

บทที่ 2

โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.1 บทนำ

ปัจจุบันมีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งานในการพัฒนาโครงการด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมาก โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีหลายตระกูล เช่น MCS-51, ARM, PIC, AVR ฯลฯ ซึ่งแต่ละตระกูลก็มีความโดดเด่นทางด้านคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปทั้งเรื่องโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม เนื้อหาในบทนี้สนใจนำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายมาอธิบายโครงสร้างและสถาปัตยกรรมการทำงาน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต มีองค์ประกอบหลักได้แก่หน่วยประมวลผลกลางทำงานร่วมกับหน่วยความจำและพอร์ตอินพุตเอาต์พุต โดยสามารถเชื่อมต่อกับมอดูเลเฉพาะต่าง ๆ ได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมการอินเทอร์รัพท์ ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ พอร์ตรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายใน

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้มีการออกแบบและผลิตออกมาหลายบริษัท เช่น INTEL, DALLAS, ATMEL, INFINION, PHILIPS, NEC หรือ DAEWOO เป็นต้น แต่ส่วนใหญ่ยังคงรักษาโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและชุดคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานให้คงเดิม โดยเพิ่มความสามารถอื่น ๆ ให้มากขึ้น เช่น บางรุ่นจะรวมเอาหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลเอาไว้ภายในตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอาจมีขนาดของหน่วยความจำให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม อย่างไรก็ตามไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ละรุ่นประกอบด้วยคุณสมบัติที่แตกต่างกันซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ละรุ่น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ละรุ่นมีหลายเบอร์ให้เลือกใช้งาน ดังนี้

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031, 80C31, 80C32, ฯลฯ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นที่ไม่มีการบรรจุหน่วยความจำโปรแกรมไว้ภายใน จึงต้องมีการสร้างวงจรเชื่อมต่อกับหน่วยความจำวงจรภายนอก

2. ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051, 80C51, 8052, 80C52, ฯลฯ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่นที่มีการบรรจุหน่วยความจำโปรแกรมไว้ภายในเรียบร้อยแล้ว แต่สามารถโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว (One Time Programming) โดยส่วนมากนิยมนำมาใช้ในการผลิตสินค้าจำนวนมาก ๆ ซึ่งไม่มีความจำเป็นต้องแก้ไขโปรแกรมอีก

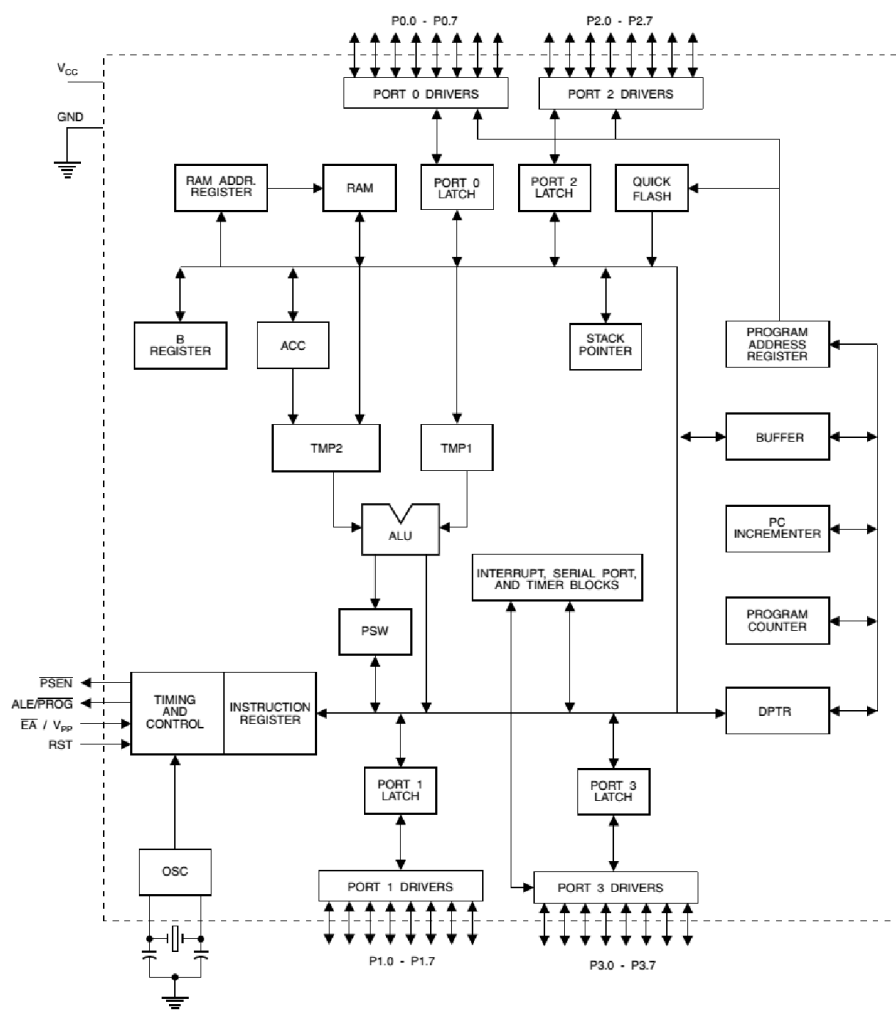
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8751, 87C51, 87C52, ฯลฯ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่นที่มีการบรรจุหน่วยความจำโปรแกรมแบบ EPROM ไว้ภายในการลบข้อมูลต้องนำตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ไปฉายแสงอุลตราไวโอเล็ตทำให้ใช้เวลานานในการโปรแกรม

4. ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51, 89C52, 89C55, ฯลฯ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่นที่มีการบรรจุหน่วยความจำแฟลชไว้ภายใน สามารถโปรแกรมได้นับพันครั้ง ซึ่งใช้การลบข้อมูลและโปรแกรมใหม่ด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า

5. ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89S53, 89S8252, ฯลฯ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ที่มีการบรรจุหน่วยความจำโปรแกรมแบบ EEPROM ไว้ภายในตัวเหมือนรุ่น 89CXX โดยวิธีการโปรแกรมข้อมูลให้หน่วยความจำภายใน สามารถโปรแกรมแบบอนุกรม SPI (Serial Peripheral Interface) และสามารถโปรแกรมข้อมูลให้กับหน่วยความจำภายในของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้เองภายในบอร์ดโดยไม่ต้องถอดไมโครคอนโทรลเลอร์ ออกไปโปรแกรมจากเครื่องโปรแกรมภายนอก

2.2.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างภายในโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ละเบอร์มีโครงสร้างที่คล้ายกันแต่จะแตกต่างกันออกไปในส่วนของความสามารถพิเศษของแต่ละเบอร์ ในที่นี้ขอยกตัวอย่างโครงสร้างแผนภาพบล็อกไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท ATMEL เบอร์ AT89C52 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต แสดงโครงสร้างภายในดังภาพที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แก่หน่วยประมวลผลกลางทำงานร่วมกับหน่วยความจำและพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบขนานสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจำนวน 4 พอร์ต โดยเชื่อมต่อกับมอดูลเฉพาะต่าง ๆ ได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมการอินเตอร์รัพท์ ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ พอร์ตรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายใน



ภาพที่ 2.1 แผนภาพบล็อกของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52

ที่มา: Microcontroller with 8K Bytes Flash AT89C52, 2014, p. 2.

2.2.3 คุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ละเบอร์มีความแตกต่างกันในรายละเอียดหรือความสามารถพิเศษของแต่ละเบอร์ ในที่นี้ขออ้างอิงไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท ATMEL เบอร์ AT89C52 ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไป ดังนี้

1. มีหน่วยความจำแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์
2. สามารถโปรแกรมซ้ำได้ถึง 1,000 ครั้ง
3. ทำงานได้ด้วยสัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ 0-24 MHz
4. มีระบบป้องกันหน่วยความจำโปรแกรมได้ 3 ระดับ

5. มีหน่วยความจำแรมขนาด 256 ไบต์
6. มีพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 4 พอร์ตๆ ละ 8 บิต รวม 32 บิต
7. มีไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 bit ทั้งหมด 3 ตัว
8. รองรับการอินเตอร์รัพท์ได้ 8 แหล่ง
9. รองรับการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม
10. มีรูปแบบการทำงานแบบ Low-power idle และรูปแบบ Power-down สำหรับการประหยัดพลังงาน

2.3 การจัดขาและหน้าที่ของขาสัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C52 เป็นชิปขนาด 40 ขา แสดงดังภาพที่ 2.2 โดยหน้าที่ของขาสัญญาณต่างๆ ทั้งหมดแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

(T2) P1.0	1	40	VCC
(T2 EX) P1.1	2	39	P0.0 (AD0)
P1.2	3	38	P0.1 (AD1)
P1.3	4	37	P0.2 (AD2)
P1.4	5	36	P0.3 (AD3)
P1.5	6	35	P0.4 (AD4)
P1.6	7	34	P0.5 (AD5)
P1.7	8	33	P0.6 (AD6)
RST	9	32	P0.7 (AD7)
(RXD) P3.0	10	31	\overline{EA}/VPP
(TXD) P3.1	11	30	ALE/PROG
(INT0) P3.2	12	29	PSEN
(INT1) P3.3	13	28	P2.7 (A15)
(T0) P3.4	14	27	P2.6 (A14)
(T1) P3.5	15	26	P2.5 (A13)
(WR) P3.6	16	25	P2.4 (A12)
(RD) P3.7	17	24	P2.3 (A11)
XTAL2	18	23	P2.2 (A10)
XTAL1	19	22	P2.1 (A9)
GND	20	21	P2.0 (A8)

ภาพที่ 2.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52

ที่มา: Microcontroller with 8K Bytes Flash AT89C52, 2014, p. 1.

