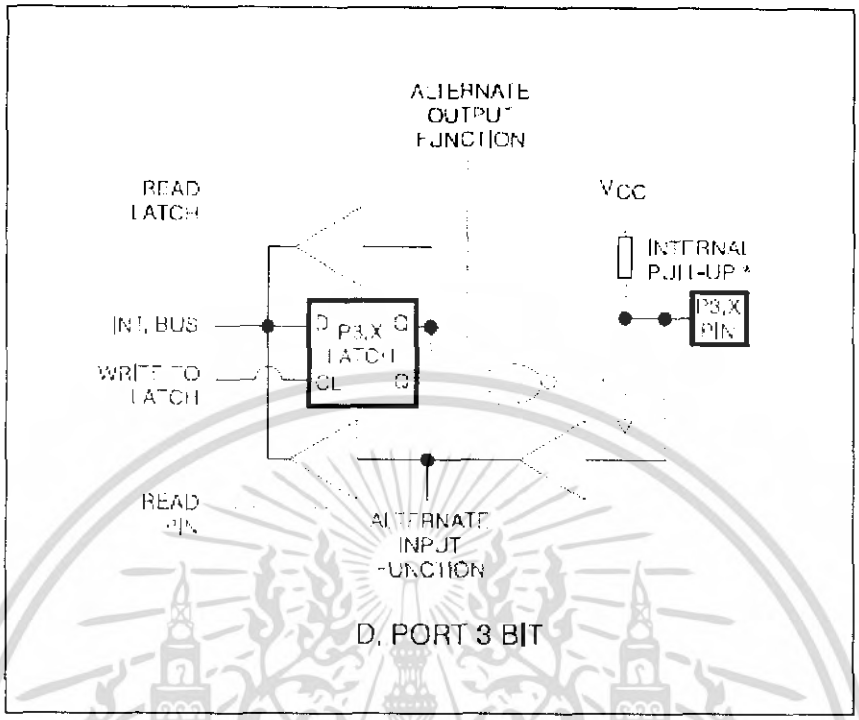
ในรูปที่ 2.8 เป็นวงจรของพอร์ต 1 ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์ เนื่องจากพอร์ตนี้ไม่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่จะมีวงจรพูลอัปภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้แทน สำหรับรายละเอียดของวงจรพูลอัปแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจร พูลอัปภายในพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.10 วงจรภายในของพอร์ต 2



รูปที่ 2.11 วงจรภายในของพอร์ต 3

ในรูปที่ 2.10 เป็นวงจรภายในของพอร์ต 2 จะคล้ายกับพอร์ต 0 มาก ต่างกันเพียงมีวงจรพูลอัปเพิ่มเติมเข้ามา ส่วนในรูปที่ 2.11 เป็นวงจรภายในของพอร์ต 3 จะเห็นได้ว่าคล้ายกับพอร์ต 1 มีการเพิ่มเติมวงจรบัฟเฟอร์และวงจรอินพุตเอาต์พุตเมื่อทำงานในฟังก์ชั่นพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3สามารถนำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกขา

2.2.3 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51แบบแฟรชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล "1" มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟตที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัปภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น "1" สามารถรับสัญญาณลอจิก "0" จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่า

เข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกาณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอจิก "0" จะดีและสะดวกที่สุด(ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก "0" แล้ว

2.2.4 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล "0" ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังวงจรแลตช์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปขับเฟต ทำในเฟตทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก "0" ขึ้น ในทางตรงข้ามหากต้องการส่งข้อมูล "1" ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล "1" ไปยังวงจรแลตช์ วงจรขับก็จะหยุดทำงานทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัปภายในเกิดเป็นลอจิก "1" ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีการอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานเป็นพอร์เอาต์พุต แต่ละขา(หรือแต่ละบิต)ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส (souece current) ได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 และ 15mA สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

2.2.5 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

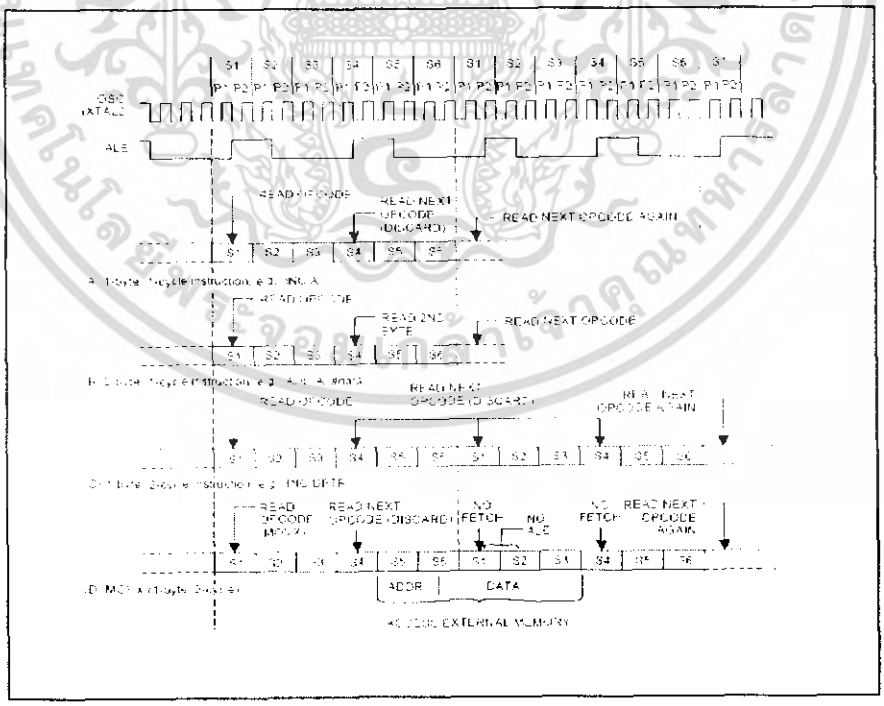
ในไมโครคอนโครลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตได้ 2 ลักษณะ คือ อ่านจากขาพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรแลตช์ของแต่ละพอร์ต

ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ของทราสซิสเตอร์ตัวนั้นต่อลงกราวด์ หากมีการส่งข้อมูล "1" ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ทราสซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น "0" เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเหมือนว่าขาพอร์ตนี้นถูกต่อลงกราวด์ ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจะแลตช์ จะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้น ในการอ่านค่าลอจิกจอกพอร์ตจึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

2.2.6 จังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะต้องทำความเข้าใจถึงจังหวะการทำงานของซีพียูและลำดับขั้นตอนการประมวลผลคำสั่ง ในการประมวลผลคำสั่งของซีพียูจะมีขั้นตอนหลักๆ 2 ขั้นตอนคือ กระบวนการเฟตช์ (fetch) เป็นการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลงรหัสคำสั่งนั้นเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมการประมวลผล ขั้นตอนต่อมาคือกระบวนการเอ็กซิคิวต์ (execute) เป็นการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดหรือตามที่เฟตช์ขึ้นมาโดยกระบวนการก่อนหน้านี้ เมื่อทำการเอ็กซิคิวต์คำสั่งเรียบร้อยแล้ว ก็จะไปเริ่มกระบวนการเฟตช์คำสั่งใหม่ต่อไป

เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเกิดการรีเซตในลักษณะที่เรียกว่า เพาเวอร์ออนรีเซต(Power on reset) ซีพียูเริ่มต้อนการทำงานที่แอดเดรส 0000H ของหน่วยความจำโปรแกรม จังหวะการทำงานของซีพียูจะเป็นไปตามรูปแบบ โดยได้รับการกำหนดมาจากรอบการทำงานหรือแมคชีนไซเคิล(machine cycle) ในรูป 2.12 เป็นไดอะแกรมเวลาแสดงจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยใน 1 รอบการทำงานหรือแมคชีนไซเคิลจะแบ่งย่อยออกเป็น 6 สเตต (state) กำหนดชื่อเป็น S1 - S6 ในแต่ละสเตตมีค่าเวลาเท่ากับ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา ถ้าสัญญาณนาฬิกามีความถี่ 12 เมกเฮิตซ์ จะมีคาบเวลาเท่ากับ 1ms คาบเวลาทั้งสองภายในหนึ่ง สเตตจะเรียกว่า เฟส 1(phase 1) และ เฟส 2 (phase 2)



รูปที่ 2.12 ไซเคิลการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในรูปที่ 2.12 (a)และ(b) จะเป็นการเอ็กซิคิวจ์คำสั่งที่ใช้เวลา 1 ไซเคิล เริ่มต้นที่สเตต 1 จะเป็นการอ่านค่าออปโค้ด อันเป็นกระบวนการแลตช์ค่าของออปโค้ดส่งไปให้รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) การเฟตช์ครั้งที่ 2 จะเกิดขึ้นที่สเตต 4 ภายในแมคชีนไซเคิลเดียวกัน ในกรณีที่เป็นคำสั่งไบต์เดียว การเฟตช์ครั้งที่ 2 ภายในแมคชีนไซเคิลเดียวกันจะถูกตัดทิ้งไป ในคำสั่งที่มีการใช้เวลา 1 แมคชีนไซเคิล จะสิ้นสุดการทำงานในสเตต 6 ของแมคชีนไซเคิลเดียวกัน

ในกรณีที่คำสั่งใช้เวลา 2 ไซเคิล การทำงานของคำสั่งนั้นจะสิ้นสุดลงในสเตต 6 ของแมคชีนไซเคิลที่สองดังในไดอะแกรมรูปที่ 2.12(c) สำหรับในการกระทำคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่งขนาด 1 ไบต์ 2 ไซเคิล จะไม่มีการเฟตช์เกิดขึ้นในไซเคิลที่สองของคำสั่ง MOVX นี้ เนื่องจากซีพียูจะไปทำการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกดังแสดงในไดอะแกรมรูปที่ 2.12(d) จะเห็นได้ว่าเวลาในการเอ็กซิคิวต์จะไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่าทำการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือภายนอก

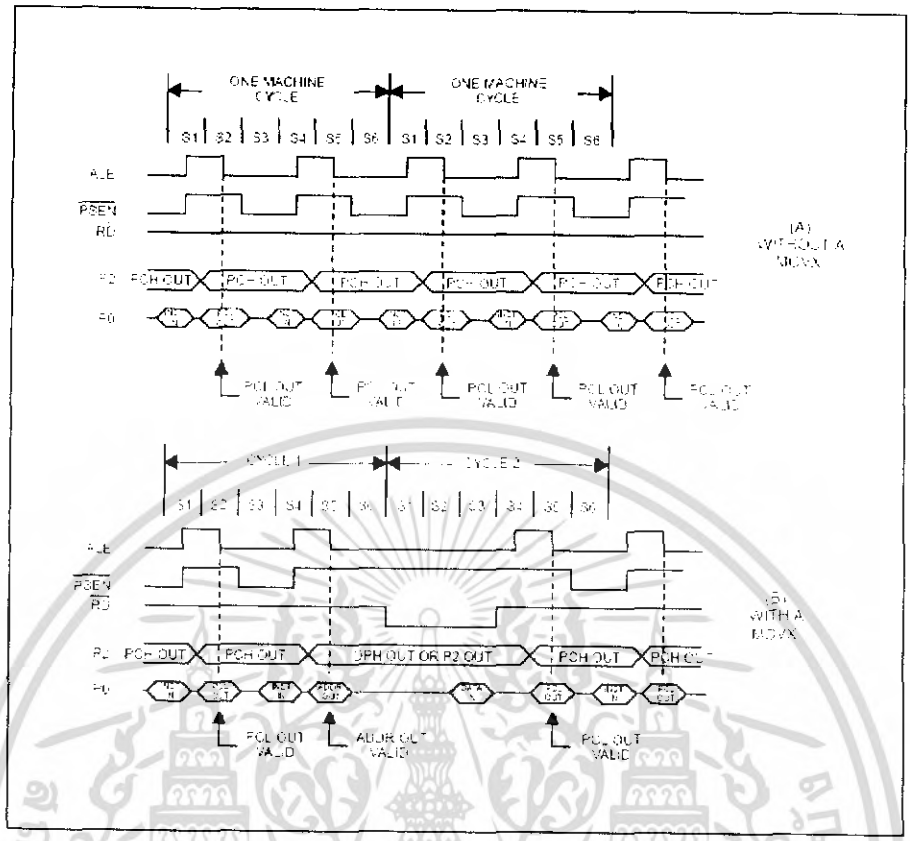
ในรูปที่ 2.13 แสดงสัญญาณและไดอะแกรมเวลาของการเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก โดยในรูปที่ 2.13(a) เป็นไดอะแกรมเวลาในขณะที่ยังไม่มีการกระทำคำสั่ง MOVX สัญญาณที่ขา ALE และ $\overline{\text{PSEN}}$ จะเกิดการแอกทีฟ 2 ครั้งภายในหนึ่งแมคชีนไซเคิล ในทุกครั้งที่ ALE เกิดการแอกทีฟที่พอร์ต 0 (P0) จะมีค่าของรีจิสเตอร์ PC ในไบต์ต่ำออกมา ในขณะที่พอร์ต 2 (P2) ก็จะมีค่าของ PC ในไบต์สูงเพื่อชี้ไปยังแอดเดรสต่อไปที่ต้องไปดำเนินการ สำหรับขา $\overline{\text{PSEN}}$ ก็จะเกิดการแอกทีฟเมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ในกรณีที่กระทำคำสั่ง MOVX เพื่อเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ที่ขา $\overline{\text{PSEN}}$ จะไม่เกิดการแอกทีฟ 2 ครั้งภายใน 1 แมคชีนไซเคิล เนื่องจากบัสแอดเดรสและบัสข้อมูลจะถูกใช้ในการติดต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกแทน แต่สำหรับสัญญาณ ALE ยังคงแอกทีฟตามจังหวะการทำงานเหมือนเดิม

จากไดอะแกรมเวลาสามารถสรุปได้ว่า ในการทำงาน 1 รอบหรือ 1 แมคชีนไซเคิล ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา นั่นคือ เวลาในการทำงาน 1 ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 1ms หรือมีความเร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ดังนั้นถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถหาได้จาก ค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลาของ 1 รอบ การทำงานหรือแมคชีนไซเคิล สามารถทำได้โดยการหาส่วนกลับของความเร็ว ในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถสรุปสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เท่ากับ

ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา (ค่าของคริสตอลที่ต่ออยู่ที่ขา XTAL1 และ XTAL2) หารด้วย 12

เวลา 1 แมคชีนไซเคิล = 1/ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

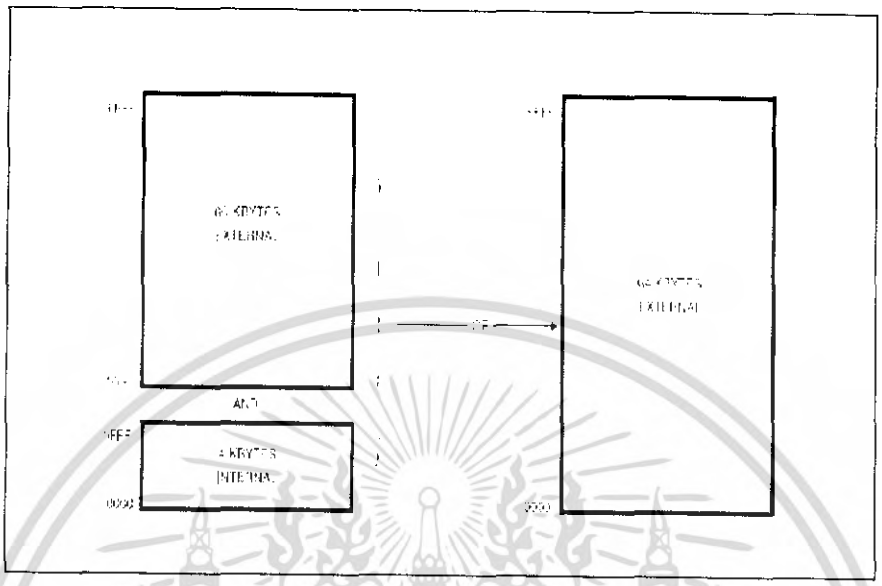


รูปที่ 2.13 ไดอะแกรมเวลาแสดงการติดต่อและเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์

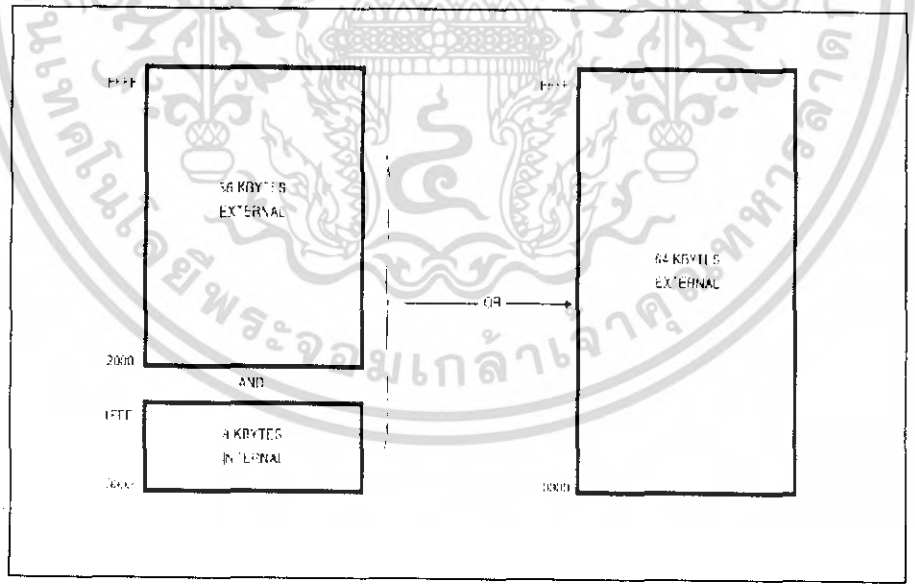
2.3 การจัดการหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51แบบแฟลช

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51แบบแฟลชมีหน่วยความจำภายในหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งก็มีขนาดและการจัดสรรแตกต่างกันไปในแต่ละเบอร์ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการจัดสรรหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 แบบแฟลช การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก และข้อมูลเบื้องต้นของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แบบแฟลช

2.3.1 หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)



รูปที่ 2.14 การสจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51



รูปที่ 2.15 การสจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52

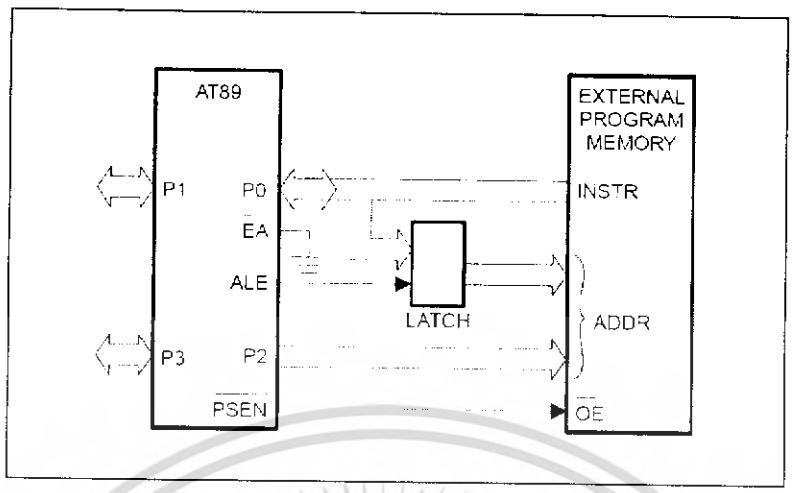
จากรูปที่ 2.14 และ 2.15 แสดงการจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51แบบแฟลชในเบอร์ต่างๆที่นิยมใช้งาน อันประกอบด้วยเบอร์ AT89C51 และ AT89C52 จะเห็นได้ว่า ทั้งสองเบอร์สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในอย่างเดียวหรือรวมกับภายนอกหรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ ดังในรูป 2.14 โดยภายใน AT89C51จำมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ในขณะที่ AT89C52 จะมีขนาด 8 กิโลไบต์

ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายในและภายนอกรวมกัน หากใช้ AT89C51 ก็จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์ และถ้าใช้เบอร์ AT89C52 จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 56 กิโลไบต์

หน่วยความจำโปรแกรมใช้เก็บข้อมูลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์(Monitor program) หากใช้หน่วยความจำภายนอกมักจะบรรจุอยู่ในหน่วยความจำชนิดอีพรอม (EPROM : Erasable Programmable Read-Only Memory) ซึ่งสามารถทำการอ่านได้เพียงอย่างเดียว หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อซีพียูได้รับการรีเซตให้เริ่มต้นการทำงานจะต้องมาเริ่มต้นที่แอดเดรส 0000H นี้เสมอ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ว่าจะใช้งานจากภายในหรือภายนอกก็ตาม ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งเอาไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์1จากภายนอกกำหนดไว้ที่แอดเดรส0013H
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารแบบอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H
พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH

กรณีที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่มีความจำโปรแกรมภายใน แต่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกด้วยสามารถทำได้โดย ต้องกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมให้ต่อจากแอดเดรสสุดท้ายของหน่วยความจำโปรแกรมภายใน ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 มีหน่วยความนำโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์ มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 0000H – 0FFFH เมื่อต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกต้องกำหนดให้แอดเดรสอยู่ในช่วง 1000H - FFFFH

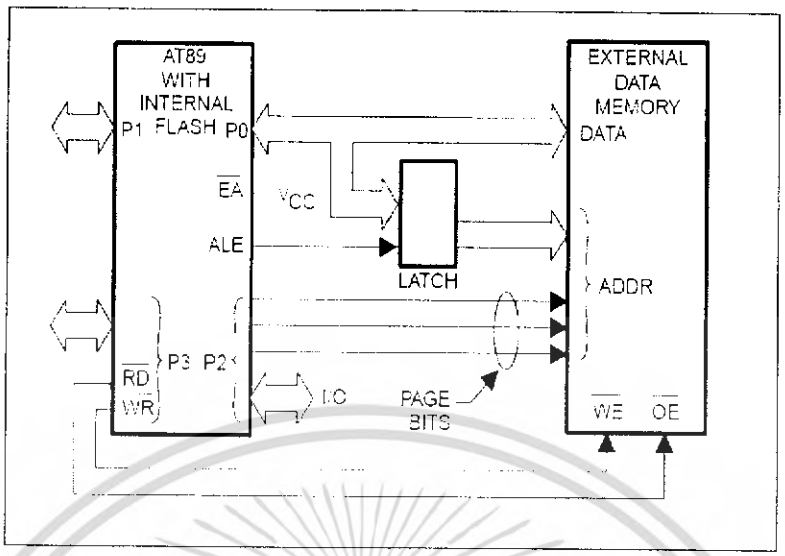


รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์

การต่อหน่วยความจำภายนอกแสดงดังรูป 2.16 ขาพอร์ต P0.0 – P0.7 ใช้เป็นขาข้อมูล D0 – D7 และขาแอดเดรสไบต์ต่ำ โดยผ่านวงจรแลตช์ ซึ่งปกติใช้ไอซีเบอร์ 74HC573 และใช้สัญญาณ ALE และ PSEN ในการเลือกใช้งานขา P0.0 – P0.7 เพื่อเป็นขาข้อมูลหรือขาแอดเดรส ในขณะที่ขา P2.0 – P2.7 ใช้ในการเชื่อมต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูง A8 – A15 ดังนั้นเมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเหลือขาพอร์ตเพียง 16 บิต คือ ที่ขาพอร์ต P1.0 – P1.7 และ P3.0 – P3.7

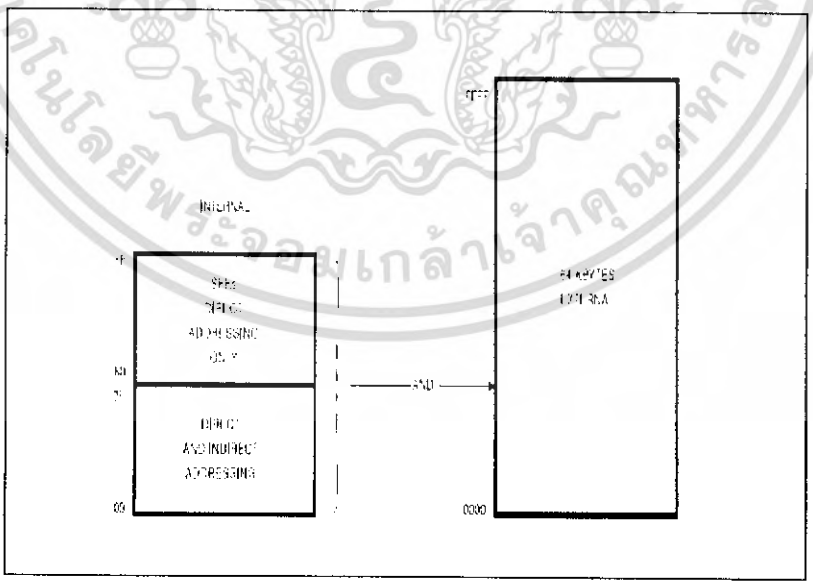
2.3.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

มีด้วยกัน 2 แบบคือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายใน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยการใช้คำสั่ง MOVX ในการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก การติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชแสดงในรูป .....จะเห็นได้ว่า มีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แตกต่างกันที่มีสัญญาณที่ใช้สำหรับการอ่านและเขียนหน่วยความจำข้อมูลภายนอก นั่นคือ ขา $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$

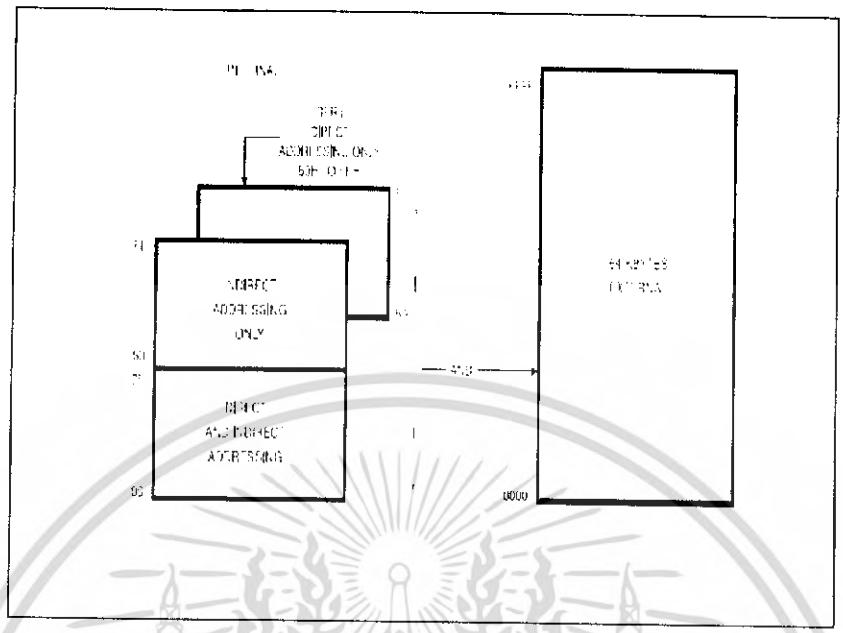


รูปที่ 2.17 การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 แบบแฟลช

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม (RAM : Random Access Memory) โดยแต่ละเบอร์จะมีขนาดแตกต่างกันไป ในเบอร์ ST89C51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ ในขณะที่เบอร์ AT89C52 มีขนาด 256 ไบต์ สำหรับการจัดสรรหน่วยความจำภายในแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง (lower) ,ส่วนบน (upper) และรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (SFR : Special Function Register) แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และ 2.19



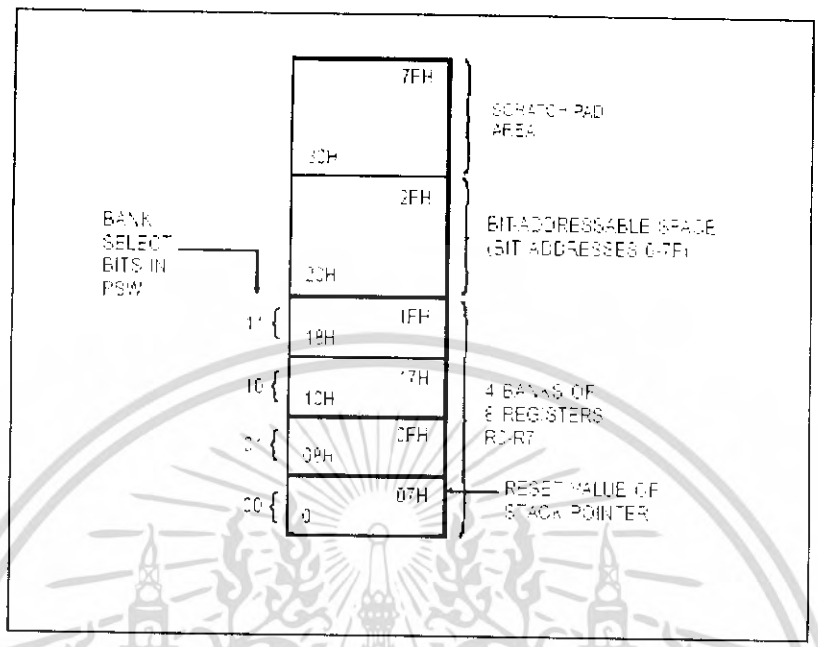
รูปที่ 2.18 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51



รูปที่ 2.19 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52

จะเห็นได้ว่า หน่วยความจำข้อมูลส่วนบนและรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษมีตำแหน่งทับซ้อนกัน แต่จะใช้การติดต่อที่แตกต่างกัน และในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 บางเบอร์จะไม่มีหน่วยความจำส่วนบน

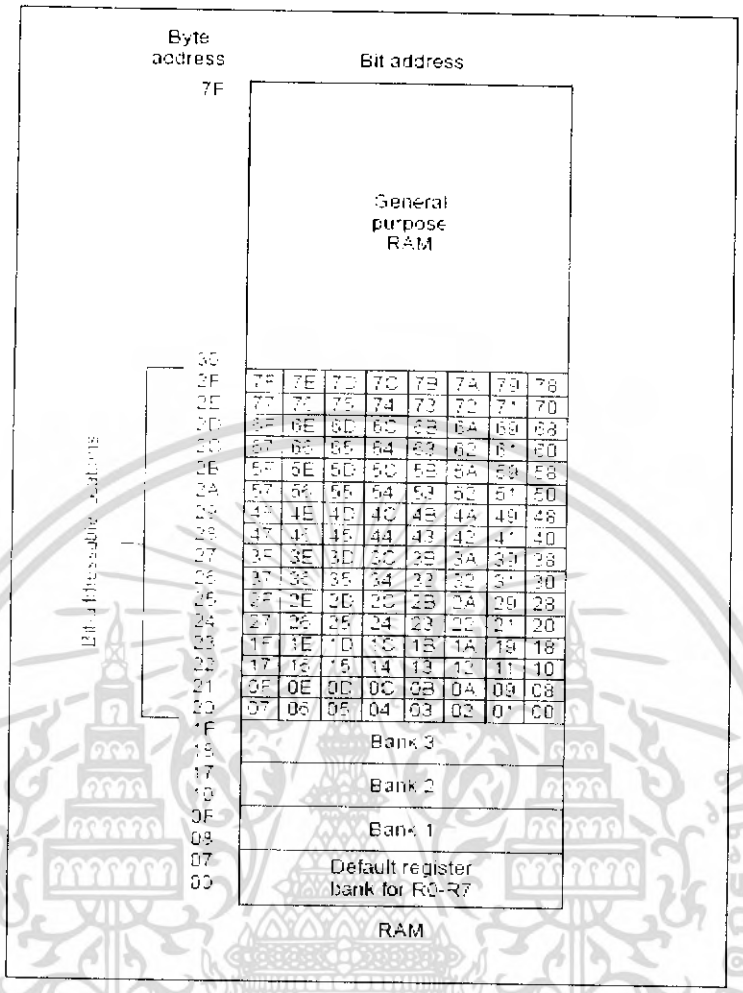
ขนาดของหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชโดยแท้จริงแล้วมีเพียง 256 ไบต์ แต่ด้วยการจัดการเข้าถึงที่แตกต่างกัน จึงดูเสมือนว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีหน่วยความจำข้อมูลสูงสุดถึง 384 ไบต์ โดยในหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างขนาดขนาด 128 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 00H – 7FH สามารถเข้าถึงได้โดยตรงและโดยอ้อม สำหรับหน่วยความนำข้อมูลส่วนบนมีขนาด 128 ไบต์เช่นกัน มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H - FFH สามารถเข้าถึงแบบโดยอ้อมเท่านั้น ในขณะที่รีจิสเตอร์ SFR มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H - FFH เช่นเดียวกันกับหน่วยความจำส่วยบน แต่สำหรับรีจิสเตอร์ SFR ใช้การเข้าถึงแบบโดยตรง ดังนั้นเพื่อความสะดวกและง่ายตลอดจนป้องกันความสับสนในการเขียนโปรแกรมสำหรับผู้เริ่มต้นจึงควรใช้หน่วยความจำข้อมูลภายในเพียง 128 ไบต์จากหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างร่วมกับรีจิสเตอร์ SFR



รูปที่ 2.20 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนล่างของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในรูปที่ 2.20 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง หน่วยความจำ 32 ไบต์ต่ำสุดที่แอดเดรส 00H – 1FH แบ่งเป็น 4 กลุ่มเรียกว่า แบงก์ (bank) แต่ละแบงก์มีรีจิสเตอร์ 8 ตัวคือ R0 – R7 การติดต่อกับหน่วยความจำในแบงก์ใดให้กำหนดที่รีจิสเตอร์ PSW (Program Status Word register)

หน่วยความจำข้อมูล 16 ไบต์ถัดมาที่แอดเดรส 20H -2FH เป็นพื้นที่สำหรับใช้งานทั่วไป สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต (Bit addressable) และหน่วยความจำข้อมูลที่เหลือ 80 ไบต์ จะต้องแบ่งส่วนหนึ่งสำรองไว้เป็นพื้นที่ของสแต็ค (stack : ที่พักข้อมูลชั่วคราวในกรณีที่ซีพียูมีการกระโดดไปทำงานในโปรแกรมย่อย) การเข้าถึงหน่วยความจำในส่วนนี้ต้องเข้าถึงในระดับไบต์

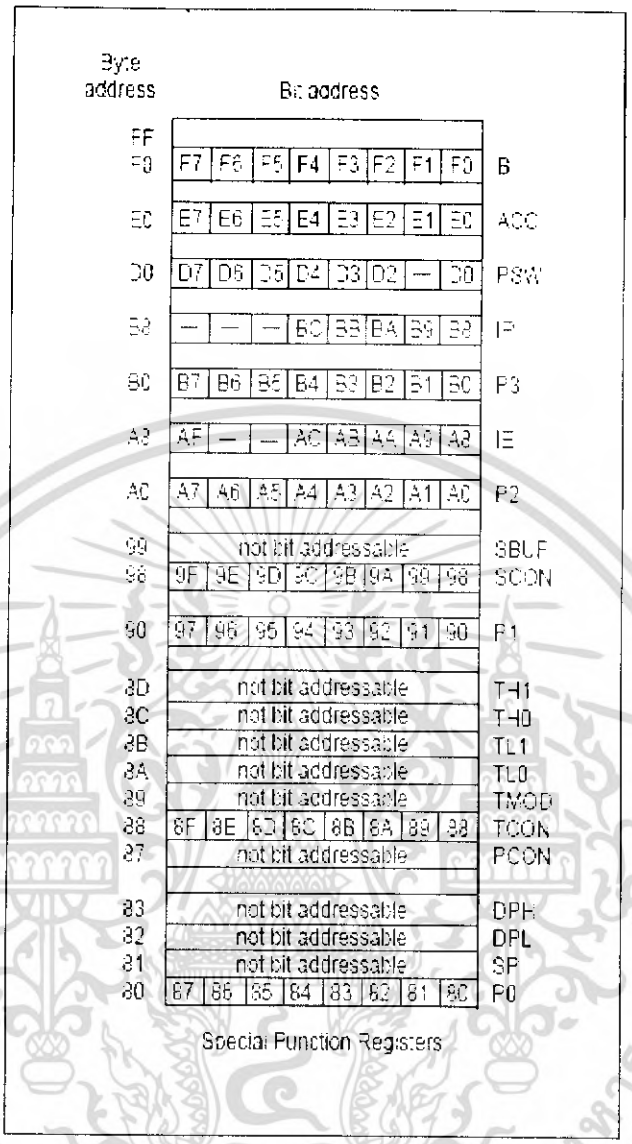


รูปที่ 2.21 โครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนบนของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในรูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน ซึ่งจะมีลักษณะที่คล้ายกับหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง หากแต่ใน 80 ไบต์ บนไม่จำเป็นต้องสำรองไว้สำหรับสแต็ก และต้องใช้การเข้าถึงในลักษณะโดยอ้อมเท่านั้น

2.3.3 รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ(Special Function Register : SFR)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีด้วยกัน 22 ตัว สำหรับเบอร์ AT89C51 และ 28 ตัวในเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx ทั้งนี้เนื่องจากใน AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx มีจำนวนไทเมอร์เคาน์เตอร์มากกว่า AT89C51



รูปที่ 2.22 การจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ(SFR)

รีจิสเตอร์ SFR มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 80H - FFH ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน สามารถเข้าถึงได้โดยตรง (Direct addressing) ในรูป 2.22 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR ในแต่ละตัวในหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน สำหรับรายละเอียดเบื้องต้นของรีจิสเตอร์ SFR มีดังนี้

2.3.3.1 รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม(Program Status Word : PSW)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต จึงสามารถกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้อย่างอิสระ มีแอดเดรสอยู่ที่ D0H ทำหน้าที่เก็บสถานะของการทำงานของ

โปรแกรมในขณะนั้นจะเรียกสถานะต่างๆของโปรแกรมว่า แฟลก(flag) เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้น ผลของการเปลี่ยนแปลงนั้นจะมาปรากฏที่บิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ PSW

รายละเอียดของรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม(PSW) มีดังต่อไปนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

CY : แฟลกทด (Carry flag) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก แล้วค่าของแอกคิวมูเลเตอร์เกิน 255(ฐานสิบ) หรือ FFH

AC : แฟลกทดเสริม(Auxiliary Carry flag) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์แล้วทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 3 มายัง บิต 4

F0 : แฟลกใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าที่บิตนี้แล้ว ไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใดๆที่บิตนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

RS1 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์1 (Register Select 1) ใช้งานร่วมกับบิต RS0 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0 – R7

RS0 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์0 (Register Select 0) ใช้งานร่วมกับบิต RS1 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0 – R7

OV : บิตเกิน(Overflow) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้ว ทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 6 มายังบิต 7 ของแอกคิวมูเลเตอร์ หรือแอกคิวมูเลเตอร์มีค่าเกิน 127(ฐานสิบ) นอกจากนั้นยังใช้เป็นการแสดงค่าลบด้วย

- : บิตนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดใช้งานได้อย่างอิสระ

P : บิตพาริตี้(Parity) ใช้ในการตรวจสอบจำนวนค่า "1" ภายในแอกคิวมูเลเตอร์ ถ้าหากในแอกคิวมูเลเตอร์มีจำนวนบิตที่เป็น "1" รวมกันเป็นเลขคู่ บิตนี้จะเป็น "0" ถ้ารวมกันเป็นเลขคี่ บิตนี้จะเป็น "1"

จะเห็นได้ว่า นอกจากรีจิสเตอร์ PSW ถูกใช้ในการเก็บสถานะของโปรแกรมแล้ว ที่บิต RS0 และ RS1 ยังใช้ในการเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0 – R7 ด้วย ดังมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.2 โดยปกติแล้วในการใช้งานรีจิสเตอร์ R0 – R7 มักนิยมใช้แบงก์ 0 เป็นอันดับแรก หากไม่เพียงพอจึงเลือกในแบงก์อื่นๆมาใช้ แต่ต้องระมัดระวังในการ

กำหนดค่าและลำดับการติดต่อให้ดี มิเช่นนั้น อาจทำให้การเขียนโปรแกรมเกิดความสับสน ดังนั้น สำหรับผู้เริ่มต้นใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จึงควรเลือกใช้รีจิสเตอร์ R0 – R7 ในแบงก์ 0 เพียงแบงก์เดียวให้ชำนาญเสียก่อน

RS1	RS0	แบงก์ของรีจิสเตอร์	ช่วงแอดเดรส
0	0	แบงก์ 0	00H – 07H
0	1	แบงก์ 1	08H – 0FH
1	0	แบงก์ 2	10H – 17H
1	1	แบงก์ 3	18H – 1FH

ตารางที่ 2.2 การเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์แบงก์ R0 –R7

การกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PSW เพื่อเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0 – R7 ควรกำหนดไว้ที่ตอนต้นของโปรแกรมเสมอ เพื่อจะได้เขียนโปรแกรมติดต่อกับรีจิสเตอร์ R0 – R7 ได้อย่างสะดวกและไม่เกิดความผิดพลาด

2.3.3.2 แอกคิวมูเลเตอร์(Accumulator : ACC)

มีขนาด 8 บิต มีแอดเรสอยู่ที่ตำแหน่ง E0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก ก่อนที่จะส่งข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้ให้แก่ซีพียูเพื่อทำการประมวลผลต่อไป อาจเรียกสั้นๆว่า รีจิสเตอร์ A หรือ ACC รีจิสเตอร์นี้สามารถเข้าถึงระดับบิตได้

2.3.3.3 รีจิสเตอร์B

มีขนาด 8 บิต มีแอดเตรสอยู่ที่ตำแหน่ง F0H มีหน้าที่พิเศษคือ หากต้องการคูณหรือหารทางคณิตศาสตร์ ต้องนำข้อมูลที่ต้องการการหรือคูณมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B แล้วจึงกระทำคำสั่งการคูณหรือหารกับค่าในรีจิสเตอร์ A ต่อไป

ในกรณีที่ไม่ได้มีความต้องการคูณหรือหารข้อมูล สามารถใช้รีจิสเตอร์ B นี้ในการเก็บข้อมูลทั่วไปได้เหมือนกับรีจิสเตอร์ปกติ และสามารถเข้าถึงในระดับบิตได้เช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ A

2.3.3.4 โปรแกรมเคาน์เตอร์(Program Counter : PC)

มีขนาด 16 บิต มีหน้าที่แจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมในตำแหน่งถัดไปที่ซีพียูจะต้องไปทำงาน รีจิสเตอร์ PC เป็นรีจิสเตอร์ตัวเดียวที่ไม่ได้จัดสรรไว้รวมกับรีจิสเตอร์ SFR ตัวอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ PC จะขึ้นอยู่กับผลของการกระทำคำสั่งภายในหน่วยความจำโปรแกรมที่ผู้เขียนโปรแกรมกำหนด

รีจิสเตอร์ PC มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมว่า ดำเนินไปตามลำดับขั้นตอนตามที่กำหนดไว้หรือไม่

2.3.3.5 สแต็กพอยน์เตอร์(Stack Pointer : SP)

สแต็กพอยน์เตอร์หรือรีจิสเตอร์ตัวชี้สแต็ก มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 81H ใช้ในการเก็บค่าตำแหน่งของตัวชี้สแต็ก ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อซีพียูมีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย หรือกระโดดจากโปรแกรมย่อยกลับมายังโปรแกรมหลัก เมื่อมีการรีเซตเกิดขึ้น (รีเซต คือ การกระทำที่ส่งผลให้ซีพียูต้องเริ่มต้นการทำงานใหม่ตั้งแต่ต้น) ค่าของรีจิสเตอร์ SP จะเท่ากับ 07H ดังนั้นแอดเดรสแรกของพื้นที่ที่สำรองไว้ทำหน้าที่เป็นสแต็กจะเท่ากับ 08H

2.3.3.6 รีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลหรือดาต้าพอยน์เตอร์(Data Pointer : DPTR)

มีขนาด 16 บิต โดยแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์สูง (DPH) และรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์ต่ำ (DPL) แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 82H สำหรับ DPL และ 83H สำหรับ DPH รีจิสเตอร์ DPTR นี้ใช้ในการเก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ภายนอกที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อด้วย

2.3.3.7 รีจิสเตอร์พอร์ต(Port register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตที่ใช้เก็บข้อมูลของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มี 4 ตัวคือรีจิสเตอร์พอร์ต 0 หรือ P0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H, รีจิสเตอร์พอร์ต 1 หรือ P1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 90H, รีจิสเตอร์พอร์ต 2 หรือ P2 มีแอดเดรสอยู่ที่ A0H และรีจิสเตอร์พอร์ต 3 หรือ P3 มีแอดเดรสอยู่ที่ B0H รีจิสเตอร์ทุกตัวสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์นี้ทุกครั้ง

2.3.3.8 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม(Serial Data Buffer : SBUF)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ส่งออกหรือรับเข้าของวงจรสื่อสารแบบอนุกรมที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดยภายในรีจิสเตอร์ SBUF นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล(transmit buffer register) และรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล(receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลแบบอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

สำหรับรายละเอียดของรีจิสเตอร์ SBUF และวงจรสื่อสารแบบอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชจะกล่าวถึงในหัวข้อการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม

2.3.3.9 รีจิสเตอร์ไทเมอร์(Timer register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต แบ่งเป็นไบต์สูงและไบต์ต่ำเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ DPTR รีจิสเตอร์ไทเมอร์ใช้ในการเก็บค่าของตัวนับหรือเคาน์เตอร์ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลา, จับเวลา หรือนับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายใน บางทีเรียกรีจิสเตอร์ตัวนี้ว่ารีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์

ในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 มีรีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ตัว แบ่งเป็น T0 หรือ Timer 0 และ T1 หรือ Timer 1 ในรีจิสเตอร์ยังแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ไทเมอร์ไบต์ต่ำ(TL) และรีจิสเตอร์ไทเมอร์ไบต์สูง(TH) เหมือนกัน โดยรีจิสเตอร์ TL0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8AH รีจิสเตอร์ TH0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8BH ในขณะที่ TL1และ TH1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8CH และ 8DH สำหรับในเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx จะมีรีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ถึง 3 ตัว โดยมีรีจิสเตอร์ TL2 และ TH2 ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0CCH และ 0CDH เพิ่มเติมเข้ามา

2.3.3.10 รีจิสเตอร์แคปเจอร์(Capture register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต มีเฉพาะในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx เท่านั้น เนื่องจากต้องใช้ร่วมกับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 (Timer 2) โดยรีจิสเตอร์แคปเจอร์นี้มีชื่อเรียกอย่างย่อว่า รีจิสเตอร์ RCAP2 ซึ่งแบ่งออกเป็นไบต์ต่ำคือ RCAP2L มีแอดเดรสอยู่ที่ 0CAH และไบต์สูงคือ RCAP2H มีแอดเดรสอยู่ที่0CBH

รีจิสเตอร์แคปเจอร์จะถูกใช้งานเมื่อกำหนดให้**ไทเมอร์** 2 ทำงานในโหมดที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสถานะทางลอจิกที่ขา T2EX ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการวัดคาบเวลา ความถี่ และการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพัลส์ที่ขา T2EX

2.3.3.11 รีจิสเตอร์ควบคุม(Control register)

- **รีจิสเตอร์ PCON** เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของวงจรสื่อสารอนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช
- **รีจิสเตอร์ SCON** เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรสื่อสารอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช
- **รีจิสเตอร์ TCON และ T2CON** เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดย T2CON ใช้สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx
- **รีจิสเตอร์ TMOD และ T2MOD** เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดหรือลักษณะการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดยT2MOD ใช้สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx
- **รีจิสเตอร์ IE และ IP** เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ (interrupt คือการขัดจังหวะการทำงานปกติของซีพียู) โดย IE เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลหรือใช้ในการกำหนดลักษณะของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ ในขณะที่ IP .เป็นรีจิสเตอร์สำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ว่า จะให้ซีพียูตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ในลักษณะใดก่อนหรือหลัง

2.4 ไทเมอร์/ เคาน์เตอร์

ไทเมอร์/เคาน์เตอร์(Timer/counter) เป็นอีกส่วนประกอบที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องมีการเก็บและตรวจสอบค่าของเวลาและจำนวนของสัญญาณนาฬิกาอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการสร้างฐานเวลา สร้างสัญญาณ

พัลส์ เปรียบเทียบค่าเวลา หรือเปรียบเทียบค่าของการนับ รวมไปถึงการกำหนดอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลของพอร์ตอนุกรมด้วย

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C51 มีวงจรไทเมอร์ เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 2 ตัวโดยค่าของวงจรไทเมอร์ เคาน์เตอร์นี้จะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่ชื่อไทเมอร์ 0 (Timer 0) และไทเมอร์1 (Timer 1) เรียกสั้นๆว่า T0 และ T1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52และอนุกรม AT89Sxx จะมีไทเมอร์ เคาน์เตอร์ถึง 3 ตัวคือมีไทเมอร์ 2 (Timer 2) AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx เพิ่มเติม โดยรีจิสเตอร์ไทเมอร์เคาน์เตอร์ทั้งสามตัวสามารถกำหนดให้ทำงานเป็นตัวตั้งเวลาหรือไทเมอร์และตัวนับหรือเคาน์เตอร์ได้อย่างอิสระต่อกัน

2.4.1 การทำงานเป็นไทเมอร์

เมื่อกำหนดให้ทำงานเป็นตัวตั้งเวลาหรือไทเมอร์ ค่าของรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นในทุกๆแมคชีนไซเคิล ดังนั้นเมื่อทำงานเป็นไทเมอร์รีจิสเตอร์จะทำการนับค่าของแมคชีนไซเคิลนั่นเอง และเนื่องจากแมคชีนไซเคิลประกอบด้วยคาบเวลาของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 12 คาบเวลา ดังนั้นอัตราในการนับของรีจิสเตอร์จึงเท่ากับ 1/12 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา

2.4.2 การทำงานเป็นเคาน์เตอร์

เมื่อทำงานเป็นตัวนับหรือเคาน์เตอร์ ค่าจองรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับลอจิกจาก “1” เป็น “0” เกิดขึ้นที่ขาอินพุตทางฮาร์ดแวร์ของวงจรไทเมอร์เคาน์เตอร์ ซึ่งก็คือขา T0 (P3.5) และขา T1(P3.6) สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C51รวมทั้งขา T2 (P1.0) ในไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx โดยจะมีการสุ่มรับสัญญาณจากขาอินพุตในทุกๆคาบเวลาที่ 2 ของสเตตที่ 5(S5P2) ในแต่ละแมคชีนไซเคิล

เมื่อสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงจาก “1” เป็น “0” เป็นเวลาหนึ่งไซเคิลในไซเคิลต่อมาค่าของการนับจะเพิ่มขึ้นหนึ่งค่า และจะไปปรากฏในรีจิสเตอร์ภายในคาบเวลาที่ 1 ของสเตตที่ 3 (S3P1) ของแมคชีนไซเคิลต่อไปหลังจากที่ตรวจจับพบการเปลี่ยนแปลงที่ขาไทเมอร์อินพุตแล้ว เมื่อเป็นเช่นนี้ในกระบวนการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตที่ขาไทเมอร์จะต้องใช้ 2 แมคชีนไซเคิล อัตราการนับของเคาน์เตอร์จึงเท่ากับ 1/24 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา ดังนั้น ความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุตที่ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

