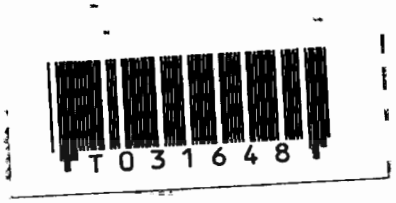
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ



นายกิตติพงษ์ กิ่งกัน

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

ป.ป.
ก1674ช
2541
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....31648
วัน, เดือน, ปี.....19 พ.ย. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experiment setup for studying the motion of object

Mr.Kittipong Kingkun

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Reguirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ชุดทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ
โดย	นายกิตติพงษ์ กิ่งกัน
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา
	ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี
	อ.วิชาญ เตชิตธีระ
	อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

(รศ.สุรพล รักวิจัย)

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

..... ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา)

..... กรรมการ

(ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี)

..... กรรมการ

(อ.วิชาญ เตชิตธีระ)

..... กรรมการ

(อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล)

ลิขสิทธิ์ของ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	**ชุดทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ**
โดย	**นายกิตติพงษ์ กิ่งกัน**
ภาควิชา	**ฟิสิกส์ประยุกต์**
อาจารย์ที่ปรึกษา	**ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา**
	ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี
	อ.วิชาญ เตชิตธีระ
	อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล
ปีการศึกษา	2540

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นการสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยอาศัยหลักการตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ซึ่งทำการลดแรงเสียดทานการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้รางลม (Air Track) และจะใช้โฟโตเกตเป็นตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ และนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (89C2051) แล้วแสดงค่าเวลาออกทางจอ LCD ด้วยความถูกต้อง 0.001 วินาที ในการทดลองจะมีการเปลี่ยนตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการถ่วง และทำการบันทึกผลค่าเวลาที่น้ำหนักต่าง ๆกันทำการคำนวนค่าความเร่งที่ได้จากการทดลอง แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวนได้จากทฤษฎี ได้ผลมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีของนิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Experiment setup for studying the motion of object
Name	Mr. Kittipong Kingkun
Department	Applied Physics
Special Project Adviser	Asst.Prof.Dr.Warawoot Thowladda
	Dr.Ruchapak Jitaree
	Mr.Wichan Techitteera
	Mr.Terawat Pravobphon
Academic Year	1997

abstract

This Special project is the experiment setup for studying the motion of object . By using the basic principle of Newton's law . This project was constructed by using photogate and 89C2051 microcontroller to detect signal and presented on LCD display . The friction of the motion can be reduced by main of Air Track . For accurately experiment we used a great number of different wright . Our calculation value of acceleration . a was nearly direct on Newton's law.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ได้รับความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

ขอขอบคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำสั่งสอน

ขอขอบคุณ สถานการศึกษาแห่งนี้ที่ทำให้มีโอกาสได้รับความรู้อันมากมาย

ขอขอบคุณ พ่อแม่ที่คอยช่วยเหลือในค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

ขอขอบคุณ ความรู้ความสามารถที่ติดตัวมาตั้งแต่กำเนิด

ขอขอบคุณ ความพยายามอันสูงสุดในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

และที่สำคัญยิ่งต้องขอขอบคุณ เครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่ช่วยให้โครงงานพิเศษนี้ออกมาได้อย่างงดงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการพื้นฐาน	
2.1กลศาสตร์	3
2.2จลศาสตร์, ลักษณะของการเคลื่อนที่ของวัตถุ	4
2.3พลศาสตร์ มวลและแรง	6
2.4กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	8
2.5ความโน้มถ่วง	9
2.6ไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.7โครงสร้างของ MCS-51	15
2.8โครงสร้างภายในของ MCS-51	16
2.9พอร์ทของ 8051	18
2.10วงจรล็อคของ 8051	22
2.11ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์	23
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
3.1การทดลองชุดทดลองการเคลื่อนที่	31
3.1.1รางทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ	31
3.1.2ตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ	31
3.1.3ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051	32
3.1.4จอแสดงผล LCD	33
3.2การทำงานของโปรแกรม	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1การทดลอง	35
4.2ผลการทดลอง	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	41
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ข้อเปรียบเทียบระหว่าง Z-80 และ 8051	12
ตารางที่ 2.2	แสดงบริษัทผู้จำหน่าย 4 บิต ไมโครคอนโทรเลอร์	13
ตารางที่ 2.3	แสดงผู้จำหน่าย 8 บิต ไมโครคอนโทรเลอร์	13
ตารางที่ 2.4	แสดงผู้จำหน่าย 16 บิต ไมโครคอนโทรเลอร์	14
ตารางที่ 2.5	แสดงผู้จำหน่าย 32 บิต ไมโครคอนโทรเลอร์	14
ตารางที่ 2.6	รายละเอียดเกี่ยวกับชิพเดี่ยวตระกูล MCS-51 ของบริษัทอินเทล	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมของไมโครโปรเซสเซอร์	10
รูปที่ 2.2 แสดงบล็อคไดอะแกรมของไมโครคอนโทรเลอร์	11
รูปที่ 2.3 (ก) 8051บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51	16
(ข) ตำแหน่งต่าง ๆของรีจีสเตอร์ต่าง ๆ	17
รูปที่ 2.4 การจัดวางขาของ 8051	17
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างพอร์ท 0 (บิต)	18
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของพอร์ท 1 (บิต)	19
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของพอร์ท 2 (บิต)	19
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของพอร์ท 3 (บิต)	20
รูปที่ 2.9 การต่อชารีเซ็ทให้กับ 8051	21
รูปที่ 2.10 วงจรสร้างบล็อกของ 8051	
(ก) Using the on-chip Oscillator	22
(ข) Using the External Clock	22
รูปที่ 2.11 TMOD Timer/Counter Mode Register	23
รูปที่ 2.12 TCON Timer Control Register	24
รูปที่ 2.13 Interrupt Enable Register	25
รูปที่ 2.14 เมื่อโปรแกรมให้ทำงานในโหมด Timer	26
รูปที่ 2.15 Timer (Mode 0) 13-bit timer	28
รูปที่ 2.16 Timer (Mode 1) 16-bit timer	28
รูปที่ 2.17 Timer (Mode 2) 18-bit timer	29
รูปที่ 2.18 Timer (Mode 3)	29
รูปที่ 2.19 ผังการทำงานของ Control Mode	30
รูปที่ 3.1 วงจรตัวตรวจจับสัญญาณ	32
รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาทของโปรแกรม	34
รูปที่ 4.1 แสดงการจัดการทดลอง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาของโครงงานพิเศษ

การพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศนั้นต้องอาศัยพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ดี จึงจำเป็นต้องฝึกให้เยาวชนรู้จักคิดและสร้างประสบการณ์ให้แก่เยาวชนที่เป็นอนาคตของประเทศ แต่เนื่องจากในปัจจุบันนี้ การเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในประเทศไทยนั้นยังต้องมีการสั่งซื้อเครื่องมือหรือชุดอุปกรณ์ทดลองมาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาที่ค่อนข้างสูง จึงเป็นการปิดกั้นโอกาสทางการศึกษาของเยาวชนในการที่จะเรียนรู้ ซึ่งอันที่จริงแล้วเครื่องมือบางอย่างสามารถประดิษฐ์และผลิตได้ภายประเทศของเราเอง ซ้ำยังมีราคาถูกกว่าการสั่งซื้อจากต่างประเทศเป็นอันมาก จึงเป็นโอกาสอันดีที่จะทำให้สถานศึกษาภายในประเทศของเรามีชุดอุปกรณ์ทดลองเหล่านี้ได้ ซึ่งจะทำให้เยาวชนของชาติได้มีแนวคิดและประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่จะนำไปพัฒนาประเทศในอนาคตได้

จุดประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วง
2. สามารถสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุได้
3. ลดค่าใช้จ่ายจากการสั่งซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศ

ขอบข่ายการทำงาน

1. สร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วง
2. ทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ
3. สรุปผลการทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุกับทฤษฎีการเคลื่อนที่ของนิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถทำเป็นชุดทดลองสำหรับการศึกษาได้
2. เป็นพื้นฐานสำหรับความเข้าใจในกฎการเคลื่อนที่
3. ลดค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

พื้นฐานของกลศาสตร์แบบนิวตัน

2.1 กลศาสตร์ (MECHANICS)

เมื่อเรากล่าวว่าวิชาฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์ที่แท้จริง เราหมายความว่ากฎของมันได้แสดงในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งบรรยายและทำนายผลของปริมาณการวัดที่แน่นอน ประโยชน์ของทฤษฎีปริมาณทางฟิสิกส์ไม่เพียงแต่ใช้ในทางปฏิบัติ แต่ยังสามารถทำนายและควบคุมปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้ถูกต้องอีกด้วย โดยการเปรียบเทียบผลการวัดที่แน่นอนกับการทำนายผลหลาย ๆ อย่างของทฤษฎีก็จะทำให้เราทราบว่าทฤษฎีนั้นถูกต้องหรือไม่ และสามารถตัดสินใจได้ว่าควรจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขอย่างไรบ้าง การอธิบายเหตุการณ์หนึ่งสามารถอธิบายออกได้เป็นหลายลักษณะเสมอ และถ้าเป็นเช่นนั้นแล้วการตัดสินใจว่าทฤษฎีถูกต้องก็จะทำได้อย่างลำบาก แต่ถ้าทฤษฎีใดสามารถให้ผลการวัดที่สามารถคาดคะเนตัวเลขที่สำคัญถึง 4 หรือ 5 ตัว ทฤษฎีนั้นก็อาจจะไม่ผิดไปจากความจริงมากนัก อย่างไรก็ตามมีหลายกรณีด้วยกัน ที่ผลการวัดระหว่างทฤษฎีและความถูกต้องต่างกันเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจจะมีการพัฒนาไปสู่ทฤษฎีใหม่ ๆ ขึ้นมาได้ ข้อแตกต่างเพียงเล็กน้อยนี้บางครั้งไม่อาจตรวจพบได้ ถ้าเรามีความพอใจกับเหตุการณ์ที่ปรากฏออกมา

สัญญลักษณ์ที่ปรากฏในสมการที่แสดงถึงกฎทางวิทยาศาสตร์จะต้องแทนด้วยปริมาณซึ่งสามารถแสดงในเทอมของตัวเลข ดังนั้นแนวความคิดที่ถูกต้องเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์จะถูกพัฒนาจนสามารถให้ความหมายเป็นจำนวนที่แน่นอน ถ้าเราให้นิยามของปริมาณ (เช่นมวล) ซึ่งระบุอย่างแน่นอนว่าค่าปริมาณนั้น ๆ กำหนดในทุกกรณีอย่างไร การสังเกตคุณลักษณะของความหมายของมันอาจจะเป็นประโยชน์ แต่ไม่เพียงพอเท่ากับนิยาม ในด้านข้อเท็จจริงมันไม่น่าจะเป็นไปได้ที่จะให้นิยามที่แน่นอนเหมาะสมของทุก ๆ แนวความคิดปรากฏในทฤษฎีทางฟิสิกส์ แม้กระนั้นเมื่อเราเขียนลงในสมการทางคณิตศาสตร์โดยสมมติว่าสัญญลักษณ์ที่ปรากฏในสมการมีความหมายแน่นอน และพยายามทำให้ชัดเจนและแน่นอนเท่าที่จะเป็นไปได้ และจดจำหัวข้อหรือจุดที่ไม่แน่นอนไม่ชัดเจน บางครั้งแนวความคิดใหม่สามารถจะให้นิยามในเทอมของความหมายอื่นซึ่งเป็นที่รู้จักโดยไม่มีปัญหา ตัวอย่างเช่น

โมเมนตัม = มวล X ความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นนิยามที่ถูกต้องและสมบูรณ์ของ " โมเมนตัม " โดยหาจาก " มวล " และ " ความเร็ว " แต่นิยามประเภทนี้จะใช้ไม่ได้ในทุกรูปแบบของทฤษฎี นอกเสียจากว่าเราจะเริ่มต้นจากแนวความคิดขั้นต้นซึ่งทราบความหมายอยู่แล้ว แนวความคิดแรกที่นำมาใช้ในทฤษฎีในทฤษฎีจะไม่สามารถนำมาใช้ในกรณีนี้ นอกเสียจากว่าเราไม่ทราบจะเอาอะไรมาใส่ไว้ทางขวามือของสมการ ความหมายนี้สามารถเข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยวิธีการซึ่งมีอยู่นอกทฤษฎีทางฟิสิกส์ เช่น เราจะใช้นิยามอันหนึ่งครั้งแล้วครั้งเล่าจนเข้าใจความหมายนั้นอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับเด็กที่เริ่มหัดพูดหรือนักฟิสิกส์ใหม่ก็เช่นกัน เราอาจจะได้นิยามของเทอมทั้งหมดอย่างคร่าว ๆ จากการสังเกตและการทดลอง โดยทั่วไปแล้วหน่วยของจำนวนที่สามารถวัดได้ เช่น แรง , มวล และอื่น ๆ อาจจะถูกนิยามด้วยวิธีการอย่างหนึ่งอย่างใดเพื่อทำการวัดหน่วยนั้น หรือในขั้นต้นนั้น เราอาจจะให้นิยามอย่างคร่าว ๆ หลังจากนั้นจึงมีการตัดสินใจเกี่ยวกับความหมายนั้น โดยการใช้กฎและหลักฐานที่เรากำหนดขึ้นเพื่อแสดงผลของทฤษฎีในรูปแบบของการทดลอง ข้อเสียข้อหนึ่งก็คือเราไม่สามารถแน่ใจได้เลยว่าแนวความคิดของเรานั้นถูกต้อง จึงต้องอาศัยประสบการณ์ช่วยในการตัดสินใจ