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ของขาสัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52

ชื่อขา	หน้าที่การทำงาน
VCC	สำหรับต่อกับแรงดันไฟเลี้ยงวงจร 5 โวลต์
GND	สำหรับต่อกับกราวด์
Port 0 (P0.0-P0.7)	เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต สามารถทำงานได้สองหน้าที่คือเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป และใช้เป็นพอร์ตสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกคือรับส่งข้อมูลและกำหนดแอดเดรสไบต์ต่ำ
Port 1 (P1.0-P1.7)	เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต มีการต่อต้านทานพูลอัพ (Pull-up resistor) ไว้ภายใน ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้งานเป็นขาอินพุตเอาต์พุตของไทม์เมอร์ 2
Port 2 (P2.0-P2.7)	เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต มีการต่อต้านทานพูลอัพไว้ภายใน สามารถทำงานได้สองหน้าที่คือเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป และใช้เป็นพอร์ตสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกคือกำหนดแอดเดรสไบต์สูง
Port 3	เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต มีการต่อต้านทานพูลอัพไว้ภายใน ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้งานเป็นขาสัญญาณควบคุมการติดต่อกับหน่วยความจำการอินเทอร์รัพท์ และอื่นๆ
RST	เป็นขาอินพุตที่ใช้รับสัญญาณสำหรับรีเซ็ตซีพียู โดยจะถูกรีเซ็ตเมื่อขานี้เป็นลอจิก 1 นาน 2 แมกซ์ซีไอเซลล์
$\overline{\text{ALE}}/\text{PROG}$ (Address Latch Enable/ Program)	เป็นขาเอาต์พุตซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาทำการแลตช์แอดเดรสไบต์ต่ำที่อยู่ที่พอร์ต P0 เมื่อซีพียูต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก และขานี้จะเป็นอินพุตเพื่อควบคุมการโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
$\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable)	เป็นขาเอาต์พุต ที่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ขานี้จะแอกทีฟสองครั้งในแต่ละแมกซ์ซีไอเซลล์
$\overline{\text{EA}}/\text{VPP}$ (External Access)	เป็นขาอินพุตและต้องการลอจิก 0 เพื่อยอมให้ซีพียูสามารถเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 0000H-0FFFFH นอกจากนี้แล้วขานี้ยังใช้รับแรงดัน 12 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างที่ทำการโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
XTAL1	เป็นขาอินพุตของวงจรรอสซิลเลเตอร์แอมพลิฟายเออร์
XTAL2	เป็นขาเอาต์พุตของวงจรรอสซิลเลเตอร์แอมพลิฟายเออร์

ที่มา: นคร ภัคดีชาติ และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, 2550, หน้า 11.

2.4 โครงสร้างหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

หน่วยความจำเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทั่วไปหน่วยความจำจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล หน่วยความจำทั้งสองส่วนนี้จะต้องมีอยู่ด้วยเสมอในระบบไมโครโพรเซสเซอร์และระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในระบบไมโครโพรเซสเซอร์ต้องออกแบบวงจรเพื่อเพิ่มหน่วยความจำทั้งสองส่วนนี้เอง ในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้จัดสรรหน่วยความจำทั้งสองส่วนไว้ให้แล้ว แต่ก็สามารถต่อเพิ่มเติมได้ในกรณีที่ต้องการใช้หน่วยความจำมากกว่าที่มีอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นในส่วนนี้จะอธิบายโครงสร้างหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

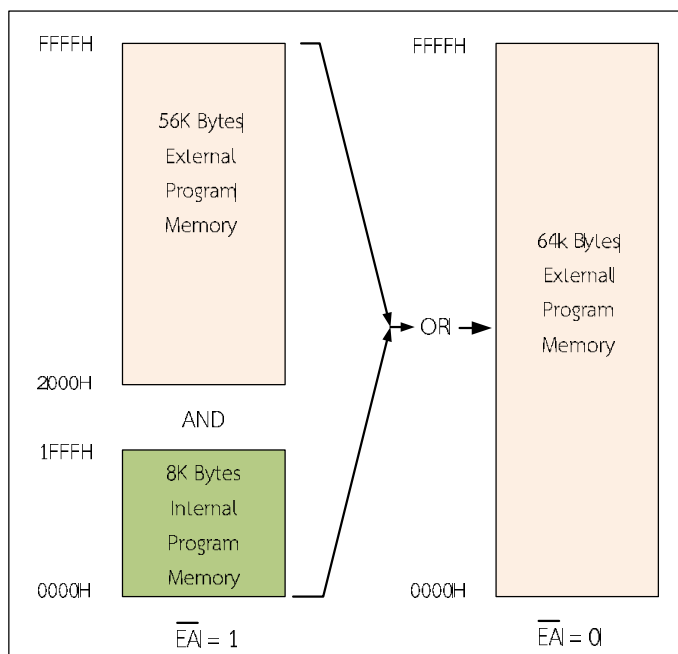
2.4.1 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) โดยทั่วไปหมายถึงหน่วยความจำรอม เป็นหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเข้าถึงได้เพื่ออ่านค่าอย่างเดียวไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าใดๆ ได้ หน่วยความจำโปรแกรมเป็นที่เก็บรหัสคำสั่งต่างๆที่ต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำมาทำการประมวลผลหรือปฏิบัติตามความต้องการของผู้พัฒนาโปรแกรม ซึ่งหลังจากที่โปรแกรมแล้ว จะได้ผลลัพธ์จากการแปลโปรแกรมเป็นไฟล์รูปแบบฐานสิบหก (*.hex) และนำไฟล์นี้เองไปโปรแกรมลงในหน่วยความจำโปรแกรม โดยทั่วไปหน่วยความจำโปรแกรมจะเริ่มต้นคำสั่งจากแอดเดรส 0000H เพราะหลังจากที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกรีเซ็ตจะเริ่มอ่านและประมวลผลคำสั่งที่แอดเดรส 0000H

หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Internal program memory) และหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External program memory) หน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็นหน่วยความจำในตัวชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ ในขณะที่หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เช่น EPROM หรือ EEPROM เป็นหน่วยความจำที่นำมาเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้สำหรับขยายพื้นที่หน่วยความจำในการทำงานของโปรแกรม

ในการใช้งานหน่วยความจำโปรแกรม สามารถกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้โปรแกรมที่เก็บอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ที่หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกก็ได้ การเลือกติดต่อทำได้โดยการป้อนสัญญาณควบคุมที่ขา \overline{EA} ถ้าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะต่อขา \overline{EA} กับลอจิก 1 หากต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ภายนอกจะต่อขา \overline{EA} กับลอจิก 0 การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจะติดต่อได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ (0000H–0FFFFH) อย่างไรก็ตามไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์นั้นจะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่จัดมาให้ไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น เบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 4 กิโลไบต์ ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะ

ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเพิ่มเติมได้อีก 60 กิโลไบต์ ในขณะที่เบอร์ AT89C52 มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 8 กิโลไบต์ ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเพิ่มเติมได้อีก 56 กิโลไบต์ แสดงดังภาพที่ 2.3



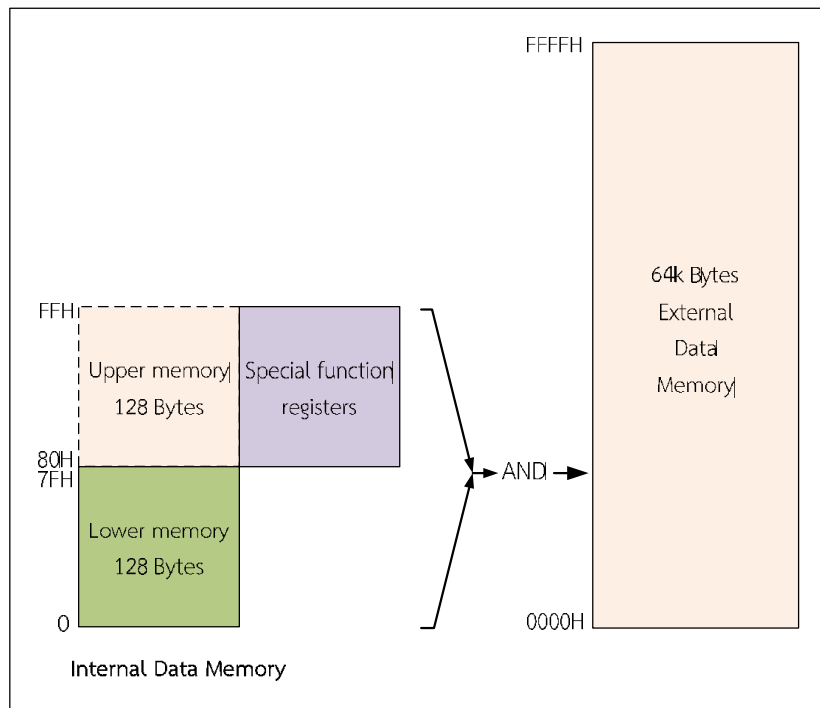
ภาพที่ 2.3 การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52

ที่มา: Architecture and Programming of 8051 MCUS, 2014

2.4.2 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูล (Data memory) โดยทั่วไปหมายถึงหน่วยความจำแรม เป็นหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเข้าถึงได้ทั้งอ่านและเขียนข้อมูล หน่วยความจำข้อมูลนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดเหมือนกับหน่วยความจำโปรแกรมคือหน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal data memory) และหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External data memory)

ในการทำงานบางอย่าง เช่น การประมวลผลทางคณิตศาสตร์ที่มีการคำนวณที่ซับซ้อน จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำข้อมูลจำนวนมาก หน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์อาจไม่เพียงพอ ดังนั้นในกรณีที่ต้องใช้หน่วยความจำข้อมูลมากกว่าหน่วยความจำภายในก็สามารถขยายเพิ่มเติมเป็นหน่วยความจำข้อมูลภายนอกและสามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกเพิ่มเติมได้อีก 64 กิโลไบต์ แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C52

ที่มา: Architecture and Programming of 8051 MCUS, 2014

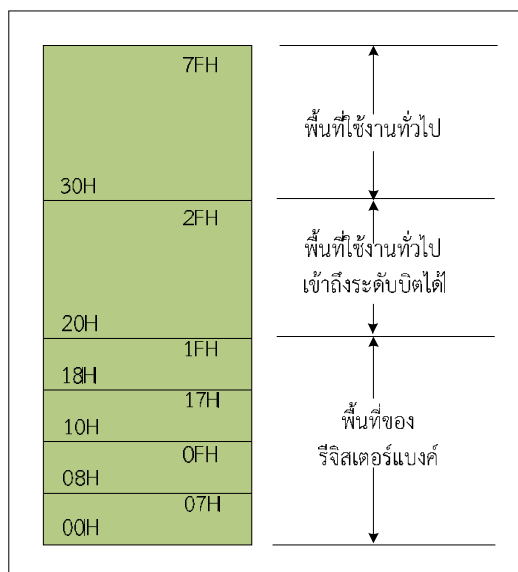
สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในนั้นจะมีขนาดแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่นเบอร์ AT89C51 มี 128 ไบต์ ส่วนเบอร์ AT89C52 มี 256 ไบต์ ซึ่งหน่วยความจำนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนด้วยกันนั่นคือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง (Lower memory) หน่วยความจำส่วนบน (Upper memory) และหน่วยความจำในส่วนของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register)