สามารถตรวจจับได้จึงเท่ากับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหารด้วย 24 ยกตัวอย่าง ในไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51แบบแฟลชเบอร์ AT89C51 สามารถใช้สัญญาณนาฬิกาได้สูงสุด 24 MHz ดังนั้นความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุตที่ไทเมอณ์เคาน์เตอร์สามารถตรวจจับได้คือ 1 MHz

2.4.3 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวนข้องกัยการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1

ในการทำงานของไทเมอร์เคาน์เตอน์ 0 และ 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช มีรีจิสเตอร์ที่ต้องเกี่ยวข้องเป็นพื้นฐานอยู่ 6 ตัว ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.3.1 รีจิสเตอร์ไทเมอร์

มีด้วยกัน 4 ตัว คือ TL0 มีแอดเดรสอยู่ที่8AH, TH0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8CH, TL1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8BH และ TH1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8DH รีจิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะอยู่ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษหรือ SFR รีจิสเตอร์แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต แต่ในการใช้งานโดยทั่วไปมักใช้ร่วมกัน โดยจัดเป็นคู่คือ TL0 กับ TH0 รวมกันเป็นรีจิสเตอร์ Timer0 ขนาด 16 บิต และ TL1 กับ TL1 รวมกันเป็นรีจิสเตอร์ Timer1 ขนาด 16 บิต โดยใน TL0 และ TL1 เก็บข้อมูล 8 บิตล่าง ส่วน TH0 กับ TH1 เก็บข้อมูล 8 บิตบน รีจิสเตอร์ไทเมอร์ทั้ง 2 คู่ เมื่อนำมาใช้ร่วมกันจะสามารถเก็บค่าของการนับได้สูงสุด 65,536 หรือ FFFFH เมื่อนับถึงค่านี้แล้วจะวนไปเริ่มนับ 0000H ใหม่ และเมื่อเกิดการนับรอบใหม่ บิต TF0 หรือ TF1 ในรีจิสเตอร์ TCON ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไทเมอร์จะเกิดการเซต เพื่อแจ้งให้ทราบว่า นับเกินค่าสูงสุดแล้ว การเซตบิต TF0 หรือ TF1 ขึ้นอยู่กับว่าเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ไทเมอร์ตัวใด

● รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์(Timer/Counter Control Register : TCON)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 88H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

TF1 (Timer 1 overflow) : เซตด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อค่าของรีจิสเตอร์ Timer 1 เกิดการนับเกินหรือเกิดโอเวอร์โฟลว การเครียร์บิตนี้ทำได้ด้วยกระบวนการทางซอฟแวร์

TR1 (Timer 1 run control bit) : ใช้ในการเปิดปิดการทำงานของไทเมอร์1 (เอ็นเอเบิลหรือดิสเอเบิล) ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้ไทเมอร์1 ทำงานต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

TF0 (Timer 0 overflow) : เซตด้วยกระบวนการทางฮาร์ทแวร์ เมื่อค่าของรีจิสเตอร์ Timer 0 เกิดการนับเกินหรือ เกิดโอเวอร์โฟลว การเคลียร์บิตนี้ทำได้ด้วนกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TR1 (Timer 1 run control bit) : ใช้ในการเปิดปิดการทำงานของไทเมอร์1 (เอ็นเอเบิลหรือดิสเอเบิล) ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้ไทเมอร์1 ทำงานต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

IE1 (External Interrupt 1 edge flag) : บิตนี้จะใช้ในกระบวนการอินเตอร์รัปต์ สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ทแวร์ เมื่อสามารถตรวจจับขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขาอินพุตอินเตอร์รัปร์ 1 ได้ และจะสามารถเคลียร์เมื่อมีการบริการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้นซึ่งเป็นกระบวนการทางซอฟต์แวร์

IT1 (Interrupt 1 type control bit) : บิตนี้จะใช้ในกระบวนการอินเตอร์รัปต์ โดยใช้ในการเลือกลักษณะของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ต้องการให้ทำการตอบสนองสำหรับขาอินพุตอินเตอร์รัปต์ 1 (INT1) การเซตและเคลียร์ทำได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

"0" เลือกขอบขาลงของสัญญาณ (falling edge)

"1" เลือกระดับลอจิกต่ำ (low level triggered)

IE0 (External Interrupt 0 edge flag) : บิตนี้จะใช้ในกระบวนการอินเตอร์รัปต์ สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ทแวร์ เมื่อสามารถตรวจจับขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขาอินพุตอินเตอร์รัปร์ 0 ได้ และจะสามารถเคลียร์เมื่อมีการบริการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้นซึ่งเป็นกระบวนการทางซอฟต์แวร์

IT0(Interrupt 1 type control bit) : บิตนี้จะใช้ในกระบวนการอินเตอร์รัปต์ โดยใช้ในการเลือกลักษณะของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ต้องการให้ทำการตอบสนองสำหรับขาอินพุตอินเตอร์รัปต์ 0 (INT0) การเซตและเคลียร์ทำได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

"0" เลือกของขาลงของสัญญาณ(falling edge)

"1" เลือกระดับลอจิกต่ำ(low level triggered)

● **รีจิสเตอร์เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์(Timer/Counter Mode Control Register : TMOD)**

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 89H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR ไม่สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ 4 บิตล่างใช้ในหารเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์ 0 และ 4 บิตบนใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์ 1 ดังนั้นในการอธิบายการทำงานจะขออธิบายเพียงส่วนเดียวดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
GATE	C/$\overline{T}$	M1	M0	GATE	C/$\overline{T}$	M1	M0
ไทเมอร์ 1				ไทเมอร์ 0			

GATE : ใช้เลือกลักษณะการควบคุมการทำวานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

"0" ไทเมอร์/เคาน์เตอร์จะทำงานเมื่อบิต TRx ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น "1" เรียกการควบคุมแบบนี้ว่าการควบคุมทางซอฟต์แวร์

"1" ไทเมอร์/เคาน์เตอร์จะทำงานเมื่อบิต TRx ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น "1" และสถานะลอจิกที่ขาอินพุตอินเตอร์รัปต์ INT0 และ INT1 เป็น "1" เรียกการควบคุมแบบนี้ว่าการควบคุมทางฮาร์ดแวร์

C/$\overline{T}$ (Timer or Counter selector) : ใช้เลือกลักษณะการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

"0" เลือกให้ทำงานเป็นไทเมอร์ โดยรับสัญญาณอินพุตจากสัญญาณสาฬิกาภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

"1" เลือกให้ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ โดยรับสัญญาณอินพุตทางขา T0 หรือ T1

M1,M0(Mode selector) : ใช้เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

"00" เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต

"01" เลือกให้ทไงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต

"10" เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิตแบบตั้งค่าอัตโนมัติ

"11"สำหรับไทเมอร์ 0 เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วน โดยแยกออกเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิต สองตัว รีจิสเตอร์ TL0 จะได้รับการควบคุมการเปิดปิดจากบิต TR0 ในรีจิสเตอร์ TCON และรีจิสเตอร์ TH0 ซึ่งเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิตอีกตัวหนึ่ง จะได้รับการควบคุมจากบิต TR1 ในรีจิสเตอร์

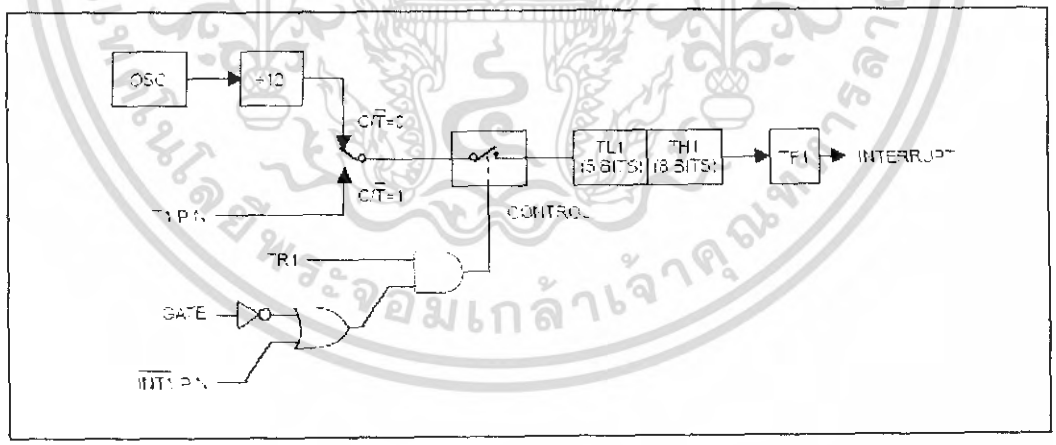
TCON ในกรณีของไทเมอร์ 1 เป็นการสั่งให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ หยุดทำงาน (ดิสเอเบิล)

2.4.4 โหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1

ไทเมอร์ 0 และ ไทเมอร์ 1 สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 4 โหมด โดยการเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 สามารถทำได้ที่รีจิสเตอร์ TCON และ TMOD ร่วมกัน โดย TCON ใช้ในการเอ็นเอเบิลหรือดิสเอเบิลไทเมอร์ เคาน์เตอร์ ส่วน TMOD ใช้ในการเลือกโหมดและลักษณะการทำงาน ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

2.4.4.1 การทำงานในโหมด 0 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต

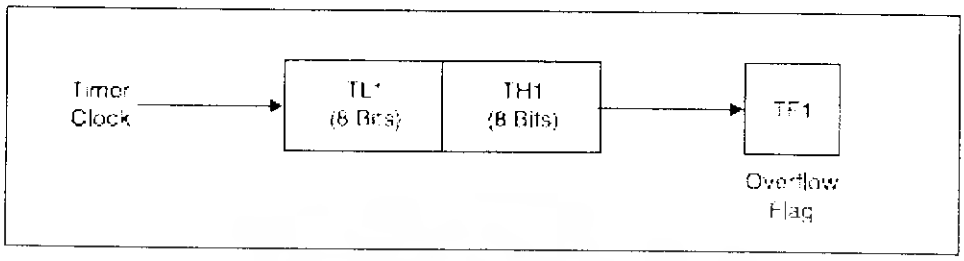
ในโหมดนี้จะเป็นการกำหนดให้ใช้งานรีจิสเตอร์ TL1 เพียง 5 บิต และ TH1 ครบ 8 บิต โดย TL0 จะทำหน้าที่คล้ายกับเป็นปรีสเกลเลอร์หาร 32 สัญญาณอินพุตสำหรับการนับจะเลือกจากสัญญาณนาฬิกาภายใน หรือภายนอกผ่านทางขา T1 ขึ้นอยู่กับการควบคุมของบิต $C/\overline{T}$ และ GATE ในรีจิสเตอร์ TMOD, บิต TR1 ในรีจิสเตอร์ TCON และสถานะของลอจิกที่ขาอินพุต INT1 เมื่อ TL1 นับครบ 32 คือ จาก 0 – 31 ก็จะส่งสัญญาณไปยัง TH1 เพื่อทำการเพิ่มค่า ดังนั้นในโหมดนี้ค่าของการนับจะมีขนาด 13 บิต เมื่อทำการนับครบรอบก็จะทำการเซตบิต TF1 ในรีจิสเตอร์ TCON



รูปที่ 2.23 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 0 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

ส่วนการทำงานในโหมดนี้ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ เพียงแต่เปลี่ยนรีจิสเตอร์ และขาสัญญาณที่เกี่ยวข้องให้เป็นของไทเมอน์/เคาน์เตอร์ 0

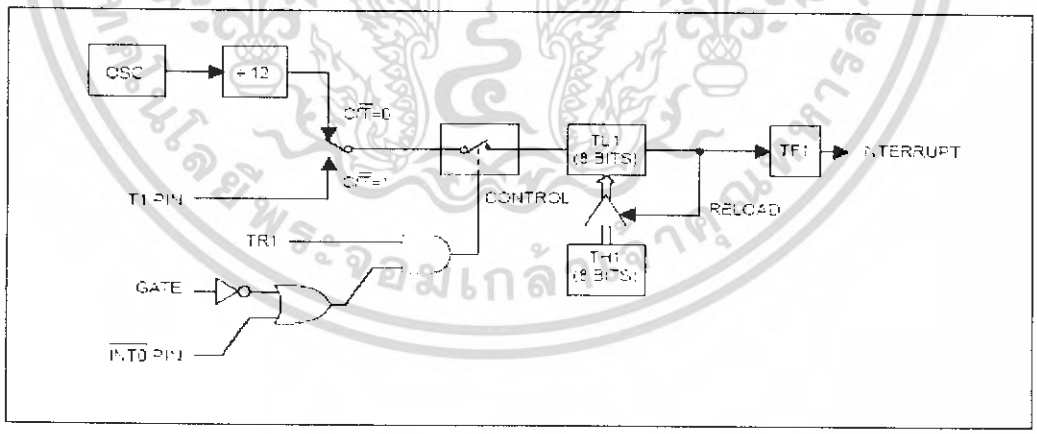
2.4.4.2 การทำงานในโหมด 1 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต



รูปที่ 2.24 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

การทำงานในโหมดนี้จะใช้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ในการอธิบาย โดยในโหมดนี้จะคล้ายกับโหมด 0 แต่จะใช้งานรีจิสเตอร์ TL1 และ TH1 ครบ 8 บิต ดังนั้นในโหมดนี้ค่าของการนับจะมีขนาด 16 บิต คือ 0000H – FFFFH เมื่อทำการนับครบรอบ ค่าของการนับเปลี่ยนจาก FFFFH เป็น 0000H ก็จะเซตบิต TF1 ในรีจิสเตอร์ TCONส่วนการทำงานในโหมดนี้ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ เพียงแต่เปลี่ยนรีจิสเตอร์ และ ขาสัญญาณที่เกี่ยวข้องให้เป็นของไทเมอน์/เคาน์เตอร์ 0

2.4.4.3 การทำงานในโหมด 2 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิตแบบตั้งค่าอัตโนมัติ



รูปที่ 2.25 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 2 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

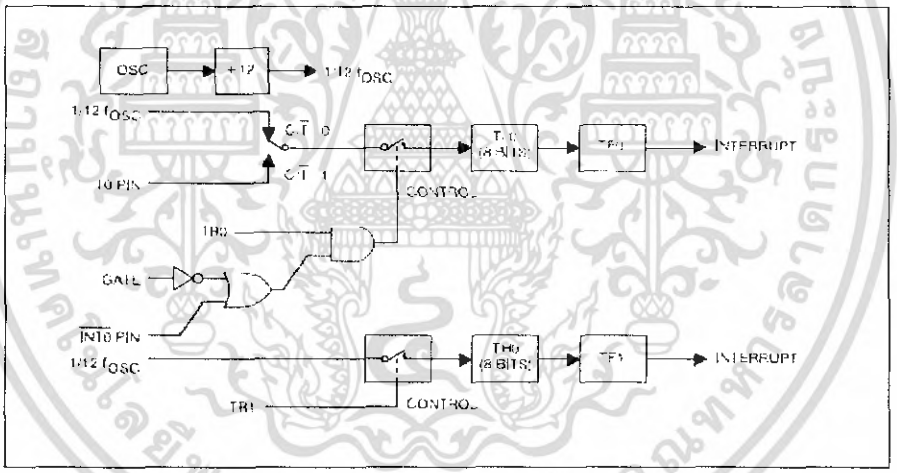
การทำงานในโหมดนี้จะใช้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ในการอธิบาย โดยในโหมนี้จะแยกรีจิสเตอร์ไทเมอร์ออกเป็น 2 ตัว ตัวละ 8 บิต โดยรีจิสเตอร์ TL1 ทำหน้าที่เป็นตัวนับค่า ส่วน TH1 ใช้ในการเก็บค่าเริ่มต้นของการนับ เมื่อเริ่มต้นการทำงาน ค่าของรีจิสเตอร์ TH1 จะถูกส่งไปยัง

รีจิสเตอร์ TL1 ทำให้เมื่อเริ่มต้นการทำงานค่าของรีจิสเตอร์ TL1 และ TH1 จะเหมือนกัน เมื่อ TL1 นับถึง FFH และจะเริ่มต้นการนับรอบใหม่ จะทำการเซตบิต TF1 พร้อมๆ กับการรับค่าการนับเริ่มต้นจาก TH1 ใหม่โดยอัตโนมัติ หรือเรียกกระบวนการนี้ว่า รีโหลด(reload) แม้ว่าจะมีการส่งค่าเริ่มต้นไปยัง TL1 แล้วก็ตาม ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์ TH1 ก็ยังคงเป็นค่าเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกว่าจะมีการกำหนดค่าใหม่ด้วนกระบวนการทางซอฟต์แวร์

ส่วนการทำงานในโหมดนี้ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ เพียงแต่เปลี่ยนรีจิสเตอร์ และ ขาสัญญาณที่เกี่ยวข้องให้เป็นของไทเมอน์ เคาน์เตอร์ 0

2.4.4.4 การทำงานในโหมด 3 : ไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วนหรือไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิต

ในโหมดนี้เป็นโหมดเดียวที่การทำงานของไทเมอร์ 0 และไทเมอร์ 1 ไม่เหมือนกัน ขออธิบายในส่วนของไทเมอร์ 1 ก่อน เมื่อเข้าสู่โหมดนี้ จะเป็นการสั่งให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์หยุดนับ ค่าของการนับก่อนหน้านี้จะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ไทเมอร์ 1 มีลักษณะการทำงานเหมือนกับการดิสเอเบิลไทเมอร์ เคาน์เตอร์ 1 ด้วนการเคลียร์บิต TR1 ในรีจิสเตอร์ TCON



รูปที่ 2.26 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 3 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

ส่วนการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ในโหมดนี้จะแบ่งรีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ออกเป็น 2 ตัว ตัวละ 8 บิต คือรีจิสเตอร์ TL0 และ TH0 โดยแยกการทำงานออกจากกัน รีจิสเตอร์ TL0 สามารถเลือกการทำงานได้เหมือนกับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ตามปกติ ส่วนรีจิสเตอร์ TH0 สามารถทำงานในโหมดไทเมอร์ได้เพียงอย่างเดียว กล่าวคือสามารถรับสัญญาณอินพุตจากสัญญาณนาฬิกาภายในเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่การแจ้งการนับเกินยังคงเหมือนเดิม หากแต่ TL0 แจ้งผ่านบิต TF0 ในขณะที่ TH0 จะแจ้งผ่านทางบิต TF1

โหมด	ฟังก์ชันของไทเมอร์ 0	TMOD	
		การควบคุมจากภายใน	การควบคุมจากภายนอก
0	ไมเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต	00H	08H
1	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต	01H	09H
2	8 บิตตั้งค่าอัตโนมัติ	02H	0AH
3	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วน	03H	0BH

หมายเหตุ

การควบคุมภายใน คือการควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการเซตและเคลียร์บิต TR0 โดยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

การควบคุมจากภายนอก คือการควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง จาก "1" เป็น "0" ที่ขา $\overline{INT0}$ (P3.2) เมื่อ TR0 = "1"

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลจองรีจิสเตอร์ TMOD เพื่อกำหนดให้ไทเมอร์ 0 ทำงานเป็นไทเมอร์

โหมด	ฟังก์ชันของไทเมอร์ 0	TMOD	
		การควบคุมจากภายใน	การควบคุมจากภายนอก
0	ไมเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต	04H	0CH
1	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต	05H	0DH
2	8 บิตตั้งค่าอัตโนมัติ	06H	0EH
3	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วน	07H	0FH

หมายเหตุ

การควบคุมภายใน คือการควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการเซตและเคลียร์บิต TR0 โดยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

การควบคุมจากภายนอก คือการควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงจาก "1" เป็น "0" ที่ขา $\overline{INT0}$ (P3.2) เมื่อ TR0 = "1"

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูลจองรีจิสเตอร์ TMOD เพื่อกำหนดให้ไทเมอร์ 0 ทำงานเป็นเคาน์เตอร์

โหมด	ฟังก์ชันของไทเมอร์ 1	TMOD	
		การควบคุมจากภายใน	การควบคุมจากภายนอก
0	ไมเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต	00H	80H
1	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต	10H	90H
2	8 บิตตั้งค่าอัตโนมัติ	20H	A0H
3	หยุดทำงาน	30H	B0H

หมายเหตุ

การควบคุมภายใน คือการควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการเซตและเคลียร์บิต TR0 โดยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

การควบคุมจากภายนอก คือการควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงจาก "1" เป็น "0" ที่ขา $\overline{INT1}$ (P3.3) เมื่อ TR1 = "1"

ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลจองรีจิสเตอร์ TMOD เพื่อกำหนดให้ไทเมอร์ 1 ทำงานเป็นไทเมอร์

โหมด	ฟังก์ชันของไทเมอร์ 1	TMOD	
		การควบคุมจากภายใน	การควบคุมจากภายนอก
0	ไมเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต	40H	C0H
1	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต	50H	D0H
2	8 บิตตั้งค่าอัตโนมัติ	60H	E0H
3	-	-	-

หมายเหตุ

การควบคุมภายใน คือการควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการเซตและเคลียร์บิต TR0 โดยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

การควบคุมจากภายนอก คือการควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงจาก "1" เป็น "0" ที่ขา $\overline{INT1}$ (P3.3) เมื่อ TR1 = "1"

ตารางที่ 2.6 แสดงข้อมูลจองรีจิสเตอร์ TMOD เพื่อกำหนดให้ไทเมอร์ 1 ทำงานเป็นเคาน์เตอร์

2.4.5 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51แบบแฟลชเบอร์AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx ยังมีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต ให้ใช้งานเพิ่มเติมอีก 1 ตัวคือ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2(Timer/Counter 2) รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษที่เกี่ยวข้องกับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 มีเพิ่มเติมอีก 5 ตัวคือรีจิสเตอร์ไทเมอร์ 2 ซึ่งประกอบด้วย TL2 ,TH2, รีจิสเตอร์ T2CON , รีจิสเตอร์ T2MOD มีแอดเดรสอยู่ที่ C9H และสุดท้ายคือรีจิสเตอร์แคปเจอร์ ซึ่งประดอบด้วย RCAP2L และ RCAP2H

ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 สามารถทำงานเป็นไทเมอร์ หรือตั้งเวลาและเคาน์เตอร์หรือตัวนับได้เช่นเดียวกับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 โดยการกำหนดที่บิต $C/\overline{T}$ ในรีจิสเตอร์ T2CON เมื่อเทียบกับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 ก็คือรีจิสเตอร์ TCON สำหรับโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 มีด้วยกัน 3 โหมดคือ โหมดแคปเจอร์หรือตรวจจับสัญญาณ (capture), โหมดตั้งค่าอัตโนมัติ (auto-reload) และโหมดกำเนิดอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมหรืออัตราบอด (baud rate generator)

2.4.5.1 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

ในการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช มีรีจิสเตอร์ที่ต้องเกี่ยวข้องเป็นพื้นฐานอยู่ 5 ตัว ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

รีจิสเตอร์ไทเมอร์

มีด้วยกัน 2 ตัวคือ TL2 มีแอดเดรสอยู่ที่ CCH และ TH2 มีแอดเดรสอยู่ที่ CDH รีจิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะอยู่ในพื้นที่ของฟังก์ชั่นพิเศษหรือ SFR รีจิสเตอร์แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต แต่ในการใช้งานโดยทั่วไปมักใช้ รวมกันเป็นรีจิสเตอร์ไทมอร์ 2 ขนาด 16 บิต โดยใน TL2 จะเก็บข้อมูล 8 บิตล่าง ส่วน TH2 เก็บข้อมูล 8 บิตบน รีจิสเตอร์ไทเมอร์ทั้งคู่เมื่อนำมาใช้งานร่วมกันจะสามารถเก็บค่าของการนับได้สูงสุด 65,536 ค่าหรือ FFFFH เมื่อนับถึงค่านี้แล้วก็จะวนไปเริ่มนับ 0000H ใหม่ และเมื่อเกิดการนับรอบใหม่ จะมีการเซตบิต TF2 ในรีจิสเตอร์ T2CON ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไทเมอร์เพื่อแจ้งให้ทราบว่าเกิดการนับเกินค่าสูงสุด

- **รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 (T2CON : Timer/Counter 2 Control Register)**

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ C8H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	$C/\overline{T}$	CP/ $\overline{RL2}$

TF2 (Timer 2 overflow flag) : จะเซตเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ Timer2 เกิดการนับเกินหรือเกิดโอเวอร์โฟลว การเคลียร์บิตนี้ทำได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ และจะไม่เกิดการเซตถ้าบิต RCLK หรือ TCLK เป็น "1"

EXF2 (Timer 2 external flag) : จะเกิดการเซตเมื่อเกิดการแคปเจอร์หรือรีโหลดขึ้นซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจาก "1" เป็น "0" ที่ขาอินพุต T2EX(ขา P 1.1) และ บิต EXEN2 เป็น "1" ในกรณีที่อินเตอร์รัปต์ในไทเมอร์ 2 ได้รับการเอ็นเอเบิล และบิต EXF2 นี้เกิดเซต จะมีผลทำให้ซีพียูไปอ่านค่าเวกเตอร์ของการบริการอินเตอร์รัปต์ บิตนี้สามารถเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RCLK (Teceive clock flag) : ถ้าบิตนี้เกิดการเซต ทำให้วงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้พัลส์โอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 2 เป็นสัญญาณนาฬิกาในการรับข้อมูลในโหมด 1 และ 2 ถ้าบิตนี้เป็น "0" จะใช้พัลส์จากไทเมอร์ 1

TCLK (Transmit clock flag) : ถ้าบิตนี้เกิดการเซต ทำให้วงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้พัลส์โอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 2 เป็นสัญญาณนาฬิกาในการส่งข้อมูลในโหมด 1 และ 2 ถ้าบิตนี้เป็น "0" จะใช้พัลส์จากไทเมอร์ 1

EXEN2(Timer 2 external enable flag) : เมื่อบิตนี้เซตเป็น "1" จะเป็นการเอ็นเอเบิลการแคปเจอร์หรือรีโหลดที่ขา T2EX ให้เกิดขึ้นได้ภายใต้เงื่อนไขว่า ไทเมอร์ 2 ต้องไม่ถูกนำไปใช้ในการสื่อสารพอร์ตอนุกรมหรือบิต RCLK หรือ TCLK เป็น"1" ถ้าบิตนี้เป็น "0" ไทเมอร์ 2 จะไม่สนใจเหตุการณ์ที่ขา T2EX

TR2 : บิตนี้จะใช้ในการควบคุมการเริ่มต้นและหยุดการทำงานของไทเมอร์ 2 เป็นการควบคุมทางซอฟต์แวร์

"0" หยุดการทำงานของไทเมอร์ 2 (STOP)

"1" เริ่มต้นการทำงานของไทเมอร์ 2(START)

C/$\overline{T}$ (Capture or Counter selector) : ใช้เลือกลักษณะการทำงานของไทเมอร์ เคาน์เตอร์

"0" เลือกให้ทำงานเป็นไทเมอร์ โดยใช้สัญญาณอินพุตจากสัญญาณนาฬิกาภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

"1" เลือกให้ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ โดยรับสัญญาณอินพุตทางขา T2(P1.0)

CP/$\overline{RL2}$ (Capture/Reload flag) : เป็นบิตแสดงสถานะการทำงานของไทเมอร์ 2

"0" มีการรีโหลดค่าของการนับแบบอัตโนมัติเกิดขึ้น เมื่อไทเมอร์ 2 เกิดโอเวอร์โฟลว หรือเกิดการเปลี่ยนระดับลอจิกแบบลบ(เปลี่ยนจาก "1" เป็น "0")ที่ขา T2EX ในกรณีที่บิต EXEN2 เป็น "1" แต่ถ้าหากบิต RCLK หรือ TCLK เป็น "1" จะยอมให้การรีโหลดแบบอัตโนมัติเกิดขึ้นเมื่อไทเมอร์ 2 เกิดโอเวอร์โฟลวเท่านั้น

"1" แสดงว่ามีการแคปเจอร์เกิดขึ้น เมื่อเกิดการเปลี่ยนระดับลอจิกแบบลบ (เปลี่ยนจาก "1" เป็น "0")ที่ขา T2EX ในกรณีที่บิต EXEN2 เป็น "1"

- **รีจิสเตอร์เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์ เคาน์เตอร์ 2 (T2MOD : Timer/Counter 2 Mode Control Register)**

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ C9H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR ไม่สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีบิตสำหรับกำหนดการทำงานเพียง 2 บิต คือ

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
-	-	-	-	-	-	T2OE	DCEN

T2OE(Timer 2 Output Enable bit) : ใช้เอ็นเอเบิลเอาต์พุตของไทเมอร์ 2

"0" ดิสเอเบิล

"1" เอ็นเอเบิล

DCEN(Timer 2 Counter Enable bit) : กำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานเป็นตัวนับหรือเคาน์เตอร์แบบขึ้นและลง

"0" ดิสเอเบิล

"1" เอ็นเอเบิล

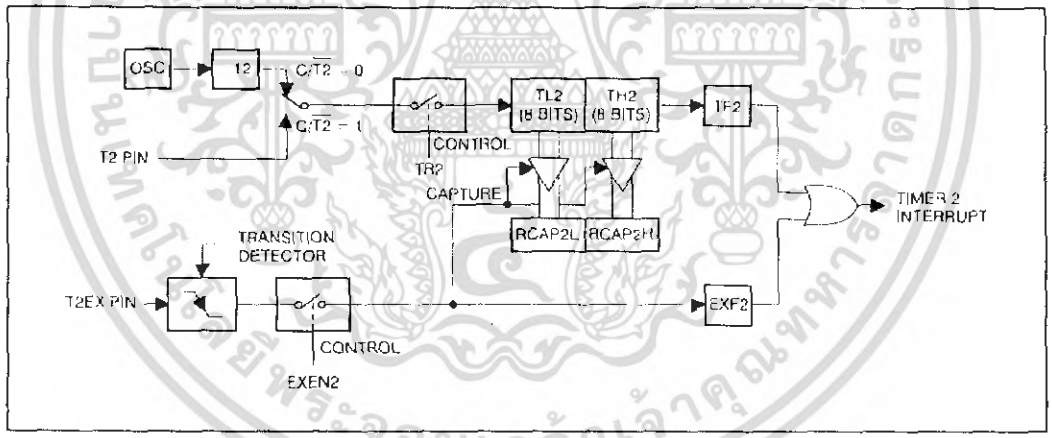
2.4.5.2 โหมดการทำงานของไทเมอร์ เคาน์เตอร์ 2

ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 3 โหมด โดยการกำหนดที่บิต RCLK+TCLK, CP/RL2 และTR2 ในรีจิสเตอร์ T2CON ดังแสดงรายละเอียดในตาราง..... โหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

RCLK+TCLK	CP/$\overline{RL2}$	TR2	โหมด
0	0	1	16 บิตแบบตั้งค่าการนับอัตโนมัติหรือรีโหลด
0	1	1	แคปเจอร์หรือตรวจจับสัญญาณ
1	x	1	กำเนิดอัตราบอด
x	x	0	ดิสเอเบิล

ตารางที่ 2.7 การเลือกโหมดทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

2.4.5.2.1 การทำงานในโหมดแคปเจอร์ หรือตรวจจับสัญญาณ(capture)

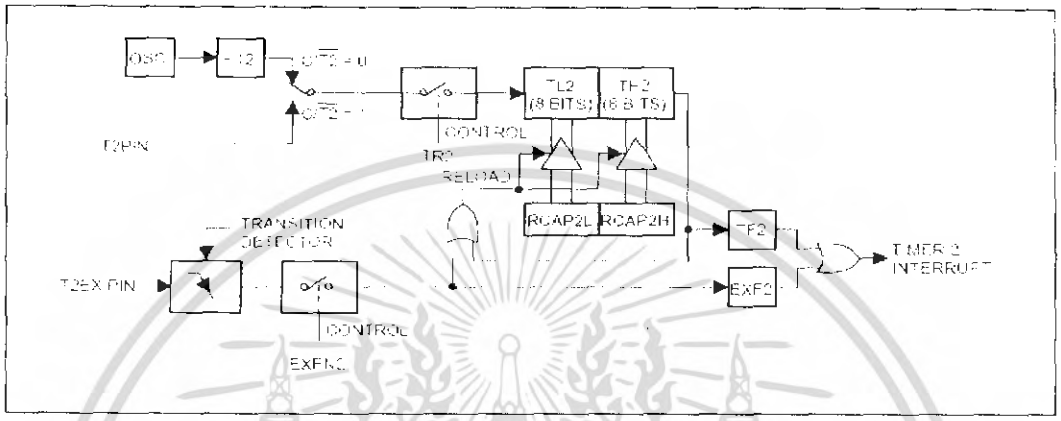


รูปที่ 2.27ไดอะแกรมการทำงานในโหมดแคปเจอร์ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

การทำงานในโหมดนี้จะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เมื่อกำหนดให้บิต EXEN2 เป็น "1" หลังจากที่เลือกให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดแคปเจอร์แล้ว เมื่อเลือกให้ทำงานในโหมดนี้ขาอินพุตที่ทำการตรวจจับคือขาอินพุต T2EX ซึ่งตรงกับขา P1.1 ที่ขา T2EX จะมีวงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับลอจิกจาก "1" เป็น "0" รีจิสเตอร์ TL2 และ TH2 จะทำการนับค่าเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจะกว่าที่ขา T2EX จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อตรวจจับได้ ค่าของรีจิสเตอร์ TL2 และ TH2 จะถูกส่ง

ต่อไปยังรีจิสเตอร์ RCAP2L และ RCAP2H พร้อมกันนั้นยังทำการเซตบิต EXF2ให้เป็น "1" เพื่อสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ให้เกิดขึ้น

2.4.5.2.2 การทำงานในโหมดตั้งค่าการนับอัตโนมัติ(auto-load)



รูปที่ 2.28ไดอะแกรมการทำงานในโหมดตั้งค่าการนับอัตโนมัติของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

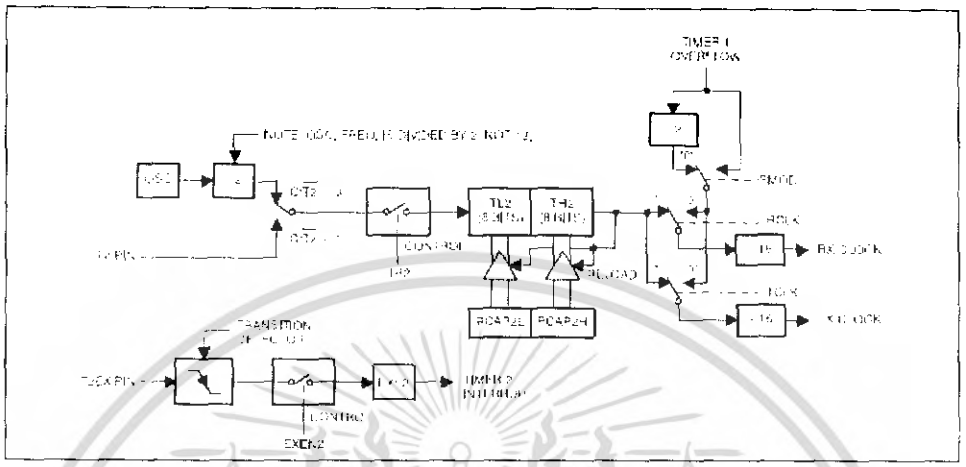
การทำงานในโหมดนี้ การกำหนดสถานะที่บิต EXEN2 จะทำให้เกิดการทำงานใน 2 ลักษณะ คือ ถ้าบิตEXEN2 เป็น "0" เมื่อไทเมอร์ 2 ทำการนับค่าเกินรอบแล้ว จะเกิดการเซตบิต TF2และจะทำการเรียกค่าการนับใหม่จากรีจิสเตอร์ RCAP2L และ RCAP2H โดยอัตโนมัติ การกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ RCAP2L และ RCAP2LH สามารถกระทำได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

ในการณีที่บิต EXEN2 เป็น "1" หลังจากที่เลือกในไทเมอร์ 2 จะทำการนับเหมือนเดิม แต่เงื่อนไขของการตั้งค่าการนับใหม่โดยอัตโนมัติจากรีจิสเตอร์ RCAP2L และ RCAP2LH จะใช้การเปลี่ยนแปลงของระดับลอจิกจาก "1" เป็น "0" ที่ขา T2EX เป็นตัวกำหนด และทำการเซตบิต EXF2 เพื่อสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์แทนบิต TF2

2.4.5.2.3การทำงานในโหมดกำเนิดอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมหรืออัตราบอด(baud rate generator)

การทำงานในโหมดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อทำการเซตบิต RCLK และ/หรือ TCLK ในรีจิสเตอร์ T2CON ให้เป็น "1" เมื่อเข้าสู่การทำงานในโหมดนี้ บิต TF2 จะไม่เกิดการเซต และไม่มีการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ แต่การอินเตอร์รัปต์ในไทเมอร์ 2 ก็ไม่ได้ถูกดิสเอเบิล เมื่ออยู่ในโหมดนี้ บิต EXEN2 ถูกเซต การเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจาก "1" เป็น "0" ที่ขา T2EX จะส่งผลให้บิต EXF2

เกิดการเซต แต่จะไม่มีการเรียกค่าจากรีจิสเตอร์ RCAP2L และ RCAP2H เมื่อเป็นเช่นนี้ขา T2EX จึงสามารถใช้เป็นขาอินพุตสำหรับการอินเตอร์รัปต์ได้เป็นกรณีพิเศษ



รูปที่ 2.29 ไดอะแกรมการทำงานในโหมดกำเนิดอัตราบอดในการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

เมื่อไทเมอร์ 2 ทำงาน(บิต TR2 เป็น “1”) จะถูกกำหนดให้ทำงานเป็นไทเมอร์ จึงไม่สามารถอ่านหรือเขียนค่ากับรีจิสเตอร์ TL2 และ TH2 ได้ ค่าของรีจิสเตอร์ไทเมอร์จะเพิ่มขึ้นทุกๆ สเตต(1 สเตตเท่ากับ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา) ค่าการนับของรีจิสเตอร์นำมาใช้สร้างสัญญาณนาฬิกาของการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

โหมดการทำงานของ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2	T2CON	
	การควบคุมจากภายใน	การควบคุมจากภายนอก
16 บิตแบบตั้งค่าการนับอัตโนมัติหรือรีโหลด	00H	08H
แคปเจอร์หรือตรวจจับสัญญาณ	01H	09H
กำเนิดอัตราบอด โดยอัตรารับและส่งเท่ากัน	34H	36H
รับข้อมูลเท่านั้น	24H	26H
ส่งข้อมูลเท่านั้น	14H	16H

หมายเหตุ

การควบคุมจากภายใน คือ การแคปเจอร์และรีโหลดเกิดขึ้นจากการโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์

การควบคุมจากภายนอก คือ การแคปเจอร์และรีโหลดเกิดขึ้นจากการโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์และการเปลี่ยนระดับลอจิก "1" เป็น "0" ที่ขา T2EX ยกเว้นในกรณีที่กำหนดในทำงานในการกำเนิดอัตราบอดสำหรับพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 2.8 แสดงข้อมูลของรีจิสเตอร์ T2CON เพื่อกำหนดให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ทำงานเป็นไทเมอร์

โหมดการทำงานของ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2	T2CON	
	การควบคุมจากภายใน	การควบคุมจากภายนอก
16 บิตแบบตั้งค่าการนับอัตโนมัติหรือรีโหลด	02H	0AH
แคปเจอร์หรือตรวจจับสัญญาณแบบ 16 บิต	03H	0BH

หมายเหตุ

การควบคุมจากภายใน คือ การแคปเจอร์และรีโหลดเกิดขึ้นจากการโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์

การควบคุมจากภายนอก คือ การแคปเจอร์และรีโหลดเกิดขึ้นจากการโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์และการเปลี่ยนระดับลอจิก "1" เป็น "0" ที่ขา T2EX ยกเว้นในกรณีที่กำหนดในทำงานในการกำเนิดอัตราบอดสำหรับพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 2.9 แสดงข้อมูลของรีจิสเตอร์ T2CON เพื่อกำหนดให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ทำงานเป็นเคาน์เตอร์

2.4.56 วอตช์ด็อกไทเมอร์(Watchdog Timer : WDT)

นอกเหนือไปจากไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทั้งสามตัวแล้วสำหรับในอนุกรม AT89Sxxไม่ว่าเจะเป็นเบอร์ AT89S8252,AT89LS8252 และเบอร์ AT89S53 ยังมีวงจรไทเมอร์อีกแบบหนึ่งเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถนำไปใช้สร้างสัญญาณรีเซตในการณีที่ซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดภาวะหยุดทำงานกระทันหันหรือแฮงก์(hang) นั่นคือ วอตช์ด็อกไทเมอร์(Watchdog Timer : WDT) โดยวอตช์ด็อกไทเมอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชอนุกรม AT89Sxx จะเป็นวอตช์ด็อตไทเมอร์แบบโปรแกรมได้ โดยการกำหนดค่าของบิต PS0-PS2 ในรีจิสเตอร์ WMCON สำหรับเบอร์ AT89S8252 และรีจิสเตอร์ WCON สำหรับเบอร์AT89S53

วอตช์ด็อกไทเมอร์จะได้รับการดิสเอเบิลโดยอัตโนมัติเมื่อเรื่อต้นจ่ายไฟหรือเมื่อเกิดเพาเวอร์ออนรีเซตและเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่การทำงานในโหมดประหยัดพลังงานแบบลดพลังงานหรือเพาเวอร์ดาวน์ สำหรับการเอ็นเอเบิลสามารถกระทำได้โดยกระบวนการทางซอฟต์แวร์โดยการเซตบิต WDTENในรีจิสเตอร์WDCON สำหรับเบอร์ AT89S8252 และรีจิสเตอร์ WCON สำหรับเบอร์ AT89S53

การทำงานของวอตช์ด็อกไทเมอร์จะเริ่มต้นขึ้นเมื่อมีการกำหนดคาบเวลาในการทำงานของวอตช์ด็อกไทเมอร์และมีการเอ็นเอเบิลให้วอตช์ด็อกไทเมอร์เริ่มทำงาน วงจรนับภายในวอตช์ด็อกไทเมอร์จะนับค่าเวลาไปตามปกติ หากซีพียูทำงานอยู่เป็นปกติจะมีการส่งสัญญาณมารีเซตหรือเคลียร์ค่าในวอตช์ด็อกไทเมอร์อยู่เป็นระยะเพื่อไม่ให้วอตช์ด็อกไทเมอร์ทำงานจนถึงค่าเวลาที่กำหนดหรือเกิดการไทม์เอาต์ (time out) ขึ้น แต่ถ้าหากซีพียูเกิดภาวะหยุดทำงานขึ้นกระทันหัน ไม่ว่าจะด้วยสาเหตุใด ยกเว้นการรีเซตและการเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานแบบลดพลังงานหรือเพาเวอร์ดาวน์ก็จะไม่มีสัญญาณมารีเซตหรือเคลียร์ค่าในวอตช์ด็อกไทเมอร์ทำให้ในที่สุดวอตช์ด็อกไทเมอร์ก็จะทำงานถึงค่าเวลาที่กำหนดเกิดการไทม์เอาต์ วอตช์ด็อกไทเมอร์จะทำการสร้างสัญญาณรีเซตส่งไปยังซีพียู เพื่อทำการรีเซตซีพียู ส่งผลให้ซีพียูสามารถกลับมาเริ่มต้นทำงานใหม่ได้อีกครั้งโดยที่ไม่จำเป็นต้องทำการรีเซตซีพียูจากภายนอกหรือจ่ายไฟเลี้ยงใหม่ให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์พื้นฐานเช่น 8031, 8032,8051 หรือแบบแฟลชเบอร์ AT89C51, AT89C52, AT89C55 จะไม่มีวอตช์ด็อกไทเมอร์อยู่ภายใน เมื่อมีความจำเป็นต้องตรวจสอบการทำงานของซีพียูจึงต้องใช้เทคนิคในการเขียนโปรแกรมเข้าช่วย โการใช้ไทเมอร์ที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์พื้นฐานเหล่านั้น หรือใช้ไอซีที่ทำหน้าที่เป็นวงจรวอตช์ด็อกโดยเฉพาะต่อเข้ากับขา RST ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสร้างสัญญาณรีเซตขึ้น ในการณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดภาวะหยุดทำงานกระทันหันโดยไม่ทราบสาเหตุ

- **รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของวอตช์ด็อกไทเมอร์(Watchdog & Memory Control register : WMCON และ Watchdog control register : WCON)**

ในการทำงานของวอตช์ด็อกไทเมอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51แบบแฟลชอนุกรม AT89Sxx มีรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน 1 ตัวคือ WDCON สำหรับเบอร์ AT89S8252 และรีจิสเตอร์ WCON สำหรับเบอร์ AT89S53 โดยมีหน้าที่ในการทำงานหลักเหมือนกันทุกประการ ส่วนแตกต่างมีเพียงจุดเดียวคือในเบอร์ AT89S8252 มีหน่วยความจำข้อมูลแบบอีอีพรอมอยู่ จึงต้องมีการควบคุมการทำงานเพิ่มเติมเข้ามา จึงใช้บิต 3 และ 4 ในรีจิสเตอร์ WMCON มาจัดการหน่วยความจำข้อมูลส่วนนี้ สำหรับบิตอื่นๆ จะเหมือนกันทุกประการ ดังนั้นในการอธิบายรายละเอียดของรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของวอตช์ด็อกไทเมอร์จะอธิบายรวมไปในคราวเดียวกัน โดยจะเพิ่มเติมรายละเอียดของบิตที่ใช้ควบคุมหน่วยความจำข้อมูลแบบอีอีพรอมเข้าไปด้วย

รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของวอตช์ด็อกทั้ง WMCON และ WCON เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 96H ในพื้นที่ของ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 7	
PS2	PS1	PS0	EEMWE	EEMEN	DPS	WDTRST	WDTEN	AT89S8252

PS2	PS1	PS0	EEMWE	EEMEN	DPS	WDTRST	WDTEN	AT89S53

PS2-PS0 (Prescaler bits) : ใช้ในการเลือกค่าเวลาให้แก่วอตช์ด็อกไทเมอร์ มีรายละเอียดดังนี้

บิตปรีสเกลเลอร์			ค่าเวลาของวอตช์ไทเมอร์
PS2	PS1	PS0	
0	0	0	16 ms
0	0	1	32 ms
0	1	0	64 ms
0	1	1	128 ms
1	0	0	256 ms
1	0	1	512 ms
1	1	0	1,024 ms
1	1	1	2,048 ms

ตารางที่ 2.10 การเลือกเวลาให้แก่วอตช์ด็อก

EEMWE (EEPROM Data Memory Write Enable bit) : บิตนี้เป็นบิต 4 ของรีจิสเตอร์ WMCON ใช้ในการเอ็นเอเบิลการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลแบบอีอีพรอมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252 เมื่อต้องการเขียนข้อมูลต้องทำการเซตบิตนี้ก่อน หลังจากการเขียนข้อมูลเสร็จสิ้นลง ต้องทำการเคลียร์บิตนี้เสมอ สำหรับในรีจิสเตอร์ WCON ในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89S53 บิตนี้จะไม่มีการใช้งานต้องกำหนดให้เป็น "0"

EEMEM (Internal EEPROM Access Enable bit) : บิตนี้เป็นบิต 3 ของรีจิสเตอร์ WMCON ใช้ในการเอ็นเอเบิลการเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลแบบอีอีพรอมภายใน AT89S8252 แทนที่จะใช้หน่วยความจำข้อมูลภายนอก เมื่อต้องการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำส่วนนี้ โดยใช้คำสั่ง MOVX และรีจิสเตอร์ DPTR ต้องทำการเซตบิตนี้ก่อน ถ้าหากบิตนี้เป็น "0" จะเป็นการกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้คำสั่ง MOVX และรีจิสเตอร์ DPTR ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับในรีจิสเตอร์ WCON ของ AT89S53 บิตนี้ไม่ได้ใช้งานกำหนดให้เป็น "0"

DPS (Data Pointer Register Select) : เนื่องจากในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรม AT89Sxx จะมีรีจิสเตอร์สำหรับชี้ข้อมูลหรือ DPTR 2 ตัวคือ DPTR0 และ DPTR1 บิตนี้จึงมีหน้าที่ใช้ในการเลือกรีจิสเตอร์ DPTR ถ้าเป็น "0" จะเป็นการเลือกรีจิสเตอร์ DPTR 0(ซึ่งก็คือ DP0L และ DP0H) ในกรณีที่บิตนี้เป็น "1" จะเป็นการเลือกรีจิสเตอร์ DPTR 1(ซึ่งก็คือ DP0L และ DP1H)

WDTRST/RDY/BSY (Watchdog Timer Reset and EEPROM Ready/Busy flag) : บิตนี้มีความเกี่ยวข้องกับการทำงาน 2 ส่วนคือ การรีเซตของวอตช์ด็อกไทเมอร์และใช้เป็นบิตแสดงสถานะของหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89S8252 ในกรณีวอตช์ด็อกไทเมอร์ บิตนี้จะเซตโดยผู้ใช้งานด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ เป็นการสั่งให้วอตช์ด็อกไทเมอร์สร้างสัญญาณรีเซตส่งออกไปในกรณีที่วอตช์ด็อกไทเมอร์เกิดไทม์เอาต์ หลังจากที่ส่งสัญญาณรีเซตออกไปแล้ว บิตนี้จะเคลียร์ตัวเองเป็น "0" โดยอัตโนมัติในไซเคิลของการทำงานถัดไป ดังนั้นบิตนี้จึงเขียนได้เพียงอย่างเดียว(write-only)

ในกรณีของหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม จะใช้บิตนี้ในการป้องกันการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ ถ้าบิตนี้ เป็น "1" หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมจะสามารถอ่านได้เพียงอย่างเดียว เมื่อมีความต้องการเขียนข้อมูลหลังจากเอ็นเอเบิลการเขียนที่บิต EEMWE แล้ว ในทำการเคลียร์บิตนี้เป็น "0" หลังจากที่การเขียนข้อมูลเสร็จสิ้นลง บิตนี้จะเซตเป็น "1" โดยอัตโนมัติ เป็นการแจ้งให้ทราบว่า การเขียนข้อมูลเสร็จสิ้นลงแล้ว

สำหรับใน AT89S53 ใช้งานบิตนี้ในการสร้างสัญญาณรีเซตของวอตช์ไทเมอร์เท่านั้น

WDTEN (Watchdog Timer Enable bit) : ใช้ในเอ็นเอเบิลการทำงานของวอตช์ไทเมอร์

"0" ดิสเอเบิลวอตช์ด็อกไทเมอร์

"1" เอ็นเอเบิลวอตช์ด็อกไทเมอร์

จากรายละเอียดของไทเมอร์ เคาน์เตอร์ทั้งหมด จะเห็นได้ว่า ในการสร้างระบบควบคุมที่ดี ไทเมอร์/เคาน์เตอร์เป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นต้องมี ไม่ว่าจะเป็นการสร้างอัตราบอดสำหรับการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ หรือเพื่อสร้างฐานเวลา และยังสามารถใช้ในการวัดคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณได้อีกด้วย นอกจากนั้นในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรม AT89Sxx ที่มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ในตัวยังช่วยให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพมากขึ้น การมีวอตช์ด็อกไทเมอร์ในตัวจัดได้ว่าเป็นคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ไปแล้วจึงส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีขีดความสามารถที่ทัดเทียมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ยุคใหม่ และยังคงเป็นที่นิยมใช้งานกันต่อไป