ตามประวัติศาสตร์ กลศาสตร์เป็นจุดเริ่มต้นสาขาหนึ่งของฟิสิกส์และพัฒนามาเป็นศาสตร์ที่แท้จริง กฎของคานและกฎของของไหลในสภาวะสถิตเป็นที่รู้จักของนักวิทยาศาสตร์ชาวกรีกก่อนศตวรรษที่ 3 ของคริสตศักราช การพัฒนาอย่างมากมายของวิชาฟิสิกส์ในสามร้อยปีที่ผ่านมา เริ่มต้นโดยการค้นพบกฎของกลศาสตร์ (The law of mechanics) โดยกาลิเลโอและนิวตัน กฎของกลศาสตร์ กำหนดสูตรโดยนิวตัน ในกลางศตวรรษที่ 17 กฎของไฟฟ้าและแม่เหล็กแมกซ์เวลล์ (Jame clerk maxwell) เป็นผู้กำหนดสูตรในประมาณ 200 ปีต่อมา หลังจากนั้นก็กลายเป็นทฤษฎีพื้นฐานของฟิสิกส์ยุคเก่า (classical physics) รีเลทิวิสติก(Relativistic) ฟิสิกส์เริ่มต้นจากผลงานของไอสไตน์ ในปี คศ. 1905 และฟิสิกส์ควอนตัม (Quantum physics) มีพื้นฐานจากการทดลองของ ไฮเซนเบิร์ก(Heisenberg) และ โชดิงเจอร์(Schroedinger) ในปี คศ. 1925 – 1926 ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงและกำหนดกฎเกณฑ์ของกลศาสตร์ และ อิเลคโตรไดนามิก ในแบบความคิดของฟิสิกส์ยุคใหม่ อย่างไรก็ตามฟิสิกส์ยุคใหม่ก็ยังมีพื้นฐานของฟิสิกส์ยุคเก่า และยังคงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจหลักของกลศาสตร์และ electrodynamics แบบเก่าในการศึกษาเกี่ยวกับ รีเลทิวิสติกและฟิสิกส์ควอนตัม ยิ่งไปกว่านั้นกฎของกลศาสตร์ยังสามารถประยุกต์ไปใช้ทางวิศวกรรมศาสตร์และดาราศาสตร์ได้อีกด้วย นอกเสียจากว่าความเร็วของวัตถุหรืออนุภาคมีความเร็วใกล้เคียงหรือมากกว่าความเร็วของแสง หรือเมื่อวัตถุมีขนาดใหญ่มากหรือมีระยะทางมาก ๆ มาเกี่ยวข้อง กลศาสตร์ รีเลทิวิสติก จะให้ผลบางอย่างเหมือนกับกลศาสตร์แบบเก่าที่จริงมันต้องเป็นเช่นนั้นเพราะว่าเรารู้จากประสบการณ์ว่ากลศาสตร์แบบเก่าให้ผลที่ถูกต้องในกรณีปกติ ในทำนองเดียวกันกลศาสตร์ควอนตัม (quantum mechanics) ก็เกี่ยวกับกลศาสตร์แบบเก่าด้วย ยกเว้นเมื่อเรานำไปประยุกต์ใช้กับระบบขนาดโมเลกุลหรือเล็กกว่านี้ ตามความจริงแล้วหลักการขั้นพื้นฐานในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดสูตรใหม่ของทฤษฎีทางฟิสิกส์นั้นจำเป็นจะต้องสอดคล้องกับทฤษฎีเก่า เมื่อนำไปใช้กับเหตุการณ์ซึ่งทฤษฎีเก่าเคยพิสูจน์ว่าถูกต้องมาก่อนแล้ว

กลศาสตร์เป็นการศึกษาเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุ กลศาสตร์อาจแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ จลศาสตร์ (kinematics) , พลศาสตร์ (dynamics) , และสถิตศาสตร์ (statics) จลศาสตร์เป็นการศึกษาและบอกลักษณะของการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ของวัตถุ พลศาสตร์เป็นการศึกษากฎที่ใช้กำหนดการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นไปได้ในระหว่างการเคลื่อนที่ทุกกรณีที่กำหนด ในทางพลศาสตร์เราจะมีแนวความคิดเกี่ยวกับแรง ปัญหาการเคลื่อนที่แบบพลศาสตร์ คือ การกำหนดระบบทางฟิสิกส์สำหรับการเคลื่อนที่ภายใต้การกระทำของแรงที่กำหนด สถิตศาสตร์เป็นการศึกษาเรื่องของแรงและระบบของแรง โดยที่ระของแรงกระทำต่อวัตถุที่หยุดนิ่ง

2.2 จลศาสตร์ , ลักษณะของการเคลื่อนที่ (KINEMATICS , THE DESCRIPTION OF MOTION)

กลศาสตร์เป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุ สิ่งแรกเราจึงต้องอธิบายลักษณะของการเคลื่อนที่ เป็นการง่ายที่จะอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคเดี่ยว นั่นคือ ขนาดและโครงสร้างภายในของวัตถุไม่เป็นปัญหาสำหรับการพิจารณา ตัวอย่าง เช่น โลกเราซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นอนุภาคเดี่ยว สำหรับปัญหาการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ แต่ไม่ถูกต้องเสมอไปสำหรับปัญหาบนผิวโลก เราสามารถอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่เกี่ยวกับตำแหน่งของอนุภาคโดยการระบุจุดในสเปซซึ่งทำได้โดยกำหนดโคออดิเนตขึ้นมา 3 ตัวในแกนที่เราใช้กันเป็นส่วนใหญ่ คือ เรคแทนกูล่า โคออดิเนต สำหรับอนุภาคที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เราใช้โคออดิเนตเพียง 1 ตัวเท่านั้น เราระบุโคออดิเนตในลักษณะฟังก์ชันของเวลา กล่าวคือ

$$\begin{aligned} &1 - \text{มิติ:} && x(t) \\ &2 - \text{มิติ:} && x(t)\,,\ y(t) \\ &3 - \text{มิติ:} && x(t)\,,\ y(t)\,,\ z(t) \end{aligned} \qquad (2.1)$$

ปัญหาพื้นฐานของกลศาสตร์แบบเก่า คือ การหาวิธีที่จะกำหนดฟังก์ชั่นซึ่งระบุตำแหน่งของวัตถุในรูปฟังก์ชั่นของเวลา ความหมายทางฟิสิกส์เกี่ยวกับฟังก์ชั่น $x(t)$ คือ การกำจัดกฎที่จะบอกว่าเราวัดโคออดิเนต x ของอนุภาคในเวลา t ได้อย่างไร สมมติว่าเราทราบความหมายของ $x(t)$ เราสามารถหาความเร็ว v_x ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของเวลา t ในแนวแกน x ได้ คือ

$$v_x = \dot{x} = dx/dt \qquad (2.2)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$v_y = \dot{y} = dy/dt \ , \ v_z = \dot{z}\ dz/dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนนี้เราสามารถหาความเร่งในแต่ละแกน คือ a_x , a_y , a_z ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของความเร็วของแต่ละแกนเทียบกับเวลา กล่าวคือ

$$a_x = v_y = \frac{dv_x}{dt} = \dot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$a_y = v_y = \frac{dv_y}{dt} = \dot{x} = \frac{d^2z}{dt^2} \qquad (2.3)$$

$$a_z = v_z = \frac{dv_z}{dt} = \dot{x} = \frac{d^2z}{dt^2}$$

การนำระบบโคออดิเนตมาใช้ เราต้องคำนึงความเหมาะสมเกี่ยวกับรูปร่างของวัตถุหรืออนุภาคว่าอยู่ในลักษณะอย่างไร มีการเคลื่อนที่แบบไหน ไม่จำเป็นว่าเราจะต้องใช้ เรคแทนกูล่า โคออดิเนต เสมอไป เพราะบางครั้ง เรคแทนกูล่า โคออดิเนต อาจไม่สะดวกที่จะใช้ได้ เราจึงต้องใช้ระบบโคออดิเนตแบบอื่น เช่น ทรงกลม เราใช้ สเฟียริคอล โคออดิเนต เป็นต้น

2.3 พลศาสตร์ มวลและแรง (DYNAMICS. MASS AND FORCE)

จากประสบการณ์ทำให้เราเชื่อว่าการเคลื่อนที่ของวัตถุจะถูกควบคุมโดยอัตรกิริยาระหว่างวัตถุเองและสิ่งที่อยู่รอบ ๆ ตัวมัน การสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์และการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเรียบทำให้เราได้ความคิดว่าการเปลี่ยนความเร็วของวัตถุเกิดขึ้นจากอันตรกิริยาของวัตถุและสิ่งรอบ ๆ ตัวมัน , วัตถุที่อยู่โดดเดี่ยวสำหรับทุก ๆ อัตรกิริยาจะมีความเร็วคงที่ ด้วยเหตุนี้เองการกำหนดกฎทางพลศาสตร์ เราจึงมุ่งความสนใจไปยังความเร่ง

เรามาจินตนาการเกี่ยวกับอันตรกิริยาของวัตถุ 2 อัน และวัตถุที่อยู่โดดเดี่ยวซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาของสิ่งรอบตัวมัน โดยการจินตนาการอย่างสังเขปของเด็กชาย 2 คน ที่มีขนาดคนละขนาด(ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน) เล่นชักกะเย่อกันบนผิวเรียบของน้ำแข็งที่แข็งแกร่ง แม้ว่าไม่มีการกระทำระหว่างวัตถุ 2 อันใด ๆ จะสามารถอยู่ในลักษณะโดดเดี่ยวได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากอันตรกิริยาของวัตถุอื่น ๆ แต่สิ่งนี้ก็เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของจินตนาการสำหรับการยอมรับกฎทางคณิตศาสตร์แบบง่าย ๆถ้าเราวัดโคออดิเนต x_1 และ x_2 ของวัตถุทั้งสองในแนวของความเร่งได้แล้ว

$$\frac{\ddot{x}_1}{\ddot{x}_2} = -k_{12} \qquad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ k_{12} เป็นค่าคงที่ที่เป็นบวกของวัตถุ 2 อันที่เกี่ยวข้องกัน เครื่องหมายลบแสดงถึงความจริงที่ว่าความเร่งทั้งสองจะมีทิศทางตรงกันข้าม

เรายังพบว่าโดยทั่วไปวัตถุที่ใหญ่หรือมีน้ำหนักมาก จะถูกเร่งขึ้นได้น้อยจากความจริงเราทราบว่าอัตราส่วนของ k_{12} เป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของวัตถุที่ 2 ต่อวัตถุที่ 1 และความเร่งจากอันตรกิริยาของวุตถุทั้งสองเป็นสัดส่วนผกผันกับน้ำหนัก สิ่งที่กล่าวมานี้เป็นแนวทางสำหรับที่จะให้ความหมายของคำว่า "มวล" ของวัตถุในเทอมของความเร่ง เราให้วัตถุมาตรฐานเป็นหนึ่งหน่วยของมวลสำหรับมวลของวัตถุอื่นๆ เราหาได้จากอัตราส่วนของความเร่งของหนึ่งหน่วยมวลต่อความเร่งของวัตถุอื่นๆ เมื่อวัตถุทั้งสองนั้นมีอันตรกิริยาต่อกัน :

$$m_I = k_{Ii} = -x_1/x_2 \qquad (2.5)$$

เมื่อ mi เป็นมวลของวัตถุ I, และวัตถุ 1 เป็นหนึ่งหน่วยมวลมาตรฐาน, เพื่อว่าสมการ (2.5) อาจเป็นนิยามที่มีประโยชน์ อัตราส่วน k_{12} ของวัตถุทั้งสองต้องมีข้อกำหนดที่แน่นอน

สิ่งสำคัญอีกอย่างคือ แนวความคิดของมวลที่เป็นอิสระของวัตถุซึ่งถูกกำหนดให้เป็นมวลหนึ่งหน่วยในความหมายที่ว่าอัตราส่วนของมวล 2 มวลจะเป็นอันเดียวกันโดยไม่มีปัญหาว่าหนึ่งหน่วยของมวลจะถูกกำหนดอย่างไร นี่เป็นความจริงเพราะว่าความสัมพันธ์ต่อไปนี้ ได้ค้นพบจากการทดลอง ระหว่างอัตราส่วนของความเร่งซึ่งนิยามโดยสมการ (2.4) ของวัตถุใดๆ 3 อัน คือ

$$k_{12}\, k_{23}\, k_{31} = 1 \qquad (2.6)$$

สมมติว่าวัตถุ 1 เป็นหนึ่งหน่วยของมวล ดังนั้นวัตถุ 2 และวัตถุ 3 จะมีอันตรกิริยาซึ่งกันและกัน เราหาความสัมพันธ์นี้ได้จากสมการ (2.4), (2.6), และ (2.5) ดังนี้

$$x_2/x_3 = -k_{23} \qquad (2.7)$$

ในที่สุดจะไม่มีการกล่าวถึงวัตถุ 1 ซึ่งเป็นมวลหนึ่งหน่วยมาตราฐาน ด้วยเหตุนี้อัตราส่วนของมวล 2 มวลใดๆจึงเป็นลบ และผกผันกับอัตราส่วนของความเร่ง โดยไม่เกี่ยวข้องกับมวลหนึ่งหน่วยที่กำหนด

จากสมการ (2.7) เราได้อันตรกิริยาระหว่างมวล 2 มวลเป็น

$$x_2/x_3 = -k_{23}$$

$$= -1(k_{12}k_{31})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \quad -k_{12}/k_{31}$$

$$= \quad -m_3/m_2$$

นี่คือ ปริมาณที่สำคัญ (มวล x ความเร่ง) และเราเรียกปริมาณนี้ว่าเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ ความเร่งของวัตถุในสเปซซึ่งมี 3 องค์ประกอบ แต่ละองค์ประกอบของแรงที่กระทำต่อวัตถุคือ

$$m_2X_2 \quad = \quad m_1X_1 \qquad (2.8)$$

แรงที่กระทำต่อวัตถุมีหลายชนิด เช่น แรงทางไฟฟ้า, แรงแม่เหล็ก, แรงโน้มถ่วง เป็นต้น

$$F_x \quad = \quad mX,\ F_y \quad = \quad my,\ F_z \quad = \quad mz \qquad (2.9)$$

2.4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (NEWTON'S LAWS OF MOTION)

นิวตัน (Sir Isaac Newton, คศ. 1642-1727) เป็นคนแรกที่สรุปกฎที่เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ไว้ 3 ข้อ โดยอาศัยการสังเกตของเขาและผู้อื่นประกอบ และเราเรียกกฎนี้ว่า "กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน" ซึ่งมีใจความดังนี้

1. อนุภาคอิสระจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยอัตราเร็วคงตัวหรือมิฉะนั้นก็อยู่นิ่งกับที่ (ความเร็วเป็นศูนย์)
2. อัตราเวลาของการเปลี่ยนโมเมนตัมของอนุภาคย่อมเท่ากับแรงที่กระทำบนอนุภาคนั้น
3. เมื่ออนุภาค 2 อนุภาคกระทำระหว่างกัน แรงบนอนุภาคหนึ่งย่อมเท่ากันและตรงกันข้ามกับแรงบนอีกอนุภาคหนึ่ง

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเราสรุปในรูปของสัญลักษณ์ได้ดังนี้

กฎข้อที่ 1 : $\vec{F} = 0$ เมื่อ $\vec{F} = 0$

กฎข้อที่ 2 : $\vec{F} = m\vec{a}$ หรือ $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

กฎข้อที่ 3 : $\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21}$

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันทั้งสามข้อนี้ จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อกรอบอ้างอิงเป็นกรอบอ้างอิงอินเนอร์เชียหรือกรอบอ้างอิงเฉื่อย (inertial frame of reference) และความเร็วของอนุภาคจะต้องไม่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 ของความเร็วแสง อาจสงสัยว่าทำไมนิวตันจึงต้องเขียนกฎข้อที่ 1 แยกออกจากกฎข้อที่ 2 ถ้าพิจารณาดูให้ดีจะเห็นว่ากฎข้อที่ 1 กรอบอ้างอิงของผู้สังเกต คือ กรอบอ้างอิงอินเนอร์เชียเท่านั้นที่กฎข้อที่ 1 จะเป็นจริง จึงอาจถือว่ากฎข้อที่หนึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตการใช้กฎข้อที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นความจริงในขอบเขตนั้น กฎข้อที่ 2 ยังอาจถือเป็นนิยามของแรงและมวลให้เป็นปริมาณทางกายภาพที่ชัดเจนอีกด้วย แทนที่จะคิดเพียงว่าแรงคือการดึงหรือผลักและมวลคือสมบัติของความเฉื่อยเท่านั้น จากกฎข้อที่ 2 นี้เราอาจกล่าวได้ว่า แรงคือสิ่งซึ่งเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำตามลำพังจะทำให้มวลมีความเร่งได้ ขนาดของแรงวัดได้จากความสัมพันธ์ตามกฎข้อที่ 2 ส่วนโมเมนตัมในกฎข้อที่ 2 นั้น เราหาได้จากสมการในแต่ละแกนดังนี้

$$P_x = mv_x \ , \ P_y = mv_y \ , \ P_z = mv_z \qquad (2.10)$$

เมื่อ P_x, P_y, P_z และ v_x ,v_y ,v_z เป็นโมเมนตัมและความเร็วในแกน x, แกน y และแกน z ตามลำดับ