หน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรายละเอียด ดังนี้

2.4.2.1 หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง

หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งแบบทางตรงและแบบทางอ้อม อยู่ที่แอดเดรส 00H-7FH รวม 128 ไบต์ แสดงดังภาพที่ 2.5 ซึ่งหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างนี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

1) พื้นที่ของเรจิสเตอร์แบงค์ (Bank) มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 00H-1FH จำนวน 32 ไบต์ จากภาพที่ 2.5 และตารางที่ 2.2 จะเห็นว่าเรจิสเตอร์แบงค์มีจำนวน 4 ชุด ชุดละ 8 เรจิสเตอร์คือ R0-R7 การเลือกชุดของเรจิสเตอร์ที่จะใช้งานจะทำได้โดยใช้สถานะของข้อมูล 2 บิตที่อยู่ในเรจิสเตอร์ PSW (Program Status Word)



ภาพที่ 2.5 หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ตารางที่ 2.2 ตำแหน่งของเรจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงก์ต่างๆ

เรจิสเตอร์แบงก์	เรจิสเตอร์	ตำแหน่ง
0	R0-R7	00H-07H
1	R0-R7	08H-0FH
2	R0-R7	10H-17H
3	R0-R7	18H-1FH

2) หน่วยความจำข้อมูลทั่วไป มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 20H-2FH จำนวน 16 ไบต์ แสดงดังภาพที่ 2.6 ซึ่งหน่วยความจำส่วนนี้สามารถอ้างตำแหน่งในลักษณะบิตหรือไบต์ได้ สำหรับการเรียกใช้งานระดับบิตจะมีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 00H-7FH

3) หน่วยความจำข้อมูลทั่วไป มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 30H-7FH จำนวน 80 ไบต์ เป็นหน่วยความจำข้อมูลที่ใช้งานทั่วไปแต่ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้

	MSB				LSB			
2FH	7FH	7EH	7DH	7CH	7BH	7AH	79H	78H
2EH	77H	76H	75H	74H	73H	72H	71H	70H
2DH	6FH	6EH	6DH	6CH	6BH	6AH	69H	68H
2CH	67H	66H	65H	64H	63H	62H	61H	60H
2BH	5FH	5EH	5DH	5CH	5BH	5AH	59H	58H
2AH	57H	56H	55H	54H	53H	52H	51H	50H
29H	4FH	4EH	4DH	4CH	4BH	4AH	49H	48H
28H	47H	46H	45H	44H	43H	42H	41H	40H
27H	3FH	3EH	3DH	3CH	3BH	3AH	39H	38H
26H	37H	36H	35H	34H	33H	32H	31H	30H
25H	2FH	2EH	2DH	2CH	2BH	2AH	29H	28H
24H	27H	26H	25H	24H	23H	22H	21H	20H
23H	1FH	1EH	1DH	1CH	1BH	1AH	19H	18H
22H	17H	16H	15H	14H	13H	12H	11H	10H
21H	0FH	0EH	0DH	0CH	0BH	0AH	09H	08H
20H	07H	06H	05H	04H	03H	02H	01H	00H

ภาพที่ 2.6 หน่วยความจำข้อมูลทั่วไปสามารถอ้างตำแหน่งในลักษณะบิตหรือไบต์ได้

ที่มา: Architecture and Programming of 8051 MCUS, 2014

2.4.2.2 หน่วยความจำส่วนบน

หน่วยความจำส่วนบนมีแอดเดรสอยู่ที่ 80H-0FFH รวม 128 ไบต์ แสดงดังภาพที่ 2.4 เป็นหน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงแบบทางอ้อมได้เท่านั้น สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์บางเบอร์นั้นจะไม่มีหน่วยความจำส่วนบนไว้ให้ เช่นเบอร์ AT89C51 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยความจำส่วนบนอยู่ด้วยเช่นเบอร์ AT89C52 จะมีแอดเดรสของหน่วยความจำส่วนบนและแอดเดรสของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษที่ซับซ้อนกันอยู่ แต่ลักษณะการเข้าถึงจะแตกต่างกันออกไป กล่าวคือ หน่วยความจำ ข้อมูลส่วนบนจะถูกเข้าถึงได้แบบทางอ้อม ในขณะที่หน่วยความจำในส่วนของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษและหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างสามารถเข้าถึงได้แบบทางตรงดังนั้นในกรณีที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนอยู่ด้วย 128 ไบต์ เมื่อนำมารวมกับหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างและหน่วยความจำในส่วนของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยความจำข้อมูลภายในถึง 384 ไบต์

2.5 เรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ

เรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษจะอยู่ในหน่วยความจำแอดเดรสแอดเดรสที่ 80H-FFH โดยเรจิสเตอร์แต่ละตัวจะมีหน้าที่เฉพาะทำงานในลักษณะที่แตกต่างกันไป สามารถจะเรียกใช้ชื่อของเรจิสเตอร์ได้โดยตรงหรืออาจจะเรียกชื่อตามแอดเดรสก็ได้ รายละเอียดของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษแสดงได้ดังตารางที่ 2.3 และภาพที่ 2.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์และรายชื่อของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ

สัญลักษณ์	ชื่อเรจิสเตอร์	ตำแหน่ง
ACC	Accumulator	0E0H
B	B register	0F0H
PSW	Program Status Word	0D0H
SP	Stack Pointer	81H
DPL	Data Pointer Low byte	82H
DPH	Data Pointer High byte	83H
P0	Port 0	80H
P1	Port 1	90H
P2	Port 2	0A0H
P3	Port 3	0B0H
IP	Interrupt Priority Control	0B8H
IE	Interrupt Enable Control	0A8H
TMOD	Timer/Counter Mode Control	89H
TCON	Timer/Counter Control	88H
TH0	Timer/Counter 0 High Byte	8CH
TL0	Timer/Counter 0 Low Byte	8AH
TH1	Timer/Counter 1 High Byte	8DH
TL1	Timer/Counter 1 Low Byte	8BH
SCON	Serial Control	98H
SBUF	Serial Data Buffer	99H
PCON	Power Control	87H

ที่มา: Architecture and Programming of 8051 MCUS, 2014

Byte address	Bit address								SFRs
	MSB				LSB				
0F0H	F7H	F6H	F5H	F4H	F3H	F2H	F1H	F0H	B
0E0H	E7H	E6H	E5H	E4H	E3H	E2H	E1H	E0H	ACC
	CY	AC	FO	RS1	RS0	OV	-	P	
0D0H	D7H	D6H	D5H	D4H	D3H	D2H	D1H	D0H	PSW
	PCT		PT2	PS		PX1	PT0	PX0	
0B8H	BFH	-	BDH	BCH	BBH	BAH	B9H	B8H	IP
0B0H	B7H	B6H	B5H	B4H	B3H	B2H	B1H	B0H	P3
	EAI		ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0	
0A8H	AFH	-	ADH	ACH	ABH	AAH	A9H	A8H	IE
0A0H	A7H	A6H	A5H	A4H	A3H	A2H	A1H	A0H	P2
99H	Not bit addressable								SBUF
	SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI	
98H	9FH	9EH	9DH	9CH	9BH	9AH	99H	98H	SCON
90H	97H	96H	95H	94H	93H	92H	91H	90H	P1
8DH	Not bit addressable								TH1
8CH	Not bit addressable								TH0
8BH	Not bit addressable								TL1
8AH	Not bit addressable								TL0
89H	Not bit addressable								TMOD
	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0	
88H	8FH	8EH	8DH	8CH	8BH	8AH	89H	88H	TCON
87H	Not bit addressable								PCON
83H	Not bit addressable								DPH
82H	Not bit addressable								DPL
81H	Not bit addressable								SP
80H	87H	86H	85H	84H	83H	82H	81H	80H	PC

ภาพที่ 2.7 ตำแหน่งของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ

ที่มา: Architecture and Programming of 8051 MCUS, 2014

สำหรับเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษที่สำคัญมี ดังนี้

1. เรจิสเตอร์ ACC (Accumulator) หรือเรจิสเตอร์ A เป็นเรจิสเตอร์ขนาด 8 บิต และมีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง OE0H สามารถที่จะเข้าถึงข้อมูลในระดับบิตได้ ใช้งานเป็นตัวกระทำร่วมทางคณิตศาสตร์ เช่น การบวก การลบ การคูณและการหาร เป็นต้น และทำหน้าที่เป็นตัวเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์

2. เรจิสเตอร์ B เป็นเรจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง OF0H ใช้ในการกระทำในคำสั่งคูณหรือหารข้อมูล โดยใช้ร่วมกับเรจิสเตอร์ A จะทำหน้าที่เก็บค่าผลลัพธ์ที่เป็นเศษของการหาร และเก็บผลลัพธ์ของค่าผลคูณไบต์บนและยังใช้เก็บข้อมูลทั่วไปได้ในกรณีไม่ได้ทำคำสั่งในการคูณหรือหาร

3. เรจิสเตอร์ PSW (Program Status Word) เป็นเรจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง ODOH ทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้การทำงานของโปรแกรม ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากมีการทำงานในคำสั่งต่างๆ และยังใช้เป็นตัวเลือกตำแหน่งแบริจิสเตอร์ R0-R7 อีกด้วย ผลของบิตต่างๆ สามารถนำไปเป็นเงื่อนไขในการทำงานของโปรแกรมและค่าของบิตต่างๆ ในเรจิสเตอร์ PSW สามารถที่จะเซตหรือเคลียร์ด้วยคำสั่งทางซอฟต์แวร์ได้ แพลกหรือตัวบ่งชี้ของเรจิสเตอร์ PSW อยู่ในตำแหน่งของบิตต่างๆ แสดงดังภาพที่ 2.8