2.5 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์(Full-deplex) 1 ชุด โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือ ขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นแบบอะซิงโครนัสปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรเลอร์ จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้วโดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณการสื่อสารดังกล่าว

2.5.1 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรม

ในการทำงานของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัว ดังนี้

- **รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรม(SBUF : Serial data buffer register)**

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ มีขนาด 8 บิต แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรับข้อมูล (receiver buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBFF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม(SCON : Serial port Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์พิเศษ สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดการทำงานดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0,SM1 (Serial port mode bit 0-1): ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังมีรายละเอียดดังนี้

"00" โหมด0 Shift register

"01" โหมด1 8-bit UART

"10" โหมด2 9-bit UART

"11" โหมด3 9-bit UART

SM2 : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์(mutiprocesser) ในการทำงานของโหมด 2 และ3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าบิตนี้เป็น "1" บิต RI จะไม่แอคทิฟถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น "0" ในการทำงานในโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิต RI จะไม่แอคทีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้จะไม่มีการใช้งาน

REN (Enable serial reception) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

TB8 : ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงาน โหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RB8 : ใช้สำหรับรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น "0" ข้อมูลที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด สำหรับในการทำงานในโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งาน บิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TI (Transmit Interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานในโหมด 0 ส่วนในการทำงานในโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RI (Receive Interrupt flag) : ใช้แสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วใน

การทำงานในโหมด 0 ส่วนในการทำงานในโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อสามารถรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้ว ยกเว้นในกรณีที่บิต SM2 มีการเซต บิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

2.5.2 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเลือกการทำงานได้ถึง 4 โหมดคือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิฟต์รีจิสเตอร์
2. โหมด 1 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 8 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้
3. โหมด 2 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่
4. โหมด 3 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

2.5.2.1 การทำงานในโหมด 0 ของวงจรพอร์ตอนุกรม

มีไดอะแกรมการทำงานและไดอะแกรมเวลาแสดงในรูป ... ข้อมูลอนุกรมจะผ่านเข้าและออกทางขา RxD ส่วนขา TxD ทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูล(Shift clock) ในโหมดนี้มีจำนวนข้อมูล 8 บิต โดยทำการรับและส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อน อัตราในการรับส่งข้อมูลหรืออัตราบอดถูกกำหนดไว้คงที่ที่ 1/12 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา

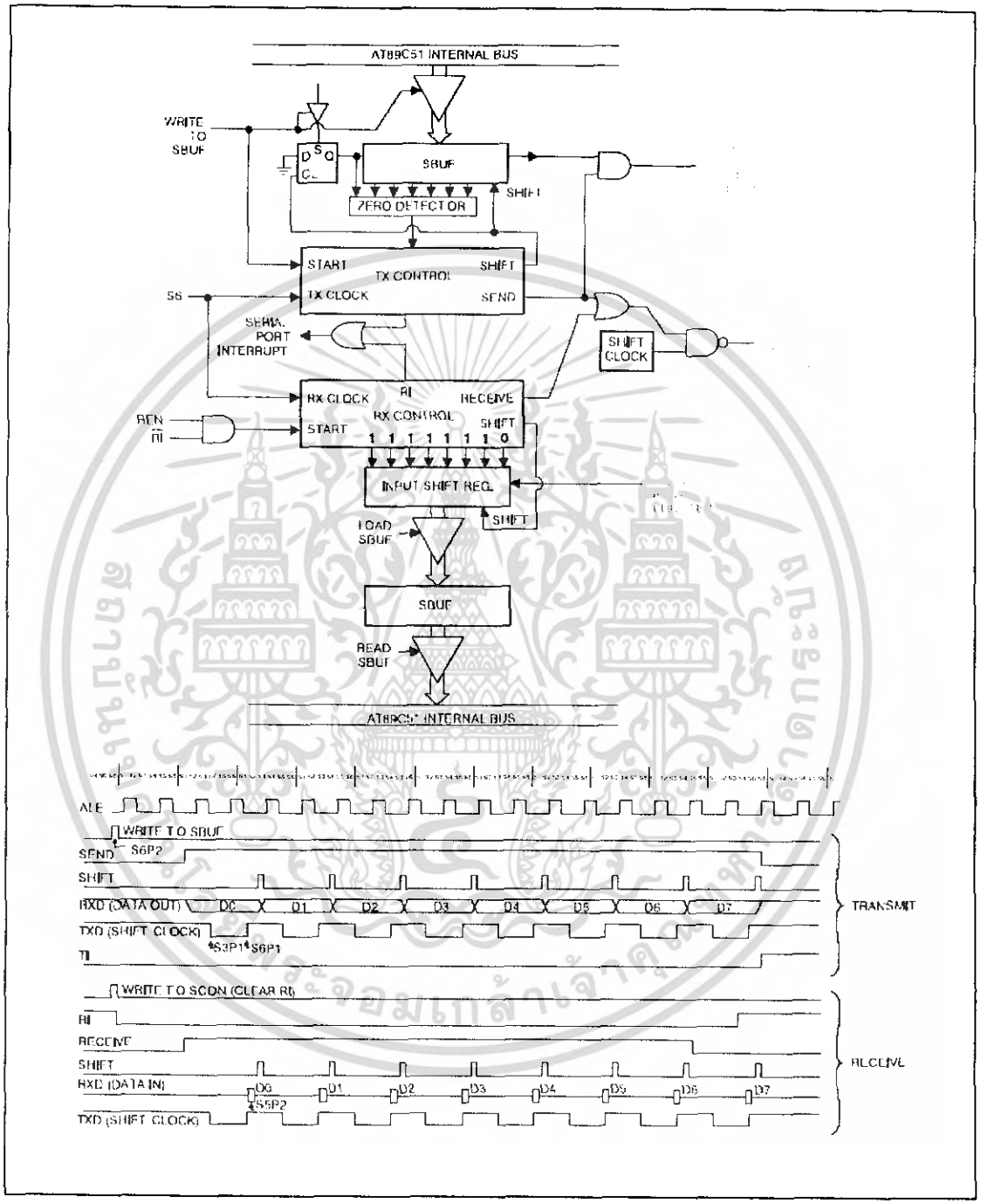
เริ่มต้นการส่งข้อมูลด้วยการเขียนข้อมูลที่ต้องการส่งมายังรีจิสเตอร์ SBUF สัญญาณเขียนข้อมูล แอคทีฟเป็น "1" ที่สเตต 6 เฟส 2(S6P2)ของแมคชีนไซเคิล ส่งมายังวงจรควบคุมการส่ง(TX control) ทำให้วงจรควบคุมเริ่มต้นส่งข้อมูล สัญญาณ SEND จะกลายเป็น "1" ตลอดเวลาการส่งข้อมูล

ข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF จะถูกเลื่อนออดที่ขา P3.0 หรือขา TxD โดยสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูลจะมีขอบขาลงของสัญญาณที่สเตต 3 เฟส 1 และมีของขาขึ้นของสัญญาณที่สเตต 6 เฟส 1 ของแต่ละเมคชีนไซเคิลในกระบวนการส่งข้อมูลจนกระทั่งเมื่อส่งข้อมูลครบ 8 บิตแล้ว บิต TI ในรีจิสเตอร์ SCON จะเกิดการเซต เป็นการแจ้งให้ทราบว่าส่งข้อมูลครบแล้ว หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้ ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูล สัญญาณ SEND จะกลายเป็น "0" จนกว่าจะเริ่มต้นกระบวนการรับข้อมูลใหม่

ในกระบวนการรับข้อมูล เริ่มต้นด้วยการเซต REN ให้เป็น "1" และเคลียร์บิต RI ในรีจิสเตอร์ SCON ก่อน ที่สเตต 6 เฟส 2 ของแมคชีนไซเคิลถัดไป วงจรควบคุมการรับ(RX control)

จะทำการเขียนข้อมูล 11111110 ไปยังชิฟต์รีจิสเตอร์สำหรับรับข้อมูล และทำการแอคทีฟสัญญาณ RECEIVE ให้เป็น “1” ในสัญญาณนาฬิกาลูกถัดไป



รูปที่ 2.30ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 0 ของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อสัญญาณ RECEIVE แอคทีฟ ก็จะเกิดการส่งสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูล(shift register) ขึ้นผ่านทางขา P3.1 หรือ TxD เพื่อทำการกำหนดจังหวะการรับข้อมูลครั้งละบิต โดยสัญญาณนาฬิกานี้จะเกิดขึ้นในช่วงสเตต 3 เฟส 1 ถึง สเตต 6 เฟส 1 ของแต่ละแมคชีนไซเคิล การรับข้อมูลเข้ามาทางขา P3.0 หรือ RxD จะเกิดขึ้นในช่วงสเตต 5 เฟส 2 ในแมคชีนไซเคิลเดียวกันกับสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูล จนกระทั่งรับข้อมูลครบทั้ง 8 บิต บิต RI จะได้รับการเซตเพื่อแจ้งการเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูล หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้ ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นภายในระบบ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูล สัญญาณ RECEIVE จะกลายเป็น "0" จนกว่าจะเริ่มต้นกระบวนการรับข้อมูลใหม่

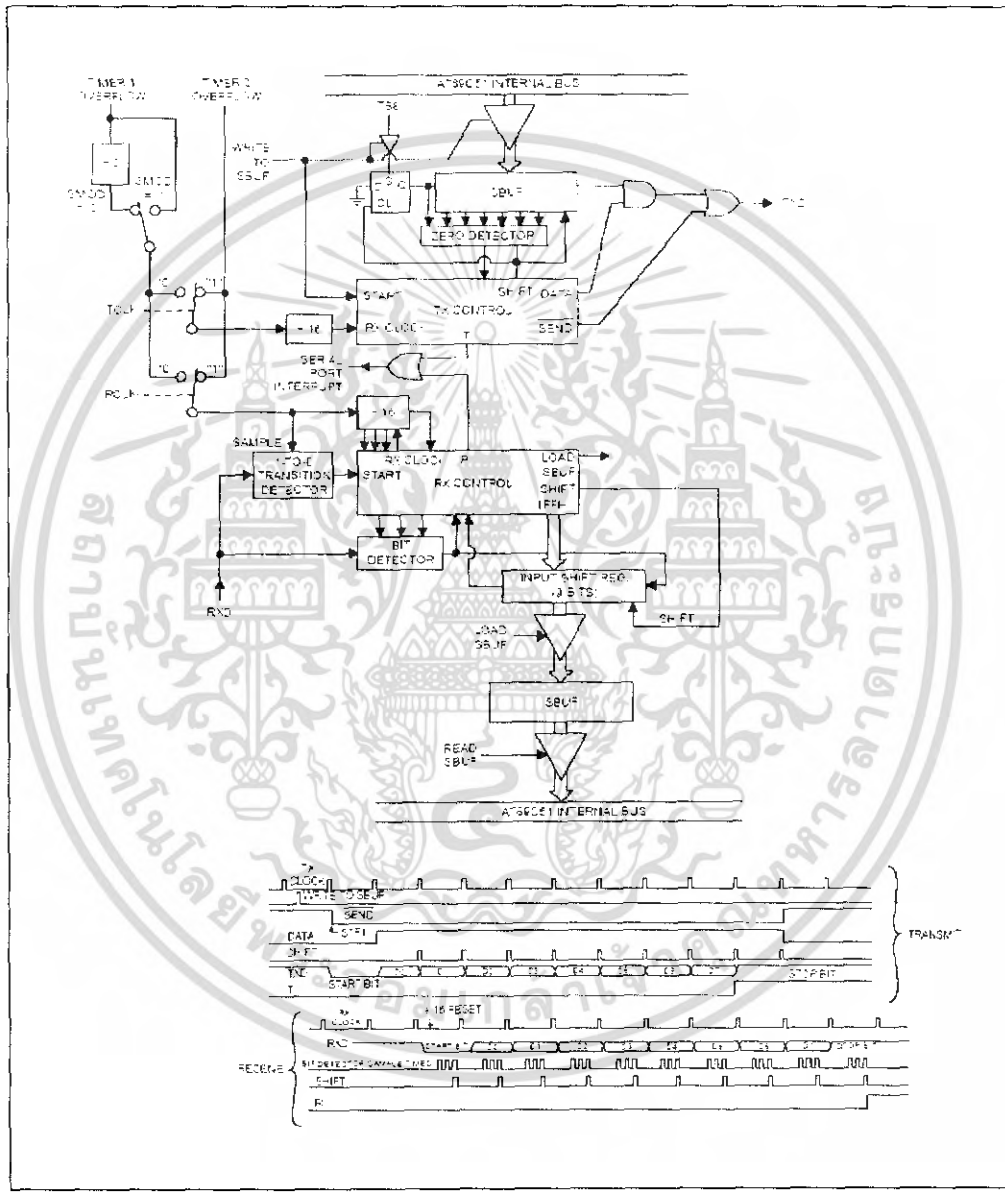
การทำงานในโหมดนี้ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้ในการเชื่อมต่อกับไอซีรีจิสเตอร์ภายนอกเพื่อทำการขยายจำนวนพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุต ต่ำไม่เป็นที่นิยมใช้งานมากนัก เนื่องจากในไมโครคอนโทรลเลอร์เองมีพอร์ตอยู่ค่อนข้างมาก และติดต่อกับพอร์ตเหล่านั้นได้ง่ายและเร็วกว่ามาก

2.5.2.2 การทำงานในโหมด 1 ของวงจรพอร์ตอนุกรม

มีไดอะแกรมแสดงในรูปที่ .....ในโหมดนี้ใช้ในการนับส่งข้อมูลรวม 10 บิต โดยส่งข้อมูลออกทางขา P3.1 หรือ TxD และรับข้อมูลเข้าทางขา P3.0 หรือ RxD ข้อมูบทั้ง 10 บิตประกอบด้วยบิตเริ่มต้น(มีค่าเป็น "0")1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต โดยรับหรือส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อน และบิตหยุดหรือบิตปิตท้าย(มีค่าเป็น "1") ในการรับข้อมูลบิตหยุดจะถูกเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราบอดในโหมดนี้ ได้รับการกำหนดโดยอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1 ใน AT89C51 ส่วนในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx สามารถเลือกใช้อัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์1 หรือไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดได้

กระบวนการส่งข้อมูลเริ่มต้นด้วยการแอคทีฟสัญญาณเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ส่งมายังวงจรควบคุมการส่ง จากนั้นวงจรควบคุมจะทำการแอคทีฟสัญญาณ SEND ที่สเตต 1 เฟส 1 ของแมคชีนไซเคิลต่อมา โดยสัญญาณ SEND จะเป็น "0" ตลอดการส่งข้อมูล เมื่อสัญญาณ SEND แอคทีฟ จะทำการส่งบิตเริ่มต้นก่อนเป็นบิตแรก โดยมีคาบเวลาของบิตเริ่มต้นเท่ากับ 1 แมคชีนไซเคิล จากนั้นตามด้วยการส่งบิตข้อมูล 8 บิต เรียงลำดับจากบิต LSB โดยข้อมูลที่ทำการส่งจะถูกเรียงออกมาจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับการส่งข้อมูล ในทุกๆบิตข้อมูลที่ทำการส่งออกไป จะเกิดสัญญาณพัลส์ เลื่อน(shift) ขึ้น เพื่อให้เรียกข้อมูลในแต่ละบิตจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ การกำหนดจังหวะการส่งข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการส่ง(TX clock)เป็นตัวกำหนด โดยสัญญาณนาฬิกานี้ได้มาจากการหารสัญญาณ TCLK จากไทเมอร์ 1 ด้วย 16 หลังจากการส่งบิตข้อมูลก็จะทำการส่งบิต

หยุดหรือบิตปิดท้าย 1 บิต ดังนั้นการส่งข้อมูลจะใช้สัญญาณนาฬิกาทั้งหมด 10 ลูก เมื่อทำการส่งข้อมูลครบเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิต TI ก่อนเป็นอันดับแรก เพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้



รูปที่ 2.31 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1 ของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

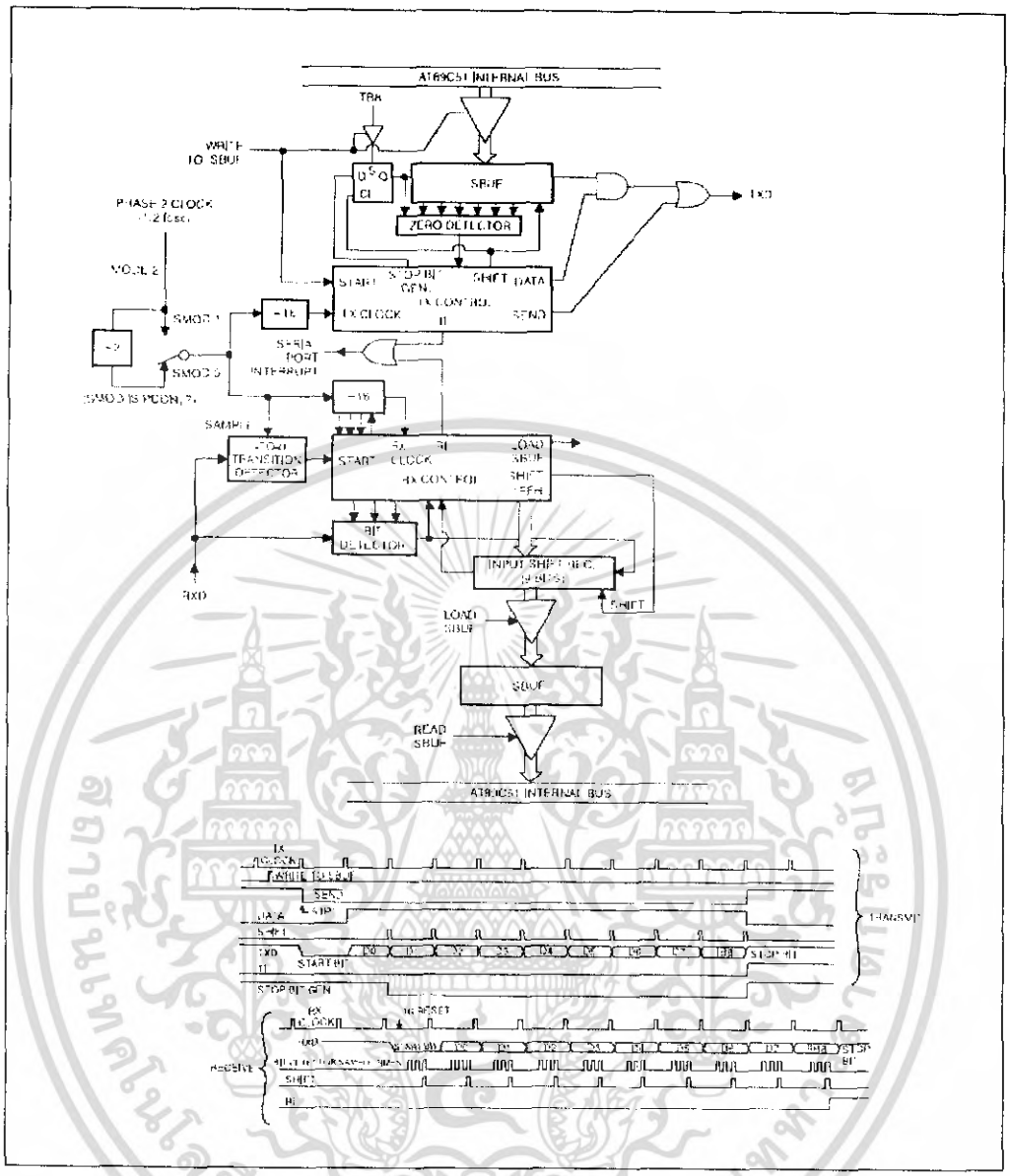
ด้านการรับข้อมูล จะทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจาก "0" เป็น "1" ที่ขา RxD โดยใช้อัตราการสุ่มเท่ากับ 1/16 เท่าของอัตรบอด เมื่อตรวจจับพบ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดจะรีเซตและทำการเขียนข้อมูล 1FFH ไปยังชิฟต์รีจิสเตอร์ ข้อมูลจะเริ่มเดินทางเข้าสู่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา RxD ในการตีความว่าบิตที่เข้ามาเป็น "0" หรือ "1" จะใช้ผลการสุ่มข้างมาก โดยบิตของข้อมูลที่เข้ามาได้รับการแบ่งออกเป็น 16 สเตต การสุ่มข้อมูลจะทำการสุ่มสเตตที่ 7, 8 และ 9 หาก 2 ใน 3 ของการสุ่มพบว่าข้อมูลเป็นลอจิกใด จะตีความเป็นตามเสียงข้างมาก ยกตัวอย่าง สุ่มพบลอจิก "1" 2 ใน 3 ครั้ง จะตีความว่าบิตของข้อมูลที่รับได้นั้นเป็น "1"

ลำดับของการรับข้อมูลมีลักษณะเดียวกับการส่งข้อมูลคือ เริ่มต้นด้วยบิตเริ่มต้นก่อน ตามด้วยบิตข้อมูล และบิตปิดท้าย ในทุกๆการรับข้อมูลได้ 1 บิต จะมีพัลส์เลื่อน(shift) เกิดขึ้น เพื่อทำการเลื่อนข้อมูลเข้าสู่รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์การรับข้อมูล การกำหนดจังหวะการรับข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการรับข้อมูล(RX clock) หลังจากสัญญาณนาฬิกาลูกสุดท้าย อันหมายถึงสามารถรับข้อมูลได้ครบแล้ว วงจรควบคุมการรับข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ไปยังรีจิสเตอร์ SBUF และบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON โดยข้อมูลในบิต RB8 ก็คือข้อมูลของบิตหยุดนั่นเอง พร้อมกันนั้นยังทำการเซตบิต RI ในรีจิสเตอร์ SCON ด้วย หากการอินเตอร์รัปต์หรือการรับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิต RI ก่อน เพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้

การทำงานในโหมดนี้ได้รับความนิยมสูงสุดเนื่องจากมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและสามารถทำการรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

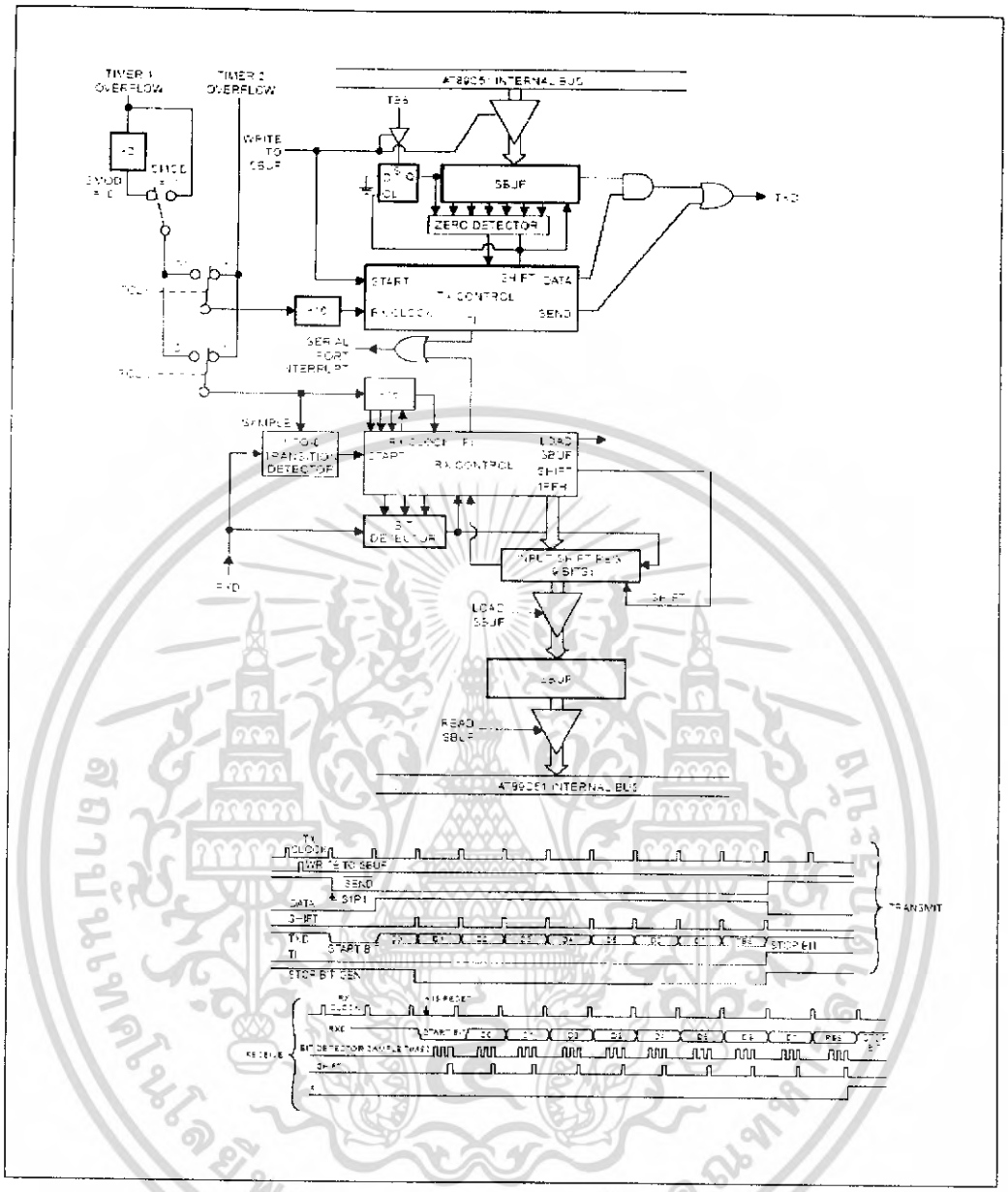
2.5.2.3 การทำงานในโหมด 2 และ 3 ของวงจรพอร์ตอนุกรม

ในทั้งสองโหมดนี้จะใช้รูปแบบข้อมูลรวม 11 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น มีค่าเป็น "0" จำนวน 1 บิต, บิตข้อมูล 8 บิต โดยทำการรับและส่งบิต LSB ก่อน, บิตข้อมูลที่ 8 และบิตปิดท้ายมีค่าเป็น "1" จำนวน 1 บิต ในการส่งข้อมูล ข้อมูลที่ 9 จะได้รับการเก็บไว้ในบิต TB8 ในรีจิสเตอร์ SCON และในการรับข้อมูล ข้อมูลบิตที่ 9 จะนำไปเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราบอดในโหมด 2 จะคงที่โดยเลือกได้ 2 ค่าคือ 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สำหรับในโหมด 3 อัตราบอดสามารถปรับได้เหมือนกับในโหมด 1



รูปที่ 2.31 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 2 ของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

ในรูปที่ 3.31 และ 2.32 เป็นไดอะแกรมการทำงานและไดอะแกรมของการทำงานในโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรม การทำงานโดยรวมจะคล้ายกับการทำงานในโหมด 1 ส่วนที่แตกต่างกันคือจำนวนบิตของข้อมูลที่ในโหมด 2 และ 3 จะมีเพิ่มมาอีก 1 บิต โดยส่วยใหญ่จะใช้เป็นบิตตรวจสอบพาริตี้



รูปที่ 2.32 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 3 ของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5.3 อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

- **โหมด 0**

  อัตราบอดของโหมดนี้มีค่าคงที่ โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Baud rate} = \frac{Clock}{12} \quad \text{(บิตต่อวินาที)}$$

  โดยที่ Clock เป็นความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

- **โหมด 1 และ 3**

เนื่องจากทั้งสองโหมดนี้สามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้ 2 แหล่งคือ จากอัตราโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1 และ 2 สำหรับอัตราบอดเมื่อใช้การโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1 จะต้องใช้ค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON มาพิจารณาประกอบด้วย โดยรีจิสเตอร์ PCON มีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL

SMOD(Double Baud rate bit) : ใช้ในการเพิ่มอัตาบอดของการรับส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นสองเท่า เมื่อบิตนี้เซตเป็น "1" และใช้ไทเมอร์ 1 ในการสร้างบอด โดยพอร์ตอนุกรมต้องถูกกำหนดได้ทำงานในโหมด 1, 2 หรือ 3

GF1 และ GF0(general-purpose flag bit) : เป็นแฟลกสำหรับใช้งานทั่วไป เซตและเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์

PD(Power Down bit) : ใช้เอ็นเอเบิลการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานแบบลดพลังงาน หรือ พาวเวอร์ดาวน์(power down mode) สามารถเซตด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์และเคลียร์ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ ถ้าต้องการให้ทำงานในโหมดประหยัดพลังงานแบบลดพลังงานต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

IDL (Idle mode bit) : ใช้เอ็นเอเบิลการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานแบบไอเดิล(idle mode) สามารถเซตด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์และเคลียร์ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ ถ้าต้องการให้ทำงานในโหมดประหยัดพลังงานแบบไดเดิลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

จากข้างต้น สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

$$\text{Baud rate} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times \frac{\text{Clock}}{12 \times (256 - TH1)}$$

โดยที่ SMOD เป็นค่าของบิตภายในรีจิสเตอร์ PCON ซึ่งอาจมีค่าเป็น 0 หรือ 1

TH1 เป็นค่าภายในรีจิสเตอร์ ซึ่งใช้ในสำหรับรีโหลด ค่าของการนับเวลา

Clock เป็นความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

ในกรณีที่ใช้ไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดโดยกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดกำเนิดอัตราบอด(baud rate generator) สามารถคำนวณหาค่าอัตรบอดได้จาก

$$\text{Baud rate} = \frac{\text{Tmer 2 Overflow Rate}}{16} \quad \text{(บิตต่อวินาที)}$$

โดยที่ Tmer 2 Overflow Rate เป็นอัตรการโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 2

ถ้าหากกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดปกติ สามารถคำนวณหาค่าบอดได้จาก

$$\text{Baud rate} = \frac{Clock}{32 \times (65536 - (RCAP2H, RCAP2L))}$$

โดยที่ (RCAP2H,RCAP2L) เป็นค่าของรีจิสเตอร์ RCAP2H และ RCAP2L มีขนาด 16 บิต ไม่คิดเครื่องหมาย

- **โหมด 2**

ในโหมดนี้อัตราบอดจะขึ้นอยู่กับค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ถ้า SMOD มีค่าเป็น "0" อัตราบอดจะเท่ากับ 1/ 64 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา ในกรณีที่ SMOD เป็น "1" อัตราบอดจะเท่ากับ 1/32 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สามารถแสดงเป็นสาการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{Board rate} = \frac{2^{SMOD}}{64} \times Clock \quad \text{(บิตต่อวินาที)}$$

โดยที่ Clock เป็นความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

2.5.4 การกำหนดค่าของไทเมอร์ 1 เพื่อเลือกอัตราบอด

การกำหนดค่าลงใน Timer 1 ทำได้โดยการโปรแกรมไปที่ TMOD ให้ทำงานแบบ 8-bit auto reload mode (โหมด 2) โดยเขียนค่าไปที่ TH1 ซึ่งโปรแกรมไปที่รีจิสเตอร์ TMOD ได้ดังนี้

```
MOV TMOD,#0010xxxxB
```

ค่า x หมายความว่าเป็นอะไรก็ได้เพราะบิตเหล่านี้ใช้ใน Timer 0

ถ้าต้องการอัตราบอดต่ำๆ สามารถใช้ 16-bit mode ได้ โดยโปรแกรมเป็น TMOD = 0001xxxB ค่าของอัตราบอดที่ส่งออกมาจะมีค่าเท่ากับ ความถี่ของไทเมอร์ 1 เกิด โอเวอร์โฟลว หารด้วย 32 (หรือหาร 16 ถ้า SMOD =1)

การคำนวณหาค่าอัตราบอดที่กำหนดด้วย ไทเมอร์ 1 สามารถทำได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{Baud rate} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times \frac{\text{Clock}}{12 \times (256 - TH1)}$$

โดยที่ SMOD เป็นค่าของบิตภายในรีจิสเตอร์ PCON ซึ่งอาจมีค่าเป็น 0 หรือ 1

TH1 เป็นค่าภายในรีจิสเตอร์ ซึ่งใช้ในสำหรับรีโหลด ค่าของการนับเวลา

Clock เป็นความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

รูปแบบทั่วไปของการหาค่าอัตราบอดในโหมด 1 และ 3 สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{Baud rate} = \frac{\text{Tmer 1 Overflow Rate}}{32}$$

ถ้าต้องการค่าอัตราบอดเท่ากับ 1,200 บิตต่อวินาที สามารถคำนวณค่าความถี่โอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1 ได้ดังนี้

$$1{,}200 = \frac{\text{Tmer 1 Overflow Rate}}{32}$$

จะได้ Timer 1 Overflow Rate เท่ากับ 38.4 kHz

ถ้าระบบใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกาจากคริสตอล(Crystal) เท่ากับ 12 MHz ตัวไทเมอร์ 1 จะรับสัญญาณนาฬิกา(Clock) เท่ากับ 1 MHz ถ้าเราต้องการ Timer 1 Overflow เท่ากับ 38.4 kHz ดังนั้น ค่าอัตราโอเวอร์โฟลว มีค่าเท่ากับ 1 MHz/38.4 kHz = 26.04 Clock โดยค่าโอเวอร์โฟลวจะเกิดเมื่อเกิดการเปลี่ยนจาก FFH เป็น 00H ดังนั้นจะต้องให้ไทเมอร์1 นับไป 26 ครั้ง ดังนั้นค่าที่จะให้รีจิสเตอรี TH1 มีค่าเท่ากับ -26 ซึ่งใช้เป็นค่า รีโหลด ดังนั้นเขียนคำสั่งได้ดังนี้

```
MOV TH1,#-26
```

ตัวโปรแกรมแอสเซมเบลอร์ทั่งไปจะแปลงค่า -26 เป็น 0E6H เอง จากที่ผ่านมาจะเห็นว่าความถี่อัตราบอด จะมีความสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ จากคริสตอลในตารางที่. จะเป็นค่าที่ต้องกำหนดในไทเมอร์ 1 เมื่อต้องการค่าอัตราบอดต่างๆ จะเห็นว่าถ้าใช้ความถี่นาฬิกา 12 MHz ค่าอัตราบอดจะมีข้อผิดพลาด

Baud rate(bps)	Crystal(MHz)	SMOD	TH1	ค่า Baud rate ที่ได้(bps)	Error (%)
9,600	12	1	-7(F9H)	8,923	7
2,400	12	0	-13(F3H)	2,040	0.16
1,200	12	0	-16(E6H)	1,020	0.16
19,200	11.0592	1	-3(FDH)	19,200	0
9,600	11.0592	0	-3(FDH)	9,600	0
2,400	11.0592	0	-12(F4H)	2,400	0
1,200	11.0592	0	-24(E8H)	1,200	0

ตารางที่ 2.11 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.6 การอินเทอร์รัปต์

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทั่วไปมักมีอุปกรณ์ภายนอกต่อร่วมอยู่ ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการทำงานกับอุปกรณ์ภายนอกจะต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์เหล่านั้นเสมอ ตัวอย่างเช่น ถ้าหากให้ไมโครคอนโทรลเลอร์พอร์ทหนึ่งต่ออยู่กับหลอด LED 7 ส่วน อีกพอร์ทหนึ่งต่อกับสวิตช์ ถ้าระบบของเราทำงานเป็นนาฬิกาแสดงทาง LED ถ้ามีการกดสวิตช์ให้นาฬิกาหยุดเดิน เราอาจเขียนโปรแกรมให้ทำงานเป็นนาฬิการะหว่างที่นาฬิกาเดินไปให้คอยตรวจสอบสวิตช์ด้วยว่ามีการกดหรือยัง การทำงานแบบนี้เรียกว่า Polling Method คือตัวไมโครคอนโทรเลอร์จะต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์อินพุตตลอดเวลาว่ามีข้อมูลเข้ามาหรือยัง การทำงานแบบนี้ ถ้ามีอุปกรณ์ภายนอกหลายตัวระบบต้องตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอกหลายตัว ทำให้เสียเวลาในการทำงานหลักไป การทำงานอีกแบบหนึ่งจะให้ CPU ทำงานหลัก ถ้ามีการกดสวิตช์เมื่อไรให้นาฬิกาหยุดเดินทันที การทำงานในลักษณะนี้ CPU ไม่ต้องเสียเวลาในการตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอก ถ้าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่อกับ CPU อุปกรณ์ภายนอกจะส่งสัญญาณมาบอก CPU เอง ระบบนี้เรียกว่า การอินเตอร์รัปต์ (Interrupt)

2.6.1 ขบวนการเกิดอินเตอร์รัปต์

ถ้าหากไมโครคอนโทรลเลอร์กำลังทำงานโปรแกรมหลักอยู่ เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์เข้ามาไมโครคอนโทรลเลอร์จะละทิ้งโปรแกรมหลัก แต่ไปทำงานโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์

(Interrupt Service Routine) เมื่อทำโปรแกรมตอบสนองอินเตอร์รัปต์เสร็จไมโครคอนโทรลเลอร์จะกลับมาทำโปรแกรมเดิม

ถ้า CPU กำลังทำงานโปรแกรมหลักอยู่ เช่นกำลังทำคำสั่งในตำแหน่งของหน่วยความจำที่ m, m+1, m+2 ไปเรื่อยๆโดย PC จะชี้ตำแหน่งที่จะอ่านค่าคำสั่งถัดมา เมื่อโปรแกรมทำงานมาถึงตำแหน่งที่ m+3 แล้วเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น (ขณะนั้น PC อยู่ที่ m+4 โปรแกรมจะต้องทำงานโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ โดยย้าย PC ไปที่ตำแหน่งที่เก็บโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ จากนั้นจะเก็บค่า PC เดิมลงในหน่วยความจำสแตค เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์เสร็จสิ้นลง จะคืนค่าใน สแตค (m+4) ให้กับ PC เพื่อให้ PC ทำโปรแกรมหลักต่อไป

2.6.2 สัญญาณอินเตอร์รัปต์

แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ มีสองชนิดคือ อินเตอร์รัปต์ภายใน และภายนอก โดยอินเตอร์รัปต์ภายในจะเกิดขึ้นจากภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง ได้แก่สัญญาณจาก ไทเมอร์แฟลก 0(TF0) ไทเมอร์แฟลก 1(TF1) และพอร์ตอนุกรม สำหรับอินเตอร์รัปต์ภายนอกเกิดจากสัญญาณที่กระตุ้นเข้ามาทางขา INT0 และ INT1 เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากแหล่งต่างๆเข้ามา เราสามารถโปรแกรมจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยอมให้มรการอินเตอร์รัปต์ได้หรือไม่ โดยการโปรแกรมไปที่ รีจิสเตอร์ IE(Interrupt Enable)และมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์มาจากแหล่งต่างๆ หลายแหล่งพร้อมกันเราสามารถจัดลำดับได้ว่า จะให้อินเตอร์รัปต์ใดเกิดก่อน โดยการโปรแกรมไปที่ อินเตอร์รัปต์ไพออรีตี้ IP(Interrupt Priority) รีจิสเตอร์ทั้งสองตัวมีรายละเอียดดังนี้

2.6.3 รีจิสเตอร์เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ (IE :Interrupt Enables)

เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ใช้สำหรับกำหนดค่าว่าถ้าเกิดการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งต่างๆ จะทำอินเตอร์รัปต์เหล่านั้นหรือไม่ โดยรายละเอียดของบิตต่างๆ มีดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

EA(Global enable/disable interrupt): ใช้เอ็นเอเบิลและดิสเอเบิลการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ทั้งหมด

"0" ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ นั่นคือ กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ตอบสนองการอินเตอร์รัปต์

"1" เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ นั่นคือ กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดชนิดต่างๆ

ถ้าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ไม่ว่าจะแหล่งกำเนิดใดจะต้องเซตบิตนี้ก่อนเสมอ

ET2(Timer 2 interrupt enable) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการโอเวอร์โฟลวหรือการแคปเจอร์ในไทเมอร์/เคอน์เตอร์ 2 มีเฉพาะในเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx เท่านั้น

ES (Serial port imterrupt enable bit) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการรับหรือส่งข้อมูลทางพอร์ทอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

ET1 (Timer1 interrupt enable) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากโอเวอร์โฟลวในไทเมอร์/เคาน์เตอร์1

EX1 (External interrupt 1 enable bit) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากสัญญาณภายนอกที่ป้อนเข้ามายังขา $\overline{INT1}$

ET0 (Timer0 interrupt enable) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการโอเวอร์โฟลวในไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0

EX0 (External interrupt 0 enable bit) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากสัญญาณภายนอกที่ป้อนเข้ามายังขา $\overline{INT0}$

สำหรับขาบิต 6 ของรีจิสเตอร์ IE ไม่มีการใช้งาน ต้องกำหนดให้เป็น "0" เสมอ โดยทุกบิตสามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

จากข้างต้นสามารถสรุปโดยตารางที่ 2.12

บิต	ชื่อบิต	ตำแหน่งบิต	รายละเอียด
IE.7	EA	AFH	ถ้าเซตยอมให้มีการอินเตอร์รัปต์
IE.6	-	AEH	ไม่ใช้งาน
IE.5	ET2	ADH	Enable อินเตอร์รัปต์จาก Timer 2
IE.4	ES	ACH	Enable อินเตอร์รัปต์จากพอร์ทอนุกรม
IE.3	ET1	ABH	Enable อินเตอร์รัปต์จาก Timer 1
IE.2	EX1	AAH	Enable อินเตอร์รัปต์จาก INT1
IE.1	ET0	A9H	Enable อินเตอร์รัปต์จาก Timer 0
IE.0	EX0	A8H	Enable อินเตอร์รัปต์จาก INT0

ตารางที่ 2.12 บิตและหน้าที่ต่างๆของรีจิสเตอร์ เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์

2.6.4 รีจิสเตอร์จัดลำดับความสำคัญการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ (IP : Interrupt Priority)

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ซึ่งสามารถจัดได้สองลำดับ ถ้าเป็น "1" หมายความว่ามีความสำคัญสูงสุด ถ้าเป็น "0" หมายความว่ามีลำดับความสำคัญต่ำสุด ความหมายของบิตต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ . ถ้าหากกำหนดให้มีความสำคัญเป็น "1" เหมือนกันหมดไมโครคอนโทรลเลอร์ จะจัดลำดับความสำคัญใหม่ดังตารางที่ 2.13

PT2 (Timer 2 interrupt priority bit) : ใช้ในการกำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการโอเวอร์โฟลวหรือการแคปเจอร์ในไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 จะมีเฉพาะในเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx เท่านั้น

PS (Serial port interrupt priority bit) : ใช้ในการกำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการรับหรือการส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

PT1 (Timer 1 interrupt priority bit) : ใช้ในการกำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากโอเวอร์โฟลวในไทเมอร์/เคาน์เตอร์1

PX1 (External interrupt 1 priority bit) : ใช้ในการกำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากสัญญาณภายนอกที่ป้อนเข้ามายังขา $\overline{INT1}$

PT0 (Timer 0 interrupt priority bit) : ใช้ในการกำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากโอเวอร์โฟลวในไทเมอร์/เคาน์เตอร์0

PX0 (External interrupt 0 priority bit) : ใช้ในการกำหนดความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากสัญญาณภายนอกที่ป้อนเข้ามายังขา $\overline{INT0}$

ลำดับ	อินเตอร์รัปต์
1(สูงสุด)	IE0
2	TF0
3	IE1
4	TF1
5(ต่ำสุด)	Serial Port

ตารางที่ 2.13 ตารางแสดงการจำลำดับความสำคัญอัตโนมัติของไมโครคอนโทรลเลอร์

ทุกบิตสามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ และจากข้างต้นสามารถสรุปได้ดังตาราง...

บิต	ชื่อบิต	ตำแหน่งบิต	รายละเอียด
IP.7	-	BFH	ไม่ใช้งาน
IP.6	-	BEH	ไม่ใช้งาน
IP.5	PT2	BDH	ใช้กับอินเตอร์รัปต์จาก Timer 2
IP.4	PS	BCH	ใช้กับอินเตอร์รัปต์จาก พอร์ทอนุกรม
IP.3	PT1	BBH	ใช้กับอินเตอร์รัปต์จาก Timer 1
IP.2	PX1	BAH	ใช้กับอินเตอร์รัปต์จาก INT1
IP.1	PT0	B9H	ใช้กับอินเตอร์รัปต์จาก Timer 0
IP.0	PX0	B8H	ใช้กับอินเตอร์รัปต์จาก INT0

ตารางที่ 2.14 บิตและหน้าที่ต่างๆของรีจิสเตอร์รีจิสเตอร์จัดลำดับความสำคัญการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์

จากรูปที่ 2.33 แสดงการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งต่างๆ ที่มีผลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าเป็นเบอร์ AT89C51 จะถูกอินเตอร์รัปต์ได้ 5 แหล่ง ถ้าเป็นเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx จะถูกอินเตอร์รัปต์ได้ 6 แหล่ง โดยเพิ่มอินเตอร์รัปต์จาก Timer 2 ในรูปที่. จะแสดงให้เห็นว่า ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกอินเตอร์รัปต์ได้จะต้องเซตค่า Global Enable ในรีจิสเตอร์ IE นอกจากนี้ยังกำหนดได้ว่าจะให้อินเตอร์รัปต์จากแหล่งใดเกิดได้ โดยการเซตค่า Interrupt Enable ของอินเตอร์รัปต์จากแหล่งต่างๆในรีจิสเตอร์ IE จากรูปยังแสดงให้เห็นอีกว่าเมื่อมีการอินเตอร์รัปต์เข้ามาจะมีผลต่อแฟลกใด เช่นถ้า INT0 เป็น "1" บิต IE0 จะเป็น "1" หมายความว่าถูกอินเตอร์รัปต์ โดยแฟลกต่างๆที่มีผลจากการถูกอินเตอร์รัปต์แสดงได้ดังตารางที่ ..