กฎข้อที่ 3 เกี่ยวกับสมมาตรใยธรรมชาติของแรงระหว่างวัตถุ ดังเช่นโลกดึงดูดดวงจันทร์ด้วยแรงเท่าใด ดวงจันทร์ดึงดูดโลกด้วยแรงเท่ากัน ความจริงข้อนี้มีความสำคัญ เช่นการคงที่ของโมเมนตัมในการชนกันเกี่ยวข้องโดยตรงกับกฎข้อนี้ของแรง

2.5 ความโน้มถ่วง (GRAVITATION)

เราพอจะทราบว่าการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์และการตกของวัตถุบนโลกอาจเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุที่ดึงดูดซึ่งกันและกัน ผู้ที่กำหนดทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ของปรากฏการณ์นี้เป็นคนแรกคือนิวตัน นิวตันได้แสดงโดยวิธีที่พิจารณาภายหลังว่า การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์อาจจะนับหาปริมาณได้ ถ้าสมมติว่าทุก ๆคู่ของวัตถุมีแรงกระทำร่วมกันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลและเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสองยกกำลังสอง

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \qquad (2.11)$$

เมื่อ m1, m2 เป็นวัตถุทั้งสอง, r เป็นระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสอง , และ G คือค่านิจโน้มถ่วง ซึ่งจากการทดลองมีค่าเป็น

$$G = (6.675 \quad 0.005) * 10^{-8} \ cm^3 - sec^{-2} \ g^{-1} \qquad (2.12)$$

กรณีของวัตถุเล็ก ๆมวล m ที่ใกล้ ๆผิวโลกหรือที่ผิวโลก แรงโน้มถ่วงคือ

$$F = mg \qquad (2.13)$$

เมื่อ

$$g = \frac{GM}{R^2} = 980.2 \quad cm - sec^{-2}$$

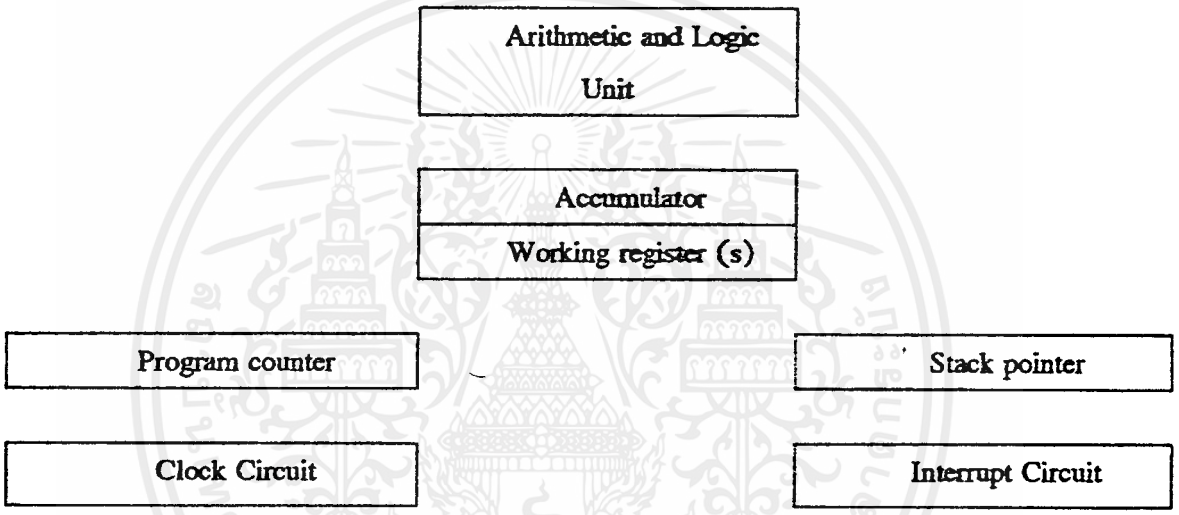
โดยที่ M เป็นมวลของโลก และ R เป็นรัศมีของโลก ปริมาณ g เป็นขนาดของความเร่ง เราสามารถแสดงจากสมการ (2.11) และ (2.13) ว่าวัตถุที่ตกลงมาอย่างอิสระบนผิวโลกตกลงมาด้วยความเร่ง g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (2.13) ให้ความสะดวกในทางปฏิบัติโดยการวัดมวลมากกว่า การพิจารณาจุดกำเนิดของนิยาม (1.5) เราอาจจะวัดมวลได้โดยหาแรงโน้มถ่วงของมันจากตาชั่ง หรือโดยการเปรียบเทียบแรงโน้มถ่วงบนวัตถุกับมวลมาตราฐานด้วยวิธีทำให้สมดุลหรือนำไปชั่ง

2.6 ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีขนาดเล็กมากกินไฟน้อย (สมัยก่อน โปรเซสเซอร์ทำด้วยหลอดสูญญากาศมีขนาดใหญ่มาก) โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังแสดงใน รูปที่ 2.1



รูป 2.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมของไมโครโปรเซสเซอร์

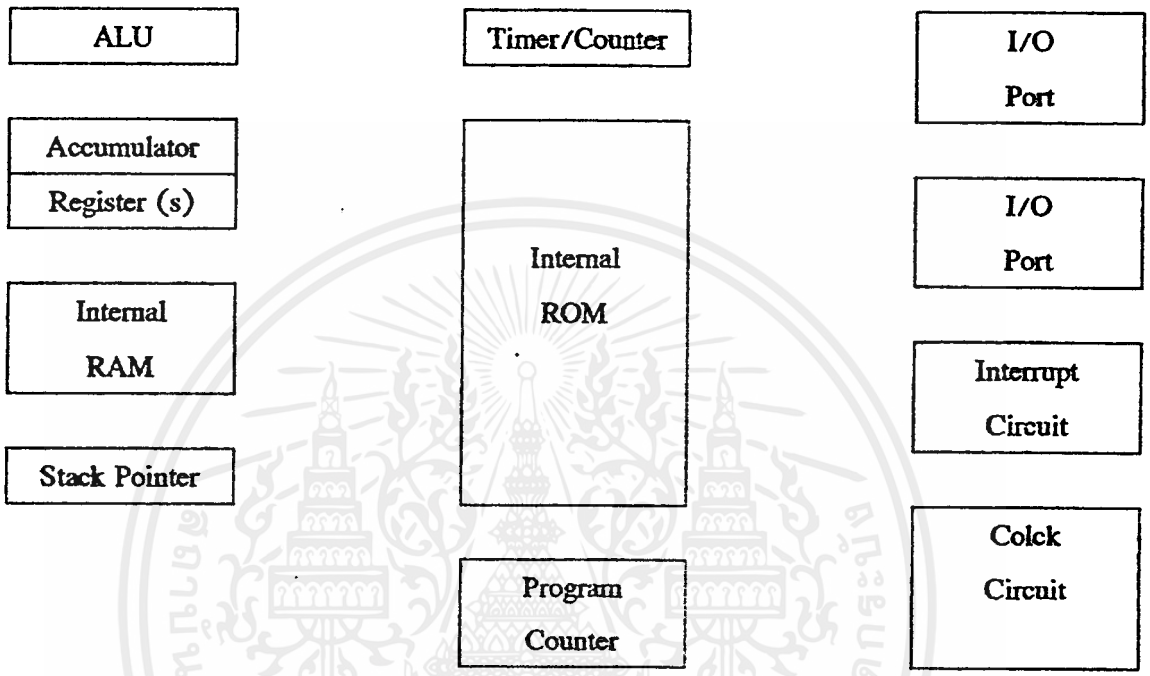
จากรูปที่ 2.1 แสดงถึงบล็อคไดอะแกรมของไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งประกอบด้วย

- หน่วยตรรกทางคณิตศาสตร์(ALU)
- โปรแกรมเคาท์เตอร์ (Program counter ,PC)
- ตัวชี้แสตก (Stack pointer ,SP)
- รีจิสเตอร์ที่ใช้งาน (Working registers)
- วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา
- วงจรอินเทอร์รัพท์ (Interrupt Circuit)

ซึ่งจะเห็นว่า ถ้านำไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้งาน ต้องนำมาต่อกับหน่วยความจำไอโอพอร์ท ไทม์เมอร์เคาท์เตอร์ ซึ่งจะเห็นว่าจำทำให้บอร์ดมีขนาดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็คือไมโครโปรเซสเซอร์ที่รวมเอาส่วนของหน่วยความจำไอโอ พอร์ท ไทม์เมอร์เคาท์เตอร์ มาบรรจุไว้ในชิพเดี่ยวมีชื่อเรียกว่า ซิงเกิลไมโครคอนโทรลเลอร์ (Single Chip Microcontrollers) ซึ่งมีบล็อคไดอะแกรมดังรูป 2.2



รูป 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

จะเห็นได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบไปด้วย

- ALU
- แอคคิวมูเลเตอร์ (ACC)
- รีจีสเตอร์
- แรมภายใน (Internal RAM)
- สแตคพอยเตอร์ (SP)
- อินเทอนอลรอม (Internal ROM)
- โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)
- ไอโอพอร์ท (I/O Port)
- วงจรอินเตอร์รัพต์ (Interrupt Circuit)
- วงจรคล็อค (Colck Circuit)
- ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ (Timer/Counter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเปรียบเทียบระหว่าง Z-80 และ 8051

Z-80 เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิต ซึ่งผลิตโดยบริษัทไซลอก ส่วน 8051 เป็นชิงเกิลชิพ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดยบริษัทอินเทลมีข้อแตกต่างดังนี้

	Z80	8051
Pin Configurations		
Total pins	40	40
Address pins	16 (fixed)	16
Data pins	8(fixed)	8
Interrupt pins	2(fixed)	2
I/O pins	0	32
Architecture		
8-bit Registers	20	34
16-bit Registers	4	2
Stack size	64K	128
Internal ROM	0	4K bytes
Internal RAM	0	128 bytes
External memory	64K	128K bytes
Flags	6	4
Timers	0	2
Parallel port	0	4
Serial port	0	1
Instruction Sets		
(types/Veriations)		
External moves	4/14	2/6
Block moves	2/4	0
Bit mainpulate	4/4	12/12
Jump on bit	0	3/3
Stack	3/15	2/2
Single Byte	203	49
Multi-byte	490	62

ตารางที่ 2.1 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง Z-80 และ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์

4 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

มีผลิตจำหน่ายอยู่หลายบริษัทด้วยกันดังนี้คือ

			ROM	RAM	
Manufacturer:Model	Pins:I/O	Counters	(bytes)	(bytes)	Other Features
Hitachi : HMCS40	28:10	-	32	512	10-bit ROM
National : COP420	28:23	1	64	1K	Serial bit I/O
OKI : MSM6411	16:11	-	32	1K	
TI : TMS 1000	28:23	-	64	1K	LED display
Toshiba : TLCS47	42:35	2	128	2K	Serial bit I/O

ตาราง 2.2 แสดงบริษัทผู้จำหน่าย 4 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

8 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

มีผลิตจำหน่ายอยู่หลายบริษัทด้วยกันดังนี้คือ

			ROM	RAM	
Manufacturer:Model	Pins: I/O	Counters	(bytes)	(bytes)	Other Features
Intel : 8048	40:27	1	64	1K	External memory to 8 K
Intel : 8051	40:32	2	128	4K	External memory to 128 K ;serial port
National : COP820	28:24	1	64	1K	Serial bit I/O
Motorola : 6805	28:20	1	64	1K	
Motorola : 68HC11	52:40	2	256	8K	Serial ports;A/D;WDT
Rockwell : 6500/1	40:32	1	64	2K	
Signetics :87C552	68:48	3	256	8K	Serial ports;A/D;WDT
TI : TMS7500	40:32	1	128	2K	External memory to 64K
TI : TMS370C050	68:55	2	256	4K	External memory to 112 K ;A/D;serial ports;WDT
Zilog : Z8	40:32	2	128	2K	External memory to 124 K ;serial port
Zilog : Z8820	44:40	2	272	8K	External memory to 128 K ;serial port

ตาราง 2.3 แสดงผู้จำหน่าย 8 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

มีผลิตจำหน่ายอยู่หลายบริษัทด้วยกันดังนี้คือ

			ROM	RAM	
Manufacturer:Model	Pins: I/O	Counters	(bytes)	(bytes)	Other Features
Hitachi : H8/532	84:65	5	1K	32K	Externalmemoryto1MB;serial port;A/D;pulse width modulation
Intel : 8096	68:40	2	232	8K	Externalmemoryto64K;serialport;A/D;WDT; pulse width modulation
National : HPC16164	68:52	4	512	16K	External memory to 64K ;serialport;A/D;WDT;pulse width modulation

ตาราง 2.4 แสดงผู้จำหน่าย 16 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

32 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

บริษัทอินเทลได้ผลิตเบอร์ 80960 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

Hardware Features	Software Features
132-pin ceramic package	Efficient procedure calls
20 megahertz clock	Fault-handlinng capability
32-bit bus	Trace events
Floating-point unit	Global registers
512-byte instuctionn cache	Efficient interrupt vectors
Interrupt control	Versatile Addressing

ตาราง 2.5 แสดงผู้จำหน่าย 32 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

การพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

การพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเป็นต้องพัฒนาทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ ในส่วนฮาร์ดแวร์ ได้พัฒนาในส่วนของความจำ รอม มาเป็น อีพีรอม และอีสแคว์พรอม เพื่อสะดวกในการทำโปร โตไทพ์ (Prototype) และได้ส่วนของการพัฒนาโปรแกรมก็ได้ทำการพัฒนาหันมาใช้ภาษาระดับสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 โครงสร้างของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล MCS-51 นี้ผลิตโดยบริษัทอินเทลมีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6

Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-Bit I/O Ports	16-Bit Timer/ Counters	Programmable Counter Array (PCA)	UART	Serial Extension Port (SEP)	Queued Serial Channels (QSCI)	D/A Channels	A/D Channels	Interrupt Sources/ Vectors	Power Down and Idle Modes
8051	8031	—	4K	128	4	2		✓					5/5	
8051AH	8031AH	8751H 87518H	4K	128	4	2		✓					6/5	
8052AH	8032AH	87528H	8K	256	4	3		✓					3/6	
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	2		✓					6/5	✓
80C52	80C32	—	8K	256	4	3		✓					7/6	✓
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C51FB	80C51FA	87C51FB	16K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C152JA	80C152JA	—	1K	256	5	2		✓		✓	✓		13/11	✓
—	80C152JB	—	—	256	7	2		✓		✓	✓		13/11	✓
83C152JC	80C152JC	—	8K	256	5	2		✓		✓	✓		13/11	✓
—	80C152JD	—	—	256	7	2		✓		✓	✓		13/11	✓
83C452	80C452	87C452P	8K	256	5	2		✓					3/8	✓