PSW.7	PSW.6	PSW.5	PSW.4	PSW.3	PSW.2	PSW.1	PSW.0
CY	AC	FO	RS1	RS0	OV	-	P

ภาพที่ 2.8 สถานะแฟลกของเรจิสเตอร์ PSW ในระดับบิต

ที่มา: Architecture and Programming of 8051 MCUS, 2014

รายละเอียดการทำงานของตัวบ่งชี้ต่างๆ ของเรจิสเตอร์ PSW ในบิตต่างๆ มีดังนี้

1) ตัวบ่งชี้ CY (Carry Flag) เป็นบิตที่ทำหน้าที่แสดงสถานะของตัวทด เช่น ในกรณีของการบวก หากนำเลข 8 บิต 2 จำนวนมาบวกกัน แล้วปรากฏว่าผลบวกที่ได้มีค่ามากเกิน 8 บิต ก็จะทำให้สถานะของบิต CY ถูกเซตเป็น 1 แต่หากผลบวกไม่เกิน 8 บิตตัวบ่งชี้บอกสถานะที่บิต CY จะยังเป็น 0 และในทำนองเดียวกันจะทำหน้าที่เป็นตัวยืมในกรณีของการลบ โดยทำงานร่วมกับเรจิสเตอร์ A นอกจากนี้ยังสามารถใช้ค่าของ CY เป็นเงื่อนไขในการทำงานของโปรแกรมได้

2) ตัวบ่งชี้ AC (Auxiliary Carry Flag) เป็นแฟลกตัวทดช่วยในกรณีที่มีการบวกเลขสองจำนวน แล้วมีการทศระหว่างบิตที่ 3 ไปบิตที่ 4 ทำให้มีการเซตค่าที่บิต AC เป็น 1

3) ตัวบ่งชี้ FO (Flag 0) เป็นแฟลกใช้งานทั่วไปซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้สถานะของโปรแกรมโดยการเซตหรือรีเซตด้วยโปรแกรม

4) ตัวบ่งชี้ RS1-RS0 (Register Bank Select) เป็นตัวบ่งชี้เพื่อเลือกใช้งานพื้นที่ของกลุ่มเรจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงก์ต่างๆ โดยการกำหนดสถานะที่บิต RS0 และ RS1 ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การกำหนดสถานะที่บิต RS0 และ RS1 เพื่อเลือกใช้งานเรจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงก์ต่างๆ

เรจิสเตอร์	RS0	RS1	ตำแหน่งหน่วยความจำ
แบงก์ 0	0	0	00H-07H
แบงก์ 1	0	1	08H-0FH
แบงก์ 2	1	0	10H-17H
แบงก์ 3	1	1	18H-1FH

5) ตัวบ่งชี้ OV (Overflow Flag) เป็นตัวบ่งชี้เพื่อแสดงสถานการณ์เกิดการล้น ซึ่งจะถูกเซตหรือเคลียร์จากการทำงานของคำสั่งทางคณิตศาสตร์ แล้วเกิดการทดข้ามจากบิตที่ 6 มายังบิตที่ 7 เช่นในการนำเลขสองจำนวนมารวมกันแล้วได้ผลลัพธ์มากกว่า (+) 127 หรือต่ำกว่า (-) 128 ในบิตที่ 7 จะแสดงเป็นบิตสถานะของค่าบวกหรือลบโดยถ้าสถานะเป็น 1 จะเป็นค่าบวก ถ้าสถานะเป็น 0 จะเป็นค่าลบ ดังนั้นเมื่อมีการเกิดการล้นขึ้นจะทำให้แฟล็ก OV ถูกเซตเป็น 1

6) ตัวบ่งชี้ P (Parity Flag) เป็นตัวบ่งชี้เพื่อแสดงสถานะที่ใช้ตรวจสอบจำนวนบิตที่เป็น 1 ในข้อมูลของเรจิสเตอร์ A โดยตัวบ่งชี้ P จะถูกเซตเป็น 1 เมื่อสถานะทั้ง 8 บิตมีเลข 1 เป็นจำนวนคี่และจะถูกเซตเป็น 0 เมื่อสถานะของทั้ง 8 บิตมีจำนวนเลข 1 เป็นจำนวนคู่

4. เรจิสเตอร์ SP (Stack Pointer) เป็นเรจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 81H ใช้ในการเก็บค่าของตัวชี้บอกตำแหน่งแอดเดรส เมื่อรีเซตระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ค่าของเรจิสเตอร์ SP จะถูกกำหนดให้เริ่มต้นชี้ที่แอดเดรส 07H ซึ่งจะเป็นแอดเดรสของเรจิสเตอร์ R7 ในแบงก์ 0 เรจิสเตอร์ SP ทำหน้าที่เป็นตัวชี้บอกแอดเดรสว่าข้อมูลนั้นเก็บไว้ที่ตำแหน่งใดของหน่วยความจำข้อมูล และหลังจากที่นำข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำพื้นที่ๆ จองไว้แล้ว ค่าข้อมูลใน เรจิสเตอร์ SP ก็จะไปยังแอดเดรสใหม่ต่อไป

5. เรจิสเตอร์ DPTR (Data Pointer) เป็นเรจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่ประกอบด้วยเรจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 2 ตัวคือเรจิสเตอร์ DPL และ DPH ซึ่งสามารถเลือกการใช้งานในลักษณะ 8 บิต 2 ตัวหรือ 16 บิต 1 ตัวก็ได้ จะมีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 82H และ 83H ตามลำดับ ใช้สำหรับเป็นตัวชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำหรือตำแหน่งของอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อกับ