อินเตอร์รัปต์	แฟลก	ประกอบอยู่ในรีจิสเตอร์
External 0	IE0	TCON.1
External 1	IE1	TCON.3
Timer 1	TF1	TCON.7
Timer 0	TF0	TCON.5
Serial port	TI	SCON.1
Serial port	RI	SCON.0
Timer 2	TF2	T2CON.7(AT89C52)
Timer 2	EXF2	T2CON.6(AT89C52)

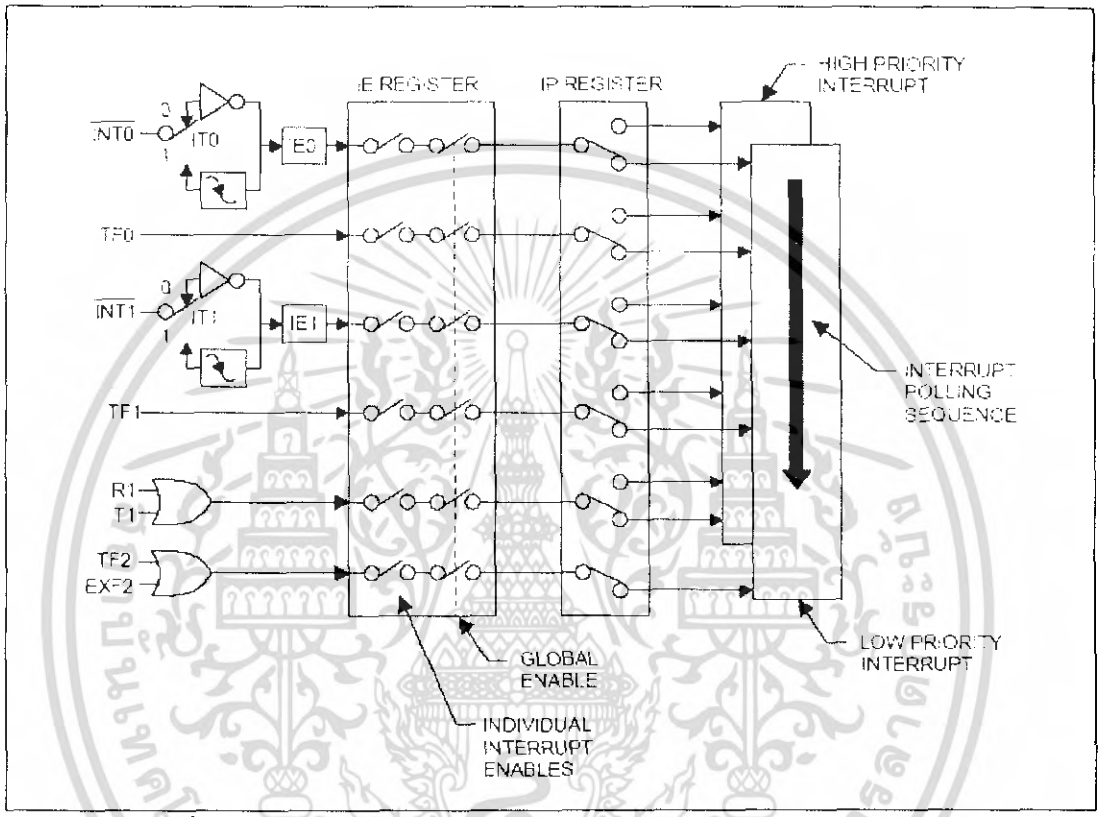
ตารางที่ 2.15 แฟลกที่จะทำงานเมื่อถูกอินเตอร์รัปต์

จากตาราง 2.15 จะเห็นว่า ถ้ามีการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกเข้ามา ตัวที่จะอินเตอร์รัปต์ไมโครคอนโทรลเลอร์คือ บิตแฟลก IE0 ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ TCON ถ้ามีการสื่อสารแบบอนุกรม เมื่อข้อมูลถูกส่งไปหมดแล้วจะอินเตอร์รัปต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทางบิตแฟลก TI ถ้ารับข้อมูลหมดแล้วจะอินเตอร์รัปต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทางบิต RI ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ SCON และถ้าใช้ Timer0 ในการนับเมื่อเกิด Overflow สามารถอินเตอร์รัปต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทางบิต TF0

2.6.5 โครงสร้างระบบการอินเตอร์รัปต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรายละเอียดทั้งหมดของการอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแสดงเป็นโครงสร้างของระบบอินเตอร์รัปต์โดยรวมดังในรูปที่... โดยรีจิสเตอร์ IP แทนด้วยสวิตช์สองทาง

เพื่อกำหนดนัยสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ ในขณะที่รีจิสเตอร์ IE และบิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบต่างๆ จะแทนด้วยสวิตช์ต่ออนุกรมกัน นั่นคือถ้าไม่ต่อวงจรทั้งสองตัวก็จะไม่มีการอินเตอร์รัปต์แบบนั้นๆเกิดขึ้น นั่นหมายความว่า การอินเตอร์รัปต์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเงื่อนไขในการเกิดเหตุการณ์เป็นจริง มีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้อย่างถูกต้อง และกำหนดลำดับความสำคัญไว้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.33 โครงสร้างของระบบอินเตอร์รัปต์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

2.6.6 การทำงานของระบบหลังถูกอินเตอร์รัปต์

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกอินเตอร์รัปต์ จะต้องกระโดดไปทโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์โดยตำแหน่งที่จะกระโดดไปเรียกว่า อินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ (Interrupt Vectors) เมื่อทำโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์เรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดมาทำงานยังตำแหน่งเดิม โดยก่อนที่จะกระโดดไปทำโปรแกรมตอบสนองอินเตอร์รัปต์จะต้องเก็บค่าตำแหน่งเดิมไว้ โดยเก็บค่า PC ลงหน่วยความจะสแตคซึ่งอยู่ที่หน่วยความจำที่ถูกชี้โดยรีจิสเตอร์ SP เมื่อทำโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์เสร็จแล้วจะคืนค่าในหน่วยความจำสแตคให้ PC ตามเดิม ค่าอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงได้ดังตารางที่ 2.16

อินเตอร์รัปต์	อินเตอร์รัปต์เวกเตอร์
System Reset	0000H
External 0	0003H
Timer 0	000BH
External 1	0013H
Timer 1	001BH
Serial port	0023H
Timer 2	002BH

ตารางที่ 2.16 อินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ของอินเตอร์รัปต์ต่างๆ

จากตาราง 2.16 จะเห็นว่าถ้าระบบถูกอินเตอร์รัปต์จากภายนอกทาง INT0 ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดไปทำงานที่ตำแหน่ง 0003H ถ้าระบบถูกอินเตอร์รัปต์จาก Timer0 จะกระโดดไปทำงานตำแหน่ง 000BH

2.6.7 การออกแบบโปรแกรมอินเตอร์รัปต์

ในการเขียนโปรแกรมหลัก(Main Program) จะต้องกำหนดค่าว่าจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกอินเตอร์รัปต์ด้วยอะไร และจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกอินเตอร์รัปต์ได้หรือไม่ โดยการโปรแกรมค่าต่างๆใน IE ดังนั้นในโปรแกรมหลักจะต้องมีการโปรแกรมต่อไปนี้

1. โปรแกรมค่าในรีจิสเตอร์ IE
2. โปรแกรมค่าในรีจิสเตอร์ IP

สำหรับโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ถือว่าเป็นโปรแกรมย่อยโปรแกรมหนึ่ง แต่จะต้องจบโปรแกรมย่อยด้วยค่า RETI (Return Interrupt)

จากตารางที่ 2.16 จะเห็นว่าถ้ากด Reset หรือให้ระบบเริ่มทำงาน โปรแกรมจะเริ่มทำงานที่ตำแหน่ง 0000H และจะเห็นว่า ตำแหน่งที่เก็บโปรแกรมหลักมีโอกาสอย่างมากที่จะทับกับหน่วยความจำโปรแกรมเก็บค่าอินเตอร์รัปต์ที่ตำแหน่ง 0003H ถ้าโปรแกรมยาวมากอาจจะไปทับตำแหน่ง 000BH ได้ซึ่งเป็นตำแหน่งของอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ของ Timer0 ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมหลัก ภายใน 3 ตำแหน่งแรกคือ 0000H, 0001H และ 0002H จะต้องกระโดดไปที่อื่นก่อนเพื่อให้ข้ามอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ไปซึ่งอาจเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
ORG     0000H       ; เริ่มต้นโปรแกรม
LJMP    MAIN        ; กระโดดไปโปรแกรมหลัก
        .....               ; เพื่อหนีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์
        .....
ORG     0030h       ; ตำแหน่งเริ่มต้นของโปรแกรม
MAIN:   .....       ; เริ่มต้นโปรแกรมหลัก
        .....
```

จากตัวอย่างโปรแกรมจะเห็นว่า เมื่อเริ่มต้นโปรแกรมหรือระบบถูกรีเซต ระบบจะทำงานตำแหน่งแรกคือคำสั่งกระโดดไปโปรแกรมหลัก ซึ่งอยู่ต่อจากโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ที่อยู่ที่ตำแหน่ง 0030H

- **โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์แบบสั้น**

จากตารางอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ จะเห็นว่าที่เก็บโปรแกรมอินเตอร์รัปต์แต่ละแหล่งห่างกัน 8 ไบต์ ดังนั้นถ้ามีการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งต่างๆ หลายๆ แหล่งและโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์บางโปรแกรมมีขนาดยาวเกิน 8 ไบต์ จะทำให้โปรแกรมไปทับตำแหน่งของโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ของอินเตอร์รัปต์ถัดไป แต่ถ้าโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์มียาวมากเกินไปเราสามารถเขียนไปในตำแหน่งนั้นได้เลยดังโปรแกรมต่อไปนี้

```
        ORG    0000H
        LJMP   MAIN          ; กระโดดไปโปรแกรมหลัก

        ORG    0000BH        ; ตำแหน่งเริ่มต้นของการอินเตอร์รัปต์ Timer0
TOISR: ……..
        ……..
        RETI                 ; กลับไปโปรแกรมหลัก
MAIN: ……                    ; โปรแกรมหลัก
        ……..
```

จากตัวอย่างโปรแกรมจะใช้อินเตอร์รัปต์จาก Timer0 เมื่อระบบเริ่มทำงานจะทำตำแหน่ง 0000H โดยกระโดดไปโปรแกรมหลักซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งต่อจากโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์ Timer0 ระบบจะทำโปรแกรมตำแหน่งที่ 000BH ซึ่งเป็นอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ของ Timer0 โดยโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์จะจบด้วยคำสั่ง RETI เพื่อกลับสู่โปรแกรมหลักต่อไป

- โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ขนาดใหญ่

ในกรณีที่มีการอินเตอร์รัปต์จากหลายแหล่ง และ โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์แต่ละโปรแกรมยาวเกิน 8 ไบต์ เราไม่สามารถเขียนโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ตำแหน่งของอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ได้ ซึ่งจะแก้ปัญหานี้ได้โดยกำหนดให้ตำแหน่งของอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ให้ทำโปรแกรมกระโดด โดยกระโดดไปที่ตำแหน่งเก็บโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ที่เขียนไว้ที่ตำแหน่งอื่นดังตัวอย่าง ต่อไปนี้