ตาราง 2.6 รายละเอียดเกี่ยวกับชิพเดี่ยวตะกูล MCS-51 ของบริษัทอินเทล

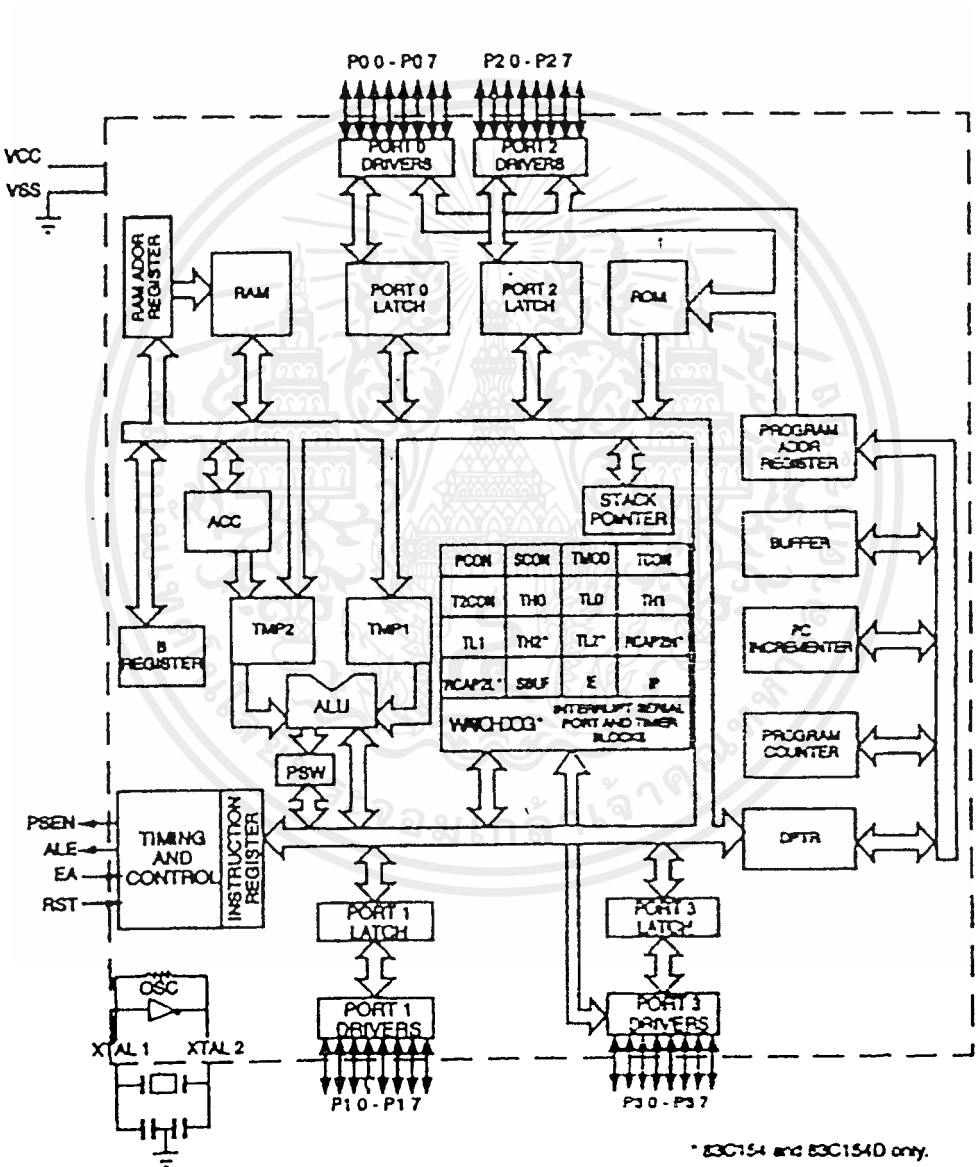
คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5V ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์8051 และ 8031, 8032 ไม่มีหน่วยความจำชุดนี้ ส่วน 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับ 8052 มีถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและดาต้า (Program Memory และ Data Memory แยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์)
- คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 1 μs เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 เมกกะเฮิร์ต
- มี ไทม์เมอร์/เคาท์เตอร์ ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวคเตอร์
- มีพอร์ทรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2พอร์ท ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกันได้ (Full Duplex) เลือกรูปแบบการส่งข้อมูลได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งในการทำ แอน, ออ หรือ คอมพลีเมนท์ ได้ทั้งแบบ 8 บิต และ 1 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

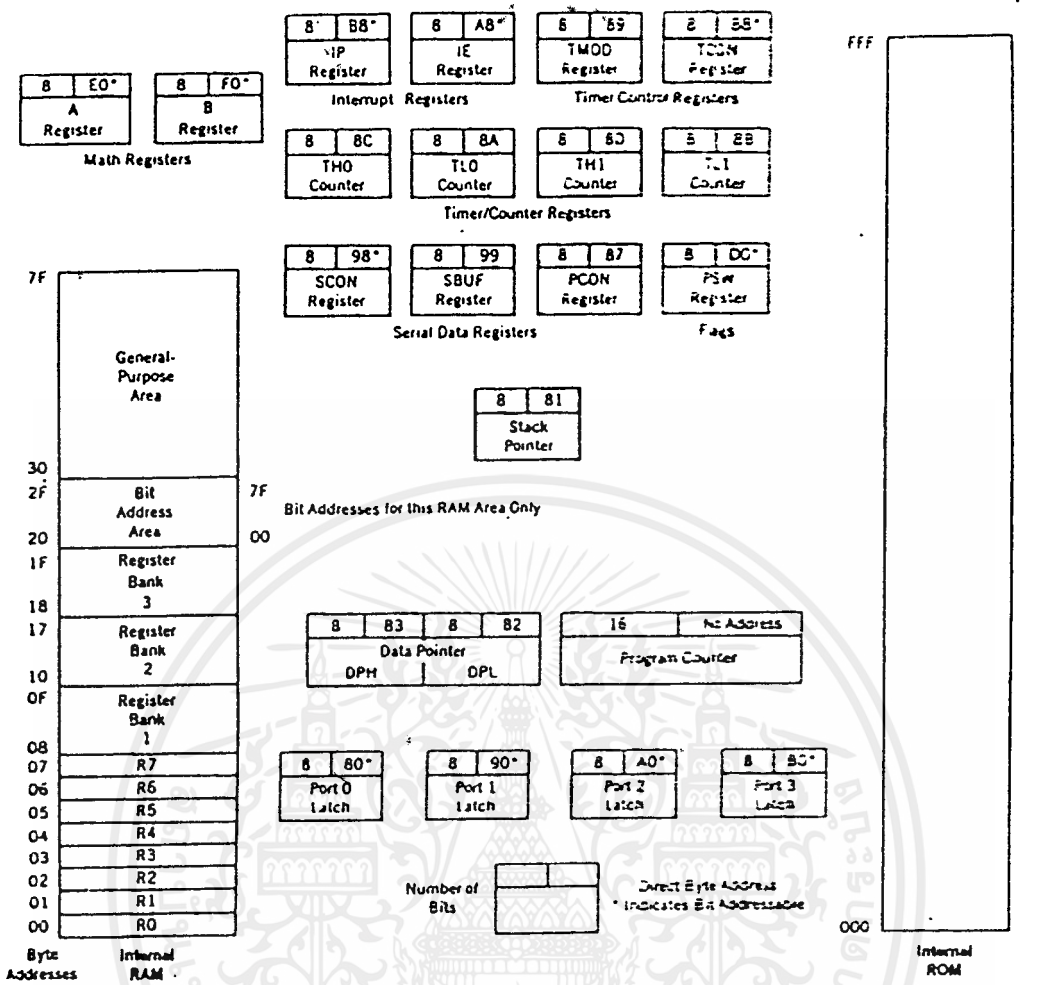
2.8 โครงสร้างภายในของ 8051

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี รอมเบสิค อยู่ภายในจึงสะดวก สำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิกโครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังแสดงในรูป 2.3 (ก) และ 2.3 (ข)

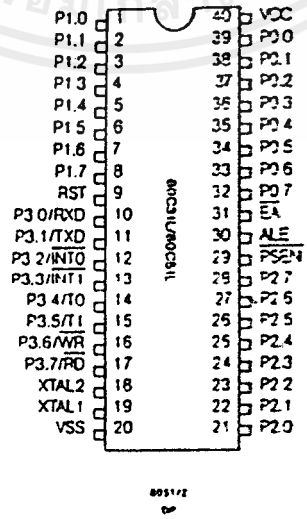


รูป 2.3 (ก) 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 (ข) ตำแหน่งต่าง ๆ ของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำเพื่อใช้ประกอบในการเขียนโปรแกรม



รูป 2.4 การจัดวางขาของ 8051

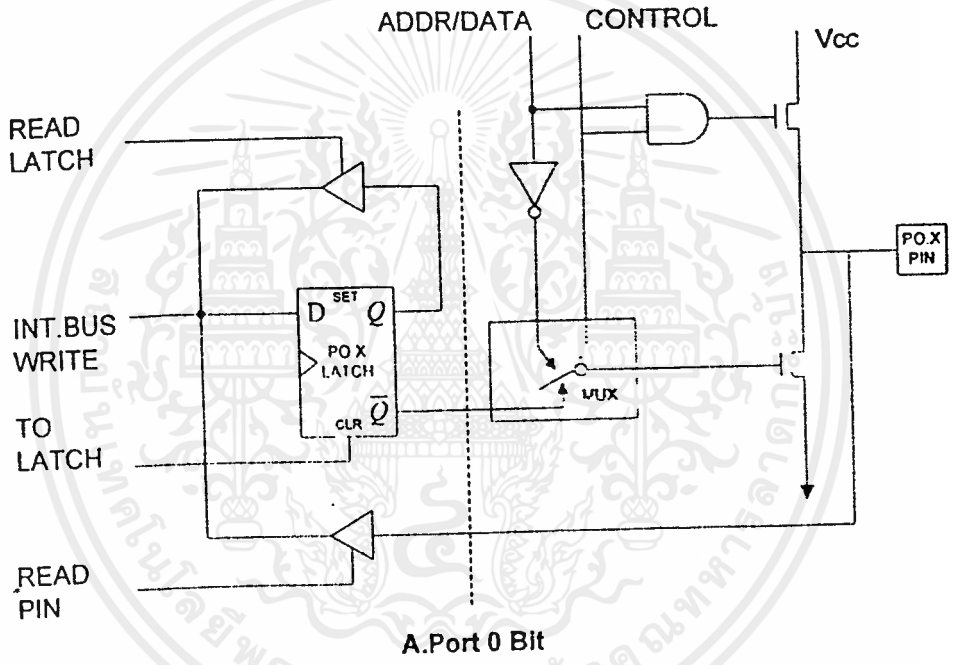
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31648

2.9 พอร์ทของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่าง ๆ ดังนี้

- Vcc (ขา 40) ต่อกับ +5V
- Vss (ขา 20)เป็นขา GND
- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P0.0-P0.7) มีโครงสร้างแบบโอเพนเดรน ไบ-ไดเรคชันแนล (Open Drain Bi-directional) ดังแสดงในรูป 2.5

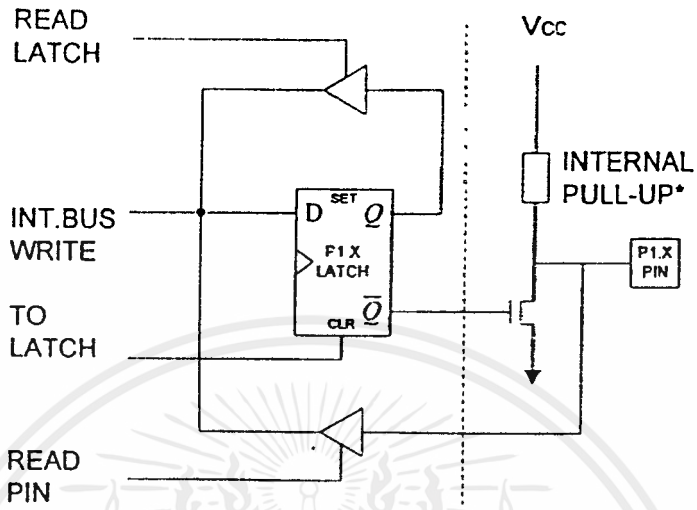


รูป 2.5 แสดงโครงสร้างพอร์ท 0 (บิต)

- พอร์ท 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P0.0-P0.7) ใช้งานได้ 2 หน้าที่ คือส่งแอดเดรสและดาต้า ออกไปให้หน่วยความจำภายนอกเมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอกควบคุมด้วยขาคอนโทรล ดูรูป 2.5 ประกอบและอีกหน้าที่ก็คือเป็นพอร์ท ไอ/โอ ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก "1" ยังพอร์ทนี้ จะมีผลให้ Q ของ ดี-ไทพ์ ฟลิพฟลอปเป็น "0" ทำให้เฟตตัวล่างมีสถานะออฟ (OFF) สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุทพอร์ท PIN (พอร์ท PO.X PIN) จะใช้สัญญาณ READ LATCH เมื่อถูกกระตุ้นที่ ไตร-เสตท บัฟเฟอร์(Tri-State Buffer) ตัวบน

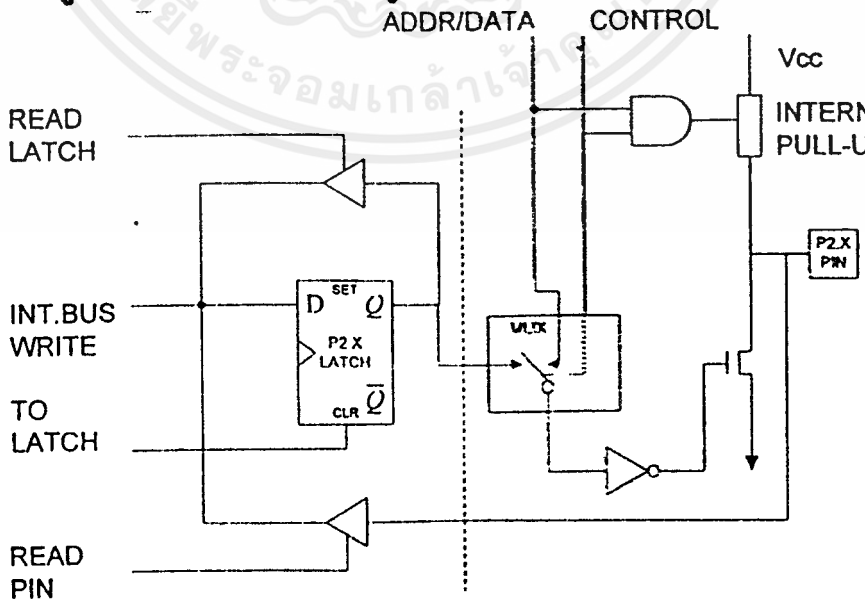
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอร์ท 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ท 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพูลอัพแทน (Internal Pull Up Register) มีโครงสร้าง ดังรูป 2.6



รูป 2.6 โครงสร้างของพอร์ท 1 (บิต)