6. เรจิสเตอร์ P0-P3 (Port0-Port3) เป็นเรจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ซึ่งพอร์ต P0 มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 80H พอร์ต P1 มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 90H พอร์ต P2 มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 0A0H และพอร์ต P3 มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 0B0H ข้อมูลที่อยู่ในเรจิสเตอร์เหล่านี้จะเป็นค่าเดียวกับค่าของสัญญาณที่ขาต่างๆ ของพอร์ต P0-P3 เป็นเรจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลแบบบิตได้ เป็นพอร์ตแบบ

สองทิศทางคือเป็นได้ทั้งพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต ข้อมูลที่เขียนออกไปจะถูกแลตช์ (Latch) ค้างไว้ที่เรจิสเตอร์เหล่านี้ และปรากฏที่แต่ละบิตของพอร์ต ส่วนการอ่านข้อมูลจากเรจิสเตอร์แต่ละตัวจะเป็นการอ่านสถานะลอจิกที่มีปรากฏอยู่แต่ละขาของพอร์ตนั้นๆ

7. เรจิสเตอร์ SBUF (Serial Data Buffer) เป็นเรจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 99H โครงสร้างจะประกอบด้วยเรจิสเตอร์ 2 ตัวที่มีชื่อเดียวกันโดยตัวหนึ่งสำหรับเก็บข้อมูลที่จะส่งแบบอนุกรมและอีกตัวหนึ่งสำหรับรับข้อมูลแบบอนุกรมที่เข้ามา ในการเขียนข้อมูลเข้าที่เรจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกเขียนไปยังที่สำหรับเก็บข้อมูลสำหรับส่งและเริ่มต้นการส่งข้อมูล ส่วนการอ่านข้อมูลจากเรจิสเตอร์ SBUF จะเป็นการอ่านค่าของข้อมูลที่รับเข้ามาได้

8. เรจิสเตอร์ Timer/Counter เป็นเรจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 2 ตัวใช้สำหรับการเก็บค่าของการนับแบบ 16 บิต สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 จะมี Timer อยู่ 3 ชุดได้แก่ Timer 0 (ประกอบด้วยเรจิสเตอร์ TH0 และ TL0) Timer 1 (ประกอบด้วยเรจิสเตอร์ TH1 และ TL1) และ Timer 2 (ประกอบด้วยเรจิสเตอร์ TH2 และ TL2) ทำหน้าที่เป็นตัวนับและตัวตั้งเวลา การกำหนดการทำงานของ เรจิสเตอร์ Timer ในแบบตัวตั้งเวลาหรือตัวนับทำได้โดยการกำหนดค่าในเรจิสเตอร์ TMOD โดยการทำงานเป็นตัวตั้งเวลาคือการใช้ Timer นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา ส่วนในการทำงานเป็นตัวนับคือการใช้ Timer ทำการนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณที่เข้ามาจากภายนอก

9. เรจิสเตอร์ TMOD (Timer/Counter Mode Control Register) เป็นเรจิสเตอร์ที่มีขนาด 8 บิต อยู่ที่แอดเดรส 89H ทำหน้าที่ควบคุมโหมดการทำงานของเรจิสเตอร์ Timer/Counter

10. เรจิสเตอร์ TCON (Timer/Counter Control Register) เป็นเรจิสเตอร์ที่มีขนาด 8 บิต อยู่ที่แอดเดรส 88H สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเรจิสเตอร์ Timer/Counter

11. เรจิสเตอร์ IP (Interrupt Priority Register) และ IE (Interrupt Enable Register) เรจิสเตอร์นี้เป็นเรจิสเตอร์ที่มีขนาด 8 บิต อยู่ที่แอดเดรส 0B8H และ 0A8H ตามลำดับ ทำหน้าที่กำหนดรูปแบบการทำงานและสถานะของการอินเตอร์รัพท์

12. เรจิสเตอร์ PCON (Power Control Register) เป็นเรจิสเตอร์ที่มีขนาด 8 บิต อยู่ที่แอดเดรส 87H ทำหน้าที่กำหนดรูปแบบการใช้พลังงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยออกแบบมาให้มีรูปแบบการประหยัดพลังงาน 2 รูปแบบคือแบบ Low-power idle และแบบ Power-down

2.6 สรุป

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงโครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างภายในและคุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ การจัดหาและหน้าที่ของขาสัญญาณต่างๆ ความรู้พื้นฐานของหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล และการทำงานของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษอย่างไรก็ตามรายละเอียดของการทำงานของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมและกระบวนการอินเตอร์รัพท์จะได้อธิบายอย่างละเอียดในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องต่อไป

2.7 แบบฝึกหัดท้ายบท

แบบฝึกหัดมีทั้งหมด 4 ข้อ ให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดทุกข้อ

1. ในปัจจุบันมีไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลใดบ้างที่นำมาประยุกต์ใช้งาน อธิบาย
2. จงอธิบายโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C52
3. จงอธิบายโครงสร้างหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C52
4. จงอธิบายการทำงานของเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษต่อไปนี้
 - 4.1) เรจิสเตอร์ A
 - 4.2) เรจิสเตอร์ SP
 - 4.3) เรจิสเตอร์ P0-P3
 - 4.4) เรจิสเตอร์ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์
 - 4.5) เรจิสเตอร์ PCON