```
        ORG   0000H  ; เริ่มโปรแกรมของระบบ
        LJMP  MAIN   ; กระโดดไปโปรแกรมหลัก
        ORG   000BH  ; ตำแหน่งของอินเตอร์รัปต์ Timer0
        LJMP  LED1   ; กระโดดไปโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ชื่อ LED1
        ORG   0030H  ; ตำแหน่งหลังอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์
MAIN: ........       ; โปรแกรมหลัก
      .......
LED1: ........       ; โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ Timer0
      ......
      RETI           ; กลับสู่โปรแกรมหลัก
```

จากโปรแกรมจะเห็นว่า เมื่อระบบทำงาน จะต้องทำที่ตำแหน่ง 0000H โดยกระโดดไปทำโปรแกรมหลักที่ตำแหน่งต่อจาก 0030H เพราะตำแหน่งดังกล่าวข้ามอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์จากแหล่งต่างๆ ไปแล้วเมื่อมีการอินเตอร์รัปต์จาก Timer0 โปรแกรมจะต้องทำงานที่ตำแหน่ง 000BH แต่โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ยาวมาก ที่ตำแหน่ง 000BH จึงให้ทำโปรแกรมกระโดดโดยกระโดดไปที่โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ชื่อ LED1 ซึ่งอยู่ท้ายโปรแกรม เมื่อจบโปรแกรมจะจบด้วยคำสั่ง RETI เพื่อกลับไปโปรแกรมหลักต่อไป

บทที่ 3
การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรม จะยากกว่าการสื่อสารแบบขนาน การสื่อสารของอุปกรณ์ที่ต่อกับพอร์ตอนุกรม จะถูกเปลี่ยน (Convert) เป็น สัญญาณแบบขนาน ซึ่งจะใช้ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม) เป็นตัวทำหน้าที่นี้ ส่วนทางด้านซอฟต์แวร์ ก็มีรีจิสเตอร์ที่ต้องจัดการมากกว่าการสื่อสารแบบขนานอีกหลายตัว

3.1 หลักการและโครงสร้างของการสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมเป็นการสื่อสารที่การรับส่งข้อมูลจะใช้สายสัญญาณจำนวนน้อย ซึ่งปกติจะใช้เพียง 1 คู่ คือสายสัญญาณที่เป็นข้อมูล และสายกราวด์เปรียบเทียบกัน โดยข้อมูลที่ตะส่งออกหรือรับเข้าในลักษณะบิตต่อบิต ซึ่งเมื่อเราเปรียบเทียบกับการสื่อสารข้อมูลแบบขนานที่จำนวนข้อมูลและอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลเท่ากันแล้ว การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมจะต้องใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลมากกว่าอย่างแน่นอน แต่ข้อดีของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมนี้คือ การใช้สายสัญญาณน้อยกว่า และสามารถส่งสัญญาณได้ในระยะทางไกลกว่าแม้อัตราละทอน หรือผิดเพี้ยนของสัญญาณที่มาผลจากความยาวของสายสัญญาณจะมีค่าเท่ากับการสื่อสารข้อมูลแบบขนาน แต่การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีวิธีในการที่จะลดผลจากการลดทอนของสัญญาณนี้โดยอาศัยหลักการรับ-ส่งสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล ดังนั้นการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมจึงเหมาะสำหรับใช้กับการสื่อสารข้อมูลระยะไกล หรือการสื่อสารที่ต้องการใช้สายหรือช่องสัญญาณในการรับ-ส่งข้อมูลจำนวนน้อย เช่น การสื่อสารข้อมูลโครงข่ายแบบท้องถิ่น(Local Area Network : LAN)

3.2 ข้อดีของการสื่อสารแบบอนุกรมคือ

3.1.1 ระยะของสายอนุกรมสามารถมีความยาวได้มากกว่าสายของแบบขนานมาก ทั้งนี้เพราะสัญญาณของพอร์ตอนุกรม ซึ่งส่วนใหญ่ใช้มาตรฐาน RS-232C จะมีค่า –3 โวลต์ ถึง –15 โวลต์ สำหรับลอจิก "1" หรือมาร์ก (Mark) และมีค่า +3 โวลต์ ถึง +15 โวลต์ สำหรับลอจิก "0" หรือ สเปซ(Space) (สำหรับช่วง +3 โวลต์ ถึง -3 โวลต์ เป็นช่วงไม่นิยาม) ส่วนสัญญาณของการสื่อสารแบบขนาน นั้น "1" จะมีค่า +5 โวลต์ และ ลอจิก "0" จะมีค่า 0 โวลต์ ทำให้สัญญาณของการสื่อสารแบบอนุกรม สามารถรับการสูญเสียของสาย (Cable loss)ได้มากกว่าสัญญาณของการ

สื่อสารแบบขนาน ปรกติสาย พอร์ตขนานจะไปได้เพียง 5 ฟุต ส่วนสาย RS-232 จะไปได้ถึง50 ฟุต ที่ความเร็ว สูงสุดของมัน

3.1.2 การสื่อสารแบบอนุกรมจะใช้จำนวนสายไฟน้อยกว่าแบบขนาน ถ้าต่อในลักษณะนูล โมเด็ม(Null Modem) จะใช้สายเพียง 3 เส้น ขณะที่แบบขนานจะต้องใช้สาย 19 ถึง 25 เส้น

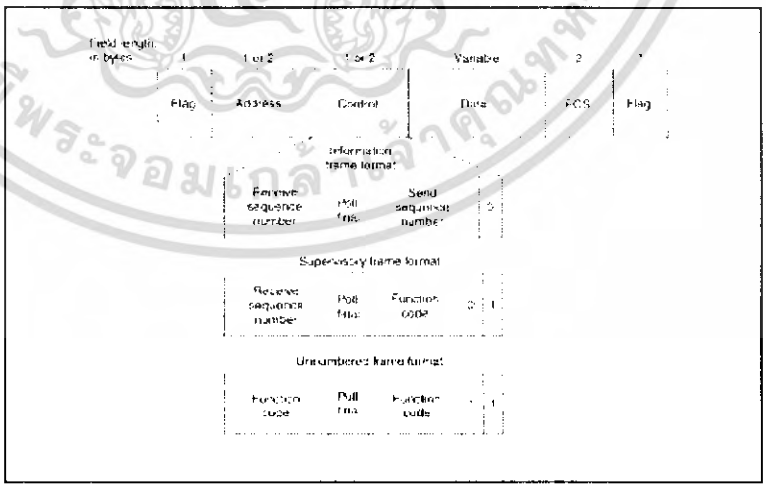
3.1.3 การสื่อสารแบบไร้สายเช่นการใช้อินฟราเรด การส่งพร้อมกันทีละ 8 บิต แบบขนาน จะทำให้ไม่สามารถแยกแยะได้ว่าบิต ใดเป็น บิต 0 หรือ บิต 1 เป็นต้น ปัจจุบันอุปกรณ์ IrDA มีความเร็วไม่ต่ำกว่า 115.2K Baud แต่มี Pulse length เพียง 3/16 ของ RS-232 เพื่อประหยัดพลังงาน เพราะส่วนมากใช้ในอุปกรณ์แบบพกพาเช่นโน้ตบุก หรือปาล์ม

3.1.4 ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ มักมีการผนวกพอร์ตอนุกรมไว้ด้วย เพราะใช้จำนวนขาน้อยกว่าแบบขนาน

3.3 รูปแบบของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

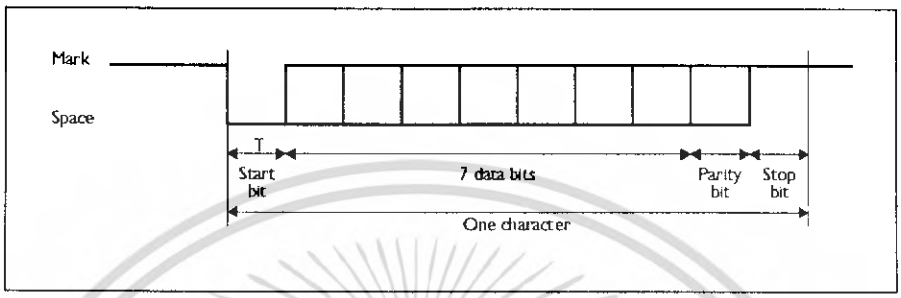
การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสและอะซิงโครนัส ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 การรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส คือการส่งข้อมูลที่ข้อมูลแต่ละเวิร์ดถูกส่งออกไปตามเวลาที่แน่นอน โดยจะต้องมีการส่งสัญญาณนาฬิกาไปพร้อมๆ กับสัญญาณข้อมูล ในการส่งข้อมูลในระยะสั้นๆ สัญญาณนาฬิกาซึ่งใช้เป็นสัญญาณซิงค์ อาจจะส่งแยกไปในสายส่งสัญญาณอีกเส้นนหนึ่งไม่รวมไปในสายข้อมูลก็ได้แต่ถ้าเป็นการสื่อสารระยะไกลๆ แล้ว สัญญาณนาฬิกาจถูกเข้ารหัสส่งร่วมไปกับสัญญาณข้อมูลในสายเดียวกัน



รูปที่ 3.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

3.3.2 การรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือการรับส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยแต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกว่าอัตราบอด หรือบอดเรต(baud rate)มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที(bit per second : bps)



รูปที่ 3.2 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น(Start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมมีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้(Parity bit) มีขนาด 1 บิต หรือ ไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิต หยุด(Stop bit) มีขนาด 1 บิต

รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขาข้อมูล(data)จะมีสถานะลอจิก "1" เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ(waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขาข้อมูลมีลอจิก " 0" ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น(start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด หรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วย บิตพาริตี้ ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือบิตปิดท้ายหรือบิตหยุด โดยจะเป็นการทำให้ขาข้อมูลมีสถานะลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิตเพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอดหรือค่าบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ตั้งแต่ 110 ถึง 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอดคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่(odd),แบบคู่(even)หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ พาริตี้คี่หรือคู่แสดงถึงจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมกับบิตพาริตี้ว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99 H

หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก "1" จำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตี้เป็นคู่ ค่าของบิตพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น " 0" แต่ถ้ากำหนดพาริตี้เป็นคี่ ค่าของบิตพาริตี้จะต้องเป็น "1" เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้เป็นคี่

บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART ซึ่งทางภาครับต้องกำหนดการตรวจสอบพาริตี้ที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตี้คี่หรือคู่ จากนั้นทางภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่โดยการนับลอจิก "1" ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดค่าพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียงเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิดที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้เป็น none นั้นทั้งภาครับและส่งจะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

นอกจากที่กล่าวไปแล้วการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมยังสามารถที่จะแบ่งตามลักษณะของทิศทางในการสื่อสารข้อมูล ตามโครงสร้างและความต้องการของระบบ ได้ดังนี้

1.การสื่อสารข้อมูลในทิศทางเดียวตลอดเวลา : Simplex

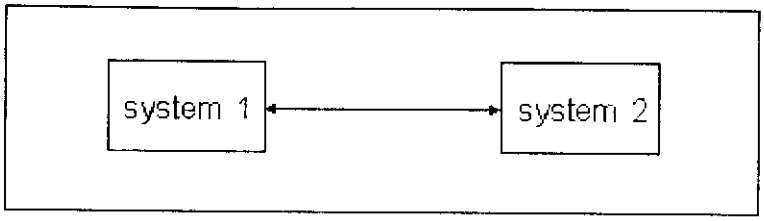
2.การสื่อสารข้อมูลใน 2 ทิศทางแต่สลับเวลา : Half-duplex

3.การสื่อสารข้อมูลใน 2 ทิศทางตลอดเวลา : Full-duplex

การสื่อสารในทิศทางเดียวตลอดเวลา(Simplex) : เป็นการสื่อสารในทิศทางใดก็ใช้ทิศทางนั้นตลอดเวลาไม่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางเช่นการส่งสัญญาณภาพจากสถานีไปยังเครื่องรับ หรือการส่งข้อมูลไปยังวิทยุติดตามตัว

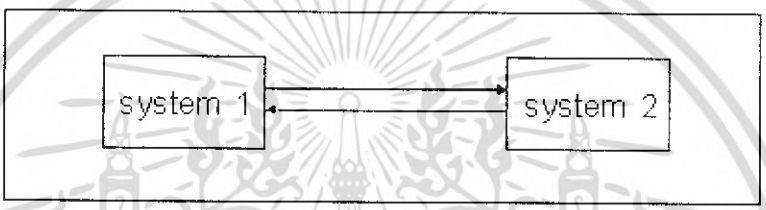
รูปที่ 3.3 การสื่อสารในทิศทางเดียวตลอดเวลา

การสื่อสารสองทิศทางสลับเวลา(Half-duplex) : เป็นการสื่อสารข้อมูลใน 2 ทิศทาง แต่ในเวลาหนึ่งนั้นสัญญาณจะไปได้ในทิศทางเดียวเท่านั้น นั้นคือถ้าตัวหนึ่งตัวใดเป็นตัวส่ง อีกตัวจะจะต้องเป็นตัวรับข้อมูล จะส่งพร้อมกันไม่ได้ ดังนั้นอุปกรณ์แต่ละตัวที่จะเชื่อมต่อหรือสื่อสารข้อมูลในลักษณะนี้จะต้องเป็นได้ทั้งตัวรับหรือตัวส่ง



รูปที่ 3.4 การสื่อสารสองทิศทางสลับเวลา

การสื่อสารสองทิศทางตลอดเวลา(Full-duplex) : เป็นการสื่อสารข้อมูลที่คล้ายกับ half-duplex แต่เป็นการสื่อสารข้อมูลใน 2 ทิศทางตลอดเวลา



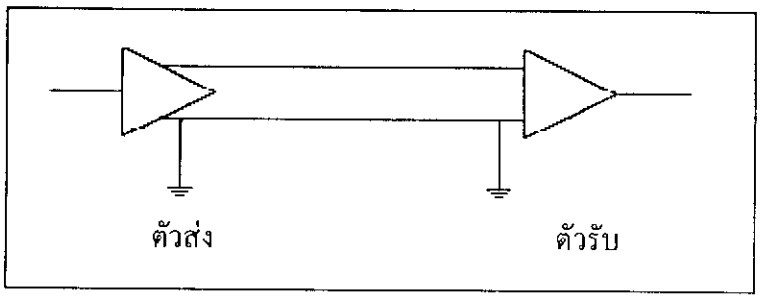
รูปที่ 3.5 การสื่อสารสองทิศทางตลอดเวลา

3.4 มาตรฐานของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้นได้มีการกำหนดมาตรฐานการรับ – ส่งข้อมูลไว้หลายแบบด้วยกัน ซึ่งมีดังต่อไปนี้

3.4.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C

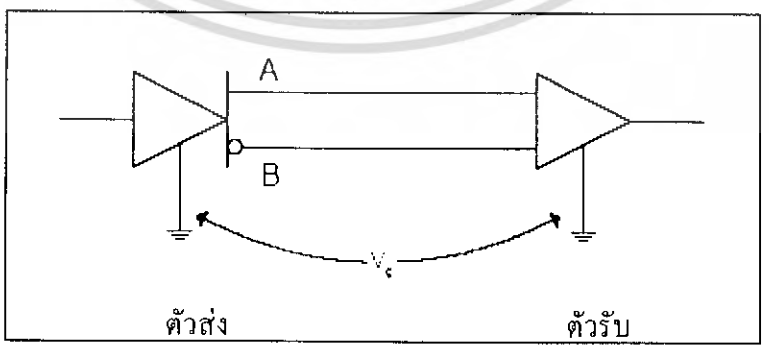
การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่ใช้งานในปัจจุบันนั้นได้มีการกำหนดมาตรฐานการรับส่งข้อมูลไว้หลายแบบด้วยกัน แต่ที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานเป็นอย่างมาก คือการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C และที่มาตรฐานนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากเป็นระบบการสื่อสารข้อมูลที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM PC ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายจากอดีตมาถึงปัจจุบัน มาตรฐาน RS-232C มีโครงสร้างการสื่อสารเป็นแบบจุดต่อจุดเท่านั้น โดยมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางกายภาพดังรูปที่ 3.6 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232

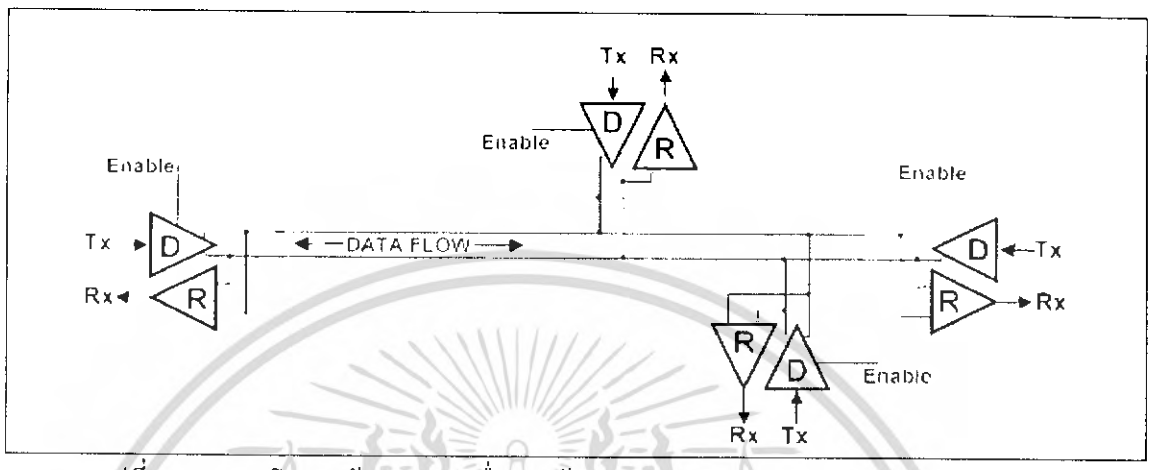
3.4.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-422A

ในการออกแบบระบบการสื่อสารข้อมูลที่กล่าวมา ได้มีการพยายามที่จะออกแบบให้การสื่อสารข้อมูลได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และมีระยะทางในการสื่อสารข้อมูลที่มากขึ้นด้วย ซึ่งที่ผ่านมาการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS-232C ได้ออกแบบมาเพื่อใช้เชื่อมโยงกับโมเด็มเท่านั้นจึงไม่ได้คำนึงถึงความเร็วและระยะทางในการสื่อสาร แต่ในปัจจุบันได้มีการออกแบบมาเพื่อรองรับความต้องการของการใช้งานที่ต้องการให้รับและส่งข้อมูลได้ไกลขึ้น คือมาตรฐาน RS-422A ซึ่งจะใช้สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล ดังรูปที่ 3.7 หลักการคือ สัญญาณที่จะรับ-ส่งจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ 2 เส้น เทียบกับมาตรฐาน RS-232C ที่สัญญาณจะเทียบกับกราวด์ ซึ่งในการสื่อสารในระยะไกลๆ แล้วสัญญาณจะถูกลดทอนไปและเมื่อสัญญาณถูกลดทอนถึงจุดๆหนึ่งสัญญาณนั้นก็จะผิดพลาดไปจากความจริงก็จะทำให้การรับ-ส่งข้อมูลเกิดความผิดพลาดขึ้น แต่สำหรับสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลแล้วการลดทอนของสัญญาณจะไปลดทอนทั้งสองเส้นด้วยค่าที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน และความแตกต่างของสัญญาณระยะสัญญาณทั้ง 2 เส้น จากตัวส่งไปยังตัวรับก็คงมีค่าเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงน้อย จึงทำให้ผลของการลดทอนต่อสัญญาณที่ระยะการสื่อสารไกลมีผลต่อสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลมีค่าน้อยกว่า การสื่อสารข้อมูลแบบนี้จึงสามารถส่งข้อมูลได้ไกลกว่าและอัตราการสื่อสารข้อมูลสูงกว่า ดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-422A

3.4.3 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485



รูปที่ 3.8 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485

การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐานที่กล่าวมาข้างต้นคือ RS-232C นั้นเป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลในแบบที่ใช้การระหว่างอุปกรณ์ หรือ จุดต่อจุด (point-to-point) ส่วน RS-422A นั้นเป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจาก Rs-232C ให้ได้ระยะทางไกลขึ้น และอัตราการสื่อสารเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังเป็นการสื่อสารข้อมูลจากอุปกรณ์หนึ่งไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ได้สูงสุด 10 ตัว เท่านั้น ไม่สามารถส่งย้อนกลับจากอุปกรณ์ 10 ตัวได้ หรือกล่าวได้ว่าการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS-422A นั้นเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบ Simplex คือทิศทางข้อมูลเป็นแบบทางเดียวตลอดเวลา

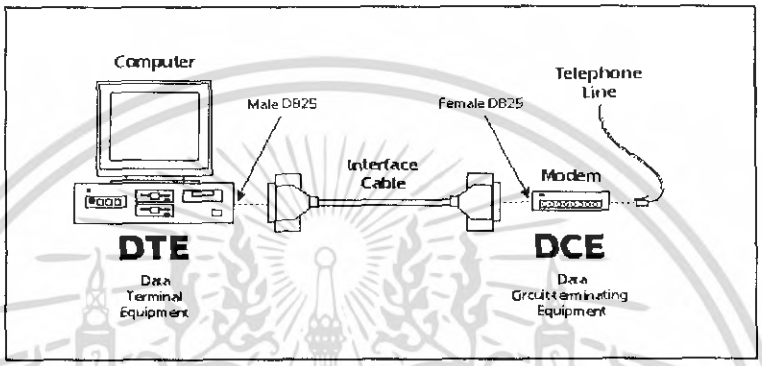
ดังนั้นถ้าต้องการออกแบบระบบให้เป็นโครงข่ายข้อมูลก็ไม่สามารถทำได้ จึงมีการพัฒนามาตรฐานการสื่อสารข้อมูลแบบใหม่เพื่อรองรับความต้องการนี้ คือมาตรฐาน RS-485 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่อาศัยหลักการของสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลเช่นเดียวกับมาตรฐาน RS-422A แต่สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทั้งใน 2 ทิศทางในสายสัญญาณเพียงคู่เดียว ซึ่งการสื่อสารข้อมูลแบบ Half-duplex จากผลของการใช้สัญญาณในลักษณะดิฟเฟอเรนเชียลนี้ทำให้ระยะทางและความเร็วในการสื่อสารข้อมูลมีค่าสูงเช่นเดียวกับมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล RS-422A แต่มาตรฐานการสื่อสาร RS-485 สามารถที่จะสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ทั้งการรับและการส่งได้สูงสุด 32 ตัว หรืออาจกล่าวได้ว่า การสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 เป็นการสื่อสารแบบหลายจุด(multipoint communication)โครงสร้างการสื่อสารข้อมูลแบบ RS-485 แสดงได้ดังรูป 3.8

พารามิเตอร์	RS-232C	RS-423A	RS-422A	RS-485
โหมดการทำงาน	Single-ended	Single-ended	Differential	Differential
จำนวนของตัวรับ และตัวส่งที่ยอมรับได้	1 ตัวส่ง 1 ตัวรับ	1 ตัวส่ง 10 ตัวรับ	1 ตัวส่ง 10 ตัวรับ	32 ตัวรับ 32 ตัวส่ง
ความยาวของคู่สาย สัญญาณรับส่งข้อมูล	50 ฟุต	4,000 ฟุต	4,000 ฟุต	4,000 ฟุต
อัตราการส่งข้อมูล สูงสุด(บิตต่อวินาที)	20 k	100 k	10 M	10 M
แรงดังไฟฟ้าโหมด ร่วมสูงสุด	±2.5 V	±6 V	6 V -2.5 V	12 V -7V
Driver output	±5 V ต่ำสุด ±15 V สูงสุด	±3.6 V ต่ำสุด ±6.0 V สูงสุด	±2 V ต่ำสุด	±1.5 V ต่ำสุด
Driver load Ω	3 k ถึง 7 k	450 ต่ำสุด	100 ต่ำสุด	60 ต่ำสุด
Driver slew rate	30 V/μS	-	NA	NA
กระแสลิมิตเมื่อวงจรเอาต์พุตลัดวงจร	500 mA ลัดวงจรกับ Vcc หรือ GND	150 mA ลัดวงจรกับ GND	150 mA ลัดวงจรกับ GND	150 mA ลัดวงจรกับ GND 250 mA ลัดวงจรกับ 8 V หรือ 12 V
ค่าความต้านทานเอาต์พุตของตัวส่ง Ω	NA – power on 300– power off	NA – power on 60 k– power off	NA–power on 60 k–power off	120 k power on, off
ความต้านทานทางอินพุตของตัวรับ Ω	3 k ถึง 4 k	4 k	4 k	12 k
ความไวของตัวรับ	± 3 V	± 200 mV	± 200 mV	± 200 mV

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลของ EIA

3.5 หัวต่อที่ใช้มาตรฐาน RS–232C (Conector)

มาตรฐาน RS-232C ได้ถูกตีพิมพ์โดย EIA (Electronic Industries Association) ในปี ค.ศ. 1969 ตัวอักษร RS แทน "Recommended Stsndard" , 232 แทนหมายเลขของมาตรฐาน ส่วนอักษร C แสดงก โดยได้กล่าวถึงการสื่อสารข้อมูลระหว่าง Data Terminal Equipment (DTE) และ Data Communication Equipment(DCE) (แต่ในปัจจุบันตัวย่อ DCE จะแทน data circuit terminating equipment) โดยมีคำจำกัดความดังจะกล่าวต่อไปนี้



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการเชื่อมต่อแบบอนุกรม มาตรฐาน RS-232

DCE : อุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันการทำงานต่างๆที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อ,ทำให้การเชื่อมต่อยังดำรงต่อไป และยุติการเชื่อมต่อ นอกจากนี้ยังใช้เปลี่ยนลักษณะของสัญญาณและสร้างรหัสสัญญาณต่างที่จำเป็นต้องใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่าง DTE(data terminal equipment) และ data circuit โดย DCE อาจเป็นส่วนใดส่วนหนึ่งของคอมพิวเตอร์หรือไม่ก็ได้

DTE :

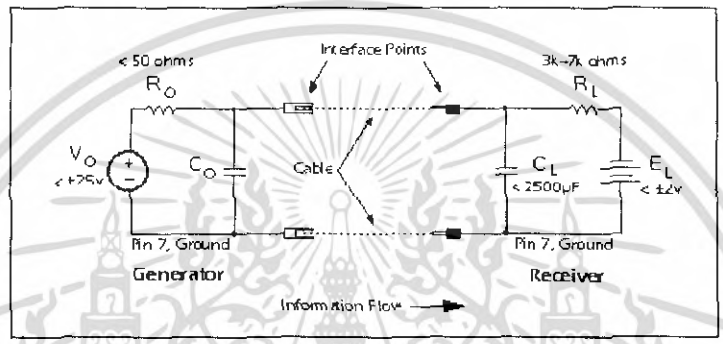
1. เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วยตัวส่งข้อมูล (data source) หรือตัวรับข้อมูล (data sink) หรือเป็นทั้งตัวส่งและตัวรับข้อมูลก็ได้
2. เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย function unit ต่อไปนี้ control logic, buffer store และอุปกรณ์อินพุทหรือเอาต์พุตจำนวนหนึ่งหรือมากกว่าก็ได้ หรือรวมเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าไปด้วยก็ได้ DTE อาจจะรวมส่วน error control , synchronization และความสามารถในการบ่งหรือระบุว่าต้องการเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ตัวใด (station identification capability) เข้าไปด้วยก็ได้

ลักษณะของ DCE และ DTE ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลสามารถแสดงได้ดังรูป..... ตามลักษณะการทำงานที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

มาตรฐาน RS-232 อัตราส่งข้อมูลจะถูกกำหนดให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 20,000 บิตต่อวินาที (bps) ในการประยุกต์ใช้งาน RS-232 อัตราเร็วสูงสุดที่ใช้ควรจะมีค่าไม่เกิน 19.2 kbps มีความยาวของสายเคเบิลที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลไว้ไม่เกิน 50 ฟุต (อาจยาวกว่านี้ก็ได้ ถ้าเรารู้สภาพแวดล้อมของสายเคเบิลและอยู่ในเงื่อนไขที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน

3.5.1 คุณสมบัติของสัญญาณไฟฟ้า

คุณสมบัติของสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้กับมาตรฐาน RS-232C มีดังนี้



รูปที่ 3.10 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมาตรฐาน RS-232

1. สัญญาณที่ขาทุกขาที่หัวต่อ(Connector) จะเป็นสภาวะ(Status) ใดสภาวะหนึ่งในแต่ละคู่ต่อไปนี้

Mark/Space

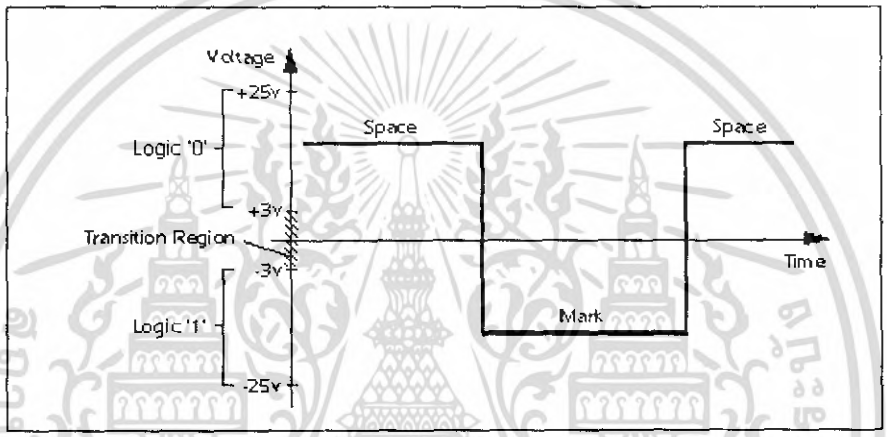
On/Off

Logic 0/Logic 1

ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะของสัญญาณคู่ต่างๆ กับระดับแรงดันไต้แสดงได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 จะเห็นว่า RS-232C ใช้ลอจิกลบ (negative logic) แทนระดับลอจิกต่าง(ลอจิกลบ คือวิธีการเปรียบเทียบแรงดันแบบหนึ่ง ถ้าระดับแรงดันหนึ่งมีค่าเป็นลบมากกว่าอีกระดับหนึ่ง ระดับแรงดันที่มีค่าลบมากกว่าจะเป็นลอจิก “สูง” ดังนี้ 1 = -V ส่วน 0 = +V) โดยแรงดันของระดับสัญญาณต่างๆจะถูกวัดเทียบกับกราวด์ นอกจากนี้ช่วงของระดับแรงดันระหว่าง -3 ถึง +3 โวลต์จะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงลอจิก ดังนั้นจึงไม่มีการระบุสถานะของสัญญาณในช่วงนี้

Status	Signal Voltage	
	$-25\ V < V_I < -3\ V$	$3\ V < V_I < 25\ V$
Binary logic state	1	0
Signal condition	MARK	SPACE
Function	OFF	ON

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะคู่ต่างของสัญญาณ



รูปที่ 3.11 ขนาดของแรงดันในระดับลอจิก 0 และลอจิก 1

2.ในการแทนลอจิก 1 ตัวขับสัญญาณ(driver)ต้องจ่ายแรงดันระหว่าง -5 ถึง -15 โวลต์ ส่วนในลอจิก 0 ตัวขับสัญญาณ(driver)ต้องจ่ายแรงดันระหว่าง +5 ถึง +15 โวลต์

จากข้อ 1 และ 2 แสดงว่า RS-232C ยอมให้มี noise margin ได้ไม่เกิน 2 โวลต์ สำหรับความสำพันธ์ระหว่างระดับแรงดันและสถานะของสัญญาณได้แสดงไว้ในรูปที่..... จากรูปจะเห็นว่า ถ้าตัวกำเนิดสัญญาณ(line driver) ต้องการส่งลอจิก 0 จะต้องจ่ายแรงดันระหว่าง +5 ถึง +15 โวลต์ ส่วนตัวรับสัญญาณ(line receiver) จะถือว่าแรงดันที่อยู่ภายในช่วง +3 ถึง +15 โวลต์ แทนลอจิก 0 จากการเปรียบเทียบระดับสัญญาณของตัวส่งและตัวรับ จะเห็นว่า RS-232C ยอมให้มีการลดลงของสัญญารในช่วง 2 โวลต์ได้ สำหรับการส่งลอจิก 1 ก็เป็นเช่นเดียวกัน

สาเหตุที่ต้องใช้แรงดันระหว่าง ± 3 โวลต์ ถึง ± 15 โวลต์ แทนที่จะใช้ สถานะลอจิกแบบ TTL เพราะสถานะลอจิกแบบ TTLถูกรบกวนได้จากสัญญาณรบกวนต่างๆได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับระยะทางที่สามารถทำการสื่อสารข้อมูลอีกด้วย และในขณะที่กำลังพัฒนา RS-232C ขึ้นนั้น ในวงจะคอมพิวเตอร์ต่างๆ โดยทั่วๆ ไปมีการใช้ระดับแรงดันในช่วง ± 3 โวลต์ ถึง ± 15

โวลต์ อยู่ อนึ่งทรานซิสเตอร์ที่มีขายกันทั่วๆไปนั้นสามารถทำงานได้ในช่วงแรงดันเหล่านี้ และยังทนต่อสัญญาณรบกวนต่างๆที่มีเข้ามาได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำงานที่ความถี่สูงๆได้ สูงถึง 20,000 บิตต่อวินาที ยิ่งไปกว่านั้นสถานะมาร์ก(Mark) และ สเปส(Space) ยังถูกแทนด้วยการไหลของกระแสในทิศทางที่ตรงกันข้ามและมีความแตกต่างแรงดันกันถึง 6 โวลต์เป็นอย่างน้อย ข้อดีเหล่านี้ช่วยให้การส่งข้อมูลมีเสถียรภาพดี

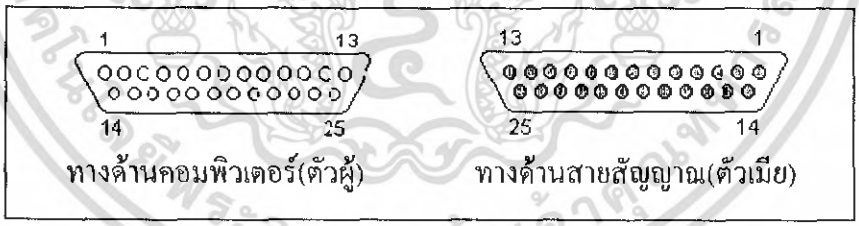
3. ตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกับอุปกรณ์รับข้อมูลปลายทางจะต้องมีค่าไม่เกิน 2,500 พิโกฟารัด (pF) โดยค่านี้ไม่รวมค่าความจะไฟฟ้าของสายเคเบิลเข้าไปด้วย(ตามที่ระบุนี้ ระยะทางที่สามารถใช้ทำการสื่อสารข้อมูลจะต้องไม่เกิน 50 ฟุต)

4.แรงดันขณะเปิดวงจรหรือขณะที่ไม่มีโหลด(V_o) จะต้องไม่เกิน 25 โวลต์ ซึ่งก็คือแรงดันใดๆ ในวงจรของการอินเทอร์เฟสแบบ RS-232C ต้องไม่เกิน 25 โวลต์

5.วงจรรับสัญญาณที่ใช้กับ RS-232C ต้องสามารถทนต่อการลัดวงจรที่เกิดขึ้นได้ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวมันเองและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น หัวต่อ,โมเด็ม,พอร์ต อินพุต/เอาต์พุต และอุปกรณ์ต่างๆที่ต่อเข้ากับเคเบิลที่ใช้ในการอินเทอร์เฟสแบบ RS-232C

3.5.2 หัวต่อ(Connector)

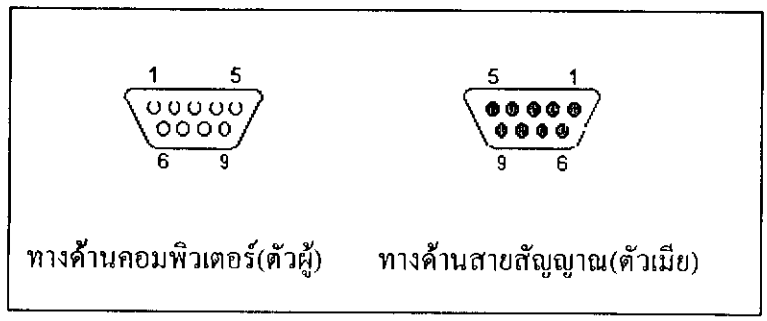
หัวต่อที่ใช้อยู่นั้นมีอยู่ 2 แบบคือ แบบ 25 ขา(DB-25 pin) และแบบ 9 ขา (DB-9 pin) ซึ่งทั้ง 2 แบบ จะเป็นชนิดตัวผู้ทางด้านของคอมพิวเตอร์ ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะนำมาต่อกับคอมพิวเตอร์ จึงต้องใช้ขั้วต่อชนิดตัวเมีย



รูปที่ 3.12 หัวต่อ 25 ขา

ขา	สัญลักษณ์	ทิศทางของสัญญาณ	ชื่อขาสัญญาณ
1	SHIELD	—	Shield or Protective Ground
2	TXD	→	Transmit Data
3	RXD	←	Receive Data
4	RTS	→	Request to Send
5	CTS	←	Clear to Send
6	DSR	←	Data Set Ready
7	GND	—	Signal Ground
8	CD	←	Carrier Detect
9	n/c	-	Reserved for Data Set Testing
10	n/c	-	Reserved for Data Set Testing
11	n/c	-	Unassigned
12		←	Secondary Carrier Detect
13		←	Secondary Clear to Send
14		→	Secondary Transmit Data
15		←	Transmit Signal Element Timing (DCE)
16		←	Secondary Recieve Data
17		←	Recieve Signal Element Timing (DCE)
18	n/c	-	Unassigned
19		→	Secondary Request to Send
20	DTR	→	Data Terminal Ready
21		←	Signal Quality Detect
22	RI	←	Ring Indicator
23		↔	Data Signal Rate Select (DCE/DTE)
24		→	Transmit Signal Element Timing (DTE)
25	n/c	-	Unassigned

ตารางที่ 3.3 แสดงขาต่างๆของหัวต่อตัวผู้ชนิด 25 ขา



รูปที่ 3.13 หัวต่อ 9 ขา

ขา	สัญลักษณ์	RS232	V.24	ทิศทางของสัญญาณ	ชื่อขาสัญญาณ
1	CD	CF	109	←	Carrier Detect
2	RXD	BB	104	←	Receive Data
3	TXD	BA	103	→	Transmit Data
4	DTR	CD	108.2	→	Data Terminal Ready
5	GND	AB	102	—	Signal Ground
6	DSR	CC	107	←	Data Set Ready
7	RTS	CA	105	→	Request to Send
8	CTS	CB	106	←	Clear to Send
9	RI	CE	125	←	Ring Indicator

ตารางที่ 3.3 แสดงขาต่างๆของหัวต่อตัวผู้ชนิด 9 ขา

หน้าที่ของสัญญาณต่าง ๆ มีดังนี้

โปรเท็คทีฟกราวด์(Protective ground) เป็นจุดที่ต่อกับตัวเปลือกของอุปกรณ์ และไม่ต่อกับสัญญาณใด ๆ ในระบบ เพื่อใช้ต่อลงดิน เป็นการป้องกันอันตรายจากไฟลัดวงจร และใช้เป็น Shield ป้องกันการรบกวน

กราวด์ของสัญญาณ(Signal ground หรือ Common return) เป็นจุดสำคัญที่สุดที่ต้องมีในระบบ RS-232 เพราะเป็นจุดอ้างอิงของทุกสัญญาณ ยกเว้น Protective ground

ขาส่งข้อมูล(Transmit data) เป็นสัญญาณข้อมูลที่ส่งจาก DTE ไปยัง DCE ในขณะที่ไม่ได้ส่งข้อมูลมันจะมีสถานะเป็น Logic "1" หรือ "Mark" หรือ "Off" หรือ -5V ถึง -15V ที่ด้านส่ง (DTE) หรือ -3V ถึง -15V ที่ด้านรับ (DCE) การส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นได้ต้องมีสัญญาณควบคุมที่เกี่ยวข้อง "On" ก่อนคือสัญญาณ RTS, CTS, (D)CD, DTR และ DSR

ขารับสัญญาณ(Recieve data) เป็นสัญญาณข้อมูลจาก DCE มายัง DTE ในขณะที่ไม่ได้ส่งข้อมูลมันจะมีสถานะเป็น ลอจิก "1" หรือ "Mark" หรือ "Off" หรือ -5V ถึง -15V ที่ด้านส่งหรือ

-3V ถึง -15V ที่ด้านรับ ในขณะที่ไม่ได้ส่งข้อมูลมันจะมีสถานะเป็นลอจิก "1" หรือ "Mark" หรือ "Off" หรือ -5V ถึง -15V ที่ด้านส่ง (DCE) หรือ -3V ถึง -15V ที่ด้านรับ (DTE) กรณีที่เป็นการสื่อสารแบบฮาร์ฟดูเพล็ก(Half-duplex) สัญญาณ RD จะอยู่สถานะ "Off" ขณะที่สัญญาณ RTS อยู่ในสถานะ "On" และสัญญาณ RD จะยังคงอยู่ในสถานะ "Off" อีกชั่วระยะหนึ่งหลังจากที่สัญญาณ RTS เปลี่ยนจากสถานะ "On" มาเป็น "Off" แล้วเพื่อให้การรับ-ส่งข้อมูลเสร็จสมบูรณ์

สัญญาณร้องขอส่งข้อมูล(Request to send) เป็นสัญญาณจาก DTE ส่งไปให้ DCE เพื่อขอส่งข้อมูลไป ปรกติจะอยู่ในสถานะ "Off" เมื่อต้องการส่งข้อมูลจะเปลี่ยนเป็นสถานะ "On" จนกว่าการส่งเสร็จสิ้นจึงเปลี่ยนกลับมาที่สถานะ "Off" ตามเดิม ทั้งนี้ทาง DTE ต้องได้รับสัญญาณ CTS จึงจะสามารถส่งข้อมูล TD ไปยัง DCE ได้ และสัญญาณ RTS ที่กลับสู่สถานะ "Off" จะไม่สามารถเปลี่ยนเป็น "On" ใหม่ขณะที่สัญญาณ CTS อยู่ในสถานะ "On" ต้องรอจนกว่าสัญญาณ CTS เปลี่ยนมาอยู่ในสถานะ "Off" ก่อน เพื่อป้องกันการเกิด Overrun

ขาสัญญาณพร้อมรับส่งข้อมูล(Clear to send) เป็นสัญญาณที่ DCE ส่งให้ DTE เพื่อแจ้งว่าพร้อมรับการส่งข้อมูลจาก DTE

ขาสัญญาณพร้อมที่จะติดต่อ(Data set ready) เป็นสัญญาณที่ DCE ส่งให้ DTE เพื่อแจ้งว่า DCE สามารถเชื่อมโยงไปยังปลายทางและพร้อมที่จะติดต่อแล้ว

ขาสัญญาณพร้อมสื่อสาร(Data Terminal ready) เป็นสัญญาณที่ DTE ส่งให้ DCE เพื่อแจ้งว่า DTE พร้อมหรือต้องการจะติดต่อสื่อสาร ซึ่งสัญญาณ DTR นี้ต้องเกิดก่อนทาง DCE จึงจะทำการติดต่อไปยังปลายทางและเมื่อติดต่อได้แล้วจึงส่งสัญญาณ DSR มายัง DTE เพื่อแจ้งให้รู้ว่าพร้อมรับการสื่อสารแล้ว และถ้า DTR เปลี่ยนเป็น Off แปลว่า DTE ไม่ต้องการติดต่อสื่อสารแล้วทาง DCE ก็จะปิดช่องสื่อสารและเปลี่ยนสัญญาณ DSR เป็น Off ทันที คู่สัญญาณระหว่าง RTS กับ CTS เป็นเรื่องของความพร้อมเกี่ยวกับช่องสื่อสารระหว่าง DTE กับ DCE ส่วนคู่สัญญาณ DTR กับ DSR เป็นเรื่องของความพร้อมเกี่ยวกับตัวอุปกรณ์ DTE กับ DCE

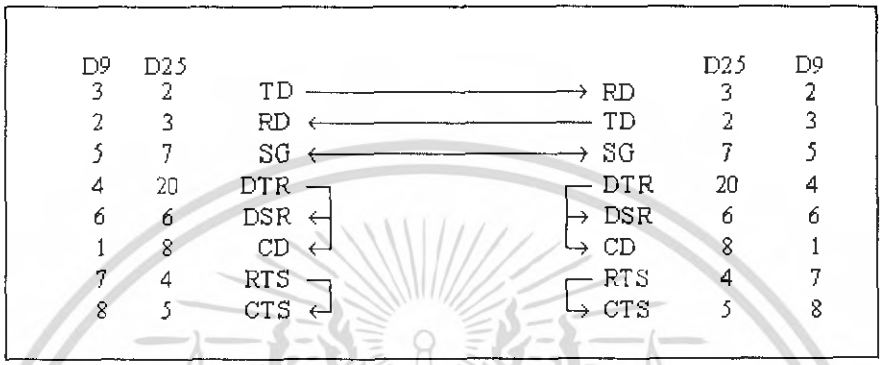
สัญญาณแจ้งผลการรับสัญญาณ(Data carrier detect) เป็นสัญญาณที่ DCE ส่งให้ DTE เพื่อแจ้งว่าได้รับสัญญาณพาหะจาก DCE ที่อยู่อีกด้านหนึ่งของการสื่อสาร ซึ่งหมายความว่า ช่องการสื่อสารระหว่าง DCE ทั้ง 2 ไม่ขาดตอน พร้อมที่จะทำการสื่อสารได้ ซึ่งอุปกรณ์ DTE หรือ Software ที่ควบคุมการสื่อสารมักจะตรวจสัญญาณนี้ ถ้าไม่อยู่ที่ On แสดงว่าช่องการสื่อสารขาด ก็จะไม่ทำการรับหรือส่งข้อมูล

สัญญาณเรียก(Ring Indicator) เป็นสัญญาณจาก DCE แจ้งให้ DTE รู้ว่ามีการเรียกจาก DCE ที่อยู่อีกด้านหนึ่งของการสื่อสาร ซึ่งมักจะใช้ในระบบ Automatic answering

3.5.3 ลักษณะการต่อ RS-232 ที่ไม่ใช่แบบมาตรฐาน

3.5.3.1 นูลโมเด็ม(Null Modems)

นูลโมเด็มใช้สำหรับเชื่อมโยงระหว่าง DTE 2 ตัวเข้าด้วยกันโดยตรงซึ่งโดยมากใช้ในการถ่ายข้อมูลระหว่าง Computer หรือใช้ในการพัฒนาระบบ Microprocessor หรือ Microcontroller ต่าง ๆ



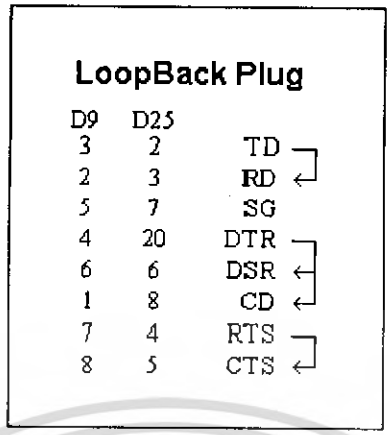
รูปที่ 3.14 แสดงการต่อแบบนูล โมเด็ม

จะเห็นว่าใช้สายเพียง 3 เส้นคือ TD, RD และ SG และมีการต่อ Jump ที่หัวต่อแต่ละข้างอีกเล็กน้อยเท่านั้น เพื่อหลอกให้คอมพิวเตอร์คิดว่ามันกำลังคุยกับ DCE อยู่

หมายเหตุ TD ของคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งจะต้องต่อกับ RD ของ คอมพิวเตอร์ อีกเครื่องหนึ่ง แต่ถ้าเป็นการต่อระหว่าง DTE กับ DCE จริง ๆ จะต่อขาสัญญาณตรงกันโดยไม่ต้องสลับสายเช่นขา 2 ของ DTE จะต่อกับขา 2 ของ DCE และขา 3 ของ DTE จะต่อกับขา 3 ของ DCE เป็นต้น

3.5.3.2 Loopback Plugs

สำหรับ Plug ตัวนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการเขียน Program ที่ติดต่อกับ Serial Port แต่อาจจะไม่สามารถใช้กับ Program ที่ใช้วิเคราะห์หาจุดเสีย (Diagnostic program) เพราะแต่ละ Program อาจจะออกแบบการเชื่อมต่อที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 3.15 แสดงการต่อแบบลูปแบ็ค ปลั๊ก

3.5.4 DTE/DCE Speeds

ความเร็วของการติดต่อระหว่าง DTE กับ DCE หรือระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็ม ซึ่งมักจะเรียกว่า เทอร์มินอล สปีด(Terminal speed) และความเร็วระหว่าง DCE กับ DCE หรือระหว่างโมเด็ม กับโมเด็มซึ่งมักจะเรียกว่าไลน์ สปีด (Line speed) ปรกติ เทอร์มินอล สปีด มักจะเร็วกว่าไลด์ สปีด เช่น โมเด็ม มี มีความเร็วบอด 56 กิโลบิต (speed 56K baud) ขณะที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย มีความเร็วบอด 56 กิโลบิต (speed 115.2Kbps) เป็นต้น ซึ่ง คอมพอร์ต (COM Port) ของคอมพิวเตอร์ ต้องเซต ให้เป็น 115.2Kbps ด้วย ปัจจุบัน UART เบอร์ 16550A จะรองรับได้ 115.2Kbps และเบอร์ 16C650 จะรองรับความเร็วได้ 230.4Kbps

3.5.5 Flow Control

การติดต่อระหว่าง DTE และ DCE จะมีการควบคุมการไหลของข้อมูล เพื่อไม่ให้เกิดการ โอเวอร์โฟลว(Overflow) ขึ้นได้ ซึ่งมีอยู่ 2 แบบคือ ฮาร์ทแวร์ โฟลว คอนโทรล(Hardware flow control) และ ซอฟต์แวร์โฟลว คอนโทรล(Software flow control) สำหรับ ซอฟต์แวร์โฟลว คอนโทรล มักจะเรียกว่า Xon/Xoff flow control ซึ่งใช้รหัส ASCII 17 เป็นสัญญาณ Xon และใช้รหัส ASCII 19 เป็นสัญญาณ Xoff หลักการทำงานก็ง่าย ๆ คือโมเด็ม จะมี บัฟเฟอร์ อยู่ เมื่อ โมเด็ม รับข้อมูลจาก คอมพิวเตอร์ จน บัฟเฟอร์ ใกล้จะเต็ม มันก็จะส่งสัญญาณ Xoff ไปให้ คอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิเตอร์หยุดส่งข้อมูลให้มันชั่วคราว และเมื่อบัฟเฟอร์ มีที่ว่างถึงระดับหนึ่งโมเด็ม ก็จะส่งสัญญาณ Xon ไปให้คอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ ส่งข้อมูลให้มันต่อ การควบคุมโดยวิธีนี้

ประหยัดสายสัญญาณ เพราะรับ-ส่งผ่าน TD และ RD แต่อาจทำให้การสื่อสารช้าลงอย่างเห็นได้ชัด ในกรณีที่ใช้กับการสื่อสารที่มีความเร็ว ต่ำ เพราะแต่ละตัวอักษร ASCII ที่รับ-ส่งจะมีขนาด 10 Bit ส่วนฮาร์ทแวร์คอนโทรล มักจะเรียกว่า RTS/CTS flow control จะใช้สายสัญญาณของ พอร์ตอนุกรม ในการควบคุม ทำให้ไม่บั่นทอนความเร็วของข้อมูล หลักการทำงานคือ เมื่อ Modem มีที่ว่างเพื่อรับข้อมูล มันก็จะส่งสัญญาณ CTS ไปให้คอมพิวเตอร์ และเมื่อมันใกล้จะเต็ม มันก็จะหยุดส่งสัญญาณ CTS ไปให้คอมพิวเตอร์

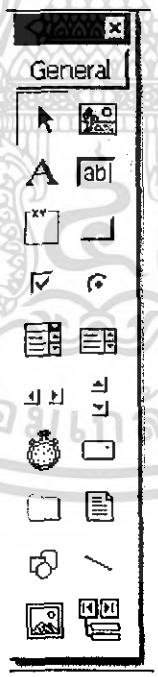
บทที่ 4

การใช้งาน Visual Basic

4.1 การใช้งานคอนโทรลในการสร้างอินเตอร์เฟส

จุดเริ่มต้นของการพัฒนาแอพพลิเคชันด้วย VB ก็คือการนำคอนโทรลชนิดต่างๆ ที่ VB จัดเตรียมไว้นำมาวาดอินเตอร์เฟส แอพพลิเคชันจะมีหน้าตา เป็นอย่างไร ก็อยู่ในขั้นตอนนี้ ถ้าเริ่มต้นพัฒนาแอพพลิเคชันได้ดี โดยการออกแบบอินเตอร์เฟสที่ใช้งานง่าย เป็นมิตรกับผู้ใช้ มันจะส่งผลให้ระยะเวลา ในการพัฒนาแอพพลิเคชันหนึ่ง ลดลงไปได้มากทีเดียว เพราะสิ่งที่เหลืออยู่คือการเขียนโค้ดเพื่อทำให้โปรเจ็กต์ทำงานให้สมบูรณ์มากที่สุด ผลงานก็จะออกมาเหมาะสมกับเวลาที่ต้องเสียไปคอนโทรลแต่ละชนิดจะมีหน้าที่ หรือจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานต่างกัน เช่น คอนโทรลCommand Button ใช้สร้างปุ่มกดเพื่อตอบรับ, คอนโทรล Option Button ใช้สำหรับให้ผู้ใช้มีทางเลือก, คอนโทรล TextBox ใช้รับและแสดงข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถแก้ไขได้, คอนโทรล Label ใช้แสดงข้อมูล ที่ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขได้ เป็นต้น

สำหรับชื่อของคอนโทรลแต่ละตัว คุณสามารถเลื่อนเมาส์ไปบริเวณบนตัวคอนโทรลนั้นๆ แล้วจะมี ToolTip แสดงชื่อของคอนโทรลนั้นๆ ให้ผู้ใช้ทราบ



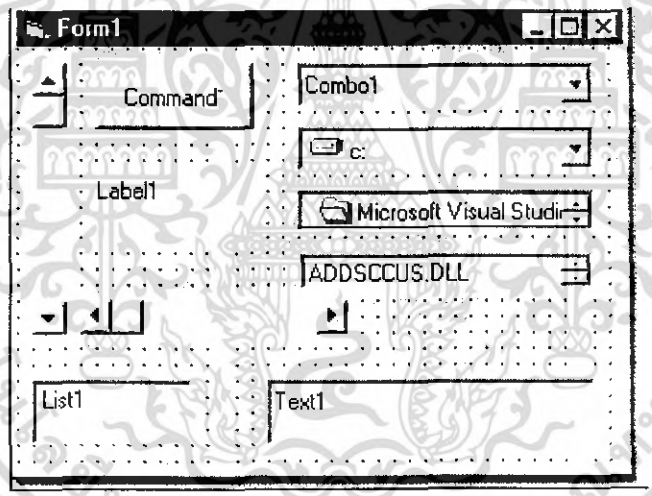
รูปที่ 4.1 แสดงกลุ่มคอนโทรลมาตรฐานของ VB

4.2 รูปแบบการปรากฏของคอนโทรลแต่ละชนิดบนฟอร์ม

คอนโทรลแต่ละชนิดมีรูปแบบการปรากฏตัว มีความแตกต่างกัน คอนโทรลบางตัวเมื่อนำมาใช้งานอาจจะไม่มีการปรากฏตัวขึ้นมา หรืออาจจะปรากฏขึ้นมาเลยก็ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับหน้าที่ของแต่ละคอนโทรล สำหรับคอนโทรลที่คุณจะต้องใช้งานในทุกๆแอพพลิเคชันจะมี เช่น CommandButton, TextBox, CheckBox, OptionButton, ScrollBar เป็นต้น คอนโทรลพวกนี้ถือได้ว่าเป็น คอนโทรลคลาสสิค หมายถึง เป็นคอนโทรลที่พบเห็นได้ทั่วไปสำหรับรูปแบบการปรากฏตัวของคอนโทรลสามารถแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1.ปรากฏตัวทันทีเมื่อนำมาใช้งาน หมายถึง สามารถเห็นได้ในขณะที่ออกแบบ ที่เรียกว่า design time ซึ่งคอนโทรลส่วนใหญ่ จะมีลักษณะเช่นนี้

2.ไม่ปรากฏตัวเมื่อคุณนำมาใช้งาน หมายถึง คอนโทรลประเภทที่ไม่สามารถมองเห็นการทำงานของตัวมันในขณะออกแบบได้ มันจะทำงานอยู่เบื้องหลัง แอพพลิเคชันของคุณ ซึ่งจะเป็นเวลาในช่วงของการรันแอพพลิเคชัน ที่เรียกว่า run time เช่น คอนโทรล Timer, CommonDialog เป็นต้น



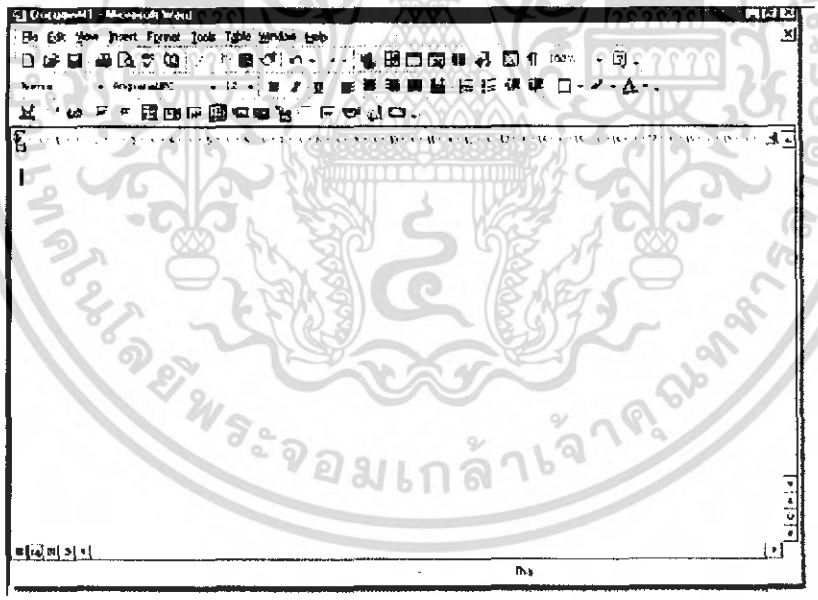
รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบของคอนโทรลหลายๆชนิดบนฟอร์ม

4.3 แนวทางในการออกแบบอินเตอร์เฟสแรก

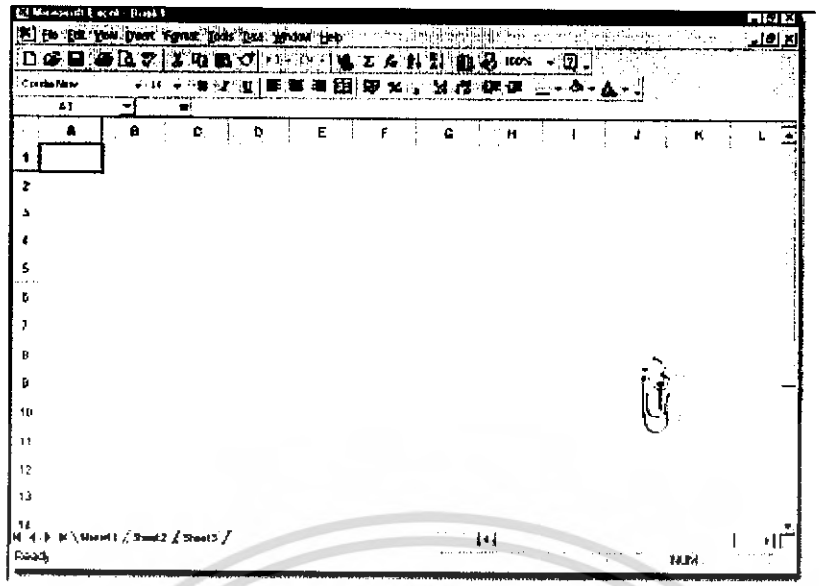
สำหรับการออกแบบอินเตอร์เฟส VB อนุญาตให้สามารถที่จะวาดคอนโทรลได้อย่างอิสระ ไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัว ณ ตำแหน่งใดก็ได้ ที่อยู่ในบริเวณฟอร์ม สามารถสร้างสรรค์ให้แอพพลิเคชันให้มีหน้าตาเป็นอย่างไรก็ได้ แต่ขอให้ยึดถือไว้ว่า อินเตอร์เฟสที่ออกมา จะต้องเป็นมิตรกับผู้ใช้ มีรูปแบบเดียวกับแอพพลิเคชันทั่วๆไป ไม่ทำให้ผู้ใช้สับสนกับแอพพลิเคชัน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าออกแบบอินเตอร์เฟสให้ผู้ใช้ ต้องตอบคำถามมากมาย กว่าจะได้เซฟงาน, มีตัวเลือกมากจนกระทั่ง

ผู้ใช้ไม่รู้ว่าจะเลือกอะไรดี, จัดวาง Lay out ไม่เป็นระเบียบ ไม่เป็นกลุ่ม, ทำให้ผู้ใช้สับสนในการใช้งาน จากแอพพลิเคชันทั่วๆไปจะเห็นได้อย่างหนึ่งว่า จะพยายามเน้นที่การใช้งานง่าย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้เป็นอันดับแรก แต่ภาระต่างๆ จะอยู่ที่โปรแกรมเมอร์ต่างหาก สิ่งที่จะสร้างแนวความคิดให้ออกแบบอินเตอร์เฟสได้อย่างรวดเร็วก็คือ จะต้องมีประสบการณ์ ในการใช้งานแอพพลิเคชันในด้านต่างๆ ให้มากที่สุด เท่าที่จะเป็นไปได้ แล้วจะได้ concept ในการสร้างแอพพลิเคชันได้อย่างไม่ยากเย็น

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งคือ ในแอพพลิเคชันทั่วๆไป เช่น Word, Excel รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่ของไมโครซอฟท์ จะมีส่วนอินเตอร์เฟสที่มีลักษณะ คล้ายคลึงกันมาก ทำให้ผู้ใช้มีความคุ้นเคยสามารถเรียนรู้ ทำความเข้าใจได้ไม่ยากเย็นนัก อย่างน้อยที่สุด ทำให้ผู้ใช้งานมีความรู้สึกว่า ไม่ต้องเริ่มต้นเรียนรู้ใหม่ มีความสนใจอยากที่จะเรียนรู้ ใช้งานแอพพลิเคชันนั้นๆ มากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่โปรแกรมเมอร์จะต้องสื่อออกมากับอินเตอร์เฟสให้ได้ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดเจนมากที่สุดในการพัฒนาแอพพลิเคชันด้วย VB นั่นก็คือ สามารถใช้ระยะเวลาสั้นๆ ในการออกแบบอินเตอร์เฟสได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขอินเตอร์เฟสให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ได้อย่างง่ายดาย ซึ่งเป็นการ programming ในสมัยใหม่ ซึ่งจะช่วยย่นระยะเวลาในการพัฒนาแอพพลิเคชันได้เป็นอย่างดี

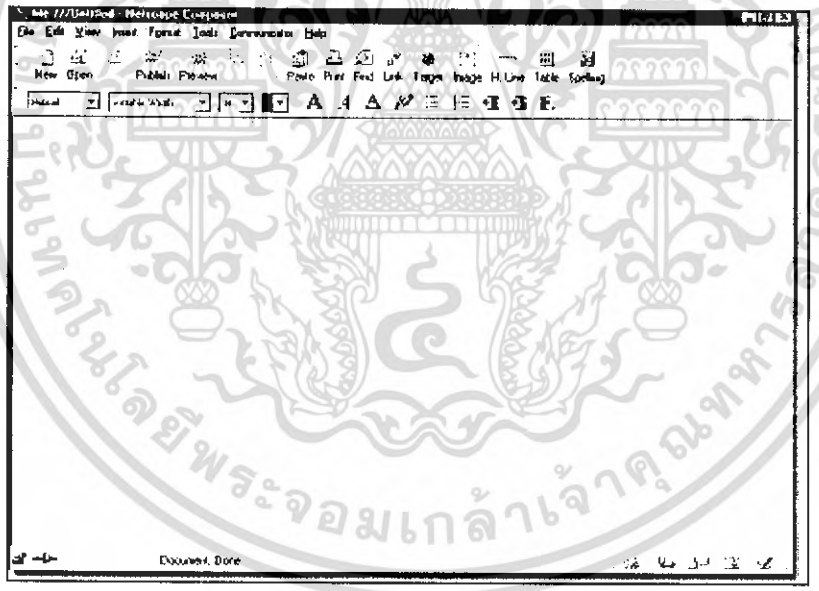


รูปที่ 4.3 แสดงสภาพแวดล้อมของ Word 2000



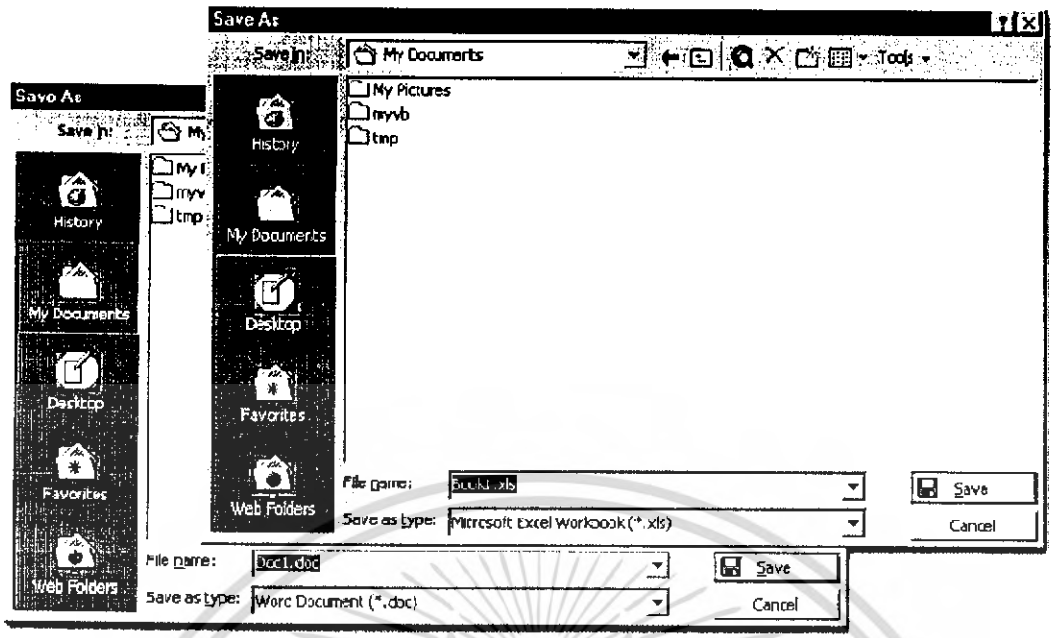
รูปที่ 4.4 แสดงสภาพแวดล้อมของ Excel 2000

สำหรับแอพพลิเคชันที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ของไมโครซอฟท์ ก็ยังคงมีอินเตอร์เฟสที่ใกล้เคียงกัน จะแตกต่างกันในแง่ของหน้าที่การใช้งานเท่านั้น



รูปที่ 4.5 แสดงสภาพแวดล้อมของ Netscape Composer

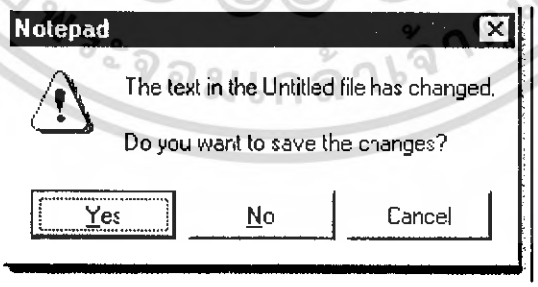
องค์ประกอบหลักๆ ของอินเตอร์เฟส จะประกอบไปด้วย เมนู, ToolBar, dialog box ชนิดต่างๆ เช่น เปิดไฟล์, เซฟไฟล์, พิมพ์งาน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ VB เตรียมไว้ให้คุณแล้ว ที่เหลือก็ขึ้นอยู่กับว่า จะนำไปใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพมากเพียงใด



รูปที่ 4.6 แสดงไดอะล็อกบ็อกซ์เซฟไฟล์ของ Excel 2000 และ Word 2000

จะเห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกัน เนื่องจากใช้งานกลุ่มฟังก์ชัน Windows API ชุดเดียวกัน มีผลทำให้ผู้ใช้มีความรู้สึกว่า ไม่ต้องเริ่มต้นเรียนรู้ใหม่ทั้งหมด และมีความรู้สึกต้องการใช้แอพพลิเคชันนั้นๆ ด้วย

ส่วนประกอบของอินเตอร์เฟส เกิดจากการใช้คอนโทรลชนิดต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น คอนโทรล CommandButton, Frame, CheckBox เป็นต้น แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องออกแบบอินเตอร์เฟสทุกอย่าง ในแอพพลิเคชันหนึ่งๆ VB ได้เตรียมกลุ่มฟังก์ชัน ที่ให้เขียนโค้ดเพียงบรรทัดเดียว ก็สามารถเรียกใช้งานได้แล้ว เช่น message box ที่เตือนให้ผู้ใช้เซฟงาน ก่อนออกจากโปรแกรม, ไดอะล็อกบ็อกซ์เซฟไฟล์, เปิดไฟล์ เป็นต้น

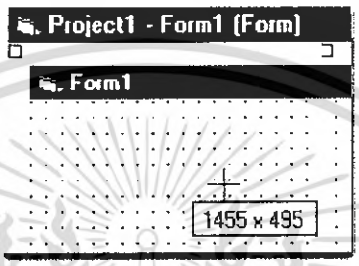


รูปที่ 4.7 แสดง message box ที่เตือนให้ผู้ใช้เซฟงาน ใน VB คุณเขียนโค้ดเพียงบรรทัดเดียวเท่านั้น

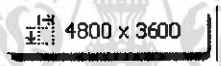
4.4 การนำคอนโทรลมาใช้งาน

สำหรับวิธีการนำคอนโทรลมาใช้งาน วาดอินเตอร์เฟสบนฟอร์ม มี 2 วิธี คือ

1.คลิ๊กที่ตัวคอนโทรลนั้นๆ บน ToolBox แล้วนำไปวาดบนฟอร์ม สามารถกำหนดความกว้างและความยาวของคอนโทรลได้อย่างอิสระรวมถึงกำหนดตำแหน่งได้เช่นกัน VB จะแสดง ToolTip แสดงขนาดของคอนโทรล ให้อัตโนมัติ ส่วนตำแหน่งของคอนโทรลดูได้จาก บน ToolBar โดยแสดงแบบพิกัด co-ordinate วัดจากมุมซ้ายบนของฟอร์มที่บรรจุอยู่ ถ้าคอนโทรลนั้นอยู่ในคอนโทรล Frame ก็จะวัดจากมุมซ้ายบนของคอนโทรล Frameแทน ดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9



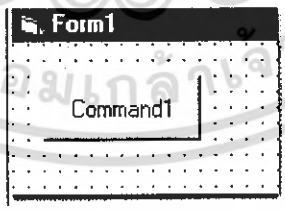
รูปที่ 4.8 แสดง ToolTip บอกขนาดของคอนโทรล



รูปที่ 4.9 แสดงขนาดของคอนโทรลบน Tool Bar

2. ดับเบิลคลิ๊กที่ตัวคอนโทรลนั้นเลย แล้ว VB จะนำคอนโทรลไปวางบนฟอร์มให้โดยอัตโนมัติซึ่ง VB จะตั้งค่า default ไว้ให้ทั้งตำแหน่งและขนาดของคอนโทรล แล้วค่อยแก้ในภายหลัง

สำหรับคอนโทรล CommandButton อาจใช้ขนาด default ที่ VB ตั้งมาไปใช้งานเลยก็ได้ เพราะมีขนาดเหมาะสมอยู่แล้ว

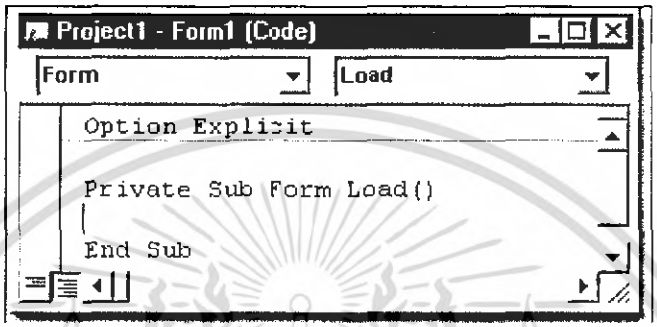


รูปที่ 4.10 แสดงคอนโทรล CommandButton แบบ default

สำหรับการปรับขนาดของคอนโทรล ให้คลิ๊กที่คอนโทรลนั้นๆ เพื่อให้อยู่ในสภาวะแอกทีฟ(active) แล้วจะมีปุ่มสี่เหลี่ยมทึบ 8 ปุ่มอยู่บนตัวคอนโทรล ให้เลื่อนเมาส์ไปบริเวณปุ่มทึบ(เคอร์เซอร์เปลี่ยนเป็นลูกศร 2 หัว) ก็สามารถปรับขนาดได้ตามต้องการ สำหรับการเลื่อนตำแหน่งของคอนโทรล สามารถ drag เมาส์ บนคอนโทรลนั้นๆ แล้วย้ายไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้โดยตรง ซึ่งก็จะเหมือนกับ การใช้งานแอพพลิเคชันทั่วๆไป

4.5 พื้นฐานการเขียนโค้ด

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นขั้นตอนที่ต่อจากการออกแบบอินเตอร์เฟส หลังจากที่ได้ออกแบบอินเตอร์เฟสเรียบร้อยแล้ว จะต้องเริ่มเขียนโค้ด สำหรับคอนโทรลแต่ละตัว เพราะเมื่อ ออกแบบอินเตอร์เฟสแล้ว มันยังไม่สามารถทำอะไรได้เลย ใน VB จะมี editor ไว้สำหรับให้เขียนโค้ดโดยเฉพาะ เตรียมไว้ให้แล้ว ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดง editor ของ VB

มี 2 วิธีที่สามารถเรียก editor ขึ้นมาใช้งานคือ

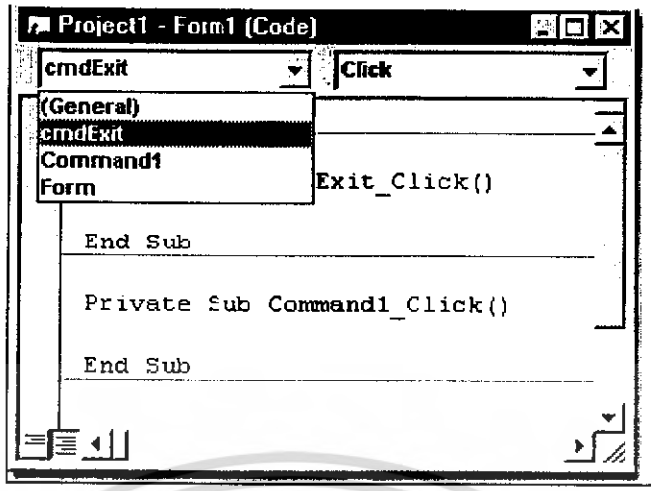
1.ดับเบิลคลิ๊กที่ตัวคอนโทรลนั้นๆ

2.คลิกที่คอนโทรลนั้น ให้อยู่ในสภาพแอกทีฟ (active) หรือได้รับความสนใจ (focus) แล้วกด F7

4.6 การใช้งาน Editor

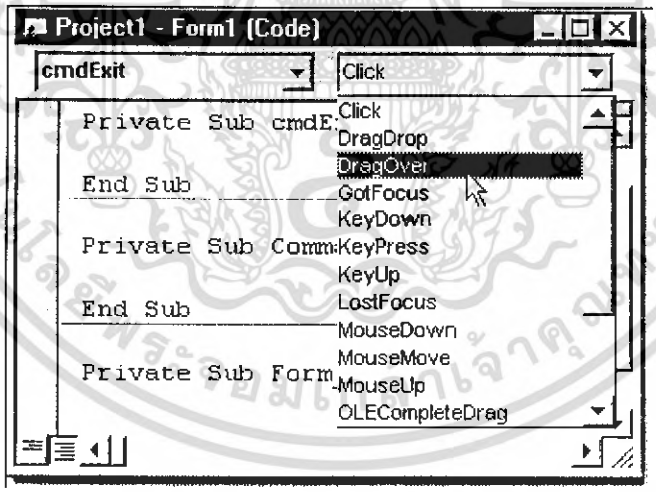
เครื่องมือตัวนี้ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญมากที่สุด อีกตัวหนึ่งในบรรดาเครื่องมือที่ VB มี เพราะใช้สำหรับเขียนโค้ด ให้แอพพลิเคชันทำงานได้ (คำว่า editor จะหมายถึง editor ของ VB) เครื่องมือตัวนี้ใช้งานมากที่สุด ในขบวนการพัฒนาแอพพลิเคชันด้วย VB การศึกษาสภาพแวดล้อมของ editor จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าส่วนใดๆ ใน VBIDE การทำความรู้จัก รูปแบบการใช้งาน และความหมายของส่วนต่างๆของ editor จะช่วยลดระยะเวลาในการเขียนโค้ดได้อีกระดับหนึ่ง จากรูปที่ 4.11 สามารถแยกส่วนต่างๆ ของeditor ออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1.ส่วน object list box มีหน้าที่แสดงชื่อคอนโทรลหรืออ๊อบเจ็กต์ที่นำมาใช้งาน เมื่อเพิ่มคอนโทรลเข้ามาในฟอร์ม รายชื่อของคอนโทรล จะถูกเพิ่มเข้ามาโดยอัตโนมัติ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงชื่อของคอนโทรล (คุณสมบัติ Name) ชื่อที่ปรากฏอยู่ใน object list box ก็จะเปลี่ยนไปตามชื่อที่ตั้งไว้เช่นกัน



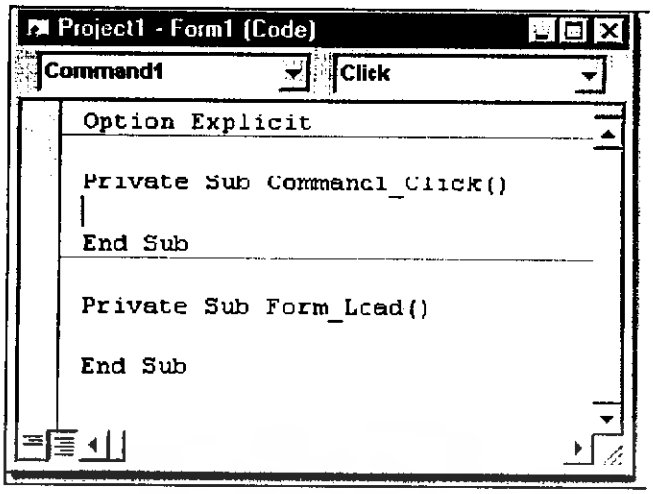
รูปที่ 4.12 แสดงส่วน object list box และคอนโทรล CommandButton ชื่อปกติและ CommandButton ที่เปลี่ยนชื่อแล้ว

2.ส่วน event list box มีหน้าที่แสดงเหตุการณ์ (event) ของคอนโทรลที่ถูกเลือกใน object listbox สนับสนุนอยู่ มันจะเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติ เมื่อเปลี่ยนชนิดของคอนโทรลใน objectlist box ทั้ง 2 ส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กันตลอดเวลา



รูปที่ 4.13 แสดงส่วน event list box และรายการ events ที่คอนโทรล CommandButtonสนับสนุน

3.ส่วนการเขียนโค้ด เมื่อเลือกคอนโทรลใน object list box และเลือกเหตุการณ์ใน event listbox แล้ว VB จะสร้างโพรซีเดอร์ (procedure) ว่างๆขึ้นมาให้โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงโพรซีเดอร์เหตุการณ์ Click ของคอนโทรล CommandButton

ความหมายในแต่ละคำของโพรซีเดอร์ สำหรับพื้นที่ในการเขียนโค้ดจะอยู่ระหว่าง 2 บรรทัดดังกล่าว (ที่เคอร์เซอร์กระพริบอยู่)

- **Private** เป็นคำสงวนที่กำหนดขอบเขตของโพรซีเดอร์
- **Sub** เป็นคำสงวนที่บอกชนิดของโพรซีเดอร์ กรณีนี้เป็นแบบซับรูทีน (ในการใช้งานจริงจะมีรูปแบบของโพรซีเดอร์หลายชนิด เช่น โพรซีเดอร์ทั่วไป ฟังก์ชันที่สร้างขึ้นมาเอง)
- **Command1** หมายถึงชื่อของอ๊อบเจ็กต์ หรือคอนโทรล ถ้ามีการเปลี่ยนชื่อ (คุณสมบัติ Name)ส่วนนี้จะเปลี่ยนไปเป็นชื่อเดียวกับชื่อที่ตั้งไว้
- _ เครื่องหมายอันเดอร์สกอร์ ใช้แบ่งชื่อของคอนโทรลและเหตุการณ์ออกจากกัน
- **Click** เหตุการณ์ประจำโพรซีเดอร์ หมายความว่าโพรซีเดอร์นี้จะทำงานเมื่อมีการคลิกปุ่มที่ชื่อว่าCommand1 เท่านั้น
- ( ) ในวงเล็บ อาจจะมีรายการตัวแปรที่คุณจำเป็นต้องใช้ในโพรซีเดอร์นี้ ซึ่งเรียกว่าอาร์กิวเมนต์(arguments) ซึ่งในการใช้งานจริง
- **End Sub** จบโพรซีเดอร์

4.7 โพรซีเดอร์ประจำคอนโทรล

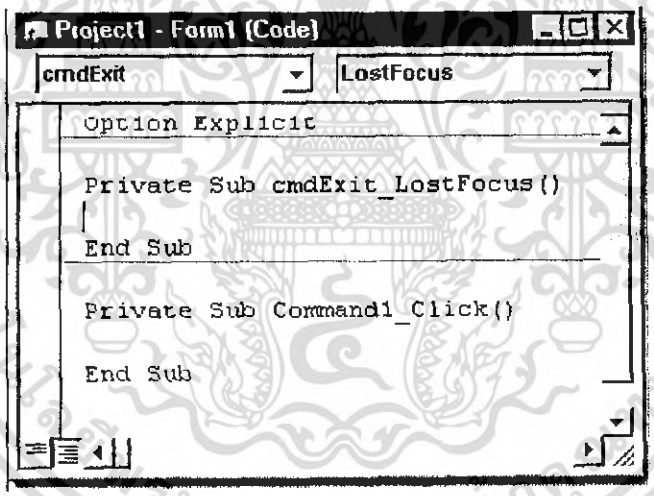
เมื่อนำคอนโทรลชนิดต่างๆ มาใช้งานแล้ว VB จะสร้างโพรซีเดอร์ว่างๆ พร้อมเหตุการณ์ประจำคอนโทรลนั้นๆ ขึ้นมาเสมอ โดยที่ VB จะใช้หน้าที่ของแต่ละคอนโทรลเป็นหลัก แล้วสร้างโพรซีเดอร์เหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับคอนโทรลนั้นขึ้นมาโดยอัตโนมัติเช่นคอนโทรล CommandButton มีหน้าที่เป็นปุ่มให้ผู้ใช้คลิ๊กตอบรับ (เหตุการณ์ Click) VB ก็จะสร้างโพรซีเดอร์

Private Sub Command1_Click( ), คอนโทรล TextBox มีหน้าที่รับหรือแสดงข้อมูล ที่ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ VB จะสร้างโพรซีเดอร์ Private Sub Text1_Change( ), ฟอร์ม เป็นตัวบรรจุคอนโทรลอื่นๆ และจะถูกโหลดเข้ามาในหน่วยความจำก่อนเสมอ VB จะสร้างโพรซีเดอร์Private Sub Form_Load( ) เป็นต้น โพรซีเดอร์ต่างๆ ที่ VB สร้างขึ้นมา ไม่จำเป็นต้องใช้งานทั้งหมด หรือถ้าจะใช้ทั้งหมดก็ได้ ก็สามารถปล่อยให้เป็นโพรซีเดอร์ว่างๆได้ โดยไม่มีปัญหาในการประมวลผลแต่อย่างใดแม้ว่า VB จะสร้างโพรซีเดอร์ประจำคอนโทรลให้โดยอัตโนมัติอยู่แล้ว แต่ในความเป็นจริงโพรซีเดอร์เหล่านี้ ยังไม่สามารถรองรับการทำงาน ของแอพพลิเคชันหนึ่งๆ ได้ทั้งหมด จะต้องเพิ่มเหตุการณ์ต่างๆขึ้นมา เพื่อรองรับการใช้งานของผู้ใช้ ดังนั้นสิ่งที่ต้องศึกษาต่อไปก็คือ จะมีเหตุการณ์อะไรบ้างที่อาจเกิดขึ้นกับคอนโทรล คอนโทรลแต่ละชนิดสนับสนุนเหตุการณ์อะไรบ้าง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละคอนโทรลมีความสัมพันธ์กันอย่างไร สำหรับวิธีการเพิ่มโพรซีเดอร์เหตุการณ์ของแต่ละคอนโทรล ดังนี้

1.ให้เลือกชนิดของคอนโทรล หรืออ๊อบเจ็กต์ใน object list box

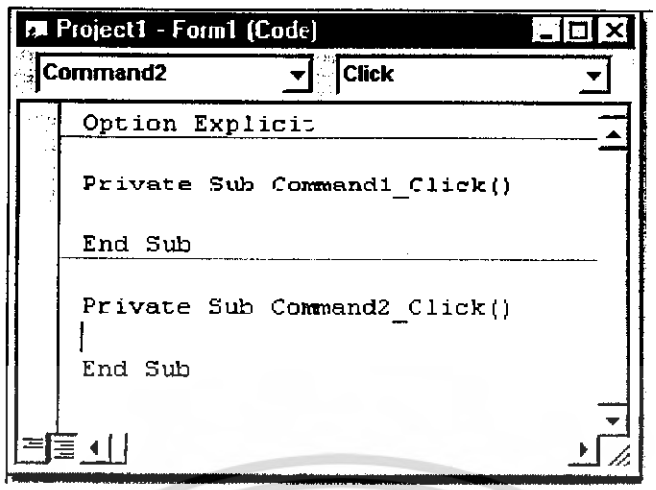
2.เลือกเหตุการณ์ใน event list box

3.VB จะสร้างโพรซีเดอร์ใหม่ที่ตรงกับเหตุการณ์ที่เลือกไว้ กับคอนโทรลนั้นๆ



รูปที่ 4.15 แสดงโพรซีเดอร์เหตุการณ์ LostFocus ของคอนโทรล CommandButton ที่ถูกเพิ่มเข้ามา

และถ้าในกรณีที่เลือกคอนโทรลเหมือนกัน เหตุการณ์เหมือนกัน ในฟอร์มเดียวกัน VB จะสร้างโพรซีเดอร์เหตุการณ์ ให้กับคอนโทรลทั้ง 2 ตัว เพราะ VB ถือว่าเป็นคนละอ๊อบเจ็กต์กัน เช่น ถ้าใช้งานคอนโทรล CommandButton 2 ตัว ซึ่งมีเหตุการณ์คลิ๊กเหมือนกัน จึงมีเหตุการณ์คลิ๊ก 2 โพรซีเดอร์ สำหรับคอนโทรล Command1 และ Command2 ผู้ใช้คลิกปุ่ม Command1 อาจจะออกจากโปรแกรม ผู้ใช้คลิ๊ก Command2 อาจจะแสดงข้อความ Hello World ! ก็ได้



รูปที่ 4.16 แสดงโพรซีเดอร์เหตุการณ์คลิ๊กของคอนโทรล CommandButton 2 ตัว

สำหรับในส่วน object list box จะมีรายการพิเศษที่เขียนว่า (General) และใน event listbox จะเขียนว่า (declarations) จะเป็นพื้นที่พิเศษ ที่ใช้สำหรับประกาศ (declare) ตัวแปรต่างๆ,กลุ่มฟังก์ชัน Windows API เป็นต้น

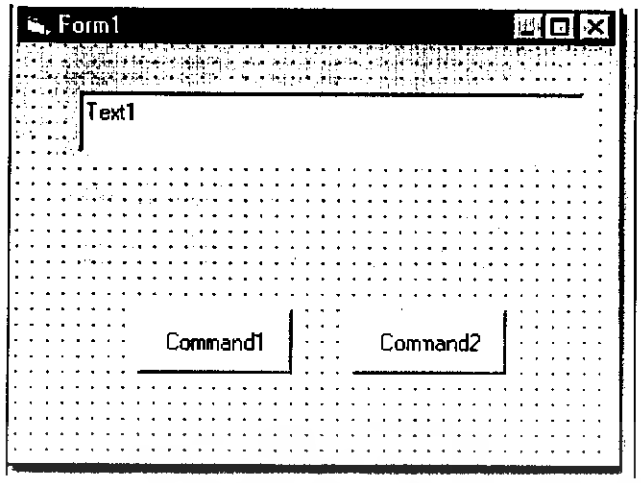
4.8 โค้ดชุดแรก

หลังจากที่ VB ได้สร้างโพรซีเดอร์ต่างๆ ขึ้นมาประจำคอนโทรลแล้ว จะต้องเริ่มเขียนโค้ดเพื่อที่จะทำให้แต่ละโพรซีเดอร์ทำงานได้ซึ่งในแต่ละโพรซีเดอร์จะรองรับเหตุการณ์เดียวเท่านั้น จะต้องเขียนโค้ดให้แต่ละโพรซีเดอร์ทำงานครบ และเสร็จสิ้นภายในโพรซีเดอร์มันเอง เช่น เมื่อผู้ใช้คลิ๊กปุ่ม OK แล้วจะเกิดอะไรขึ้นบ้าง, เมื่อฟอร์มถูกโหลดเข้ามาจะมีอะไรบ้าง, เมื่อผู้ใช้ดับเบิลคลิ๊กที่ฟอร์ม จะเกิดอะไรขึ้นต้องเขียนโค้ดรองรับเหตุการณ์เหล่านี้ทั้งหมด เป็นต้น

องค์ประกอบหลักของการเขียนโค้ดตอบรับคือจะต้องเชื่อมโยงโพรซีเดอร์ต่างๆให้สามารถทำงานสอดคล้องกันไปตามการทำงานของแอพพลิเคชันนั้นๆให้ได้ ตัวอย่างโพรซีเดอร์ที่ต้องใช้งานในทุกๆ แอพพลิเคชัน ก็คือ เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Command1 แล้วให้จบการทำงานของโปรแกรม

```
Private Sub Command1_Click( )
    End
End Sub
```

คำสงวน End เป็นการบอกให้รู้ว่า เมื่อผู้ใช้คลิ๊กปุ่ม Command1 แล้วให้จบการทำงาน จะยกตัวอย่างที่แสดงให้เห็น การเชื่อมโยง 2 โพรซีเดอร์เข้าด้วยกัน ให้วาดอินเตอร์เฟสดังรูปและเขียนโค้ดต่อไปนี้



รูปที่ 4.17 แสดงอินเตอร์เฟสเพื่อสั่งให้คอนโทรล TextBox แสดงข้อความ hello world