- พอร์ท 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P2.0-P2.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ท 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน (Internal Pull Up) พอร์ทนี้ทำงาน 2 หน้าที่ คือสามารถใช้เป็นพอร์ทสำหรับส่งแอดเดรส 8 บิตบน (A8-A15) และเป็นไอ/โอ พอร์ทใช้งานทั่วไป เมื่อจะใช้งานเป็นอินพุตพอร์ท ต้องส่งลอจิก "1" มาที่พอร์ทนี้ก่อน เพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสภาวะ ออฟ ดังแสดงในรูป 2.7



รูป 2.7 โครงสร้างของพอร์ท 2 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอร์ท 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิตคือขา(P2.0-P2.7)มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 1 พอร์ตนี้ทำหน้าที่คือเป็น ไอ/โอ พอร์ต ถ้าจะให้พอร์ตนี้เป็น ไอ/พี พอร์ท ก็ให้ส่งลอจิก "1" มาที่พอร์ตนี้ก่อนและอีกหน้าที่หนึ่งก็คือ ส่งสัญญาณควบคุมออกมาและรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่าง ๆ มีดังนี้

P2.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

P2.1/RXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P2.2/INT0 (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P2.3/INT1 (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

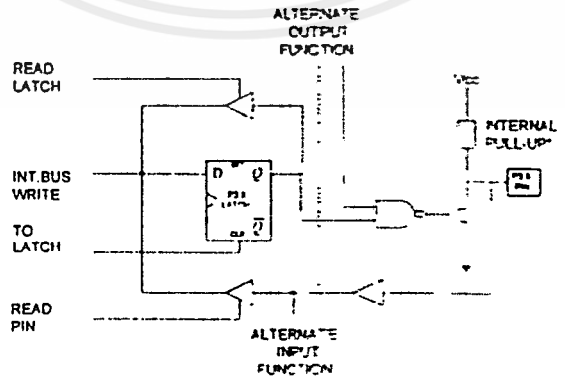
P2.4/T0 (Timer/counter 0 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/counter 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณ T1 นี้หรือสัญญาณนาฬิกาก็ได้

P2.5/T1 (Timer/counter 1 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/counter 1 ซึ่งมีการทำงานเหมือนกับ T0

P2.6/WR (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051

P2.7/RD (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

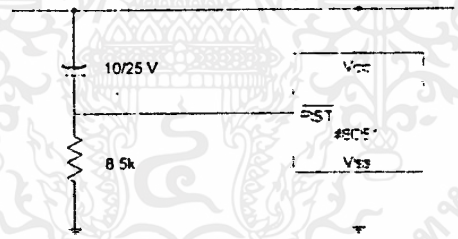
โครงสร้างของ (พอร์ต 3) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูป 2.8 โครงสร้างของพอร์ท 3 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลตช์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) ที่ส่งออกมาจาก (พอร์ท 0) สัญญาณนี้จะแอตทีฟทุก ๆ 2 ครั้งใน 1 แมชชีนไซเคิล (1/16ของสัญญาณนาฬิกา)
- PSEN (ขา 29) เป็นขาที่ใช้ส่งสโตรบสำหรับอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่านหน่วยความ โปรแกรมภายในจะไม่มีสัญญาณออกที่ขา
- EA (ขา 30) ถ้าป้อนลอจิก "0" เข้าที่ขานี้ซีพียูจะอ่านค่าจากหน่วยความโปรแกรมภายนอก ภายนอกชิพเท่านั้น แต่ถ้าถูกป้อนด้วยลอจิก "1" ก็จะอ่านโปรแกรมภายในชิพ
- RST (ขา 9) เป็นขารีเซ็ทซีพียูจะรีเซ็ทได้ก็ต่อเมื่อ ป้อนลอจิก "1" เข้าที่ขานี้นานอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล เมื่อซีพียูถูกรีเซ็ทค่าต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ใด ๆจะมีคำสั่งดัง Table 2.1
  - XTEL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุทเข้าสู่วงจรออสซิสเลเตอร์
  - XTEL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นเอาท์พุทเข้าสู่วงจรออสซิสเลเตอร์

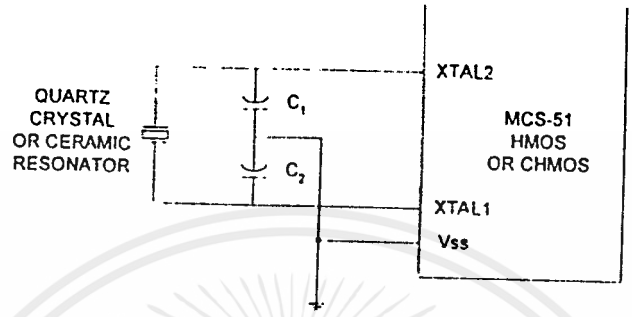


รูป 2.9 การต่อขารีเซ็ทให้กับ 8051

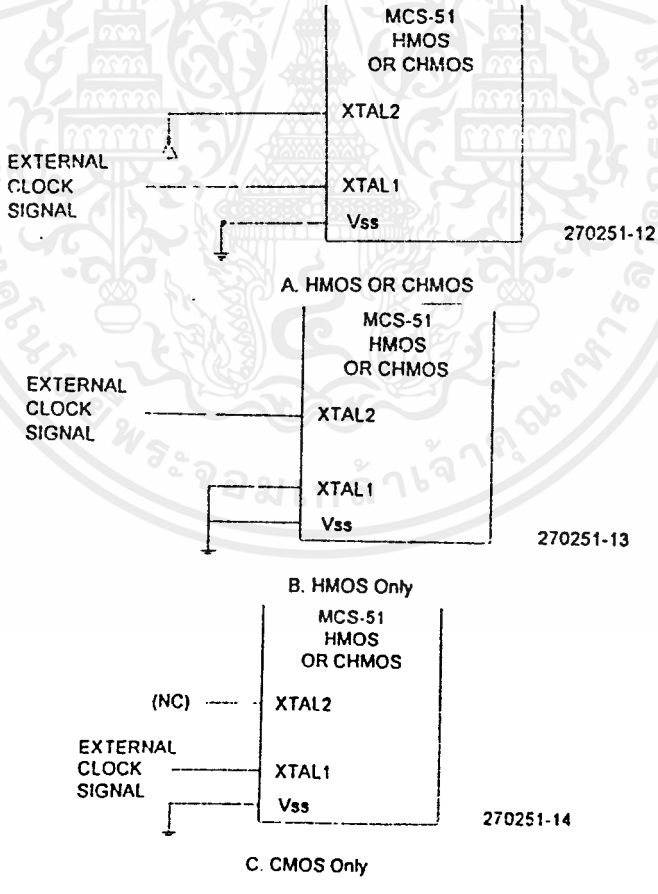
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 วงจรล็อคของ 8051

การต่อมือยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ แบบคล็อคภายในและคล็อคภายนอกมีรูปแบบการต่อ ดังรูป 2.10



(ก) Using the on-chip Oscillator



(ข) Using the External Clock

รูป 2.10 วงจรสร้างคล็อคของ8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีรีจิสเตอร์พิเศษ ที่สามารถเลือกใช้งานเป็นไทม์เมอร์ หรือเคาน์เตอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง มีอยู่ด้วยกัน 2 ตัว คือไทม์เมอร์ 0 และไทม์เมอร์ 1 แต่ละตัวเป็นแบบ 16 บิต ไทม์เมอร์ 0 ประกอบด้วย TL0 ,TH0 ไทม์เมอร์ 1 ประกอบด้วย TL1, TH1(ใน MCS-51 เบอร์ 8052, 8032 จะมีไทม์เมอร์ 2 ด้วย ซึ่งจะไม่ขอกล่าวในที่นี้)

การกำหนดการทำงานของไทม์เมอร์ 0 และไทม์เมอร์ 1

ไทม์เมอร์ 0 และ ไทม์เมอร์ 1 สามารถเลือกให้มีการทำงานเป็น ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ อย่างใดอย่างหนึ่ง โหมดไทม์เมอร์ ค่าในรีจิสเตอร์จะถูกเพิ่มค่าทุก ๆ แมชชีนไซเคิล 1/12 คาบเวลาของ OSC) รีจิสเตอร์จะถูกเพิ่มค่าที่ละหนึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งตรวจจับได้จากขา T0,T1 อยู่ที่ขา 14 และ 15 ตามลำดับแล้วแต่จะเลือกสามารถเลือกได้โดยกำหนดค่าบิต C/*T* ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TMOD ดังแสดงในรูปที่ 2.11

Timer/Counter Mode Register (TMOD) อยู่ใน SFR ตำแหน่งที่ (89H)

GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0
TIMER 1				TIMER 0			

GATE When TRx (in TCON) is set and GATE = 1, TIMER/COUNTER-x will run only while INTx pin is high (hardware control). When GATE = 0, TIMER/COUNTER-x will run only while TRx = 1 (software control).

C/T Timer or Counter selector. Cleared for Timer operation (input from internal system clock). Set for Counter operation (input from Tx input pin).

M1 Mode selector bit. (NOTE 1)

M0 Mode selector bit. (NOTE 1)

NOTE 1 :

M1	M0		Operating Mode
0	0	0	13-bit Timer
0	1	1	16-bit Timer/Counter
1	0	2	8-bit Auto-Reload Timer/Counter
1	1	3	(Timer 0) TL0 is an 8-bit Timer/Counter controlled by the standard Timer 0 control bits. TH0 is an 8-bit Timer and is controlled by Timer 1 control bits.
1	1	3	(Timer 1) Timer/Counter 1 stopped.

รูป 2.11 TMOD Timer/Counter Mode Register

GATE - เมื่อบิต TRx (ใน TCON) และบิต GATEX (ในTMDO) ถูกเซตไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์จะเริ่ม RUN ก็ต่อเมื่อ

1. เมื่อขา INTO หรือ INTI (ขา12 และ 13) ถูกป้อนด้วย High
2. เมื่อใช้คำสั่งเซตบิต GATE ใน TCON แล้ว
   - ถ้าเซต TRx จะทำให้ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เริ่ม RUN
   - ถ้ารีเซตบิต TRx จะทำให้อยู่ใน TCON

C/T - บิตเลือกการทำงานของไทม์เมอร์ เคาน์เตอร์โดยเลือกดังนี้

- ถ้า C/T = 0 เป็นการเลือกโหมด ไทม์เมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้า C/T = 1 เป็นการเลือกโหมด เคาน์เตอร์

Timer/Counter Register (TCON) อยู่ใน SFR ตำแหน่งที่ (088H)

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

TF1 TCON.7 Time 1 overflow flag. Set by hardware when the timer/ Counter 1 overflows. Cleared by hardware as processor vectors to the interrupt service routine.

TR1 TCON.6 Timer 1 run counter bit. Set/cleared by software to turn timer/counter 1 ONOFF.

TF0 TCON.5 Timer 0 overflow flag. Set by hardware when the timer/counter 0 overflows. Cleared by hardware as processor vectors to the service routine.

TR0 TCON.4 Timer 0 run counter bit. Set/cleared by software to turn Timer/Counter 0 ON/OFF

IE1 TCON.3 External Interrupt 1 edge flag. Set by hardware when external interrupt edge is detected. Cleared by hardware when interrupt is processed.

IT1 TCON.2 Interrupt 1 type control bit. Set/Cleared by software to specify failing edge/flow level triggered External Interrupt.

IE0 TCON.1 External Interrupt 0 edge flag. Set by hardware when external interrupt edge is detected. Cleared by hardware when interrupt is processed.

IT0 TCON.0 Interrupt 0 type control bit. Set/Cleared by software to specify failing edge/flow level triggered External Interrupt.

รูปที่ 2.12 TCON Timer Control register

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต TF1 – บิตแสดงการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทม์เมอร์1จะเซ็ทเมื่อไทม์เมอร์1โอเวอร์โฟลว์ และจะถูกเคลียร์เอง

เมื่อซีพียูย้ายการไปที่โปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์

บิต TR1 – บิตควบคุมการนับของไทม์เมอร์ 1 ควบคุมจากโปรแกรม

ถ้าเป็น 1 ไทม์เมอร์ 1 เริ่มทำงานต่อ

ถ้าเป็น 0 ไทม์เมอร์ 1 หยุดทำงาน

(กรณีนี้ต้องเซ็ทบิต GATE1 ใน TMOD ก่อน)

บิต TF0 – บิตแสดงการเกิด โอเวอร์โฟลว์ ของไทม์เมอร์ 0 ถูกเซ็ทเมื่อไทม์เมอร์ 0 เกิดโอเวอร์โฟลว์ เช่นเดียว

กับ TF1

บิต TR0 – เช่นเดียวกับ TR1 แต่ใช้ควบคุมไทม์เมอร์ 0

บิต IE1 – บิตแสดงสัญญาณอันเตอร์รัปต์ภายนอกหมายเลข 1 เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เข้ามาที่ขา *INT1* และ

ถูกเคลียร์เองโดยคำสั่ง RETI ที่อยู่ในโปรแกรมส่วนบริการอินเตอร์รัปต์

บิต IT1 – บิตเลือกประเภทการตรวจสอบสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นที่ขา *INT1* โดย

ถ้าเป็น 1 จะตรวจสอบการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก 1 เป็น 0 ที่ขา *INT1*

ถ้าเป็น 0 จะตรวจสอบระดับศูนย์ของสัญญาณ ที่ขา *INT1*

ข้อควรสังเกต

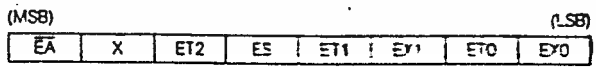
T หมายถึง Timer/Counter หรือ Type

R หมายถึง RUN

F หมายถึง Flag

E หมายถึง External

1,0 หมายถึง Channel หรือ Channel 1 บางทีใช้คำว่า x เช่น TRx



Symbol	Position	Function
EA	IE.7	disables all interrupts. If EA=0, no interrupt will be acknowledged. If EA = 1 each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.
–	IE.6	reserved
ET2	IE.5	enables or disables the Timer 2 Overflow or Capture Interrupt. If ET2 = 0, the Timer 2 interrupt is disabled.
ES	IE.4	enables or disables the Serial Port Interrupt. If ES = 0, the Serial Port Interrupt is disabled.
ET1	IE.3	enables or disables the Timer 1 Overflow Interrupt. If ET1 = 0, the Timer 1 Interrupt is disabled.
EX1	IE.2	enables or disables External Interrupt 1. If EX1 = 0, External Interrupt 1 is disabled.
ET0	IE.1	enables or disables the Timer 0 Overflow Interrupt. If ET0 = 0, the Timer 0 Interrupt is disabled.
EX0	IE.0	enables or disables External Interrupt 0. If EX0 = 0, External Interrupt 0 is disabled.