```
Private Sub Command1_Click ( )
        Text1.Text = "hello world"
End Sub
Private Sub Command2_Click ( )
        Text2.Text = " "
End Sub
```

ให้ทดลองรันโปรแกรมโดยการคลิ๊กปุ่ม บน ToolBar หรือกดปุ่ม F5 แล้วลองคลิ๊กที่ปุ่ม Command1 และ Command2 ดูผลที่เกิดขึ้น เมื่อคลิ๊กที่ปุ่ม Command1 จะมีข้อความ helloworld ปรากฏในคอนโทรล TextBox และเมื่อคลิ๊กที่ปุ่ม Command2 ข้อความดังกล่าวจะหายไปทำความเข้าใจกับโค้ดชุดแรก

ความหมายของโค้ดที่เขียนมีรายละเอียดดังนี้

- **Private Sub Command1_Click ( )** หมายถึง โพรซีเดอร์นี้ทำงานเมื่อผู้ใช้คลิ๊กที่ปุ่ม Command1 เท่านั้น
- **Text1.Text = "hello world"** หมายถึง สั่งให้คอนโทรล TextBox ที่ชื่อ Text1 แสดงข้อความ hello worldผ่านทางคุณสมบัติ Text เพราะว่าคุณสมบัติ Text นี้มีหน้าที่แสดงข้อความ ส่วนจุด . ใช้แยกชื่อคอนโทรลกับคุณสมบัติ (properties) หรือแยกชื่อคอนโทรลกับเมธอด (methods) กรณีนี้ Text เป็นคุณสมบัติของคอนโทรล TextBox
- **End Sub** หมายถึง จบโพรซีเดอร์ Command1_Click ( )

- **Private Sub Command2_Click ( ) หมายถึง โพรซีเดอร์นี้ทำงานเมื่อผู้ใช้คลิ๊กที่ปุ่ม** Command2 **เท่านั้น**
- **Text1.Text = " " หมายถึง สั่งให้คอนโทรล** TextBox **ที่ชื่อ** Text1 **ไม่ต้องแสดงข้อความ เครื่องหมาย " " แทนข้อความว่างเปล่า**
- **End Sub จบโพรซีเดอร์** Command2_Click ( )

4.9 หมายเหตุในการเขียนโค้ด (Comment)

ในการเขียนโปรแกรม ไม่ว่าจะเป็นภาษาใดก็ตาม ควรที่จะต้องเขียนหมายเหตุไว้ เพื่อบอกความหมายของโค้ดบรรทัดต่อไป อาจเขียนไว้เพื่อบอกว่า ตัวแปรนี้ใช้แทนอะไร ข้อความบอกจุดประสงค์ของโค้ดบรรทัดนั้นๆ เพื่อเป็นประโยชน์ ในกรณีที่ต้องย้อนกลับมา ศึกษาโค้ดนี้อีกครั้ง รูปแบบการเขียนหมายเหตุก็คือ ควรจะเป็นข้อความสั้นๆ กระชับ แต่ได้ใจความ ที่บอกความหมายของโค้ดบรรทัดนั้น หรือบอกว่าตัวแปรนั้นแทนอะไร ไม่ควรใช้คำอธิบาย เพราะตัวหมายเหตุเองจะทำให้งงมากกว่าโค้ดเสียอีก ในกรณีที่ต้องเขียนโค้ดมากๆ สำหรับการเขียนโค้ดที่มีการใช้งานตัวแปร

วิธีการเขียนหมายเหตุใน VB คือ จะใช้เครื่องหมาย ' (apostrophe) หน้าบรรทัดที่ต้องการทำหมายเหตุ แล้ว editor จะเปลี่ยนบรรทัดนั้น เป็นสีเขียว และจะไม่สนใจบรรทัดดังกล่าว ในการประมวลผลทันที อาจใช้หมายเหตุ เพื่อทดสอบที่ละโพรซีเดอร์ก็ได้ เช่น กรณีที่โพรซีเดอร์เกิด error บ่อยมาก :-(ก็หมายเหตุโพรซีเดอร์ ที่ error ไว้ก่อนก็ได้ อาจใช้คำสงวน Rem มาจากคำว่า Remark แทนเครื่องหมาย ' ก็ได้ โปรแกรมเมอร์ส่วนใหญ่ จะใช้หมายเหตุ เพื่อบอกความหมายของโค้ดเป็นช่วงๆ เสมอ)

4.10 คุณสมบัติและเมธอดของคอนโทรล

สำหรับคอนโทรลและอ๊อบเจ็กต์ทุกชนิดใน VB จะมีคุณสมบัติและเมธอดประจำตัวของมันเองความหมายของทั้ง 2 อย่างมีดังนี้

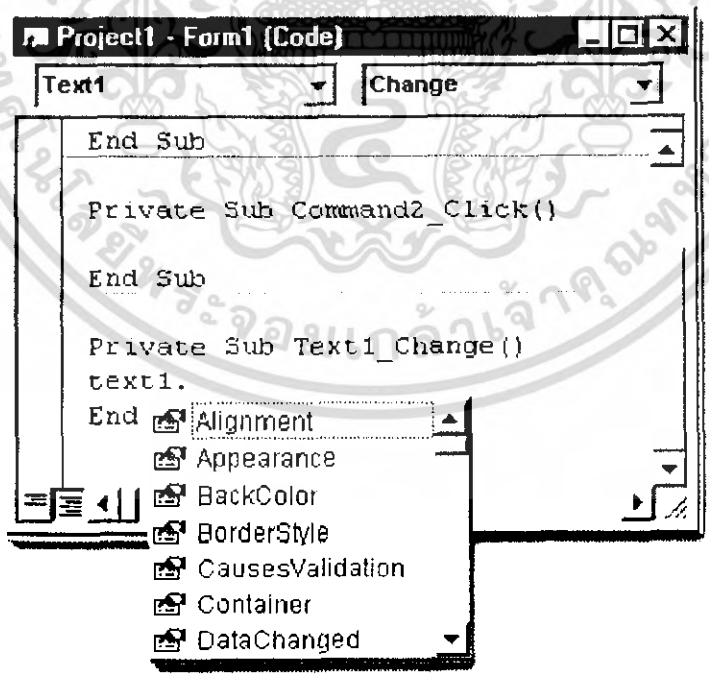
- คุณสมบัติ (properties) หมายถึง รูปร่าง ลักษณะ ความกว้าง ความยาว สี ฯลฯ ของตัวคอนโทรลหรืออ๊อบเจ็กต์ ขอให้มองคอนโทรลหรืออ๊อบเจ็กต์ เป็นเสมือนวัตถุชิ้นหนึ่ง ที่มีความยาว ความกว้าง สีของตัวมันเอง คุณสามารถแก้ไขได้เหมือนดั่งเช่น คุณกำลังปรับแต่งวัตถุชิ้นหนึ่งอยู่ สำหรับในแต่ละคอนโทรล หรืออ๊อบเจ็กต์ อาจจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน หรือต่างกันก็ได้ ขึ้นอยู่กันหน้าที่ของแต่ละคอนโทรล คอนโทรลหรืออ๊อบเจ็กต์หนึ่งๆ จะมีคุณสมบัติมากมาย หลายอย่าง ยิ่งคุณสามารถปรับแต่งคุณสมบัติ ให้ตรงกับความต้องการมากเพียงใด แอพพลิเคชันของก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นได้ดี ในการพัฒนาแอพพลิเคชัน สามารถ

ปรับแต่ง คุณสมบัติได้จากหน้าต่าง Properties หรือปรับแต่งด้วยการเขียนโค้ดก็ได้ จะมีคุณสมบัติบางตัว ที่ไมโครซอฟท์แนะนำให้ ปรับแต่งด้วยการเขียนโค้ด และบางตัวปรับแต่งด้วยการแก้ไขในหน้าต่าง Properties ซึ่งจะอธิบายอย่างละเอียดอีกครั้ง ในการใช้งานแต่ละคอนโทรลและในทางปฏิบัติ ไม่จำเป็นต้องปรับแต่งทุกๆ คุณสมบัติ เพราะ VB ได้ตั้งค่า default ไว้ให้แล้ว ซึ่งก็สามารถใช้งานได้ในระดับหนึ่ง

- **เมธอด (methods)** หมายถึง พฤติกรรมของคอนโทรลหรืออ๊อบเจ็กต์ อาจกล่าวได้ว่า เป็นการควบคุมการทำงานของคอนโทรลหรืออ๊อบเจ็กต์นั่นเอง จะใช้จุดเป็นตัวคั่นระหว่างชื่อคอนโทรลกับเมธอด ซึ่งจะเห็นได้ว่า คุณสมบัติและเมธอดมีความใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากจะใช้จุด . เป็นตัวแยกระหว่าง ชื่อคอนโทรลกับคุณสมบัติ หรือชื่อคอนโทรลกับเมธอด จะมีความแตกต่างกัน ในแง่ของการควบคุมคอนโทรล หรืออ๊อบเจ็กต์ ซึ่งคุณจะได้ศึกษาในหัวข้อต่อๆ ไป

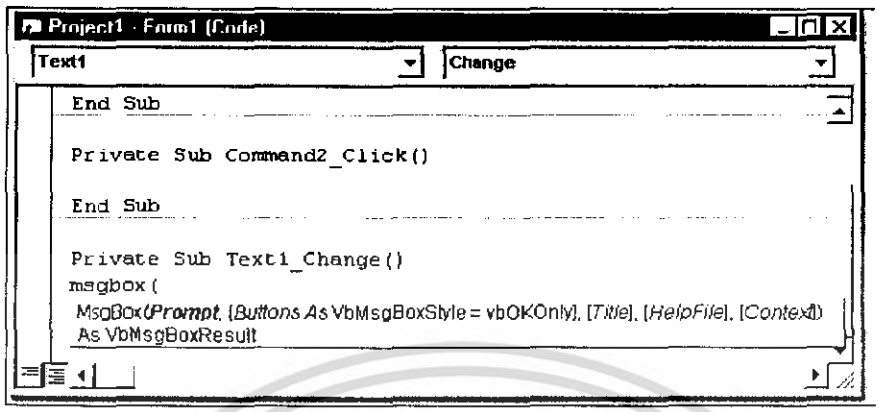
4.11 ความสามารถพิเศษของ editor

จากตัวอย่างข้างต้นจะพบว่า ขณะที่พิมพ์โค้ดให้กับแต่ละโพรซีเดอร์ เมื่อพิมพ์ . ตัวeditor จะแสดง ToolTip ที่เป็นรายการคุณสมบัติ หรือรายการเมธอด ที่คอนโทรลนั้นสนับสนุนอยู่ขึ้นมาทันที มันช่วยให้คุณไม่ต้องไปจดจำว่า คอนโทรลนี้มีคุณสมบัติอะไรบ้าง มีเมธอดอะไร รวมถึงป้องกันไม่ให้ พิมพ์ผิดอีกด้วย ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดง ToolTip ของ editor ขณะเขียนโค้ด

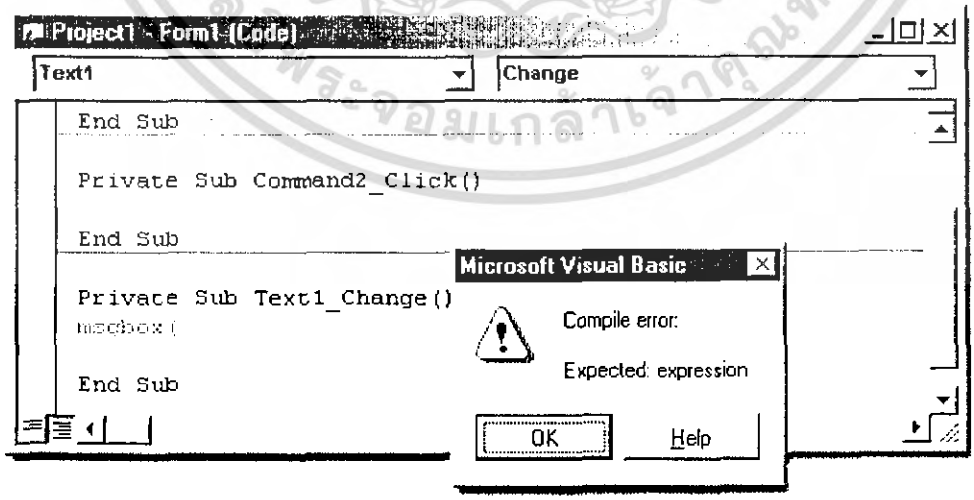
และถ้าในการเขียนโค้ดที่ต้องมีการเรียกใช้งานฟังก์ชันมาตรฐานต่างๆ ToolTip ก็จะแสดงรูปแบบไวยากรณ์อีกด้วย



รูปที่ 4.19 แสดงไวยากรณ์ประจำฟังก์ชันนั้นๆ

ความสามารถทั้ง 2 อย่างช่วยให้โปรแกรมเมอร์ย่นระยะเวลาในการเขียนโค้ดเป็นอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้ข้อผิดพลาดที่เกิดจาก การใช้งานผิดไวยากรณ์ หรือพิมพ์ผิด หมดไปได้อย่างสิ้นเชิง และที่สำคัญคุณสามารถพัฒนาแอพพลิเคชันได้เต็มที่โดยที่ไม่ต้องเสียเวลากับเรื่องที่ต้องท่องจำ คุณสมบัติต่างๆ นานา รูปแบบการใช้งาน ที่มายมากเหลือเกิน ลำพังแค่ความรู้ เทคโนโลยีใหม่ที่เกิดขึ้นมา ก็แทบเรียนรู้กันไม่หมดแล้ว

สิ่งที่น่าทึ่งอีกอย่างหนึ่งของ Editor ก็คือ มันสามารถตรวจสอบไวยากรณ์ (syntax) ตามโครงสร้างของภาษา VB ได้อีกด้วย ซึ่งเรียกว่า Auto Syntax Check ขณะที่พิมพ์โค้ดเข้าไป เมื่อกด Enter จบบรรทัด VB จะทำการตรวจสอบไวยากรณ์ทันที ถ้ามีข้อผิดพลาด ในการใช้งานไวยากรณ์เกิดขึ้น VB จะแสดงข้อความช่วยเหลือที่เกี่ยวข้องกับความผิดพลาดนั้นๆ ขึ้นมาทันที โดยการคลิ๊กปุ่ม Help ทำให้แก้ไขความผิดพลาดนั้นได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.20 แสดงข้อความช่วยเหลือ เมื่อคุณพิมพ์ผิดไวยากรณ์

จากรูปที่ 4.20 เมื่อกดปุ่ม help VB จะแสดงข้อความที่เกี่ยวข้องกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นทันที สำหรับรูปแบบการแสดงโค้ด ที่คุณพิมพ์ลงไปในแต่ละโพรซีเดอร์ VB จะแยกส่วนของโค้ดออกเป็น 3 กลุ่ม ด้วยสีของฟอนต์ คือ

- ตัวแปร,ชื่อคอนโทรล,เหตุการณ์จะมีสีดำ
- คำสั่ง,ฟังก์ชัน จะมีสีน้ำเงิน
- หมายเหตุ จะมีสีเขียว

เมื่อดู source code สามารถใช้กลุ่มสีของฟอนต์ ช่วยในการทำความเข้าใจโค้ดด้วยก็ได้ สิ่งหนึ่งที่จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ก็คือ ตัวแปรที่ประกาศใช้งานเป็นรูปแบบหนึ่ง เวลาพิมพ์อีกแบบหนึ่ง VB จะเปลี่ยนให้โดยอัตโนมัติ เช่น เมื่อประกาศตัวแปร tName AsString แต่เวลาที่นำไปใช้ พิมพ์ผิดเป็น tname VBจะทำการเปลี่ยนตัวแปรที่พิมพ์ไม่เหมือนกับต้นแบบให้เหมือนกันโดยอัตโนมัติและในกรณีที่มีการใช้คำสั่ง (statement) (หรือคำสงวนประเภทที่ VB ให้ใช้ ซึ่ง คำสงวนนั้นจะมีผลในการทำงานของโค้ด ในโพรซีเดอร์ด้วย) VB จะเปลี่ยนอักษรตัวแรกให้เป็นตัวใหญ่เสมอเช่น เมื่อพิมพ์ end เข้าไป VB จะเปลี่ยนเป็น End หรือเมื่อพิมพ์ text1.text = "hello world" เข้าไป VB จะเปลี่ยนเป็น Text1.Text = "helloworld" ให้

จะเห็นได้ว่าไมโครซอฟท์พยายามทำให้ Editor มีบทบาทช่วยโปรแกรมเมอร์ ในการพัฒนาแอพพลิเคชันมากที่สุด ยังมีความสามารถอื่นๆ อีกของ Editor ที่ไม่ได้กล่าวไว้ เทคนิคที่ใช้ใน Word 97 บางอย่าง สามารถนำมาใช้งานกับ editor ได้เช่นกัน

4.12 คุณสมบัติประจำตัวของคอนโทรล

จากหัวข้อที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าคอนโทรลแต่ละชนิดล้วนแล้วแต่มีทั้งคุณสมบัติและเมธอดทั้งสิ้นยากแก่การจดจำ(และไม่ต้องจำ)แต่ในทุกๆคอนโทรลจะมีคุณสมบัติอยู่ตัวหนึ่งที่ใช้สำหรับเก็บค่า แสดงค่า หรืออ่านค่าของตัวมันเอง เช่น คอนโทรล TextBox มีหน้าที่สำหรับ รับหรือแสดงข้อมูล ที่ผู้ใช้สามารถแก้ไขได้ ทั้ง 2 กรณีตัวคอนโทรล TextBox จะเก็บข้อมูลไว้ที่คุณสมบัติ Text จึงถือได้ว่า คุณสมบัติ Text เป็นคุณสมบัติประจำตัวของคอนโทรล TextBox, คอนโทรล CommandButton มีหน้าที่เป็นปุ่มกดรับคำสั่งของผู้ใช้ เช่น ปุ่ม OK , Cancel เป็นต้น คุณสมบัติที่จะแสดงชื่อปุ่มคือ คุณสมบัติ Caption, คอนโทรล Label มีหน้าที่แสดงข้อมูลให้ผู้ใช้ทราบ โดยที่ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขได้ ก็จะมีคุณสมบัติ Caption เป็นตัวเก็บค่า เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติที่กล่าวมาจะต้องเข้าไปใช้งานอย่างแน่นอน ตารางต่อไปนี้ เป็นคุณสมบัติประจำตัวของแต่ละคอนโทรล

คอนโทรล	คุณสมบัติประจำตัว
CheckBox	Value
ComboBox	Text
CommandButton	Caption
CommonDialog	Action
Data	Caption
DBCombo(Data-Bound ComboBox)	Text
DBGrid(Data-Bound Grid)	Text
DBList(Data-Bound ListBox)	Text
DirListBox	Path
DriveListBox	Drive
FileListBox	FileName
Frame	Caption
HScrollBar	Value
Image	Picture
Label	Caption
Line	Visible
ListBox	Text
OptionButton	Value
PictureBox	Picture
Shape	Shape
TextBox	Text
Timer	Enabled
VScrollBar	Value

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติประจำตัวแต่ละคอนโทรล

ในการเขียนโค้ดกับคุณสมบัติประจำตัวของคอนโทรล ไม่จำเป็นต้องระบุคุณสมบัติก็ได้ โดยที่ไม่ผิดไวยากรณ์แต่อย่างใด สำหรับในการใช้งาน จริงๆ แล้ว โปรแกรมเมอร์ทั่วๆ ไปจะไม่นิยมใช้เพราะว่า มันจะทำให้คุณสับสนเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเฉพาะโค้ดของแอพพลิเคชันหนึ่ง จะ

ประกอบไปด้วย จำนวนโพรซีเดอร์มากมาย ซึ่งในแต่ละโพรซีเดอร์ยังมีจำนวนบรรทัดของโค้ดอีกหลายสิบ หลายร้อยบรรทัด ทำให้ไม่นิยมใช้ เช่น

รูปแบบที่ 1 Text1.Text ="hello world"

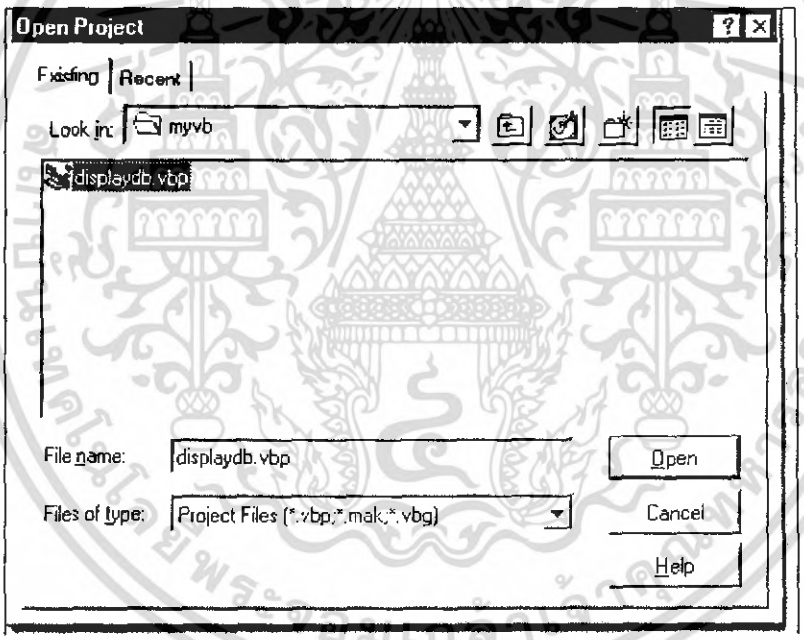
รูปแบบที่ 2 Text1 = "hello world"

รูปแบบที่ 1 เป็นการเขียนโค้ดแบบปกติ ส่วนรูปแบบที่ 2 เป็นการเขียนโค้ดกับคุณสมบัติประจำตัวคอนโทรลดังนั้นจึงไม่ต้องระบุคุณสมบัติ Text ก็ได้ ซึ่งไม่ผิดไวยากรณ์แต่อย่างใด ที่กล่าวถึง เนื่องจากว่า เป็นการแสดงความยืดหยุ่นที่ไมโครซอฟท์เตรียมไว้ให้เท่านั้น

4.13 การจัดการโปรเจ็กต์

- **การเปิดโปรเจ็กต์ที่มีอยู่แล้ว**

1.ให้เลือกเมนู File/Open Project หรือคลิ๊กที่ปุ่ม ที่ทูลบาร์ แล้ว VB จะแสดงไดอะล๊อกบ๊อกซ์ Open Project ดังรูปที่ 4.21

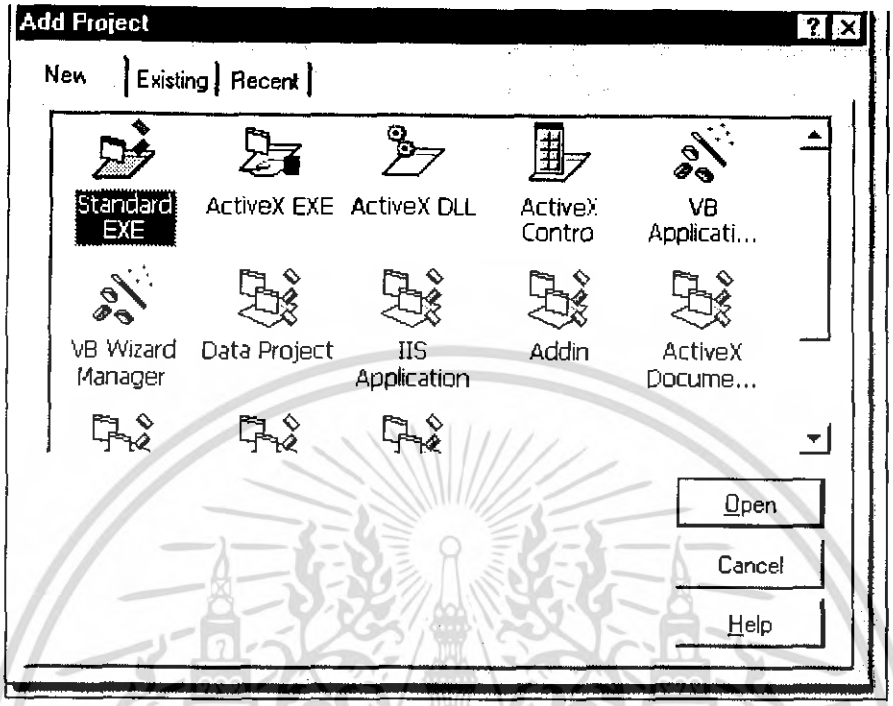


รูปที่ 4.21 แสดงไดอะล๊อกบ๊อกซ์ Open Project

2.แท็บ Existing หมายถึง เมื่อต้องการเปิดโปรเจ็กต์ที่มีอยู่ โดยที่ไม่สนใจว่าจะเป็นโปรเจ็กต์ที่สร้างมาเมื่อใด ส่วนแท็บ Recent หมายถึง ต้องการเปิดโปรเจ็กต์ที่คุณพัฒนาครั้งหลังสุด ซึ่งจะแสดงไดรฟ์ และโฟลเดอร์ที่เก็บโปรเจ็กต์นั้นๆอยู่

- **การเพิ่มโปรเจ็กต์ เข้ามาในสภาพแวดล้อม**

1.ให้คุณเมนู Project/Add Project แล้ว VB จะแสดงไดอะล็อกบ๊อกซ์ Add Project ดังรูปที่ 4.22



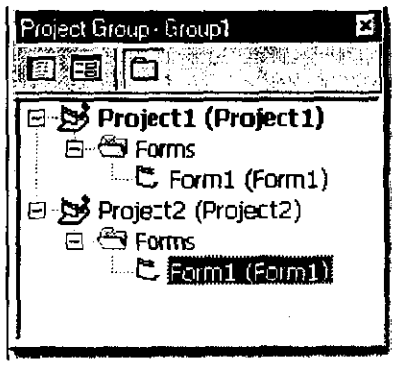
รูปที่ 4.22 แสดงไดอะล็อกบ๊อกซ์ Add Project

2.สามารถเลือกชนิดของโปรเจ็กต์ที่ต้องการ ได้จากไดอะล็อกบ๊อกซ์ดังกล่าว แท็บ Existing หมายถึง ต้องการเพิ่มโปรเจ็กต์เดิมที่มีอยู่แล้ว โดยที่ไม่สนใจว่า จะเป็นโปรเจ็กต์ที่สร้างมาตอนไหน ส่วนแท็บ Recent หมายถึง ต้องการเพิ่มโปรเจ็กต์ที่พัฒนาครั้งหลังสุด ซึ่งจะแสดงไดรฟ์ และโฟลเดอร์ที่จัดเก็บโปรเจ็กต์นั้นๆ อยู่

- **การถอดโปรเจ็กต์ออกจากสภาพแวดล้อม**

จะใช้สำหรับกรณีที่มีการเพิ่มโปรเจ็กต์เข้ามา แล้วต้องการถอดโปรเจ็กต์นั้นๆ ออกจากสภาพแวดล้อม ต้องทำดังนี้

1.ให้เลือกโปรเจ็กต์ที่ต้องการถอด จากหน้าต่าง Project Explorer ดังรูปที่ 4.23

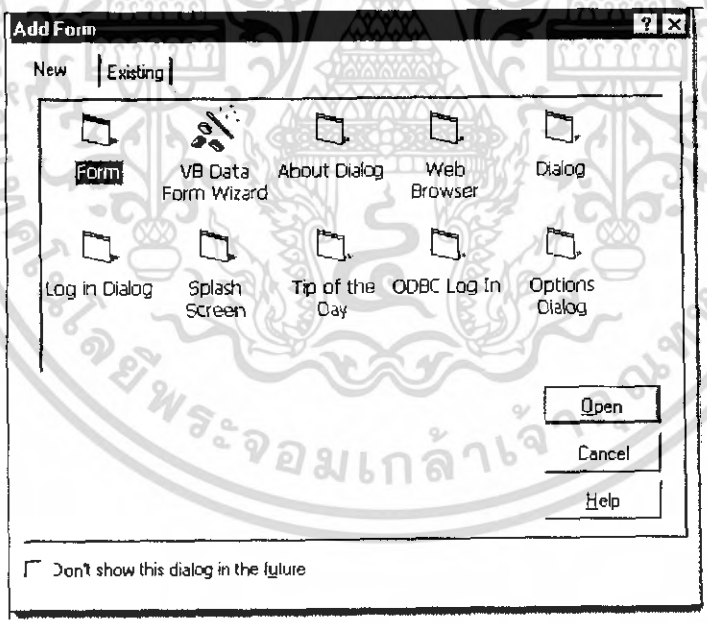


รูปที่ 4.23 แสดงการเลือกโปรเจ็กต์ที่คุณต้องการถอดออกจากสภาพแวดล้อม

2.เลือกคำสั่ง File/Remove Project

- **การเพิ่ม Form หรือโมดูลอื่นๆ เข้ามาในสภาพแวดล้อม**

1.ให้เลือกเมนู Project จากนั้นให้เลือกชนิดของโมดูลที่ต้องการเพิ่มเข้ามาในสภาพแวดล้อม และถ้าในกรณีที่ต้องการเพิ่ม Form เข้ามาในโปรเจ็กต์ สามารถคลิ๊กที่ปุ่ม บนทูลบาร์เลยก็ได้



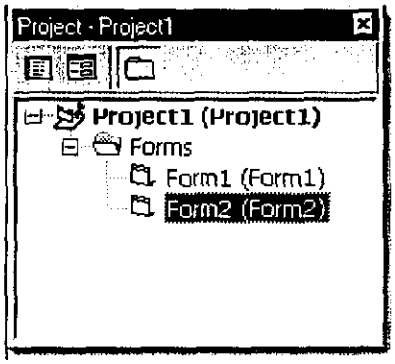
รูปที่ 4.24 แสดงการเพิ่ม Form เข้ามาในโปรเจ็กต์

แท็บ Existing หมายถึง ต้องการเพิ่มฟอร์มเดิมที่มีอยู่แล้ว ในกรณีนี้เป็นการเพิ่มฟอร์มว่างๆ เข้ามาในสภสแวดล้อม สำหรับไอคอนต่างๆ มีความหมายดังนี้

 Form	เป็นฟอร์มว่างๆ แบบปกติ
 VB Data Form Wizard	เป็นการใช้ความสามารถของ VB Data Form Wizard เพื่อสร้างแบบฟอร์มรายงาน ที่ติดต่อกับฐานข้อมูลโดยผ่านคอนโทรล Data
 About Dialog	เป็นแบบฟอร์ม About สำเร็จรูป คุณอาจจะต้องปรับแต่งเพื่อให้ได้ฟอร์ม About ตามที่คุณต้องการ
 Web Browser	เป็นฟอร์มที่มีลักษณะเหมือนกับ browser คล้ายๆ กับ Internet Explorer หรือ Netscapte Communicator
 Dialog	ไดอะล็อกบ็อกซ์สำเร็จรูป ถ้าคุณเบื่อกับไดอะล็อกบ็อกซ์แบบเก่าๆ นี่เป็นไดอะล็อกบ็อกซ์ที่คุณออกแบบเอง
 Log In Dialog	ถ้าคุณสร้างแอพพลิเคชันที่ต้องการตรวจสอบ หรือจำกัดสิทธิการใช้งานผู้ใช้ในแต่ละระดับ แบบฟอร์ม Log in สำเร็จรูปช่วยคุณได้ ซึ่งจะต้องมีการใส่ชื่อผู้ใช้ และ password ด้วย
 Splash Screen	เป็นจอภาพเริ่มต้นก่อนเข้าแอพพลิเคชัน ทุกๆ แอพพลิเคชันต้องมี
 Tip of the Day	คุณคงเคยเห็นไดอะล็อกบ็อกซ์ที่แสดง Tip ตอนเข้าสู่แอพพลิเคชัน นี่เป็นไดอะล็อกบ็อกซ์ที่แสดง Tip สำเร็จรูป ซึ่งคุณต้องเพิ่มเทคนิคต่างๆ เข้าไปเอง
 ODBC Log In	เป็นแบบฟอร์มที่ใช้สำหรับติดต่อกับฐานข้อมูลโดยผ่านไดร์เวอร์ ODBC
 Options Dialog	เป็นแบบฟอร์มที่มีลักษณะเป็นตัวเลือกเพื่อกำหนดหัวข้อด้านต่างๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งคุณจะพบเห็นได้ในแอพพลิเคชันทั่วๆ ไป

ตารางที่ 4.2 ความหมายของไอคอนในการสร้างฟอร์มชนิดต่างๆ

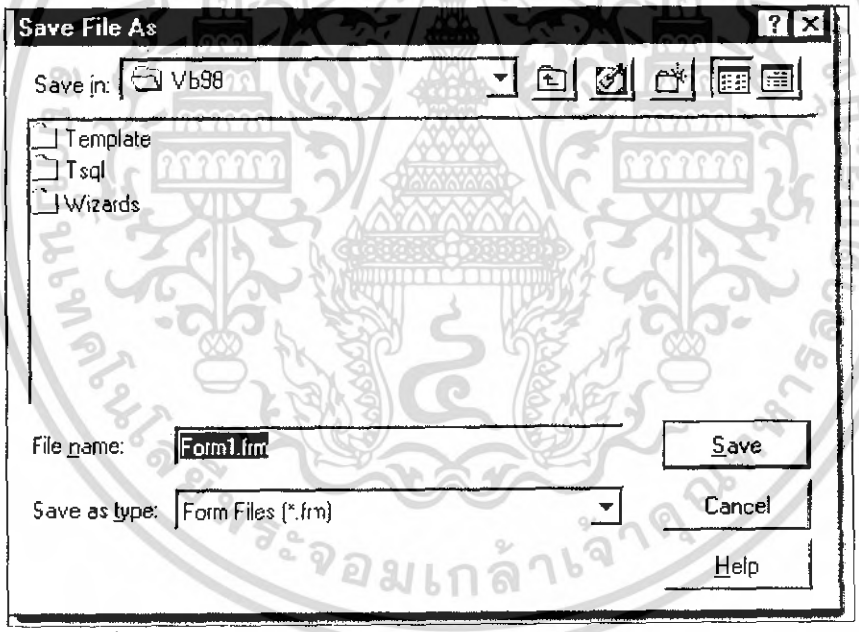
2.ให้สังเกตที่หน้าต่าง Project Explorer จะมีรายการแสดงเพิ่มขึ้นมา ซึ่งอยู่ภายใต้ Project เดียวกัน จากรูปจะเห็นว่า Project1 ประกอบด้วย Form 2 ฟอร์ม



รูปที่ 4.25 แสดง Form ที่ถูกเพิ่มเข้ามาในโปรเจ็กต์

- การเซฟโปรเจ็กต์

1.ให้เลือกเมนู File/Save Project Group As... หรือคลิ๊กที่ปุ่ม บน Tool Bar แล้ว VB จะแสดงไดอะล๊อกบ๊อกซ์ เซฟโปรเจ็กต์ ดังรูปที่ 4.26 ซึ่ง VB จะแสดงรายการส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่ในโปรเจ็กต์นั้นๆ ให้ทราบด้วย



รูปที่ 2.26 แสดงไดอะล๊อกบ๊อกซ์เซฟโปรเจ็กต์

2.คลิ๊กปุ่ม OK

ในกรณีที่คุณเลือกคำสั่ง Save Form As... หมายถึง เป็นการเซฟเฉพาะฟอร์มที่ใช้งานอยู่เท่านั้น

4.14 การทดสอบ (Run) โปรเจ็กต์

1.เลือกเมนู Run/Start หรือกดปุ่ม F5 ที่คีย์บอร์ด หรือกดปุ่ม ▶ ที่ทูลบาร์

2.ที่ฟอร์มจะมีการเปลี่ยนรูปแบบ ไม่มีเส้นกริด และจะปรากฏหน้าต่าง Immediate ด้านล่างของสภาพแวดล้อม

3.ถ้ามีการสั่งให้พิมพ์โดยผ่านทางคำสั่ง Debug.Print ที่หน้าต่าง Immediate จะแสดงผลจากการประมวลผลด้วย

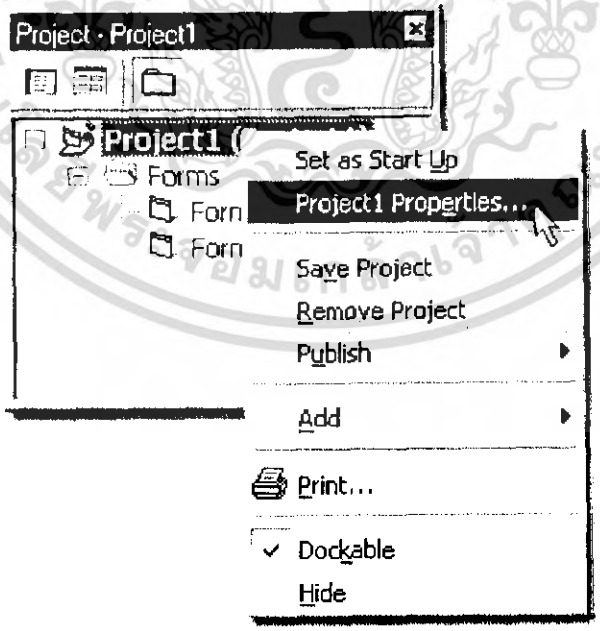
4.จะสังเกตเห็นว่าที่บนทูลบาร์ จะมีปุ่ม ⏸ และ ■ มีสถานะ Active อยู่ โดยมีความหมายดังนี้

- ปุ่ม ■ หมายถึง ให้หยุดการรันโปรเจ็กต์
- ปุ่ม ⏸ หมายถึง ให้หยุดรันโปรเจ็กต์ชั่วคราวเพื่อ แก้ไขโค้ด

4.15 การกำหนดฟอร์มเริ่มต้น

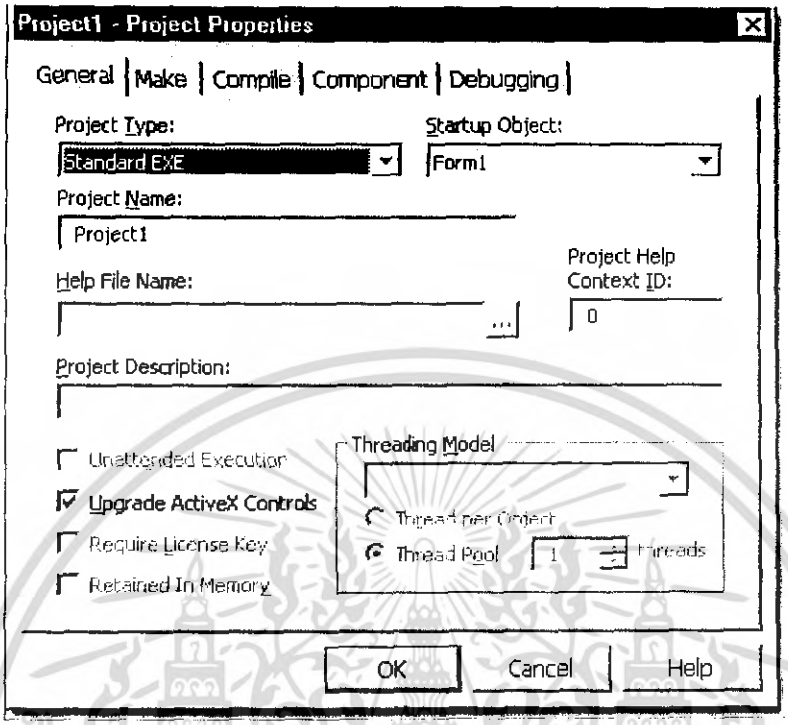
ในการพัฒนาแอพพลิเคชันส่วนใหญ่แล้ว มักจะประกอบไปด้วยฟอร์มหลายฟอร์ม คุณจะต้องมีการกำหนดให้ฟอร์มใดฟอร์มหนึ่ง เป็น ฟอร์มเริ่มต้น(Start Up Form)เสมอ ในกรณีที่โปรเจ็กต์มีเพียงฟอร์มเดียว Form1 จะถูกกำหนดให้เป็นฟอร์มเริ่มต้นเสมอ แต่ถ้าโปรเจ็กต์มีมากกว่า 1 ฟอร์ม จะต้องกำหนดให้ฟอร์มใด ฟอร์มหนึ่งเป็นฟอร์มเริ่มต้นเสมอ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกคำสั่ง Project/Project1 Properties... หรือเลื่อนเมาส์ไปที่ไปที่ไอคอน Project1 (Project1) ในหน้าต่าง Project Explerer แล้วคลิ๊กขวา ตามรูปที่ 4.26



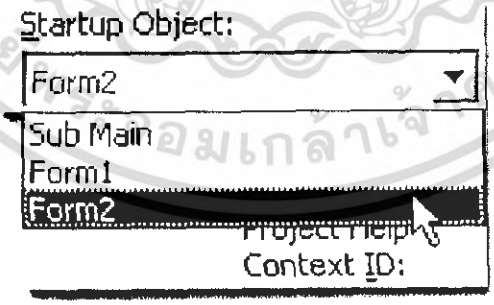
รูปที่ 4.27 แสดง Pop-up เมนู เมื่อคุณคลิ๊กขวา

เลือกคำสั่ง Project1 Properties... ก็จะได้พบกับไดอะลือกบ๊อกซ์ Project Properties ดังรูป



รูปที่ 4.28 แสดงไดอะลือกบ๊อกซ์ Project Properties

2.ในช่อง Startup Object: ให้เลื่อกฟอร์มที่ต้องการให้เป็นฟอร์มเริ่มต้น ตามรูป สมมติให้ฟอร์ม 2 เป็นฟอร์มเริ่มต้น จากนั้นคลิ๊กปุ่ม OK เมื่อรันโปรเจ็กต์ทุกครั้ง ฟอร์ม 2 ก็จะเป็นฟอร์มเริ่มต้น



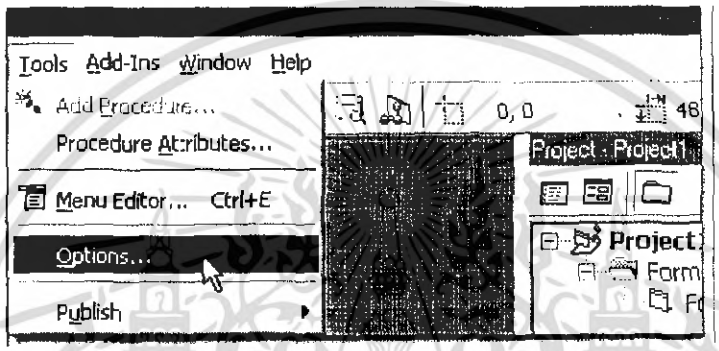
รูปที่ 4.29 แสดงการกำหนดให้ฟอร์ม2 เป็นฟอร์มเริ่มต้น

สำหรับตัวเลือก Sub Main จะใช้ในกรณีที่ต้องการสร้างแอพพลิเคชันในเชิงClient/Server ซึ่งจะต้องมีการ login เข้ามาก่อนที่จะใช้งานแอพพลิเคชัน จะต้องสร้างโพรซีเดอร์ Sub Main ( ) ด้วยเช่นกัน

4.16 วิธีการกำหนดให้ Editor ของ VB สามารถแสดงผลภาษาไทยได้

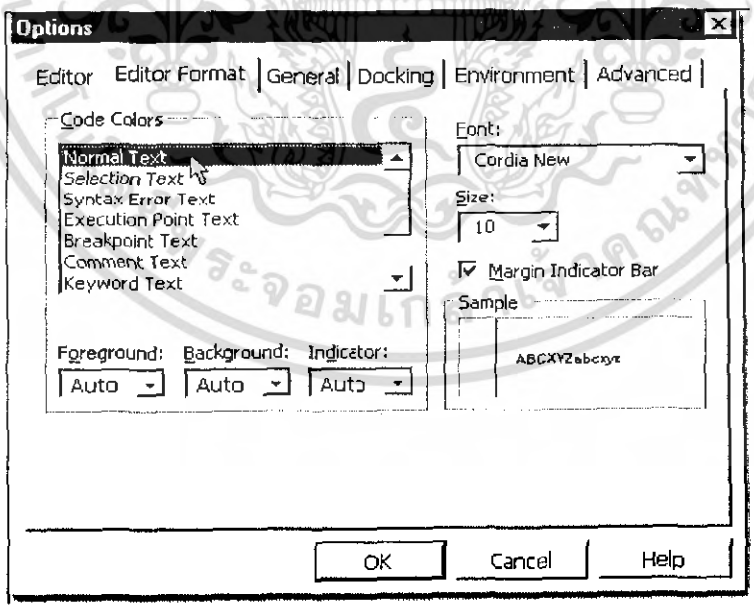
โดยปกติแล้ว Editor ของ VB จะไม่สามารถแสดงผลภาษาไทยได้ ทำให้เราไม่สามารถเขียนหมายเหตุ หรือข้อความภาษาไทยได้ ซึ่ง Editor จะแสดงเป็นตัวอักษรที่อ่านไม่รู้เรื่อง แต่เราสามารถกำหนดให้ Editor สามารถแสดงผลภาษาไทยได้ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1.เลือกคำสั่ง Tools/Options... ดังรูป



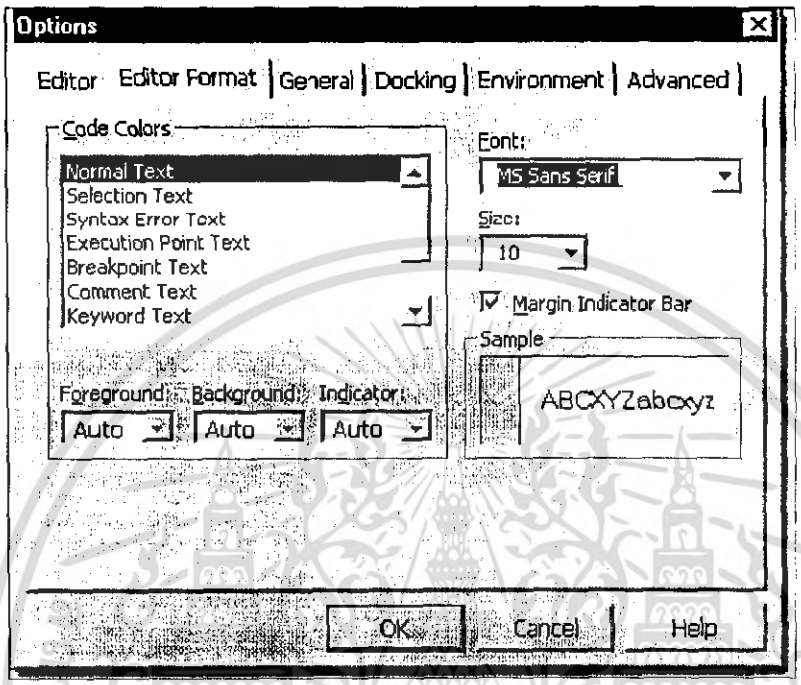
รูปที่ 4.30 เลือกคำสั่ง Options...

2.จะได้พบกับไดอะล็อกบ๊อกซ์ Options ให้คลิ๊กเลือกที่แท็บ Editor Format ดังรูป

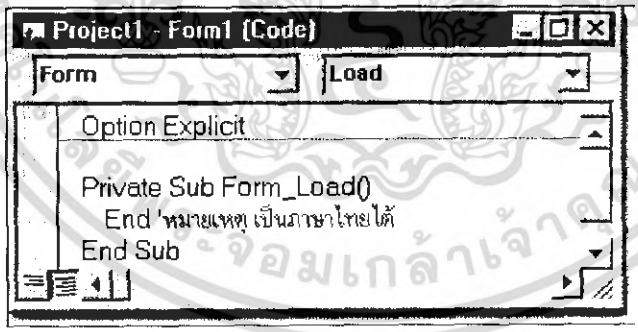


รูปที่ 4.31 ไดอะล็อกบ๊อกซ์ Options

ในรายการ Normal Text ให้เปลี่ยนชื่อฟอนต์ในช่อง Font เป็น MS Sans Serif ขนาด 10 หรือฟอนต์ที่ลงท้ายด้วย UPC ขนาด แนะนำให้เลือก MS Sans Serif ขนาด 10 ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับแบบปกติ ดังรูปที่ 2-36 จากนั้น คลิ๊กที่ปุ่ม OK



รูปที่ 4.32 กำหนดให้ editor ใช้ฟอนต์ MS Sans Serif ขนาด 10



รูปที่ 4.33 แสดงรูปแบบของฟอนต์ MS Sans Serif ขนาด 10 ใน editor

บทที่ 5

การออกแบบและการทำงานของวงจร

โครงงานนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งประกอบด้วย ส่วนของสวิทช์ , ส่วนที่เป็นตัวควบคุมสวิทช์ และสุดท้ายส่วนที่เป็นการติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ

5.1 ส่วนของสวิทช์

สวิทช์เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเลือกสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบ โดยคุณสมบัติที่สำคัญของสวิทช์คือมีแรงดันตกคร่อมภายในที่ต่ำที่สุดที่จะเป็นไปได้เพื่อไม่ให้ผลที่ได้ผิดเพี้ยน โดยต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

1.มีความต้านทานภายในไม่เกิน 0.4 โอห์ม

2. สามารถนำกระแสได้สองทิศทาง

3. ทนกระแสและแรงดันได้ 0.5 แอมแปร์ และ 5 โวล์ตตามลำดับ

4. สามรถเลือกสัญญาณได้ 3 ทิศทาง

จากคุณสมบัติที่ต้องการดังกล่าวและจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสวิทช์ชนิดต่างที่มีอยู่ในท้องตลาด แล้วนำมาเปรียบเทียบผู้จัดทำเห็นว่า รีเลย์มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุด โดยมีรีเลย์ที่ใช้คือเบอร์ 5Y-5-K ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

1.ความต้านทานภายใน 0.1 โอห์ม

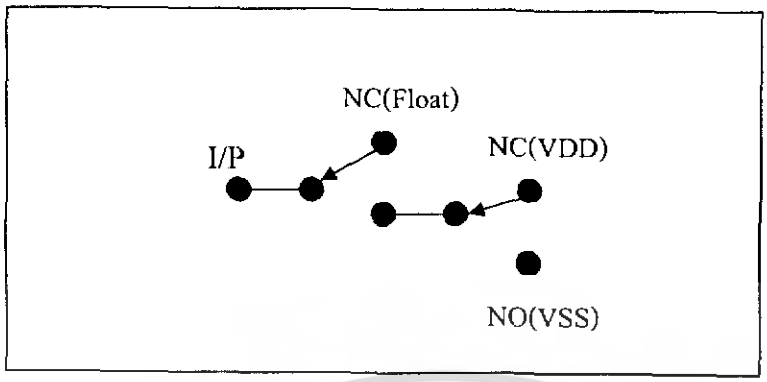
2.สามารถนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง

3.สามารถทนกระแสได้ 2 แอมแปร์

4.แรงดันมากกว่า 100 โวลต์

5.เป็นสวิทช์สองทิศทาง

สามารถทำเป็นสวิทช์3 ทิศทางได้โดยการนำรีเลย์สองตัวมาต่ออนุกรมกันทำให้ได้สวิทช์3 ทิศทางได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงการต่อรีเลย์เพื่อทำเป็นสวิทช์สามทาง

5.2 ส่วนที่ใช้ในการควบคุมสวิทช์

ในการควบสวิทช์ผู้จัดทำเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอล์เบอร์ AT89C51 เนื่องจากความง่ายและหลากหลายในการใช้งาน หาซื้อง่าย ราคาไม่แพง ทำงานร่วมกับวงจรต่างๆ

5.2.1 หลักการทำงานของส่วนควบคุมสวิทช์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่านทางคอมพิวเตอร์ และทำการส่งค่าเอาท์พุทไปที่ ชิปรีจิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ในการเลือกสัญญาณไปให้กับตัวชิ้นงาน(แฟลชเมมโมรี) ที่เราต้องการทดสอบ โดยไมโครคอนโทรเลอร์จะรับข้อมูลที่ได้รับมาจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม โดยใช้ความเร็วในการสื่อสารแบบอนุกรม 19200 บิตต่อวินาที ไม่มีบิตตรวจสอบ โดยใช้การทำงานของไทม์เมอร์ ในโหมด 2 เป็นตัวกำหนดความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่บัฟเฟอร์ซึ่งมีตำแหน่งเริ่มต้นอยู่ที่ 30H ทำการเก็บข้อมูลจนถึงค่าสุดท้ายซึ่งเป็นไบต์ปิดของข้อมูล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเอ็นเอเบิล ซิฟรีจิสเตอร์ที่เหมาะสมกับจำนวนพินที่ผู้ใช้งานเลือก โดยใช้วงจรสำหรับเอ็นเอเบิลดังรูปที่ 5.3 ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป แล้วส่งข้อมูลออกทางพอร์ท 0 ไปให้วงจรเรียงข้อมูลและวงจรขับสวิทช์แสดงในรูปที่5.4 เพื่อทำการเรียงข้อมูลให้เป็นขบวน ซึ่งรายละเอียดของวงจรในหัวข้อถัดไป แล้วทำการขับข้อมูลออกจากวงจรแลตที่อยู่ใน ชิปรีจิสเตอร์ซึ่งต่ออยู่กับวงจรเอ็นพีเอ็น ดาลิงตัน(NPN Darlington) โดยใช้ไอซีเบอร์ ULN 2803 ซึ่งเป็นไอซีสำหรับขับรีเลย์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ ที่ใช่เลือกสัญญาณป้อนให้แก่ตัวชิ้นงานที่เราต้องการทดสอบ ซึ่งในส่วนสวิทช์รีเลย์แสดงในรูปที่ 5.5 เมื่อทำการขับข้อมูลทั้งหมดเพื่อขับวงจรของสวิทช์รีเลย์ที่เรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการส่งข้อมูลเดิมกลับไปให้คอมพิวเตอร์โดยส่งตั้งแต่ไบต์แรกจนถึงไบต์สุดท้าย เพื่อให้คอมพิวเตอร์นำข้อมูลที่ส่งมากลับข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่งค่ากลับไปให้เพื่อป้องกันการผิดพลาดที่เกิดจากสายสัญญาณ และรอรับข้อมูลชุดต่อไป เมื่อข้อมูลชุดต่อไปเข้ามาการทำงานก็จะวนเช่นเดิม

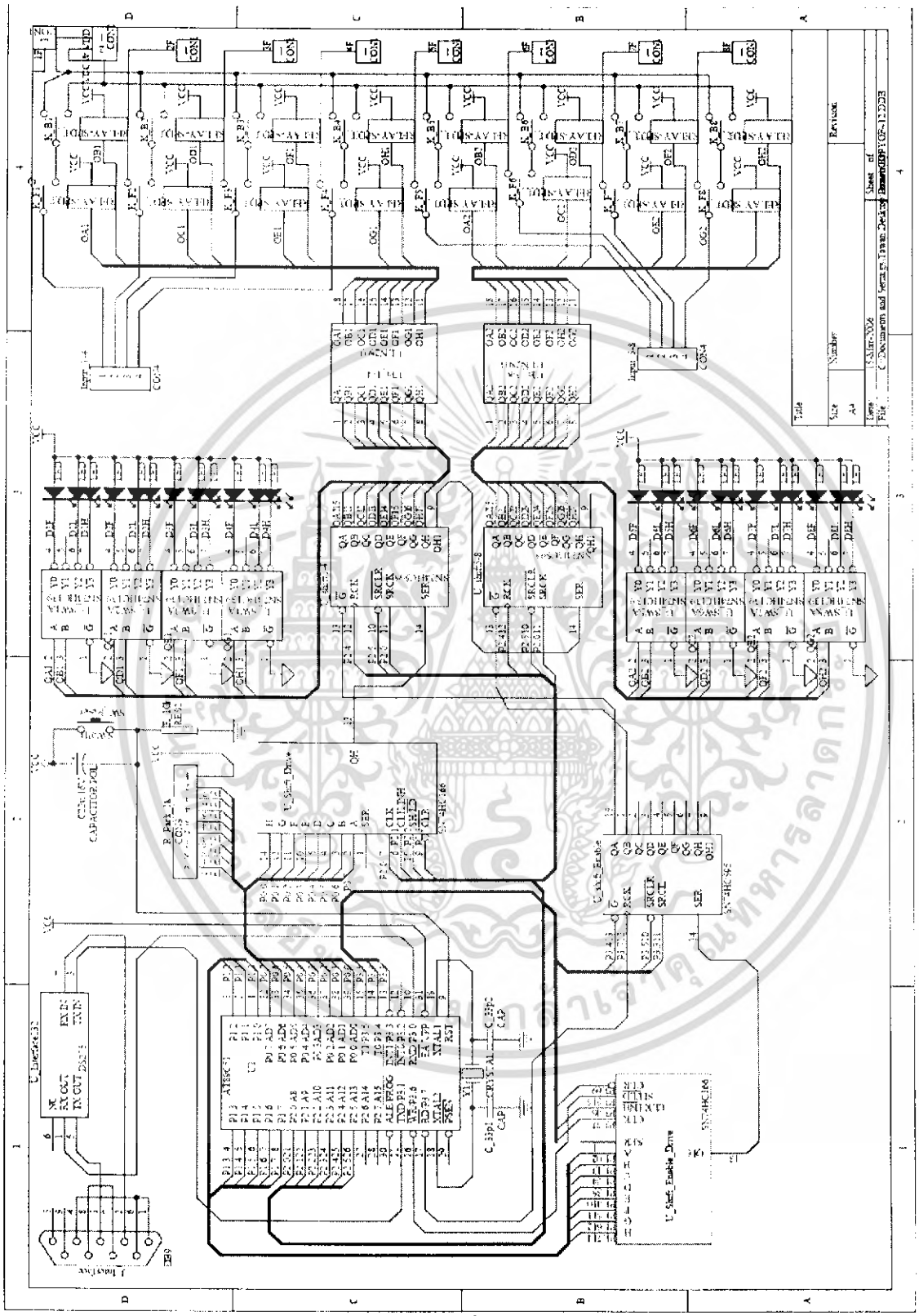
หากผู้ใช้งานต้องการเคลียร์ข้อมูล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งดิสเอเบิลชิปรีจิสเตอร์ทั้งหมด และทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของวงจรใหม่ทั้งหมด

5.2.2 วงจรและการทำงานของวงจร

วงจรทั้งหมดสามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆตามการทำงานได้ดังนี้

- วงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์
- วงจรสำหรับเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์
- วงจรสำหรับวงจรจัดเรียงข้อมูลและขับสวิทช์
- วงจรสวิทช์
- วงจรส่วนของการแสดงผล

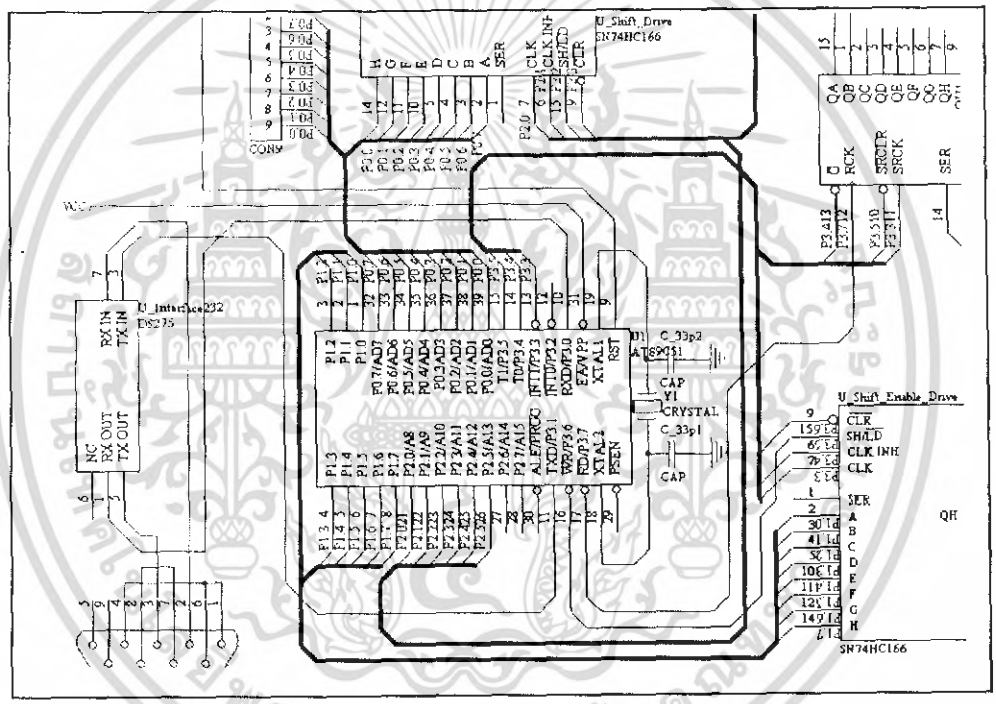
ซึ่งจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.2 ภาพวงจรรวม

1. วงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์อนุกรม ใช้ไอซีเบอร์ DS275 ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากมาตรฐาน RS232 ให้เป็นสัญญาณดีจิตอล TTL รับส่งข้อมูลผ่านทางขา Rx(P3.0) และTx (P3.1) เมื่อทำการรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จนถึงไบต์ปิดแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งข้อมูลที่ใช้ในการเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์ผ่านทางพอร์ท 1 ให้กับวงจรเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์ โดยมีสัญญาณควบคุมจากพอร์ท 3 ตั้งแต่บิต 4 ถึง 7 เมื่อทำการเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลออกไปที่พอร์ท 0 และสัญญาณควบคุมผ่านทางพอร์ท 2 บิต 0 ถึงบิต 5 ไปให้วงจรเรียงข้อมูลและขับสวิทช์ จากข้างต้นแสดงได้ดังรูปที่ 5.3

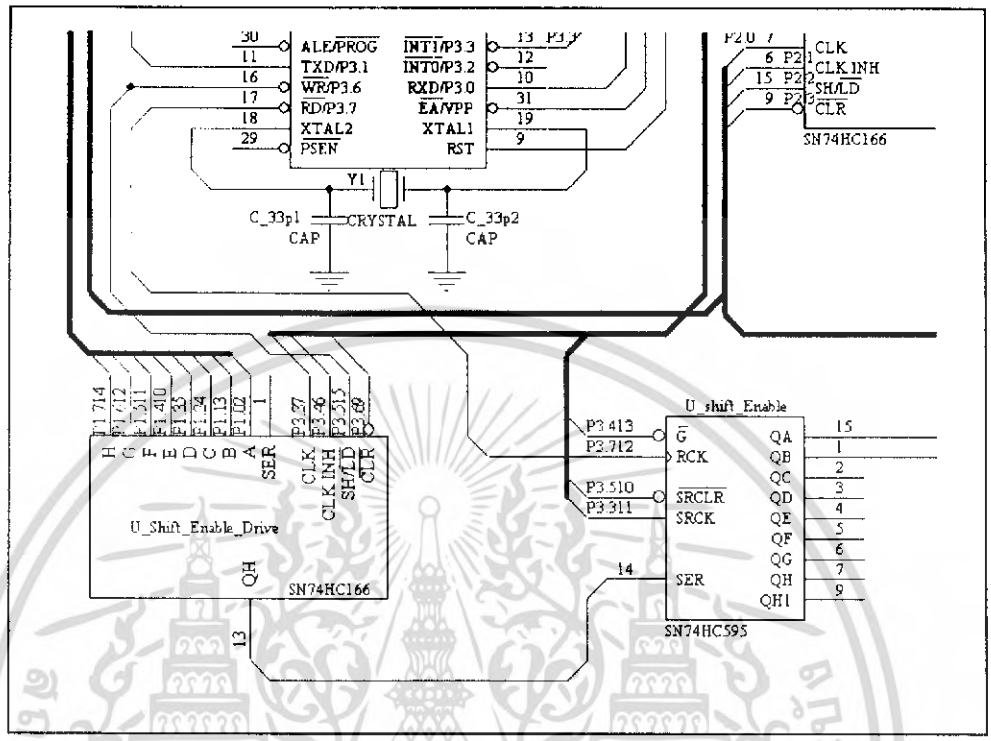


รูปที่ 5.3 แสดงการต่อวงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

2. วงจรเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์

วงจรนี้ประกอบด้วยไอซีเบอร์ 74HC166 และ 74HC595 โดยไอซีเบอร์ 74HC166 จะรับข้อมูลสำหรับเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ท 1 และสัญญาณควบคุมผ่านทางพอร์ท 3 และทำการเปลี่ยนจากข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรมแล้วส่งไปยังไอซีเบอร์ 74HC595 ซึ่งจะเรียงต่อกันโดยแต่ละตัวจะสามารถเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์ได้ 8 ตัว กรณี

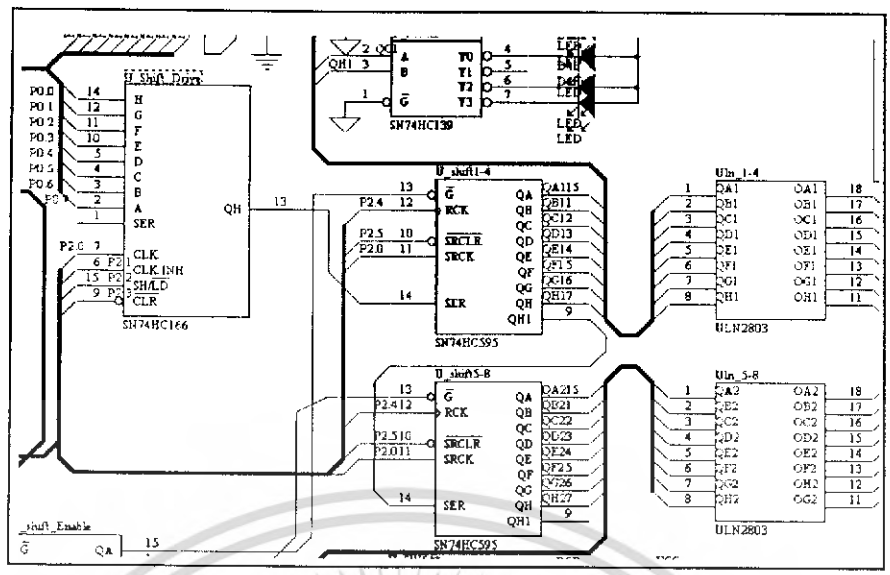
ใช้ชิปรีจิสเตอร์ มากกว่า 8 ตัวก็ต้องต่อไอซี 74HC595 มากกว่าหนึ่งตัวมาต่อกันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงวงจรในส่วนการเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์

3. วงจรสำหรับวงจรจัดเรียงข้อมูลและขับสวิทช์

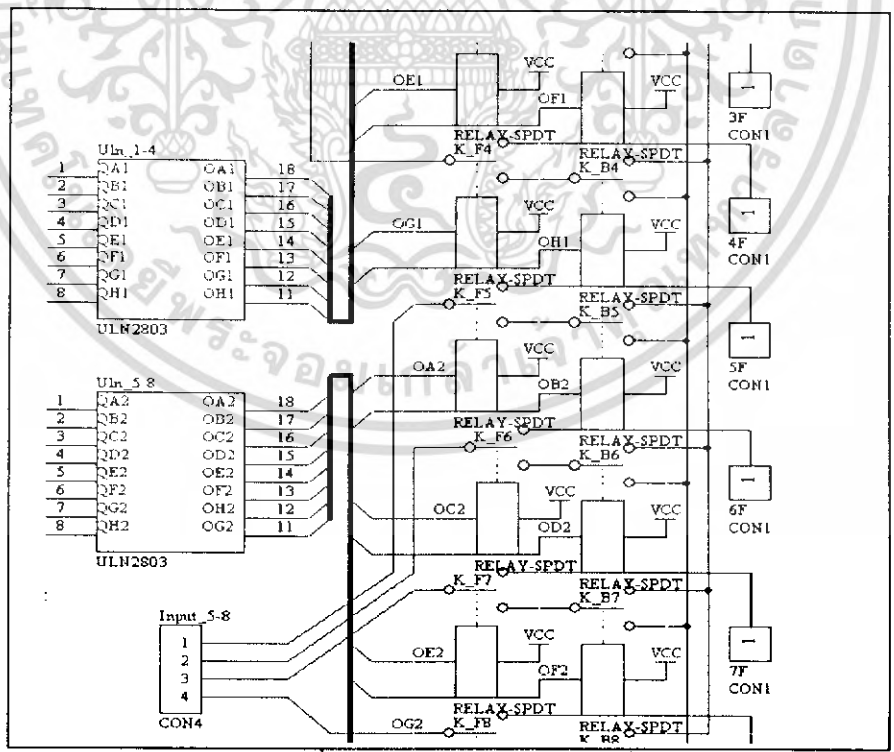
วงจรในส่วนของการขับสวิทช์จะประกอบด้วยไอซีเบอร์ 74HC166,74HC595 และ ULN2803 โดยไอซีเบอร์ 74HC166 จะรับข้อมูลจากพอร์ท 0 และสัญญาณควบคุมและสัญญาณนาฬิกาจากพอร์ท 2 แล้วทำการส่งข้อมูลแบบอนุกรมไปยังไอซีเบอร์ 74HC595 ซึ่งได้รับสัญญาณเอ็นเอเบิลจากวงจรเอ็นเอเบิลและสัญญาณนาฬิการวมทั้งสัญญาณควบคุมส่วนอื่นๆจากพอร์ท2 เมื่อส่งข้อมูลจนครบหมดทุกพินแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณขับข้อมูลทั้งหมดออกพร้อมกันผ่านทางพอร์ท 2 ชิปรีจิสเตอร์ก็จะส่งข้อมูลเพื่อไปขับรีเลย์โดยใช้ไอซีเบอร์ ULN2803 ซึ่งเป็นวงจรดาริงตันแบบเปิดคอลเล็คเตอร์ โดยไอซีเบอร์ ULN2803 สามารถขับกระแสสูงสุดได้ถึง 500 มิลลิแอมป์ ซึ่งสามารถขับรีเลย์ได้อย่างสบาย วงจรส่วนนี้แสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.5 แสดงส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่เป็นวงจรสำหรับวงจรจัดเรียงข้อมูลและขับสวิทช์3

4. วงจรสวิทช์

วงจรในส่วนนี้จะเป็นรีเลย์ต่ออนุกรมกันเหมือนดังการออกแบบข้างต้นพร้อมทั้งทำการต่อสายสัญญาณสำหรับสัญญาณที่ป้อนสัญญาณให้แก่ชิ้นงานและสายสัญญาณที่ต่อเข้าไปที่ขาของชิ้นงานวงจรส่วนนี้แสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.6 วงจรในส่วนกับสวิทช์

5. วงจรส่วนของการแสดงผล

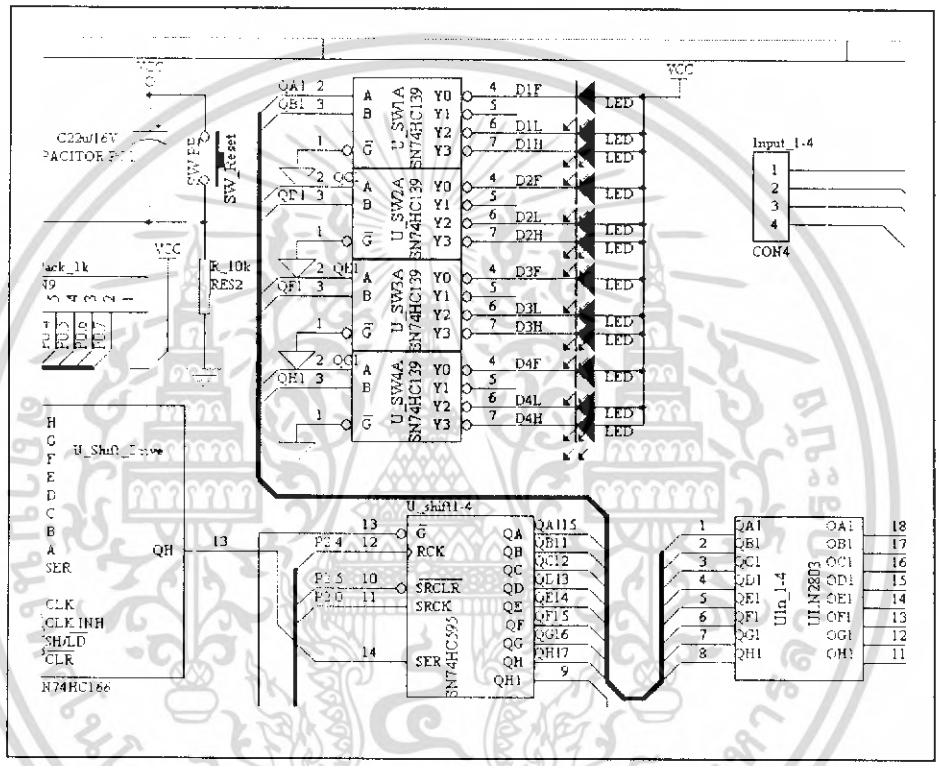
วงจรในส่วนนี้จะประกอบด้วย ไอซีเบอร์ 74HC139 ซึ่งเป็นวงจรมัลติเพล็ก ใช้สำหรับขับ LED เพื่อเป็นการแจ้งการเลือกสวิทช์ของรีเลย์โดยสัญญาณที่ส่งมาขับรีเลย์จะมีค่า

00 เป็นสัญญาณ ปล่อยลอย

10 เป็นสัญญาณ VDD

11 เป็นสัญญาณ VSS

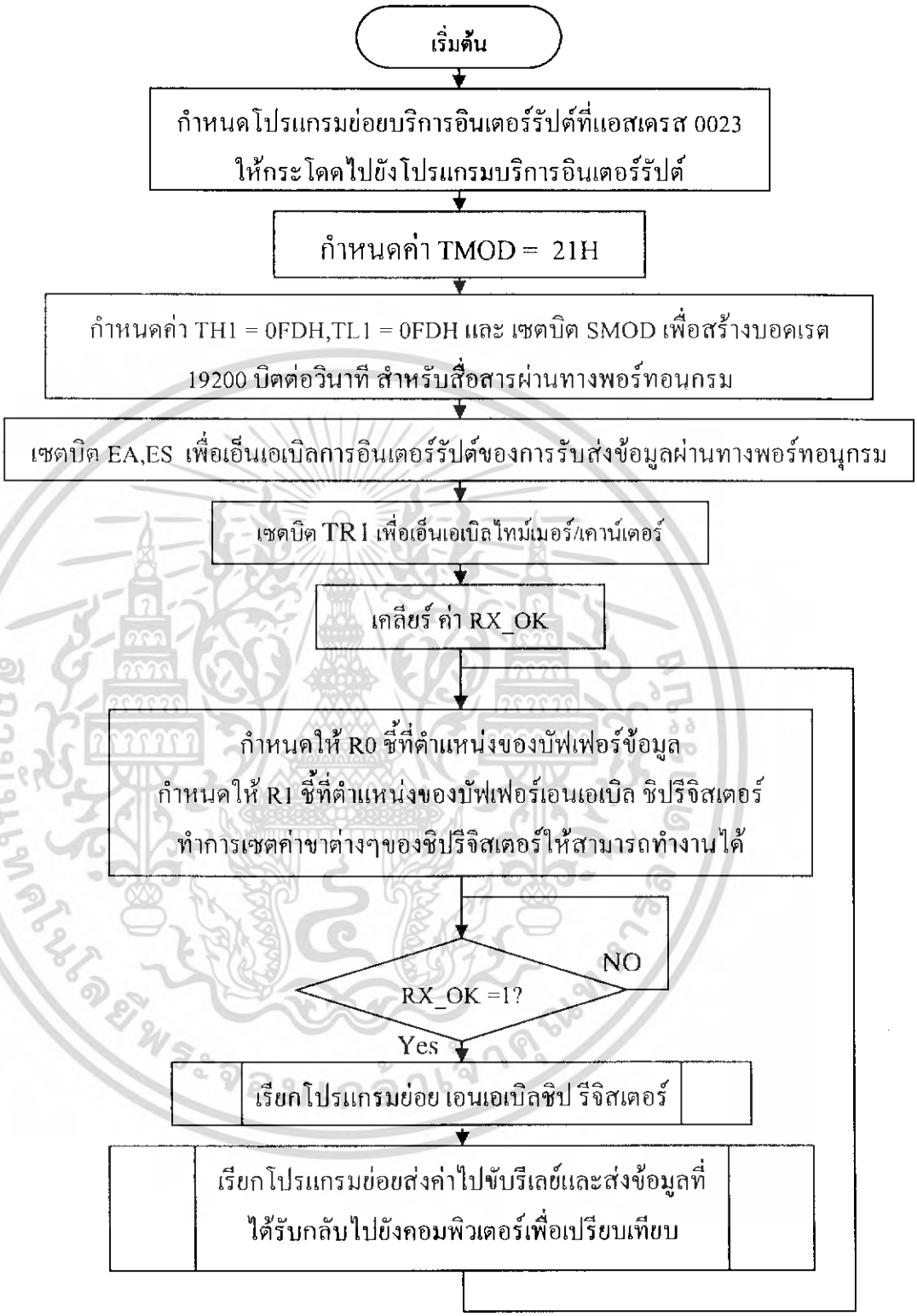
ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.6



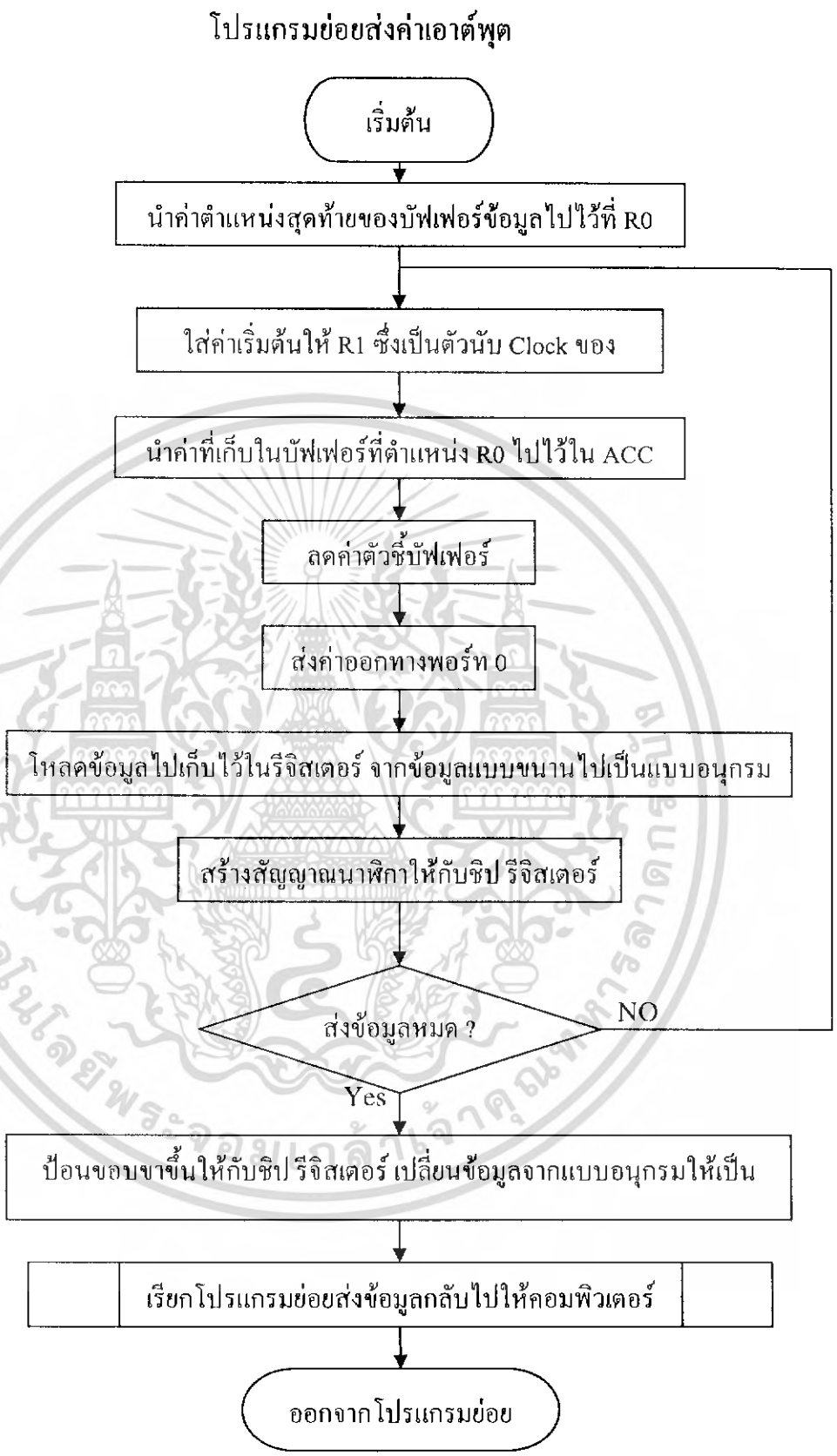
รูปที่ 5.7 แสดงวงจรในส่วนของการแสดงผล

5.2.3 แผนผังการทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์มีขั้นตอนการทำงานเป็นดังแผนผังการทำงาน(Flow chart) ได้ดังนี้

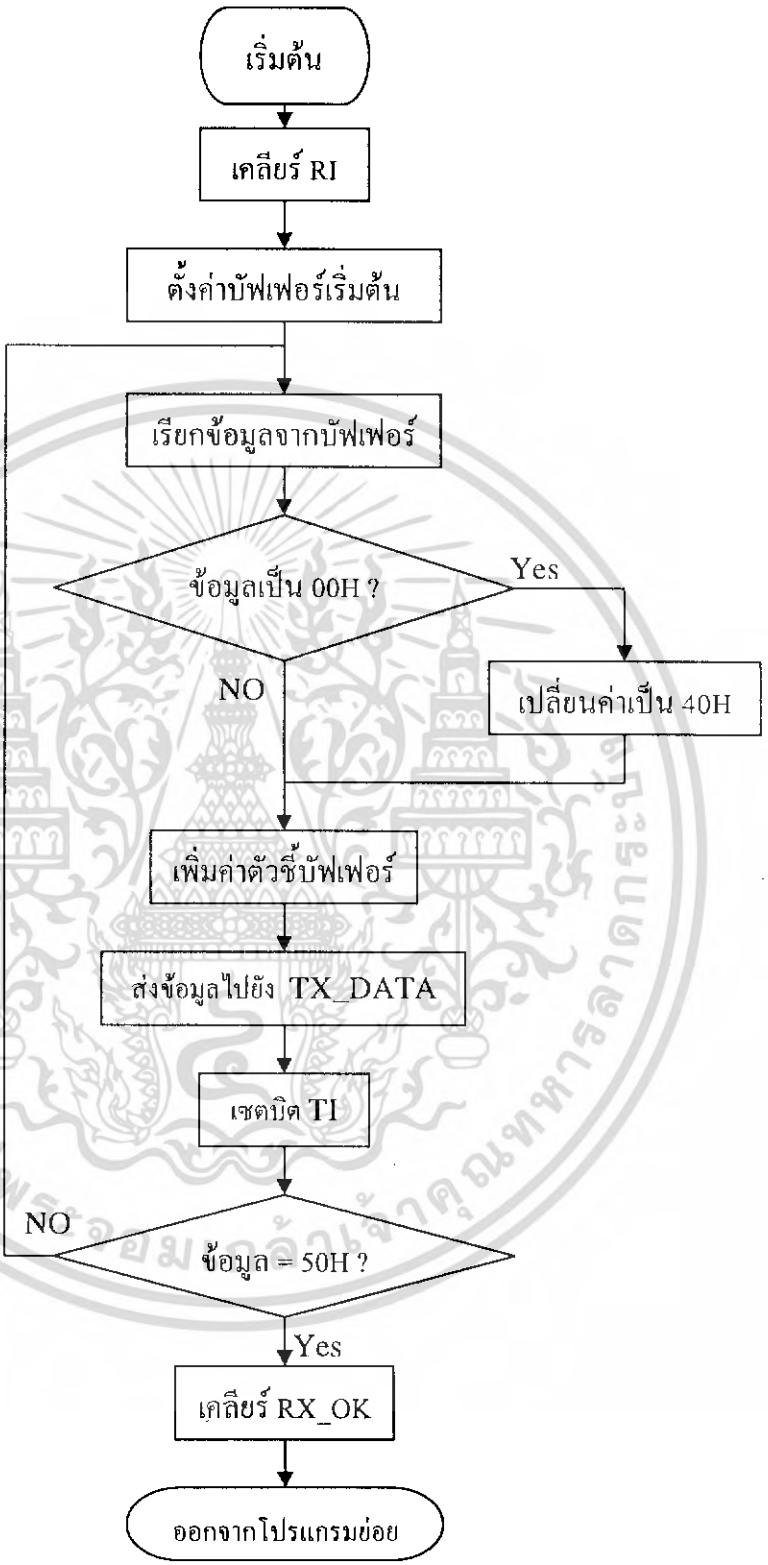


รูปที่ 5.8 โฟลวชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



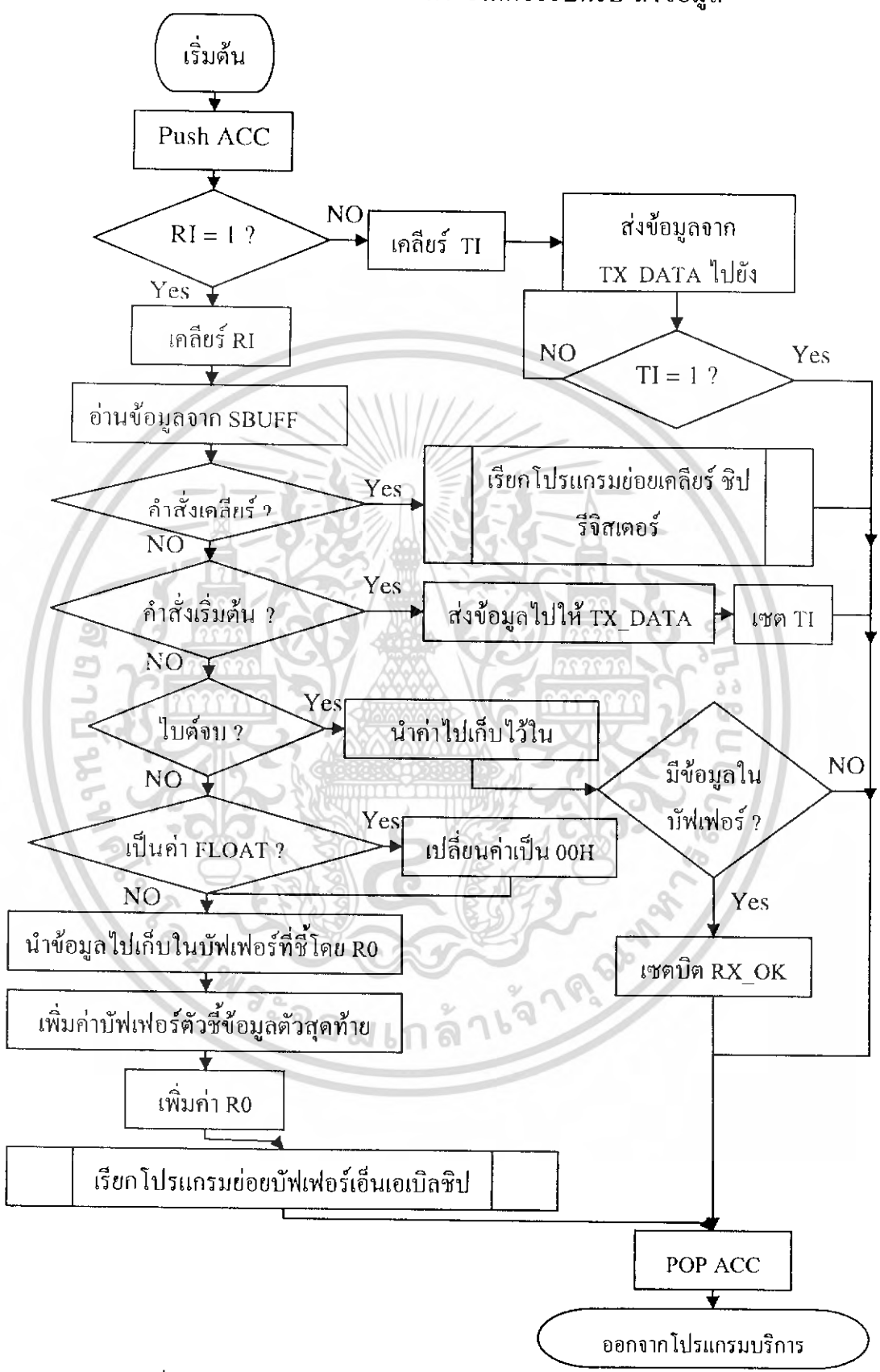
รูปที่ 5.9 โฟลวชาร์ทโปรแกรมย่อยส่งค่าเอาต์พุต

โปรแกรมย่อยส่งค่ากลับไปให้คอมพิวเตอร์



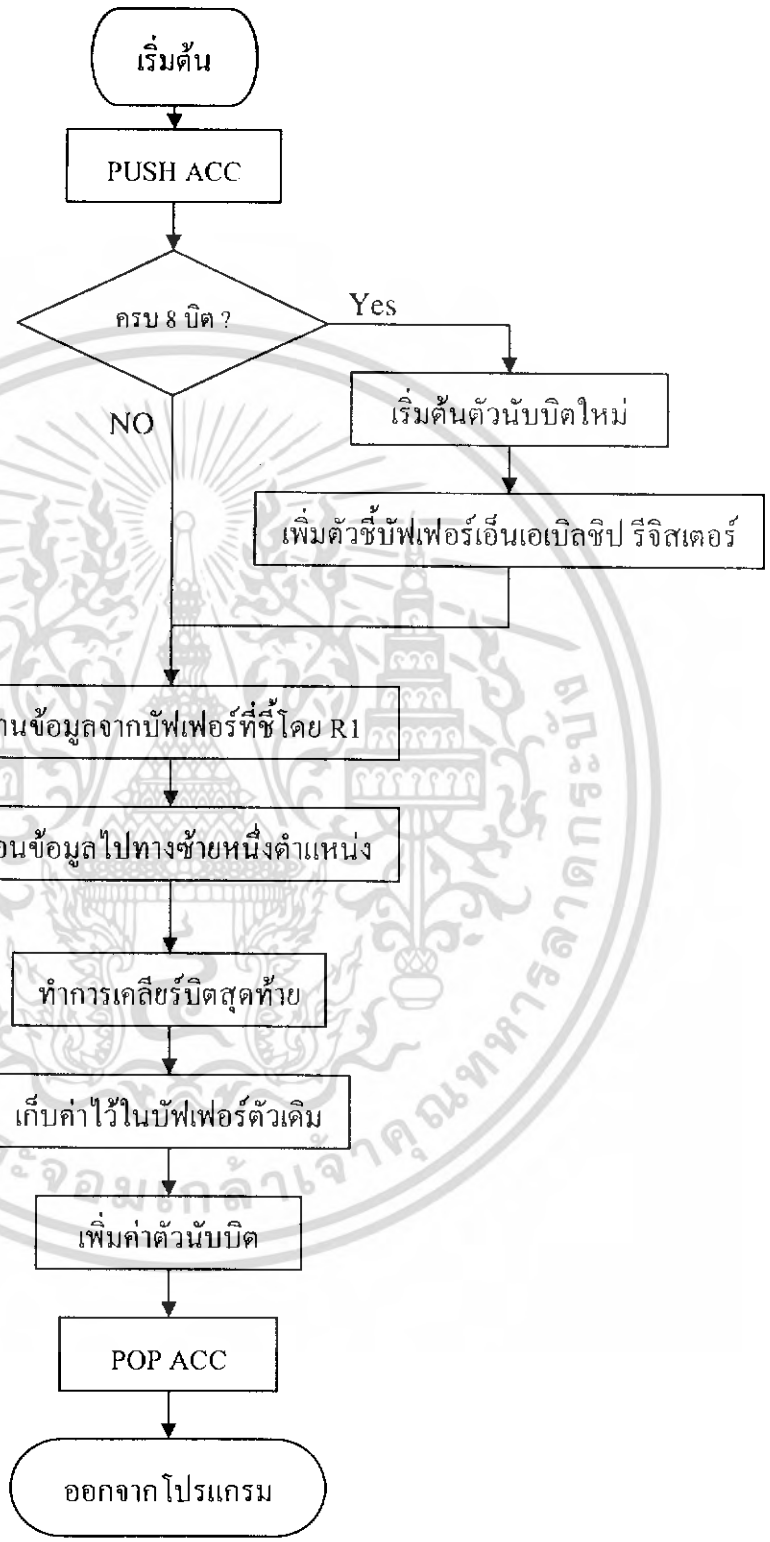
รูปที่ 5.10 โฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อยส่งค่ากลับไปให้คอมพิวเตอร์

โปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์รับ-ส่งข้อมูล



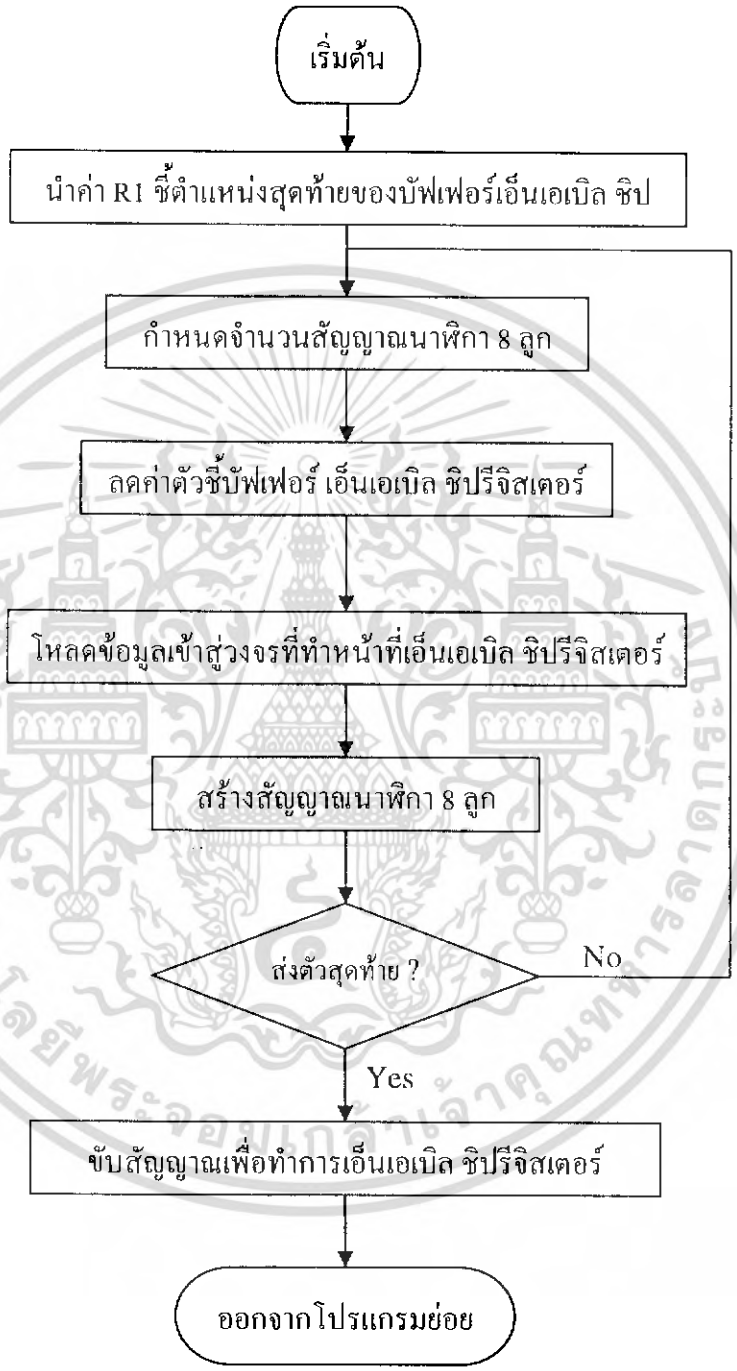
รูปที่ 5.11 โฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์รับ-ส่งข้อมูล

โปรแกรมย่อยบัฟเฟอร์เอนเอเบิล ชิป รีจิสเตอร์



รูปที่ 5.12 โฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อยบัฟเฟอร์เอนเอเบิล ชิป รีจิสเตอร์

โปรแกรมย่อยเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์



รูปที่ 5.13 โฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อยเอ็นเอเบิลชิปรีจิสเตอร์

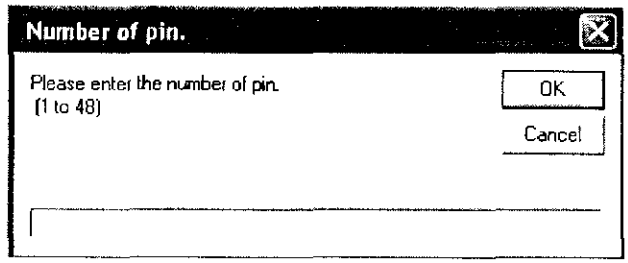
โปรแกรมย่อยเคลียร์ข้อมูล

รูปที่ 5.14 โฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อยเคลียร์ข้อมูล

5.3 ส่วนที่เป็นการติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ(User Interface)

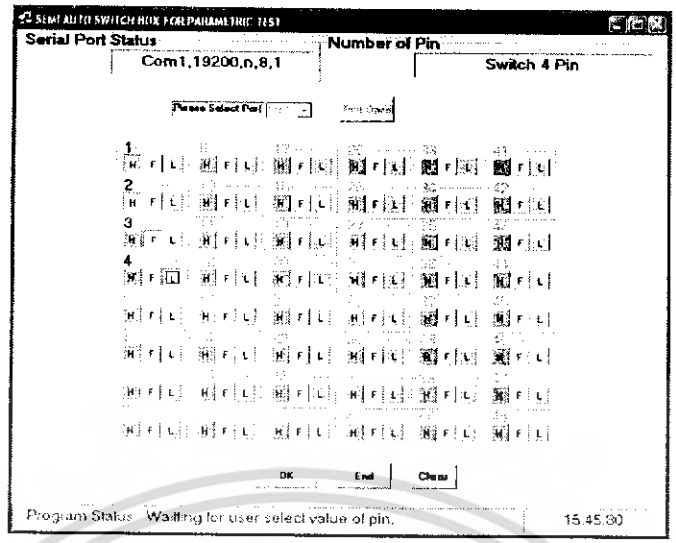
5.3.1 หลักการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมที่เลือกใช้ในส่วนของคอมพิวเตอร์ที่เป็นตัวรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน คือ โปรแกรมวิชัวล์ เบสิก (Visual Basic) เพราะเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยม มีการใช้งานง่าย โดยเมื่อเปิดโปรแกรม ตัวโปรแกรมจะรับค่าเป็นจำนวนขาของชิ้นงานที่เราต้องการทดสอบ โดยใช้ฟังก์ชัน Message Box ในการออกแบบ

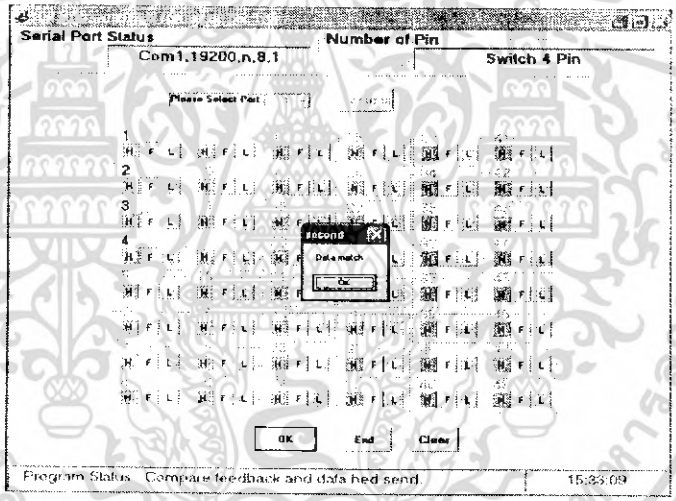


รูปที่ 5.15 แสดงหน้าจอของโปรแกรมเพื่อรับจำนวนขาของชิ้นงาน