รูปที่ 2.13 Interrupt Enable Register

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IE (Interrupt Enable Register)

ใช้ควบคุมอินเตอร์รัปต์ได้ 6 แหล่ง คือจาก (TI,RI), TFO,TF1, *INT0, INT1* เราสามารถสั่งห้ามหรือไม่ห้ามการอินเตอร์รัปต์ได้จากรีจิสเตอร์ชุดนี้ ดังมีรายละเอียดดังนี้

D7 (บิต *EA*) = 1 หมายถึงยอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากอินเตอร์รัปต์ทั้ง 6 แหล่งได้
= 0 หมายถึงไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากอินเตอร์รัปต์ทั้ง 6 แหล่ง

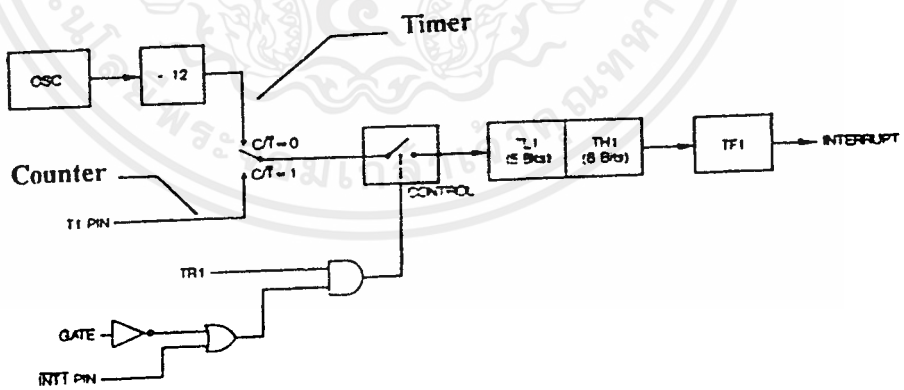
D6 = X ไม่ได้ใช้งาน

D5 (ET2) = 1 หมายถึง ยอมให้ทำอินเตอร์รัปต์เมื่อ TF2 เกิดโอเวอร์โฟสว์
= 0 หมายถึง ไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัปต์เมื่อ TF2 เกิดโอเวอร์โฟลว์

D4 (ES) = 1หมายถึง ยอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากพอร์ทอนุกรม
= 0 หมายถึง ไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากพอร์ทอนุกรม

TIME MODE

Timer Counter Register จะเพิ่มค่าขึ้น 1 ครั้ง ทุก ๆ 1 Machine Cycle (1/12 คาบเวลา OSC) ในโหมดนี้ต้องโปรแกรม ให้โปรแกรมบิต C/*T* = 0 ส่วนการสั่งให้ Counter เริ่มนับจะควบคุมที่ TRx , GATE , *INTx* Pin (โดย x คือ 0,1 ถ้าเป็นศูนย์หมายถึง channel 0, ถ้าเป็น 1 หมายถึง channel 1) ดูรูป 2.14 ประกอบ



รูปที่ 2.14 เมื่อโปรแกรมให้ทำงานในโหมด Timer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการทำงาน

จากรูป 2.14 OSC ของ CPU มีความถี่ 12 MHz ถูกหารด้วย 12 เหลือ 1 MHz ซึ่งตรงกับคาบเวลาใน 1 Machine Cycle พอดี (1 Machine Cycle จะใช้ 12 คาบเวลา CPU OSCILLATOR) ดังนั้น จึงถือได้ว่าเป็นการนับ Machine Cycle ได้ สัญญาณนี้จะผ่าน Swich ตัวแรกนี้ได้ก็ต่อเมื่อโปรแกรมบิต C/T = 0 ในรีจิสเตอร์ MOD ดังรูป 2.14 สัญญาณนี้ผ่านไปยัง Switch ตัวที่ 2 ที่ควบคุมด้วยเอาท์พุทของ AND gate ถ้าเอาท์พุท ANDgate เป็นหนึ่ง Switch ก็จะ on ให้สัญญาณผ่านเข้าไปยัง Counter ได้ ดังนั้น ถ้าเราโปรแกรมให้บิต GATE ใน TMOD เป็น "4" เอาท์พุทของ OR-gate ก็จะเป็นหนึ่ง "1" ส่งเข้าอินพุทของ AND gate ดังนั้น ในตอนนี้ถ้าบิต TRx เป็น "1" ก็จะทำให้ Switch ตัวที่ 2 on ได้ เราจึงเรียกการ Start แบบนี้ว่า Software Start การ Start อีกแบบหนึ่งก็คือ Hardware Start โดยจะต้องกระตุ้นสัญญาณจากภายนอกเข้ามาที่ขา *INTx* Pin ขานี้มีอยู่ 2 ขา คือ *INT0* และ *INT1* โดยอยู่ที่ P2.2 และ P2.3 สัญญาณที่จะมากระตุ้นต้องเป็น "1" โดยจะต้องเตรียมตัวก่อนหน้านี้ ดังนี้

TRx = 1 และ $GATE_x$ ต้องเป็น "1"

การโหลดค่าเริ่มต้นให้ Counter

เนื่องจาก Counter เป็นแบบนับขึ้นแล้วใช้วิธีการตรวจ โอเวอร์โฟลว์ ถ้าเราโหลดค่านับแบบ 16 บิตด้วยค่าดังนี้

ค่านับเริ่มต้น	จำนวนแมชีนไซเคิลที่ใช้	เวลาที่ใช้ (RUN ที่ 12 MHz)
FFFFH	1	1 μS
FFFEH	2	2 μS
FFFDH	3	3 μS
FFFCH	4	4 μS

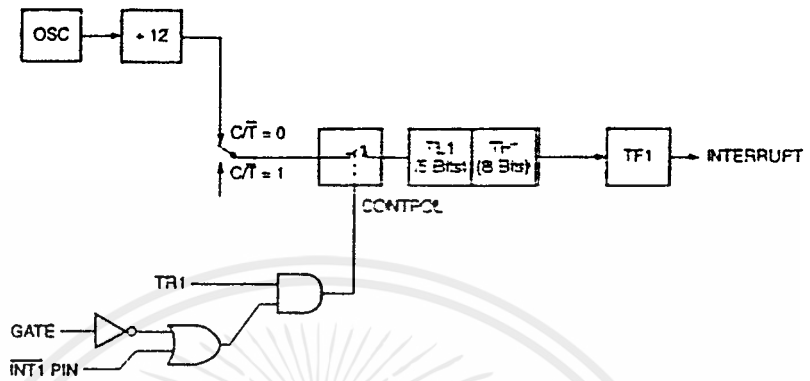
เมื่อ Counter เกิดโอเวอร์โฟลว์ ก็จะเซ็ทบิต TFx (TF0,TF1) ให้เป็น 1 และจะถูกอินเตอร์รัพต์ ได้ก็เมื่อเราเซ็ทบิต *EA* บิต Etx (ET0,ET1) และรีจิสเตอร์ IE (Interupt Enable Register) ไว้ก่อนหน้านี้ เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ โปรแกรมจะกระโดดออกมาที่ตำแหน่ง 000BH เมื่อ TF0 โอเวอร์โฟลว์และจะกระโดดมาที่ 001BH เมื่อ TF1 เกิด โอเวอร์โฟลว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timer mode

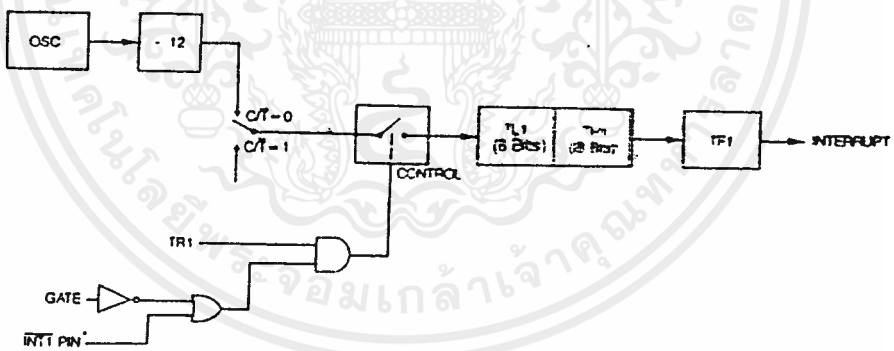
โหมดการทำงานแบ่งได้เป็น 4 โหมด ดังนี้

Timer (Mode 0) 13-bit timer โหมดนี้จะนับได้สูงสุดเท่ากับ 2^{13}



รูปที่ 2.15 Timer (Mode 0) 13-bit time

Timer (Mode 1) 16-bit timer โหมดนี้เหมือนโหมด 0 ต่างกันที่รีจิสเตอร์เป็นแบบ 16 บิต

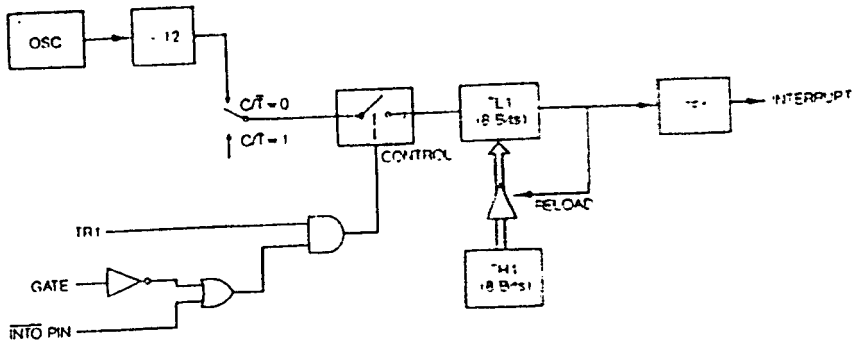


รูปที่ 2.16Timer (Mode 1) 16-bit timer

Timer (Mode 2) 8-bit Auto Reload โหมดนี้ใช้รีจิสเตอร์ TL0หรือ TL1

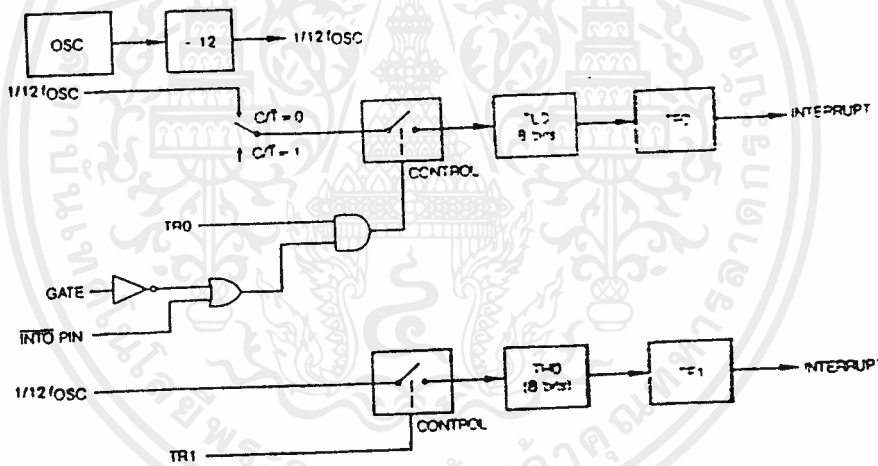
ส่วนค่าที่จะโหลดเข้ามาจะต้องเก็บไว้ก่อนใน TH0 หรือ TH1 ค่านี้จะถูกโหลดเข้า TL0,TL1 โดยอัตโนมัติเมื่อเกิด โอเวอร์โฟล์ว์ (นับได้สูงสุดคือ 256 Machine Cycle ถ้า RUN ที่ 12 MHz จะสูญเสียเวลานับสูงสุดเพียง 256 μS เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 Timer (Mode 2) 8-bit Auto Reload

Timer (Mode 3) โหมดนี้จะใช้ TL0 ทำงานได้ทั้งโหมด Counter และ Timer เมื่อ โอเวอร์โฟลว์ จะเซ็ทที่ TF0 ส่วน TH0 ทำงานโหมด Counter เมื่อ โอเวอร์โฟลว์ จะเซ็ทที่ TF1 ดูรูป 2.18ประกอบ

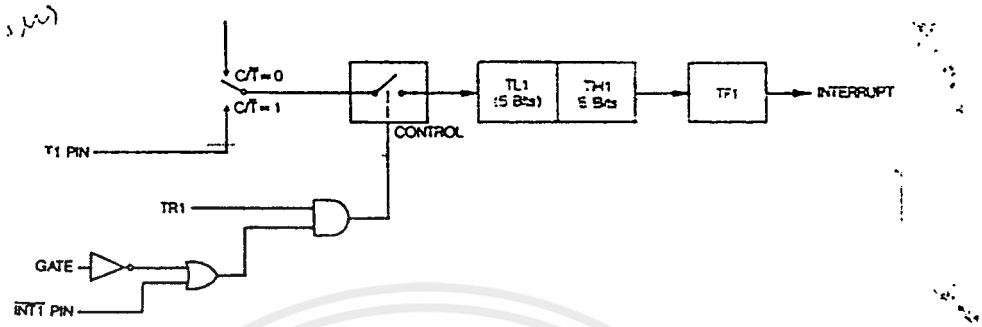


รูปที่ 2.18Timer (Mode 3)

Counter Mode

อินพุทของ Counter Mode จะเข้ามาทางขา T0,T1 ซึ่งพอร์ท 3 บิต 4 บิต และ 5 บิต ตามลำดับ ซึ่งตรงกับขา 14 และ 15 การเลือกโหมดนี้จะต้องโปรแกรมบิต $C/T = 1$ เพื่อเข้าสู่โหมด Counter ผังการทำงานดังแสดงในรูป 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ผังการทำงานของ Counter mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

3.1 การทดลองชุดทดลองการเคลื่อนที่

แบ่งอุปกรณ์การทดลองเป็น 4 ส่วน

- รางทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Air Track)
- ตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ (Photogate)
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051
- จอแสดงผล LCD

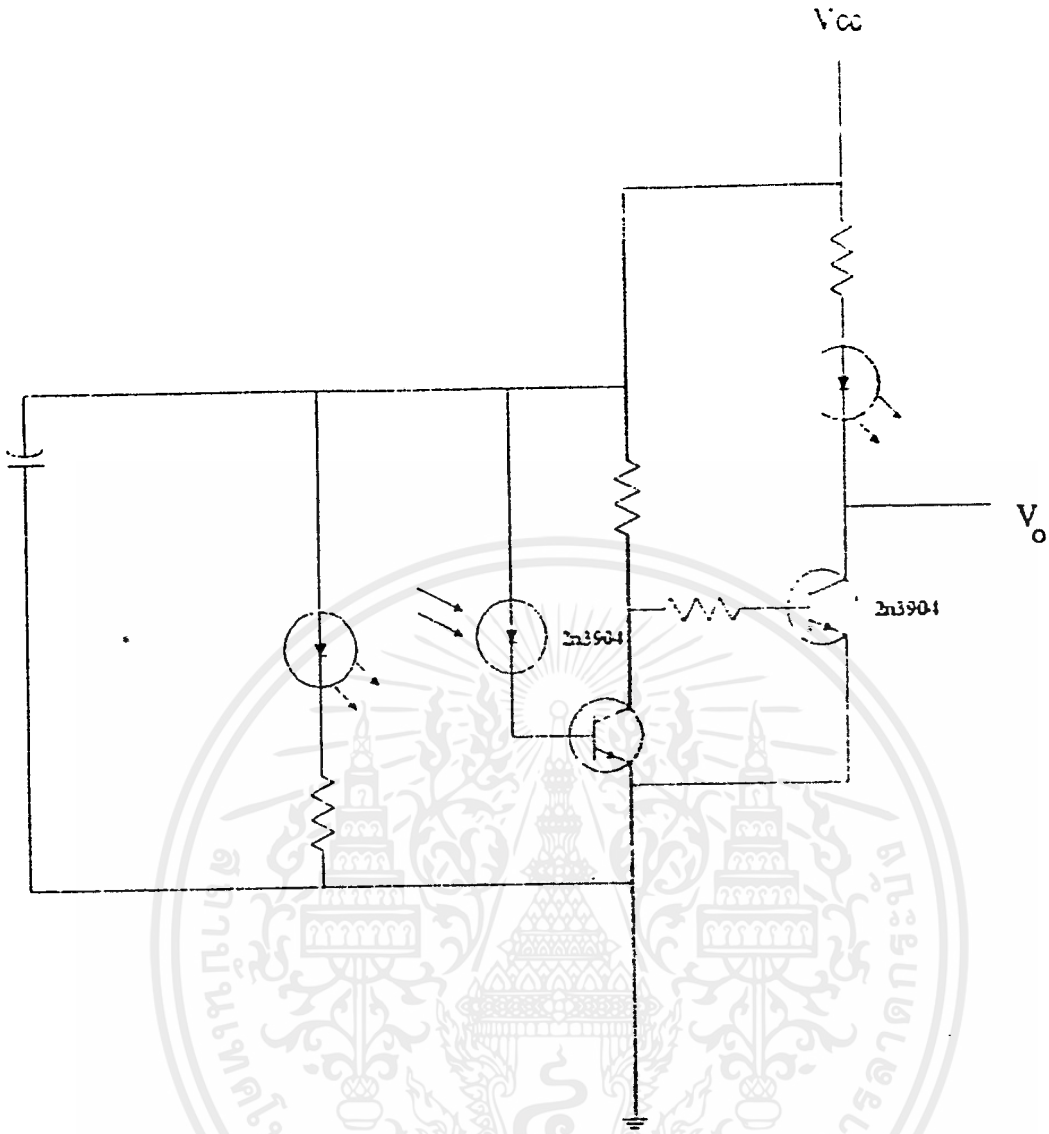
3.1.1 รางทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุ

สร้างจากท่ออลูมิเนียมชนิดสี่เหลี่ยม โดยมีขาตั้ง 4 ขา บนพื้นผิวของท่อเจาะรูขนาดเล็กปลายข้างหนึ่งติดรอกเดี่ยวตายตัวเพื่อแขวนวัตถุ ส่วนอีกข้างหนึ่งทำการปิด และเจาะเพื่อทำการเป่าลมให้ผ่านไปยังรูเล็กๆ ของรางเพื่อลดแรงเสียดทานของวัตถุที่เคลื่อนที่บนราง

3.1.2 ตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Photogate)

ทำหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุบนรางแล้วส่งสัญญาณไปประมวลผลเพื่อคำนวณค่าของเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ โดยในชุดทดลองจะใช้ตัวตรวจจับทั้งหมด 4 ตัว ซึ่งในการสร้างวงจรจะใช้โฟโตไดโอด และอินฟาเรดไดโอด เป็นตัวรับ และตัวส่งดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรตัวตรวจจับสัญญาณ

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าสัญญาณที่เอาท์พุทในสภาวะที่มีแสงอินฟาเรดตกกระทบที่อินพุท (โฟโตไดโอด) จะมีสัญญาณที่เอาท์พุทของวงจรมีสภาวะเป็นลอจิก 1 และเมื่อมีวัตถุมาตัดแสง (ในสภาวะที่ไม่มีอินฟาเรดตกกระทบ)จะได้สัญญาณเอาท์พุทออกมาเป็นลอจิก 0 และนำสัญญาณที่ได้นำไปใช้อินเตอรัปต์ไมโครคอนโทรลเลอร์89C2051 ซึ่งคอนโทรลเลอร์จะประมวลผล และแสดงผลค่าเวลาทางจอ LCD

3.1.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051

AT89C2051 เป็นชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กผลิตโดย ATMEL ชุดคำสั่ง และสถาปัตยกรรมภายในจะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งผลิตโดยอินเทลมีหน่วยความจำภายในเป็นอีพีรอมหรือเรียกว่า Flash Memoryขนาด 2 กิโลไบต์ สามารถโปรแกรมและลบได้ไม่น้อยกว่า 1000 ครั้ง โปรแกรมที่บันทึกไว้ในชิพ สามารถบันทึกไว้ได้นานถึง 10 ปี จุดเด่นของชิพ 89C2051 มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สามารถใช้แทนไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล MCS-51
2. หน่วยความจำโปรแกรมเป็น Flash Memory ขนาด 2 กิโลไบต์
3. ใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 2.7 – 6 โวลต์
4. ออสซิเลเตอร์สามารถป้อนได้ 2 ระดับ
5. สามารถล๊อคโปรแกรมได้ 2 ระดับ
6. หน่วยความจำข้อมูลบนชิพขนาด 128 ไบต์
7. มีอินพุท เอาท์พุท พอร์ทขนาด 15 บิต
8. มีตัวนับและตั้งเวลาขนาด 16 บิต 2 ตัว
9. แหล่งอินเตอรัปต์มี 5 แหล่ง
10. พอร์ทอนุกรมแบบ UART โปรแกรมความเร็วในการส่งข้อมูลได้
11. เอาท์พุทพอร์ท สามารถขับ LED ได้โดยตรงด้วยกระแสซิงค์ 20 มิลลิแอมป์
12. มีอนาลอคคอมพาราเตอร์บนชิพ
13. มีโหมด idel และ Power down

3.1.4 จอแสดงผล LCD (Liquid Crystal Display)

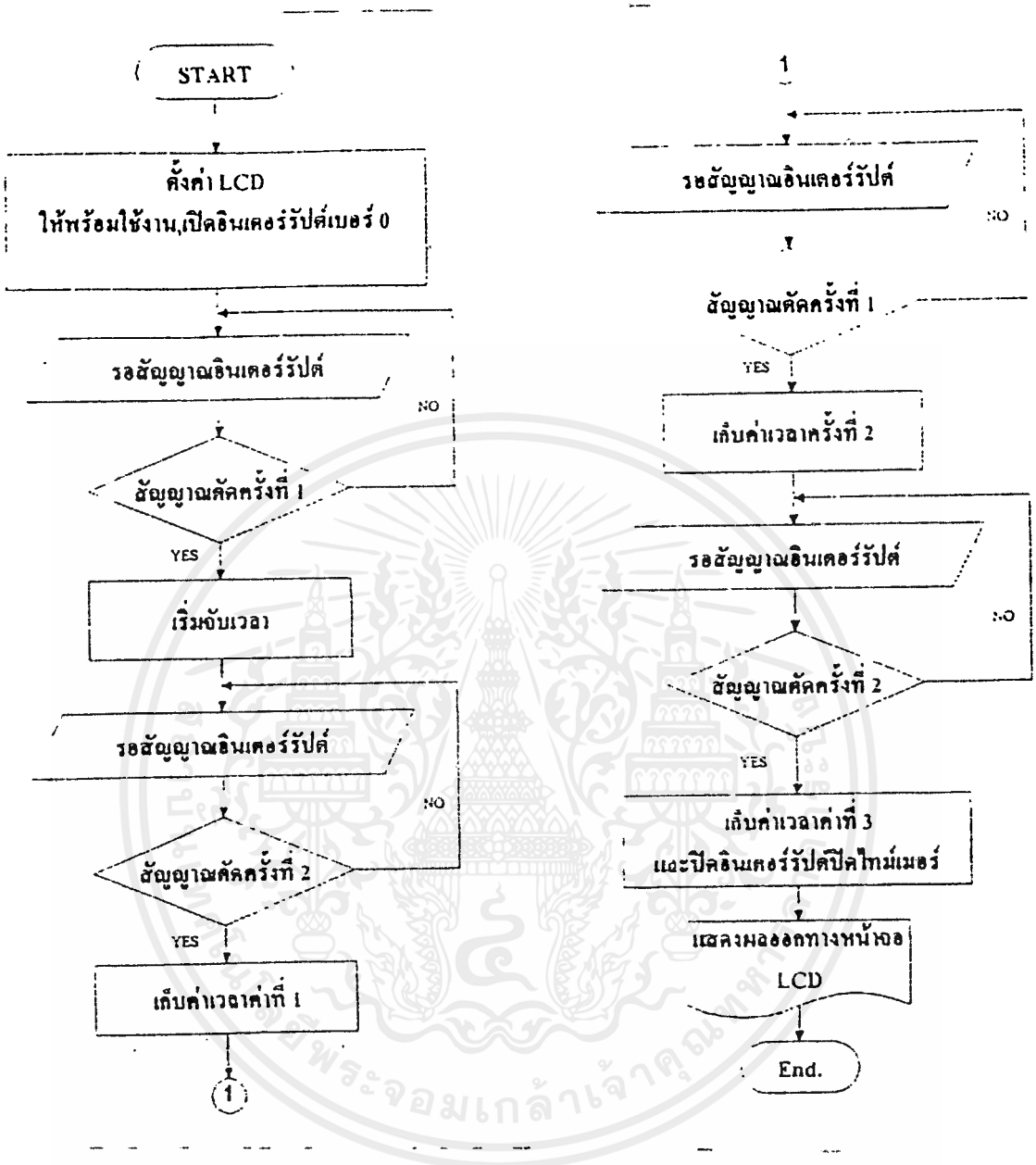
เป็นจอแสดงผลที่สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษร และเป็นตัวเลขได้ กินกระแสต่ำ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ดอทเมตริก และกราฟฟิก ซึ่งแบบ ดอทเมตริก จะแสดงผลเป็นตัวอักษรขนาด 5*8 ดอทมีจำนวนตัวอักษร และบันทัดแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่น ส่วนในแบบกราฟฟิกจะแสดงผลในแบบ บิต-แมพ คือ สามารถสร้างเป็นภาพใด ๆก็ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งในโครงงานพิเศษนี้จะใช้จอแอลซีดีแบบ ดอทเมตริก ชนิด Dot Matrix LCD Module ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. แสดงตัวอักษรขนาด 5*8 ดอท
2. สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 2 ลักษณะ คือ แบบ Memory map และแบบผ่าน 8255 พอร์ท
3. สามารถแสดงผลเป็นภาษาอังกฤษ และตัวเลขได้ถึง 160 ตัว และสัญลักษณ์พิเศษอีก 32 ตัว รวมทั้งกำหนดเองได้อีก 8 ตัว
4. กินกระแสน้อยมีน้ำหนักเบา ทำงานด้วยไฟเลี้ยง 5 โวลต์

3.2 การทำงานของโปรแกรม

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 3_2 คือเริ่มจากวัตถุเคลื่อนที่บนรางผ่านตัวตรวจจับตัวที่ 1 จะมีการส่งสัญญาณให้โปรแกรมเริ่มจับเวลา หลังจากนั้นวัตถุจะเคลื่อนที่ผ่านตัวตรวจจับสัญญาณตัวที่ 2,3 และ 4 ตามลำดับ โปรแกรมจะทำการบันทึกค่าเวลาไว้ แล้วจะแสดงผลทางหน้าจอแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



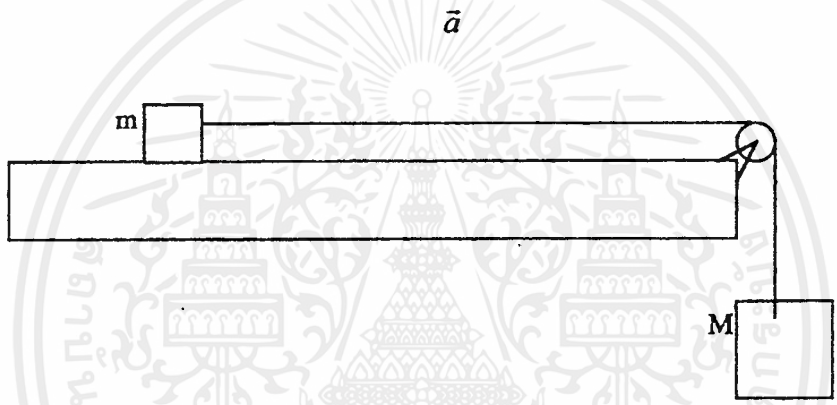
รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาทของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

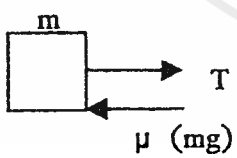
4.1การทดลอง

ในการทดลองนั้นจะทำการศึกษาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ในแนวราบ กับแนวดิ่ง กล่าวคือจะทำการจัดระบบให้เป็นไปตามรูป 4.1

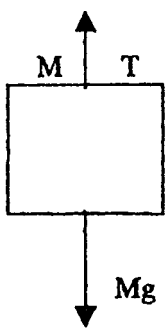


รูปที่ 4.1 แสดงการจัดการทดลอง

ถ้าจัดการทดลองเป็นดังรูป และ M > m แล้วจะเห็นได้ว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ไปทางทิศขวามือ ด้วยความเร่ง $\vec{a}$ ถ้าพิจารณา แผนภาพวัตถุอิสระของ m และM จะได้



$$F_m = T - \mu(mg) \qquad (4.1)$$



$$F_M = Mg - T \qquad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาตามกฎของนิวตัน $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

จะได้สมการ

$$F_M + F_m = (M + m)\vec{a} \qquad (4.3)$$

นำสมการ 4.1 และ4.2 แทนลงในสมการ 4.3

$$(Mg - T) + \{T - \mu (mg)\} = (M + m)\vec{a} \qquad (4.4)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง $\vec{a}$ กับ g

$$\vec{a} = [\, Mg - \mu (mg) \,]/(M+m) \qquad (4.6)$$

ถ้าเราทดลองบนวัสดุที่ไม่มีแรงเสียดทาน คือ μ มีค่าเป็น 0 เราจะได้ความสัมพันธ์ใหม่โดยการตัดพจน์ของ $\mu(mg)$ ทิ้งไป

$$\vec{a} = \frac{Mg}{(M+m)} \qquad (4.7)$$

จากความสัมพันธ์ที่กล่าวมาแล้ว เราจึงทำการทดลองโดยพยายามตัดพยน์ที่พิจารณาถึงแรงเสียดทานทิ้งไปโดยการ สร้างท่อลมขึ้นมา แล้วเจาะรู ให้มีลมพุ่งขึ้นมายกวัตถุที่จะใช้ทำการทดลองลองขึ้น แล้วพิจารณาให้ค่า μ มีค่าเท่ากับ 0 แล้วทำการจับเวลาวัตถุ m ที่ระยะต่าง ๆ กัน โดยจะใช้โฟโตเกท(Photo Gate)เป็นตัวตรวจจับสัญญาน และนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลเป็นค่าเวลาออกมาจะสามารถหาความเร่ง $\vec{a}$ ได้ กล่าวคือ เราทราบค่าระยะทางที่แน่นอน และทราบค่าเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากการทดลอง จึงนำมาหาความเร่งของวัตถุในแนวราบได้จาก

$S = ut + \frac{1}{2}(at^2)$

เมื่อเราพิจจารณาให้ ut มีค่าเป็น 0 จะได้

$$S = \frac{1}{2}(at^2)$$

จะได้

$$a = 2S/t^2$$

จากนั้นนำค่า a ที่คำนวนได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำณวนได้จากทฤษฎี แล้วหาความสัมพันธ์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