โปรแกรมจะทำการตรวจสอบค่าที่ได้รับซึ่งต้องอยู่ในช่วงของตัวเลขจำนวนนับ ตั้งแต่ 1 ถึง 48 เท่านั้น หากนอกเหนือจากนี้โปรแกรมจะแสดงข้อความเตือนผู้ใช้งานเป็นกรณีต่างๆคือ กรณีป้อนตัวเลขนอกเหนือจาก 1-48 หรือ ป้อนตัวอักษร รวมถึงกรณีที่ไม่ได้ป้อนข้อมูลด้วย เมื่อทำการตรวจสอบค่าที่ได้รับเรียบร้อยแล้วโปรแกรมจะทำการรอให้ผู้ใช้งานป้อนหมายเลขพอร์ทที่ต้องการใช้ในการสื่อสาร แล้วทำการเซตค่าเริ่มต้นของพอร์ทให้สามารถใช้งานได้ โดยความเร็วที่ ใช้คือ 19200 บิตต่อวินาที ไม่มีบิตตรวจสอบ ,ความยาวของข้อมูล 8 บิต และความยาวของบิตหยุด 1 บิต หากพอร์ทนั้นมีปัญหา โปรแกรมจะแสดงข้อผิดพลาดนั้นให้ผู้ใช้งานทราบ เมื่อทำการเปิดพอร์ทสำเร็จแล้ว โปรแกรมจะทำการส่งค่า "O" ออกไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วรอให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่า "O" กลับมา เพื่อเป็นการทดสอบการเชื่อมต่อของสายสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ว่าสามารถติดต่อกันได้หรือไม่ หากการติดต่อมีปัญหาโปรแกรมจะแสดงข้อผิดพลาดให้ผู้ใช้งานทราบ เมื่อทำการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะรอรับการเลือกสวิทช์จากผู้ใช้งานดังรูปที่ 5.8 เมื่อผู้ใช้งานทำการเลือกสัญญาณที่ต้องการได้แล้วทำการกดปุ่ม OK เพื่อทำการส่งข้อมูล โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูลไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมทั้งรอข้อมูลที่ส่งกลับมาเพื่อมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ส่งไปว่าเป็นข้อมูลเดียวกันหรือไม่ แล้วทำการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าของข้อมูล แล้วโปรแกรมจะกลับมาสู่หน้าต่างรอรับการเลือกสวิทช์จากผู้ใช้งานครั้งต่อไป



รูปที่ 5.16 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Visual Basic เมื่อเข้าสู่สถานะรอรับค่าจากผู้ใช้งาน



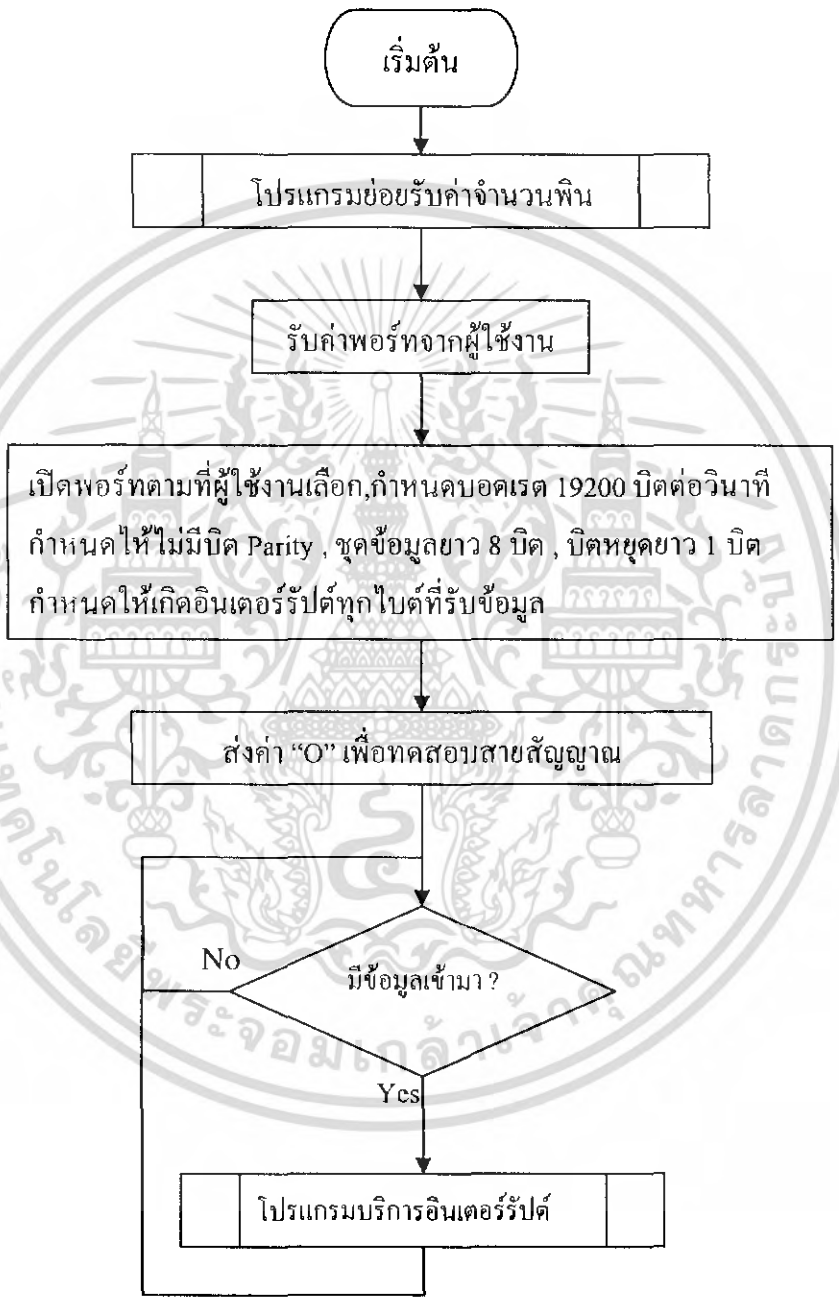
รูปที่ 5.17 แสดงตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าที่ส่งไปให้ไมโครคอนโทลเลอร์กับค่าที่ได้รับกลับมา

เมื่อผู้ใช้งานต้องการเคลียร์ทุกพินให้อยู่ในตำแหน่งปล่อยลอย สามารถทำได้โดยกดที่ปุ่ม Clear โปรแกรมจะทำการส่งคำสั่งที่เป็นคำสั่งเคลียร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

และถ้าต้องการออกจากโปรแกรมสามารถทำได้โดยการกดปุ่ม End โปรแกรมจะทำการปิดโปรแกรมให้โดยกลับไปสู่หน้า Desktop ของคอมพิวเตอร์

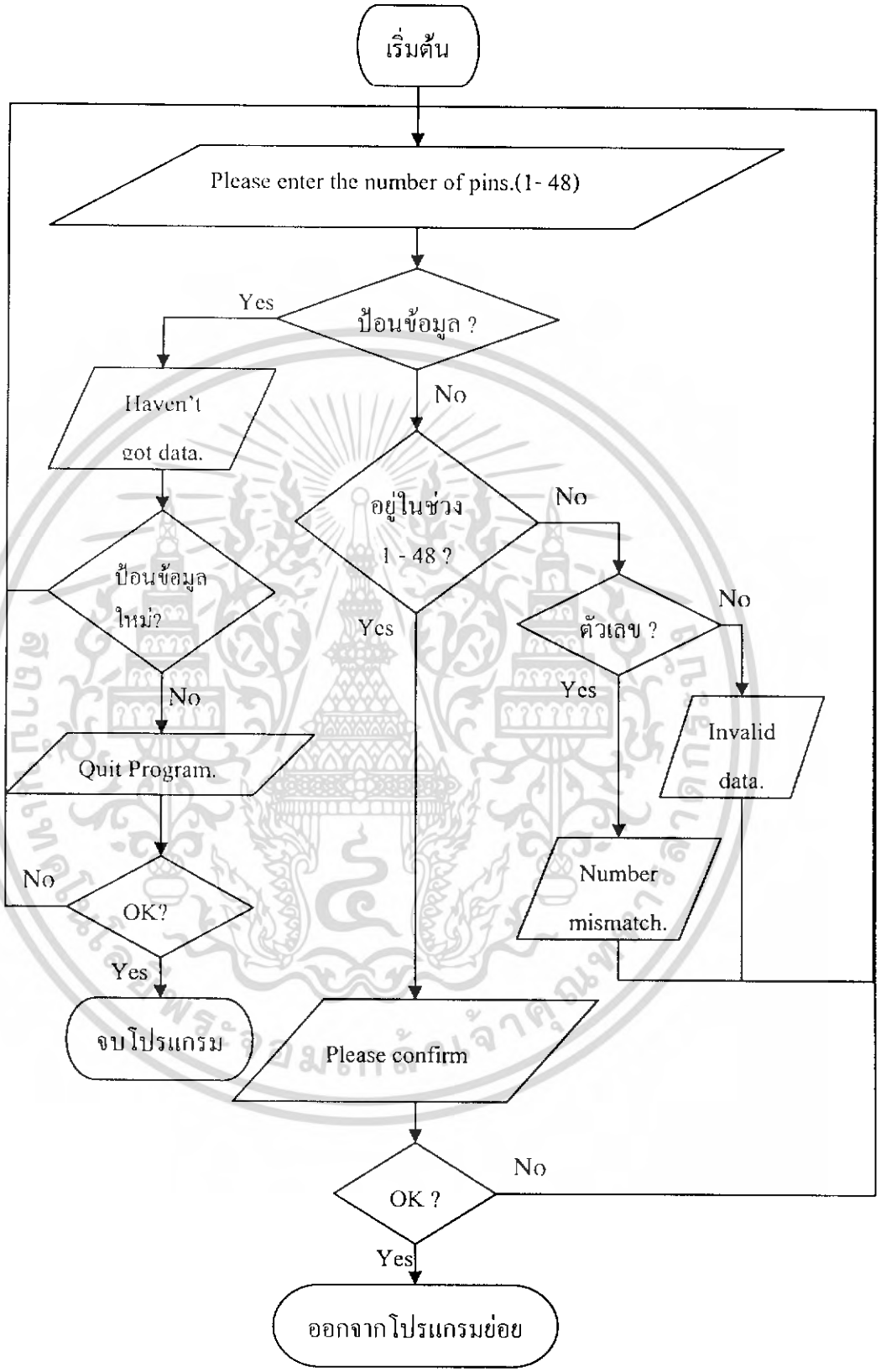
5.3.2 ลำดับการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ใน Visual Basic

โปรแกรม Visual Basic ใช้ในการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยมีโฟลวชาร์ตดังต่อไปนี้



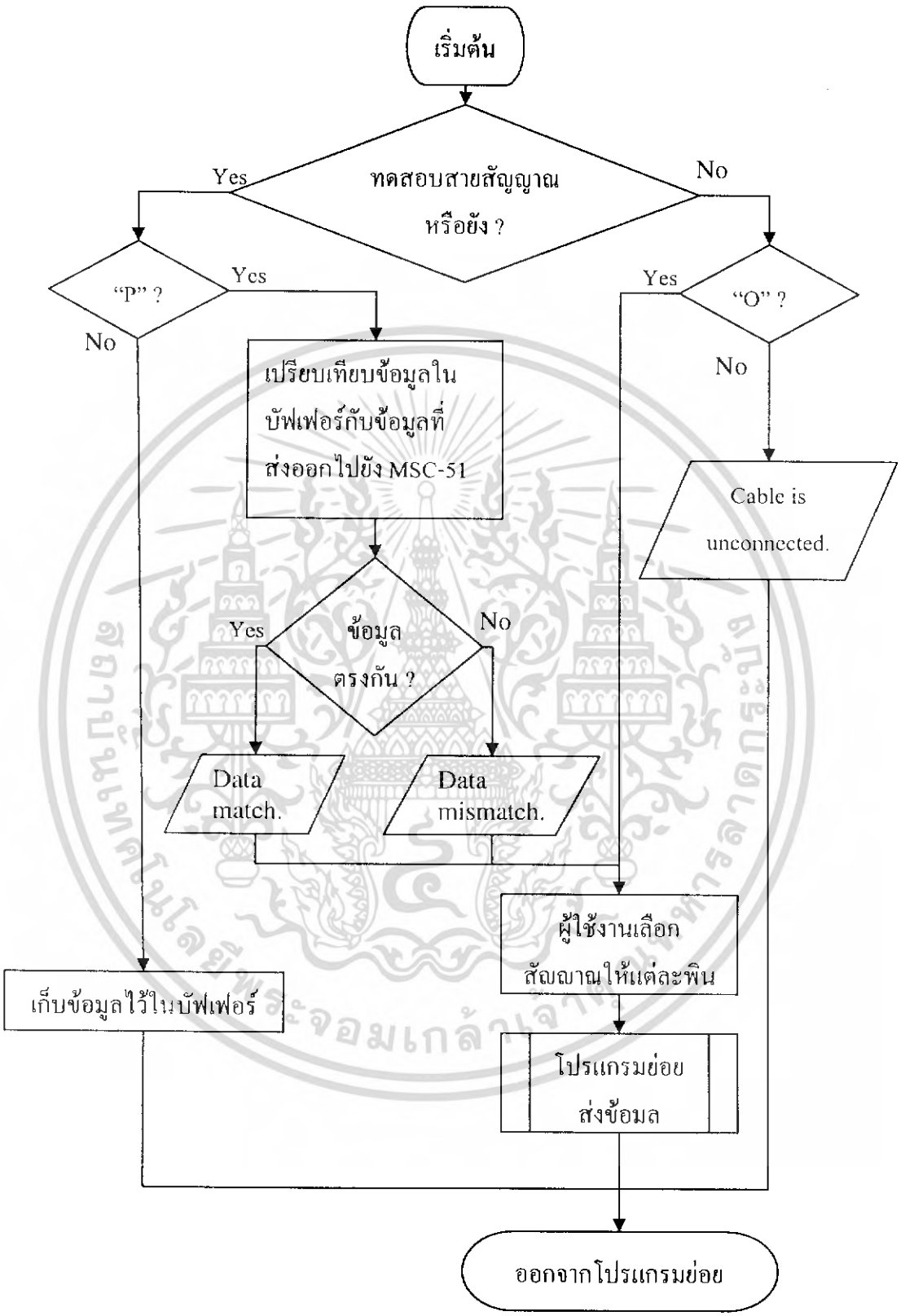
รูปที่ 5.18 โฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรม Visual Basic

โปรแกรมย่อยรับค่าจำนวนพิน



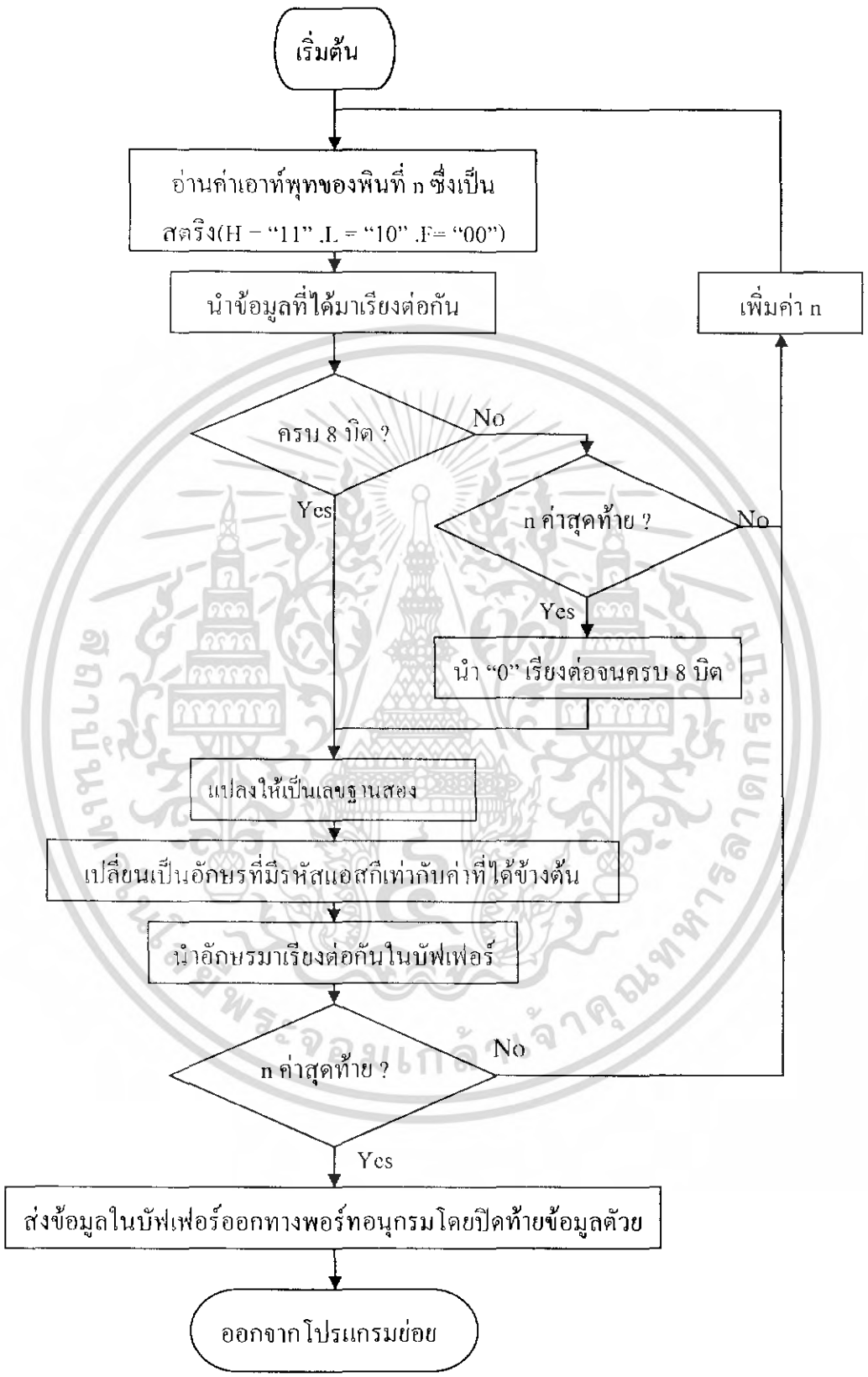
รูปที่ 5.19โฟลวชาร์ต โปรแกรมย่อยรับค่าจำนวนพิน

โปแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์



รูปที่ 5.20โปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์

โปรแกรมย่อยส่งข้อมูล



รูปที่ 5.21 โฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อยส่งข้อมูล

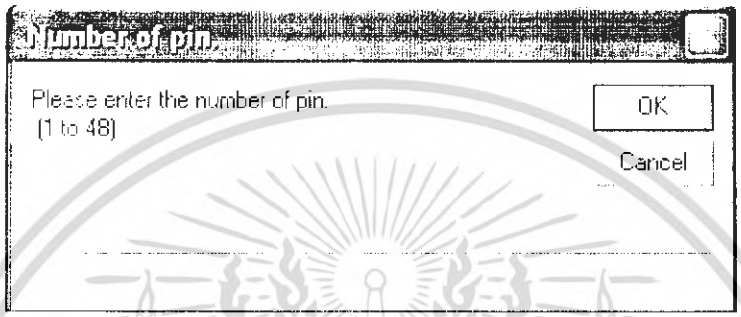
บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

6.1 โปรแกรมที่เขียนจากโปรแกรม Visual Basic

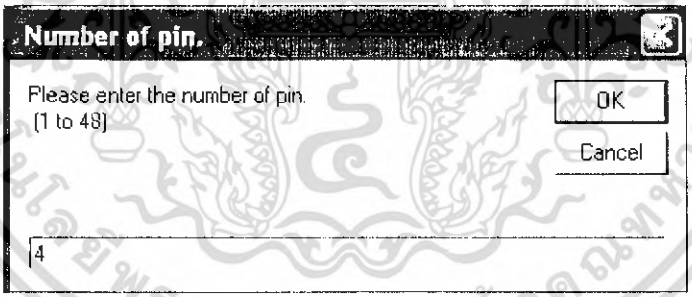
6.1.1 ทดสอบการรับค่าจำนวนขาของตัวชิ้นงาน

- ทำการคลิกที่รูปโปรแกรมบนหน้าจอจะปรากฏจอภาพเป็นหน้าต่างรับค่าจำนวนสวิทช์ของอุปการณ์ที่จะทดสอบ ดังรูป ที่ 6.1

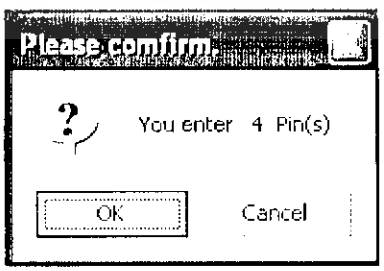


รูปที่ 6.1 แสดงหน้าจอรับจำนวนขาของอุปกรณ์

- ทำการใส่จำนวนขาของชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ ทดลองใส่เลข 4 แล้วกด OK จะได้ผลดังรูป ที่ 6.2 และ 6.3

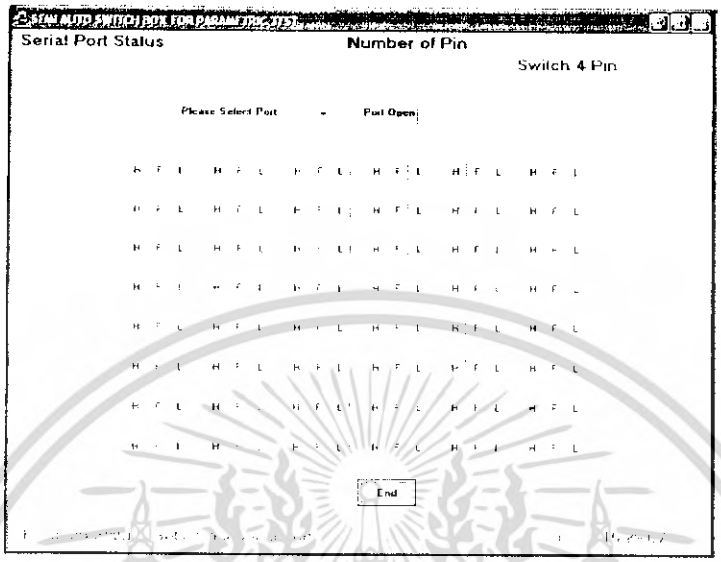


รูปที่ 6.2 แสดงการใส่จำนวนขาของชิ้นงาน



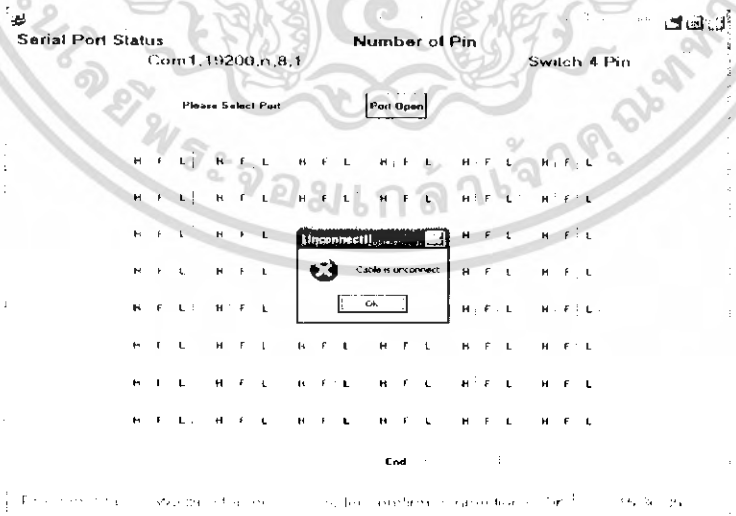
รูปที่ 6.3 แสดงผลของโปรแกรมให้ยืนยันจำนวนขา

- ถ้ากด Cancel โปรแกรมจะทำการกลับไปรับค่าใหม่
- ถ้ากด OK โปรแกรมจะทำในส่วนต่อไป โดยจะขึ้นหน้าจอของสวิทช์ พร้อมกับให้ใส่คอมพอร์ทที่ต้องการใช้รับส่งข้อมูล ดังรูป ที่ 6.4



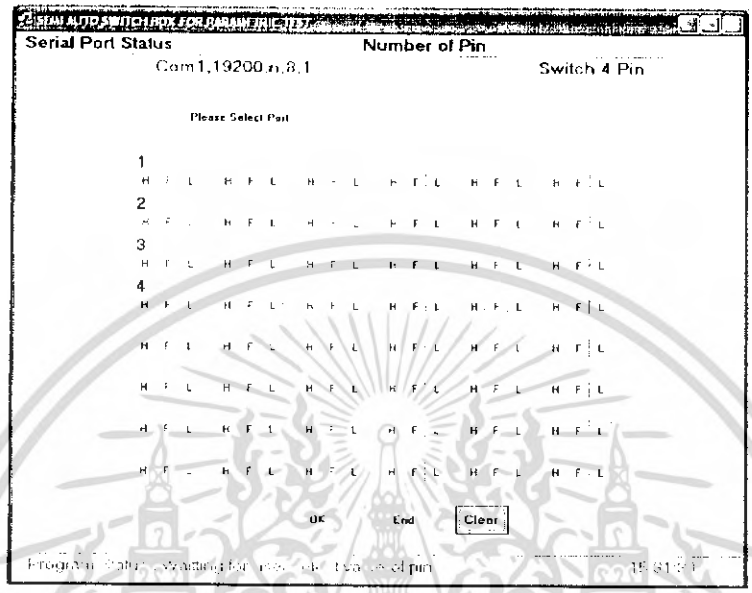
รูปที่ 6.4 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมเพื่อเลือกพอร์ทสำหรับ รับ ส่งข้อมูล

- เมื่อเลือกพอร์ทที่จะทำการรับ ส่งข้อมูล โปรแกรมจะทำการทดสอบส่งค่าไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อถ้าการเชื่อมต่อมีปัญหาจะขึ้นการผิดพลาด ดังรูป ที่ 6.5

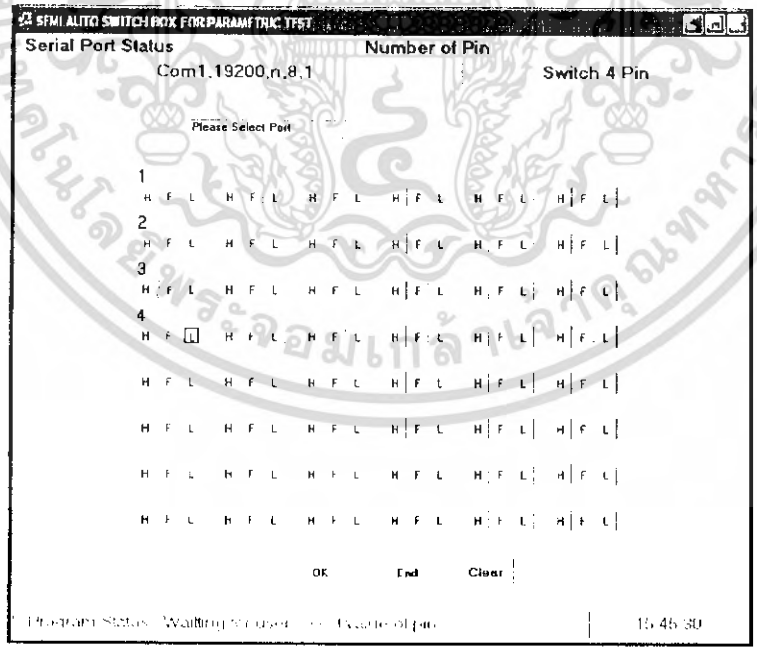


รูปที่ 6.5 แสดงการเกิดการผิดพลาดเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ไม่สามารถติดต่อกันได้

- ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์สามารถติดต่อกันได้โปรแกรมจะทำการเอ็นเอเบิลสวิทช์ตามที่เราใส่ค่าในตอนแรกและทำการ เอ็นเอเบิลปุ่ม OK แสดงสถานะรอคำสั่ง ดังรูป ที่ 6.6 และเมื่อทำการเลือกปุ่ม จะทำให้ปุ่มนั้น Active ดังรูปที่ 6.7



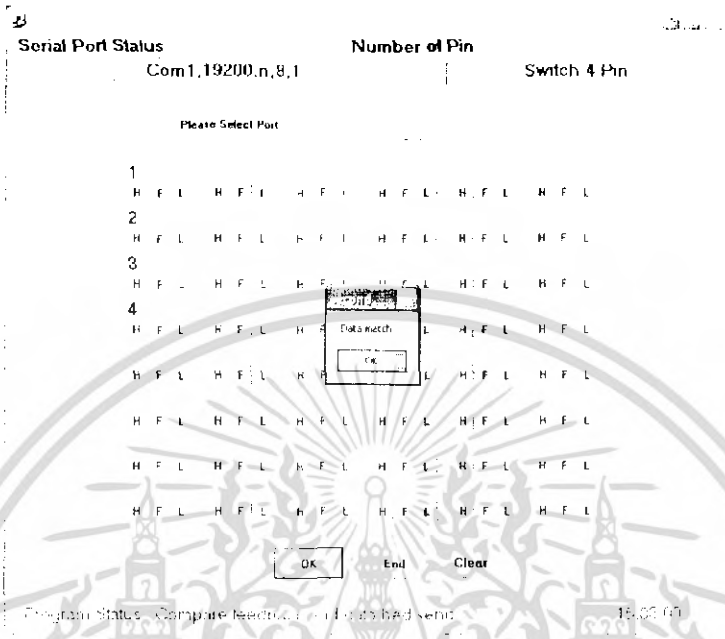
รูปที่ 6.6 แสดงหน้าต่างรอคำสั่ง



รูปที่ 6.7 เมื่อทำการเลือกสัญญาณ ปุ่มที่เลือกจะ Active

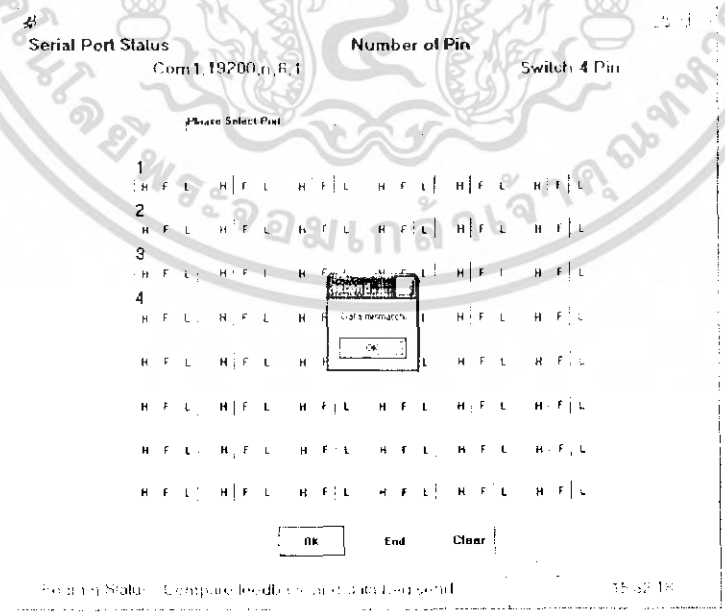
- เมื่อกดปุ่ม OK โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมรับค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งกลับมา แล้วทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ส่งกับสัญญาณที่รับ

  ○ ถ้าสัญญาณทั้งสองตรงกัน จะมีหน้าต่างแสดงข้อความ data match ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แสดงหน้าต่างเมื่อข้อมูลที่รับมาตรงกัน

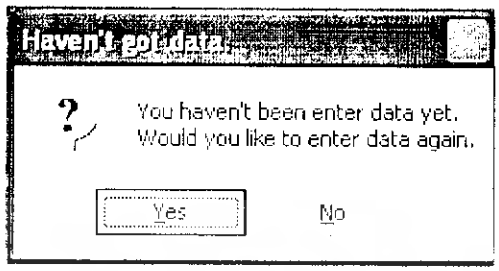
  ○ ถ้าสัญญาณทั้งสองไม่ตรงกัน จะมีหน้าต่างแสดงข้อความ data mismatch ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 แสดงหน้าต่างเมื่อข้อมูลที่รับมาไม่ตรงกัน

6.1.2 ทดสอบการเช็คเมื่อผู้ทดสอบไม่ได้ใส่ค่าใดๆ

- ในกรณีที่ไม่ได้ใส่ค่าใดๆก่อนกดปุ่ม OK โปรแกรมจะทำการแจ้งการผิดพลาดบอกแก่ผู้ใช้งานว่ายังไม่ได้ใส่เข้ามูลที่เป็นตัวเลข ดังรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 แสดงการผิดพลาดกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ใส่ข้อมูลให้แก่วงจร

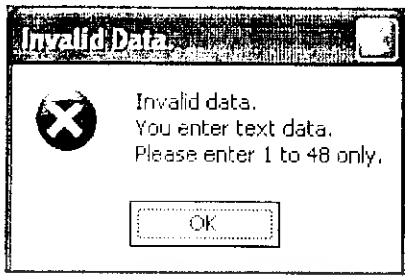
- ถ้าตอบ Yes โปรแกรมจะกลับไปสู่หน้าต่างให้ใส่จำนวนขาของอุปกรณ์ใหม่
- ถ้าตอบ No โปรแกรมจะถามว่าต้องการออกจากโปรแกรมหรือไม่ ดังรูปที่ 6.11

รูปที่ 6.11 แสดงหน้าต่างถามว่าจะออกจากโปรแกรมหรือไม่

- ถ้าตอบ Cancel โปรแกรมจะกลับไปหน้ารับจำนวนขาของอุปกรณ์ใหม่
- ถ้าตอบ OK โปรแกรมจะทำการออกจากโปรแกรมทันที

6.1.3 ทดสอบการเช็คเมื่อใส่ข้อความที่ไม่ใช่ตัวเลข

ทดสอบโปรแกรมโดยการป้อนข้อมูลไปให้โดยใส่ข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวเลขจะได้ผลดังรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 หน้าต่างเมื่อป้อนข้อมูล Tawan

รูปที่ 6.13 หน้าต่างของโปรแกรมเมื่อป้อนข้อมูล 123T

- ถ้าตอบว่า Yes โปรแกรมจะกลับไปรับข้อมูลใหม่
- ถ้าตอบว่า No โปรแกรมจะถามว่าจะออกจากโปรแกรมหรือไม่ เหมือนกับข้อ 1.2

6.1.4 ทดสอบเมื่อใส่ค่าที่ไม่ใช่ค่าที่อยู่ระหว่าง 1 – 48

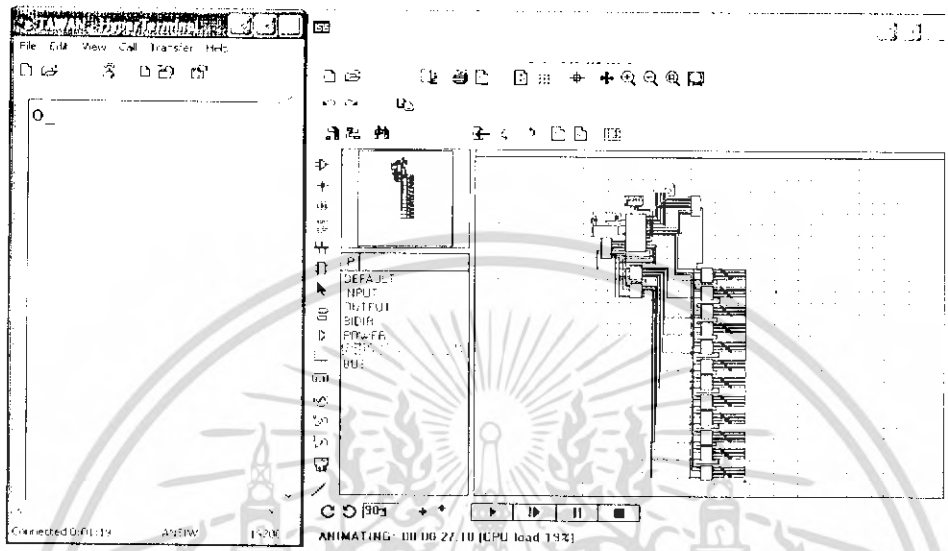
ทำการทดสอบการตรวจเช็คข้อมูล เมื่อป้อนข้อมูลเกินช่วง 1 ถึง 48 ว่าโปรแกรมจะมีการแสดงผลอย่างไร โดยเมื่อทำการป้อนค่าดังกล่าวโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 6.14

รูปที่ 6.14 แสดงหน้าต่างเมื่อใส่จำนวนขาไม่ถูกต้อง

6.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

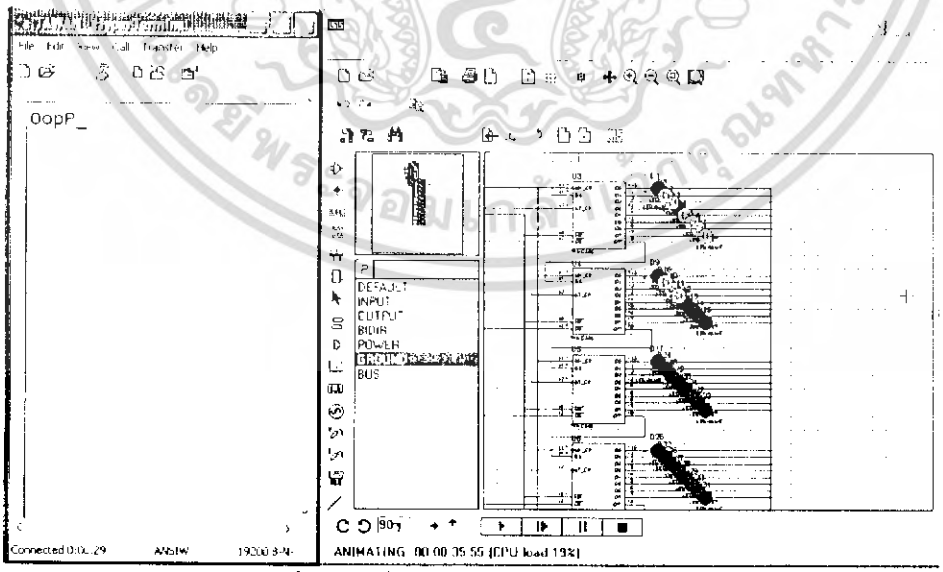
6.2.1 ทดสอบการทำงานในโปรแกรม Proteus

- ทดลองส่งค่า "O" ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทดสอบสายสัญญาณจะได้รับค่า "O" กลับ แสดงว่าสายสัญญาณไม่มีปัญหา ดังรูปที่ 6.15



รูปที่6.15 แสดงการทดลองส่งค่า "O" ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทดสอบสายสัญญาณว่ามีปัญหาหรือไม่

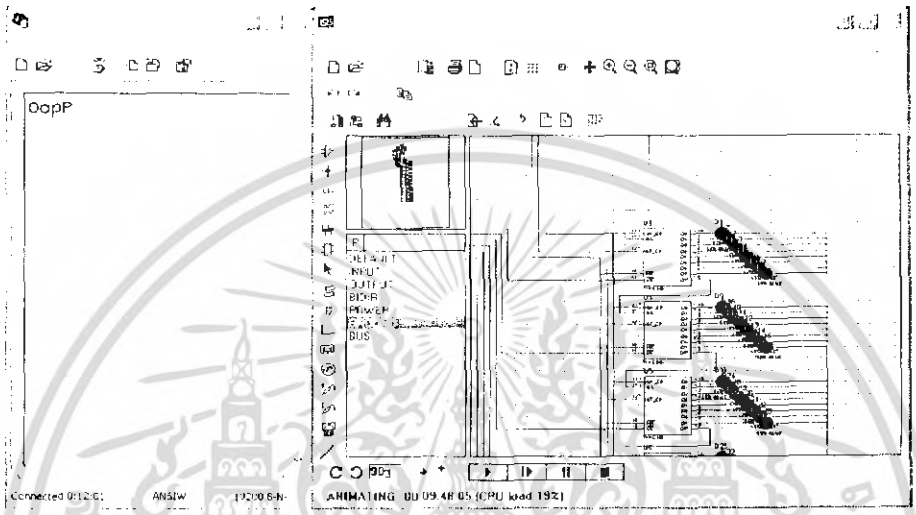
- ทดลองส่ง ข้อมูล 2 ตัวอักษร แล้วตามด้วยตัวอักษร "P" โดย อักษร P เป็นไบต์ปิดของข้อมูล จะได้ผลดังรูป ที่ 6.16



รูปที่ 6.16 เมื่อส่งข้อมูลไปยัง MCS- 51

เมื่อส่งข้อมูลไปยัง MCS-51 จะทำให้ 74595 ทำงานโดยส่งค่าเป็นรหัสแอสกี ของตัวอักษรที่เราส่งไป จะเห็นว่าเมื่อส่ง ตัวอักษร op ซึ่งมีรหัสแอสกี 6F และ 70 ในเลขฐาน 16 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่า LED สว่าง ตามค่าแอสกีดังกล่าวโดย LED ที่อยู่บนสุดจะแสดงค่าบิตสูงสุด

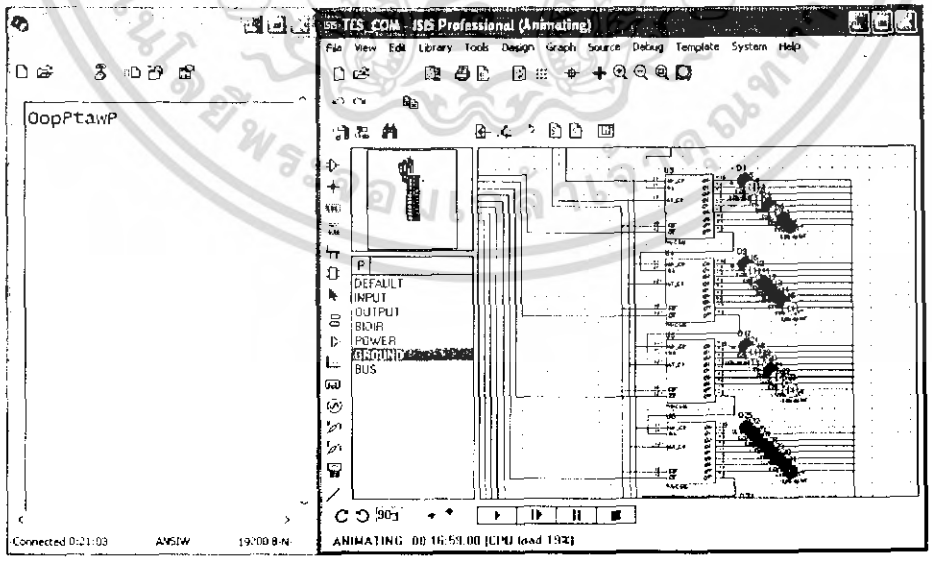
- ทดลองส่งอักษร "U" ซึ่งกำหนดให้เป็นไบต์เคลีย ไอซี 74HCT595 จะได้ผลดังรูปที่ 6.17



รูปที่ 6.17 แสดงผลเมื่อทำการส่ง "U" ไปยัง MCS-51

เมื่อทำการส่ง "U" ไปให้ MCS-51 จะเป็นคำสั่งให้ทำการเคลียร์ เอาพุท

- ทดลองส่งข้อมูลไปยัง MCS-51 อีกครั้ง จะได้ผลดังรูปที่ 6.18



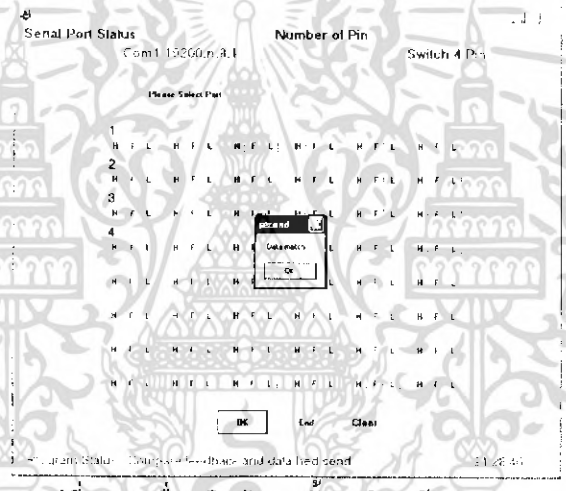
รูป 6.18 แสดงผลเมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังMCS-51 อีกครั้ง

เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยัง MCS-51 อีกครั้งหลังจากทำการส่งค่าเคลียร์ โดยส่งข้อมูลเพิ่มเป็น 3 ไบต์คือ taw ซึ่งมีค่ารหัสแอสกีคือ 74, 73 และ 77 ในเลขฐาน 16 ตามลำดับ จากรูปจะเห็น LED ทำงานตามรหัสแอสกี

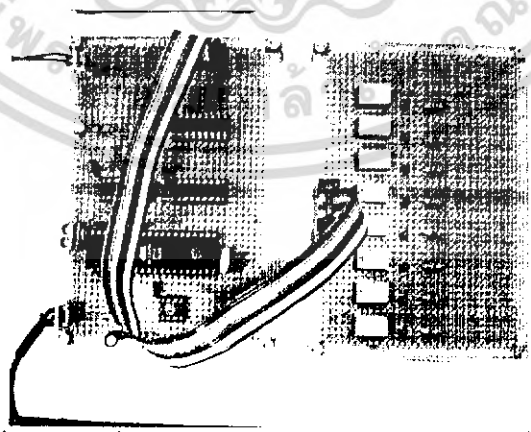
6.2.2 การทดลองทางเครื่องต้นแบบ

เป็นการทดลองโดยการต่อเครื่องต้นแบบกับพอร์ทอนุกรมที่ควบคุมโดยโปรแกรมที่เขียนจากโปรแกรม Visual Basic โดยจากเครื่องต้นแบบ LED ที่อยู่ด้านบนจะเป็นบิตสูงสุด และด้านล่างจะเป็นบิตต่ำสุด โดยแต่พินจะใช้ 2 บิต พินที่หนึ่งอยู่ด้านบน เรียงกันจนถึงพินที่สี่ ซึ่งจะได้ผลดังนี้

- เมื่อป้อนสัญญาณ Float ทั้งสี่พินโดยการคลิก F ทั้ง 4 พินดังรูปที่ 6.19 จะได้ผลที่ออกทางเครื่องต้นแบบ ดังรูปที่ 6.20

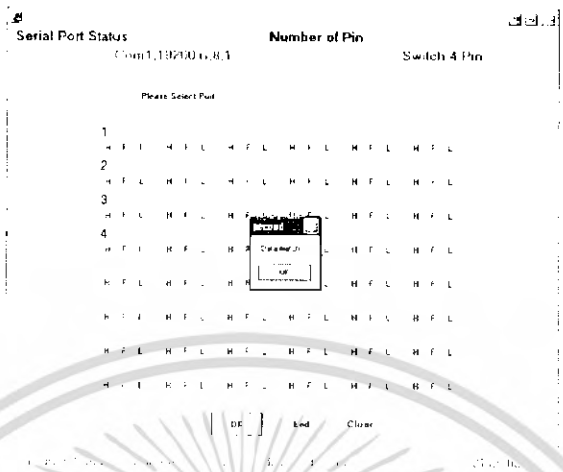


รูปที่ 6.19 เมื่อคลิกปุ่ม F ทั้ง 4 พินแล้วคลิก OK

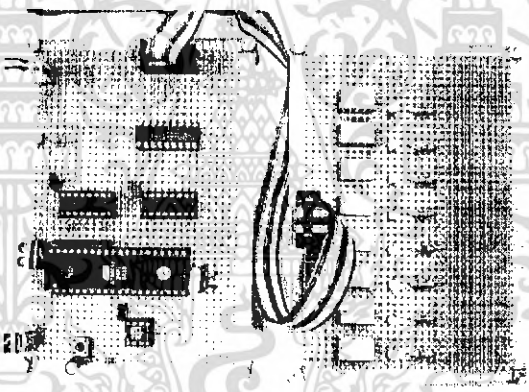


รูปที่ 6.20 ผลที่ออกที่เครื่องต้นแบบเมื่อป้อน Float ทั้ง 4 พิน

- เมื่อป้อนสัญญาณ High ทั้ง 4 พิน โดยการคลิกที่ปุ่ม H ทั้ง 4 พินดังรูปที่ 6.21 จะได้ผลที่ออกทางเครื่องต้นแบบดังรูปที่ 6.22

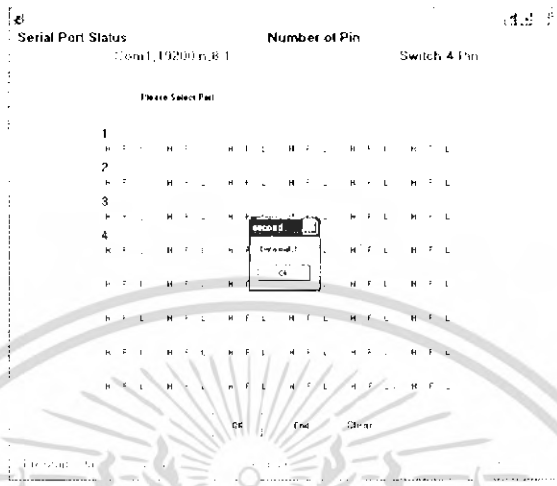


รูปที่ 6.21 เมื่อคลิก H ทั้ง 4 พินแล้วคลิก OK

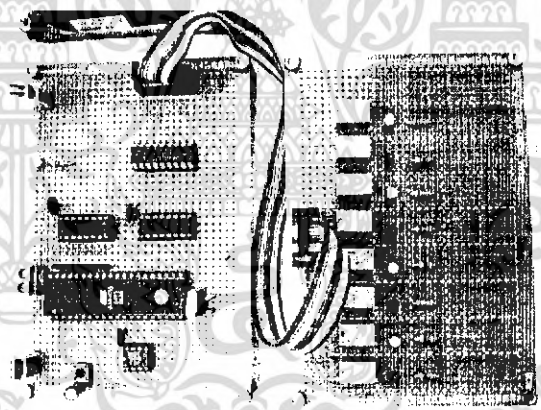


รูปที่ 6.22 ผลที่ออกที่เครื่องต้นแบบเมื่อป้อน High ทั้ง 4 พิน

- เมื่อป้อนสัญญาณ Low ทั้ง 4 พิน โดยการคลิกที่ปุ่ม L ทั้ง 4 พินดังรูปที่ 6.23 จะได้ผลที่ออกทางเครื่องต้นแบบดังรูปที่ 6.24

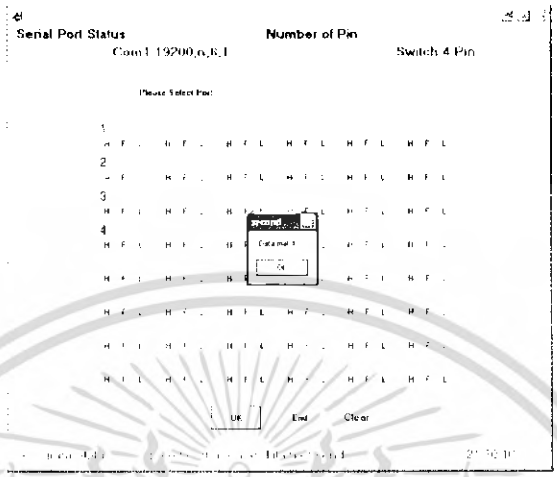


รูปที่ 6.23 เมื่อคลิก L ทั้ง 4 พินแล้วคลิก OK

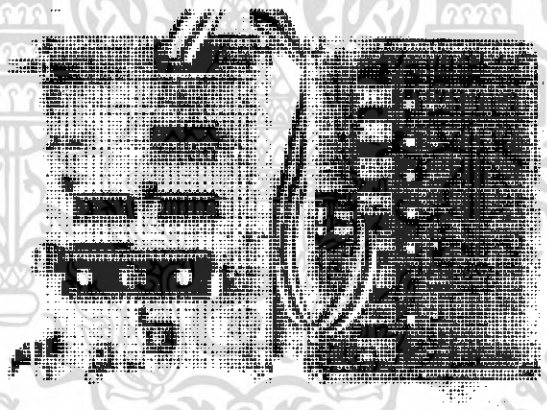


รูปที่ 6.24 ผลที่ออกที่เครื่องต้นแบบเมื่อป้อน Low ทั้ง 4 พิน

- เมื่อป้อนสัญญาณ 2 พินแรกเป็น High และ สองพินสุดท้ายเป็น Low ดังรูป 6.25 และจะได้ผลดังรูปที่ 6.26

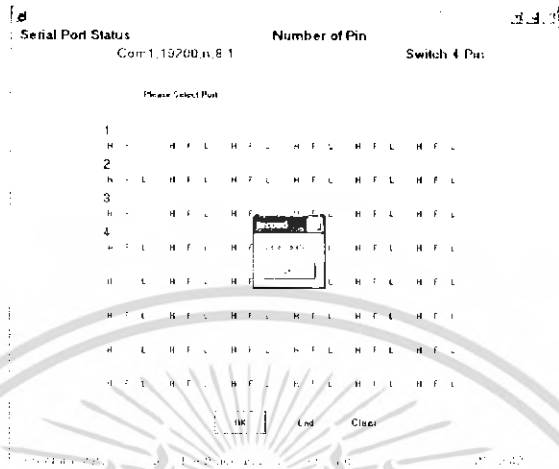


รูปที่ 6.25 เมื่อ 2 พินแรกคลิก H และ L ใน 2 พินหลัง

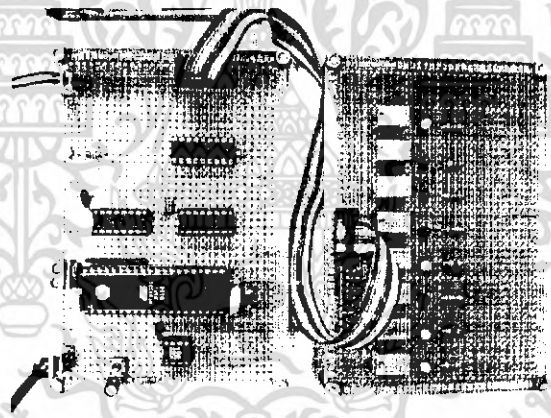


รูปที่ 6.26 ผลเมื่อ ป้อน High 2 พินแรก และ Low 2 พินหลัง

- เมื่อป้อนสัญญาณ Low , Float ,Low และ High ตามลำดับ ดังรูป 6.27 และจะได้ผลดังรูปที่ 6.28



รูปที่ 6.27 เมื่อคลิก L,F,L และ H ตามลำดับ



รูปที่ 6.27 ผล เมื่อป้อน แต่ละพินเป็น Low,Float,Low และ High ตามลำดับ

บทที่ 7
บทสรุป

ในการออกแบบแผงวงจรสวิทช์จะเริ่มที่การเลือกชนิดของสวิทช์ที่จะนำมาใช้งาน ต้องมีการทดทอนสัญญาณที่ได้รับมาจากตัวอุปกรณ์น้อยที่สุด ควรสามารถทนกำลังไฟที่จะเกิดขึ้นจากการสูญเสียภายในในการทดสอบชิ้นงานได้ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ตัวชิ้นงาน การออกแบบวงจรที่ใช้ร่วมกับเครื่องทดสอบแบบพาราเมตริก สำคัญอยู่ที่ส่วนที่เป็นสวิทช์ควรสามารถในการถ่ายทอดสัญญาณที่ทดสอบได้เป็นอย่างดี และสวิทช์ไม่ควรสร้างสัญญาณรบกวนแก่ระบบหรือมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด

การควบคุมสวิทช์เมื่อเลือกสวิทช์ที่มีคุณสมบัติที่ต้องการได้ ปัญหาต่อมาคือการควบคุมสวิทช์ ไม่ว่าจะเป็นสวิทช์แบบแมคคานิคหรืออิเล็คทริคสวิทช์ ถ้าควบคุมให้ทำงานไม่ได้ตามที่เราต้องการก็ไม่สามารถเลือกสัญญาณที่ต้องการได้ การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมสวิทช์นั้นมีข้อดีตรงที่สามารถออกแบบการใช้งานง่าย มีคำสั่งไม่มากนัก มีพอร์ทให้ใช้งานมากมาย ในการสร้างวงจรสำหรับขับสวิทช์ สิ่งที่สำคัญคือจะต้องให้ทุกสวิทช์ทำงานได้พร้อมกัน

ส่วนที่เป็นการติดต่อกับผู้ใช้งานนั้น การใช้คอมพิวเตอร์เป็นสิ่งที่เหมาะสมในการใช้งานในปัจจุบันเพราะสามารถสร้างจากโปรแกรมเกือบทุกภาษา และมีข้อจำกัดในการใช้งานน้อย การที่เลือกใช้โปรแกรม Visual basic เพราะเป็นโปรแกรมที่สามารถศึกษาการใช้งานได้ง่ายไม่ยุ่งยากสำหรับผู้เริ่มการเขียนโปรแกรมใหม่ๆ ไม่ว่าจะเป็นการทำความเข้าใจหรือว่าจะเป็นการนำไปพัฒนาต่อไป

จากการทดลองจะเห็นว่าโปรแกรมที่สร้างจากโปรแกรม Visual basic มีความความสามารถในการสื่อสารได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การที่ให้มีการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์กลับไปยังคอมพิวเตอร์ ถึงแม้จะทำให้เสียเวลาพอสมควรแต่ก็สามารถรับประกันได้ว่าระหว่างการส่งสัญญาณผ่านสายสัญญาณ ไม่มีความผิดพลาด หากมีความผิดพลาดในการส่งสัญญาณก็สามารถตรวจสอบได้ง่าย

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงงานชิ้นนี้คือ การสร้างวงจรบนแผ่นปริ้นไข่ปลา การจัดเรียงตัวอุปกรณ์ การเชื่อมต่อสายสัญญาณเป็นสิ่งที่สำคัญมาก หากเชื่อมต่อไม่ดีเช่นการที่สายสัญญาณขนานกันจำนวนมากจะเกิดสัญญาณรบกวนจนทำให้วงจรไม่ทำงานตามที่ออกแบบไว้ ปัญหานี้เกิดขึ้นได้เกือบทุกวงจร ดังนั้นการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดคือการต่อวงจรลงบนแผ่นลายวงจร ซึ่งจะลดสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างมาก อนึ่งการต่อวงจรบนลายวงจรจะป้องกันปัญหาการช็อตกันของสายสัญญาณที่อยู่ใกล้เคียงกันได้มาก

บรรณานุกรม

1. กิตติ ภักดีวัฒนะกุล, "Visual Basic6 ฉบับโปรแกรมเมอร์" ,เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ ,621 หน้า,2547
2. จิรศักดิ์ เหลืองอุไร, "คัมภีร์การใช้งานการสื่อสารอนุกรมบน PC", ซีเอ็ดยูเคชั่น, 372 หน้า, 2538
3. ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ, "การสื่อสารข้อมูล", ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 203 หน้า
4. ธีรวัฒน์ ประกอบผล, "การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย – ญี่ปุ่น), 235 หน้า, 2544
5. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, "เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51", อินโนเวติฟ เอ็กเพอริเมนต์, 399 หน้า
6. สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร, "คู่มือโปรแกรม Vissual Basic 6 ฉบับผู้เริ่มต้น",ไอดีซี อินโฟ คิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์,432 หน้า ,2548
7. อภิชาต ภู่พลับ , "เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic" , อินโฟรเพรส