มวลทดลอง 7.27 กรัม

มวลของถาดรองน้ำหนัก 27.76 กรัม

มวล 0 กรัม			
	เวลา(วินาที)		
ครั้งที่	ระยะทาง 50 cm.	ระยะทาง 100 cm.	ระยะทาง 150 cm.
1	0.354	0.521	0.627
2	0.369	0.515	0.627
3	0.380	0.507	0.635
4	0.377	0.519	0.630
5	0.359	0.523	0.628
เฉลี่ย	0.365	0.517	0.629

มวล 10 กรัม			
	เวลา(วินาที)		
ครั้งที่	ระยะทาง 50 cm.	ระยะทาง 100 cm.	ระยะทาง 150 cm.
1	0.353	0.497	0.602
2	0.350	0.499	0.607
3	0.346	0.502	0.610
4	0.357	0.498	0.604
5	0.351	0.489	0.618
เฉลี่ย	0.351	0.497	0.608

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวล 20 กรัม			
	เวลา(วินาที)		
ครั้งที่	ระยะทาง 50 cm.	ระยะทาง 100 cm.	ระยะทาง 150 cm.
1	0.351	0.487	0.602
2	0.353	0.483	0.604
3	0.350	0.488	0.602
4	0.355	0.489	0.593
5	0.348	0.479	0.599
เฉลี่ย	0.351	0.485	0.6

มวล 30 กรัม			
	เวลา(วินาที)		
ครั้งที่	ระยะทาง 50 cm.	ระยะทาง 100 cm.	ระยะทาง 150 cm.
1	0.332	0.477	0.589
2	0.341	0.481	0.578
3	0.342	0.482	0.582
4	0.338	0.476	0.583
5	0.342	0.477	0.586
เฉลี่ย	0.339	0.479	0.584

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวล 40 กรัม			
	เวลา(วินาที)		
ครั้งที่	ระยะทาง 50 cm.	ระยะทาง 100 cm.	ระยะทาง 150 cm.
1	0.340	0.481	0.588
2	0.340	0.473	0.587
3	0.338	0.474	0.586
4	0.337	0.479	0.591
5	0.341	0.480	0.581
เฉลี่ย	0.338	0.478	0.586

มวล 50 กรัม			
	เวลา(วินาที)		
ครั้งที่	ระยะทาง 50 cm.	ระยะทาง 100 cm.	ระยะทาง 150 cm.
1	0.338	0.474	0.589
2	0.340	0.478	0.579
3	0.340	0.471	0.583
4	0.337	0.473	0.586
5	0.338	0.479	0.585
เฉลี่ย	0.339	0.475	0.584

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่ง				
มวล(กรัม)	ที่ระยะ 50 cm.	ที่ระยะ 100 cm.	ที่ระยะ 150 cm.	ค่าเฉลี่ย
0	7.3	7.4	7.6	7.43
10	8.2	8.0	8.1	8.1
20	8.2	8.3	8.3	8.275
30	8.7	8.7	8.9	8.77
40	8.7	8.7	8.7	8.7
50	8.7	8.7	8.9	8.77

นำค่าความเร่งที่หาได้เปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี และสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการคำนวณจากผลการทดลองที่ได้ เทียบกับตามทฤฎีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ค่า a ทางทฤษฎี สมมติให้ g มีค่าเท่ากับ 9.8

a_{00} = (37.762 / 45.027) × 9.8
= 7.76

a_{10} = (27.762 / 35.027) × 9.8
= 8.218

a_{20} = (47.762 / 55.027) × 9.8
= 8.506

a_{30} = (57.762 / 65.027) × 9.8
= 8.705

a_{40} = (67.762 / 75.027) × 9.8
= 8.765

a_{50} = (77.762 / 85.027) × 9.8
= 8.885

มีความใกล้เคียงกัน แต่ไม่เท่ากับค่าทางทฤษฎีเพราะมีข้อบกพร่องอยู่หลายอย่าง คือ ยากที่จะสร้างระบบที่ไร้แรงเสียดทานจริง ๆ การเป่าลมเข้าไปในท่อเพื่อยกวัตถุขึ้นนั้น ไม่สามารถกำจัดแรงเสียดทานได้อย่างสมบูรณ์แบบ ตัวจับเวลา (คอนโทรลเลอร์) ที่ใช้มีข้อจำกัดอยู่มากมายโดยเฉพาะเรื่องสัญญาณในการอินเตอร์รัพท์ คาบเวลาในการทำงานจะต้องสัมพันธ์กันอย่างมากเพราะในบางครั้งการทำงานที่หน่วงเวลามากเกินไปจะเป็นการข้อผิดพลาดให้กับตัวคอนโทรลเลอร์เอง แต่จากการสังเกตผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อมวลของวัตถุที่ตกในแนวดิ่งมีค่ามากกว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบมากขึ้นเรื่อย ๆ จะได้ค่าเข้าใกล้ค่า g มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
พื้นฐานของกลศาสตร์แบบนิวตัน
(ELEMENTS OF NEWTONIAN MECHANICS)

ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานทางกลศาสตร์ของนิวตันในแบบทั่ว ๆ ไป เพื่อที่จะได้เข้าใจเรื่องราวของวิชากลศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์กับวิชาอื่น ๆ ในทางฟิสิกส์ ตลอดจนเรื่องราวเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่และกฎความโน้มถ่วงเอกภพของนิวตัน เพื่อจะได้นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง.

2.1 กลศาสตร์, วิทยาศาสตร์ที่แท้จริง, (MECHANICS, AN EXACT SCIENCE)

เมื่อเรากล่าวว่าวิชาฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์ที่แท้จริง เราหมายความว่ากฎของมันได้แสดงในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งบรรยายและทำนายผลของปริมาณการวัดที่แน่นอน ประโยชน์ของทฤษฎีปริมาณทางฟิสิกส์ไม่เพียงแต่ใช้ในทางปฏิบัติ แต่ยังสามารถทำนายและควบคุมปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้ถูกต้องอีกด้วย. โดยการเปรียบเทียบผลการวัดที่แน่นอนกับการทำนายผลหลาย ๆ อย่างของทฤษฎีก็จะทำให้เราทราบว่าทฤษฎีนั้นถูกต้องหรือไม่ และสามารถตัดสินใจได้ว่าควรจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขอย่างไรบ้าง. การอธิบายเหตุการณ์หนึ่งสามารถอธิบายออกได้เป็นหลายลักษณะเสมอ และถ้าเป็นเช่นนั้นแล้วการตัดสินใจว่าทฤษฎีถูกต้องก็จะทำได้อย่างลำบาก แต่ถ้าทฤษฎีใดสามารถให้ผลการวัดที่สามารถคาดคะเนตัวเลขที่สำคัญถึง 4 หรือ 5 ตัว ทฤษฎีนั้นก็อาจจะไม่ผิดไปจากความจริงมากนัก อย่างไรก็ตามมีหลายกรณีด้วยกัน ที่ผลการวัดระหว่างทฤษฎีและความถูกต้องต่างกันเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจจะมีการพัฒนาไปสู่ทฤษฎีใหม่ ๆ ขึ้นมาได้ ข้อแตกต่างเพียงเล็กน้อยนี้บางครั้งไม่อาจตรวจพบได้ ถ้าเรามีความพอใจกับเหตุการณ์ที่ปรากฏออกมา.

สัญญลักษณ์ที่ปรากฏในสมการที่แสดงถึงกฎทางวิทยาศาสตร์จะต้องแทนด้วยปริมาณซึ่งสามารถแสดงในเทอมของตัวเลข ดังนั้นแนวความคิดที่ถูกต้องเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์จะถูกพัฒนา จนสามารถให้ความหมายเป็นจำนวนที่แน่นอน ถ้าเราให้นิยามของปริมาณ (เช่นมวล) ซึ่งระบุอย่างแน่นอนว่าค่าปริมาณนั้น ๆ กำหนดในทุกกรณีอย่างไร การสังเกตคุณลักษณะของความหมายของมันอาจจะเป็นประโยชน์ แต่ไม่เพียงพอเท่ากับนิยาม ในด้านข้อเท็จจริงมันไม่น่าจะเป็นไปได้ที่จะให้นิยามที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เหมาะสมของทุก ๆ แนวความคิดปรากฏในทฤษฎีทางฟิสิกส์ แม้กระนั้นเมื่อเราเขียนลงในสมการทางคณิตศาสตร์โดยสมมติว่าสัญลักษณ์ที่ปรากฏในสมการมีความหมายแน่นอน และพยายามทำให้ชัดเจนและแน่นอนเท่าที่จะเป็นไปได้ และจดจำหัวข้อหรือจุดที่ไม่แน่นอน ไม่ชัดเจน. บางครั้งแนวความคิดใหม่สามารถจะให้นิยามในเทอมของความหมายอื่นซึ่งเป็นที่รู้จักโดยไม่มีปัญหา ตัวอย่างเช่น

โมเมนตัม = มวล x ความเร็ว

เป็นนิยามที่ถูกต้องและสมบูรณ์ของ "โมเมนตัม" โดยหาจาก "มวล" และ "ความเร็ว" แต่นิยามประเภทนี้จะใช้ไม่ได้ในทุกรูปแบบของทฤษฎี นอกเสียจากว่าเราจะเริ่มต้นจากแนวความคิดขั้นต้นซึ่งทราบความหมายอยู่แล้ว แนวความคิดแรกที่นำมาใช้ในทฤษฎีจะไม่สามารถนำมาใช้ในกรณีนี้ นอกเสียจากว่าเราไม่ทราบจะเอาอะไรมาใส่ไว้ทางขวามือของสมการ ความหมายนี้สามารถเข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยวิธีการซึ่งมีอยู่นอกทฤษฎีทางฟิสิกส์ เช่น เราจะใช้นิยามอันหนึ่งครั้งแล้วครั้งเล่าจนเข้าใจความหมายนั้นอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับเด็กที่เริ่มหัดพูดหรือนักฟิสิกส์ใหม่ก็เช่นกัน. เราอาจจะได้นิยามของเทอมทั้งหมดอย่างคร่าว ๆ จากการสังเกตและการทดลอง โดยทั่วไปแล้วหน่วยของจำนวนที่สามารถวัดได้ เช่น แรง, มวล และอื่น ๆ อาจจะถูกนิยามด้วยวิธีการอย่างหนึ่งอย่างใดเพื่อทำการวัดหน่วยนั้น หรือในขั้นต้น เราอาจจะให้นิยามอย่างคร่าว ๆ หลังจากนั้นจึงมีการตัดสินใจเกี่ยวกับความหมายนั้น โดยการใช้กฎและหลักฐานที่เรากำหนดขึ้นเพื่อแสดงผลของทฤษฎีในรูปแบบของการทดลอง. ข้อเสียข้อหนึ่งก็คือเราไม่สามารถแน่ใจได้เลยว่าแนวความคิดของเรานั้นถูกต้อง จึงต้องอาศัยประสพการณ์ช่วยในการตัดสินใจ

ตามประวัติศาสตร์ กลศาสตร์เป็นจุดเริ่มต้นสาขาหนึ่งของฟิสิกส์และพัฒนามาเป็นศาสตร์ที่แท้จริง กฎของคานและกฎของของไหลในสภาวะสถิตเป็นที่รู้จักของนักวิทยาศาสตร์ชาวกรีกก่อนศตวรรษที่ 3 ของ คริสตศักราช. การพัฒนาอย่างมากมายของวิชาฟิสิกส์ในสามร้อยปีที่ผ่านมา เริ่มต้นโดยการค้นพบกฎของกลศาสตร์ (The law of mechanics) โดยกาลิเลโอและนิวตัน. กฎของกลศาสตร์กำหนดสูตรโดยนิวตันในกลางศตวรรษที่ 17. กฎของไฟฟ้าและแม่เหล็กแมกซ์เวลล์ (Jame clerk maxwell) เป็นผู้กำหนดสูตรในประมาณ 200 ปีต่อมา หลังจากนั้นก็กลายเป็นทฤษฎีพื้นฐานของฟิสิกส์ยุคเก่า (classical physics). Relalivistic ฟิสิกส์เริ่มต้นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา

ผลงานของไอสไตน์ ในปี คศ. 1905 และฟิสิกส์ควอนตัม (quantum physics) มีพื้นฐานจากการทดลองของ Heisenberg และ Schroedinger ในปี คศ. 1925–1926 ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงและกำหนดกฎเกณฑ์ของกลศาสตร์ และ electrodynamics ในแบบความคิดของฟิสิกส์ยุคใหม่ อย่างไรก็ตามฟิสิกส์ยุคใหม่ก็ยังมีพื้นฐานของฟิสิกส์ยุคเก่า และยังคงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจหลักของกลศาสตร์และ electrodynamics แบบเก่าในการศึกษาเกี่ยวกับ Relativistic และฟิสิกส์ควอนตัม ยิ่งไปกว่านั้นกฎของกลศาสตร์ยังสามารถประยุกต์ไปใช้ทางวิศวกรรมศาสตร์และดาราศาสตร์ได้อีกด้วย นอกเสียจากว่าความเร็วของวัตถุหรืออนุภาคมีความเร็วใกล้เคียงหรือมากกว่าความเร็วของแสง หรือเมื่อวัตถุมีขนาดใหญ่มากหรือมีระยะทางมาก ๆ มาเกี่ยวข้อง กลศาสตร์ relativistic จะให้ผลบางอย่างเหมือนกับกลศาสตร์แบบเก่าที่จริงมันต้องเป็นเช่นนั้น เพราะว่าเรารู้จากประสพการณ์ว่ากลศาสตร์แบบเก่าให้ผลที่ถูกต้องในกรณีปกติ ในทำนองเดียวกันกลศาสตร์ควอนตัม (quantum mechanics) ก็เกี่ยวกับกลศาสตร์แบบเก่าด้วย ยกเว้นเมื่อเรานำไปประยุกต์ใช้กับระบบขนาดโมเลกุลหรือเล็กกว่านี้ ตามความจริงแล้วหลักการขั้นพื้นฐานในการกำหนดสูตรใหม่ของทฤษฎีทางฟิสิกส์นั้นจำเป็นจะต้องสอดคล้องกับทฤษฎีเก่า เมื่อนำไปใช้กับเหตุการณ์ซึ่งทฤษฎีเก่าเคยพิสูจน์ว่าถูกต้องมาก่อนแล้ว.

กลศาสตร์เป็นการศึกษาเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุ กลศาสตร์อาจแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ จลศาสตร์ (kinematics), พลศาสตร์ (dynamics), และสถิตศาสตร์ (statics) จลศาสตร์เป็นการศึกษาและบอกลักษณะของการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ของวัตถุ, พลศาสตร์เป็นการศึกษากฎที่ใช้กำหนดการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นไปได้ในระหว่างการเคลื่อนที่ทุกกรณีที่กำหนด ในทางพลศาสตร์เราจะมีแนวความคิดเกี่ยวกับแรง ปัญหาการเคลื่อนที่แบบพลศาสตร์ คือ การกำหนดระบบทางฟิสิกส์สำหรับการเคลื่อนที่ภายใต้การกระทำของแรงที่กำหนด, สถิตศาสตร์เป็นการศึกษาเรื่องของแรงและระบบของแรง โดยที่ระบบของแรงกระทำต่อวัตถุที่หยุดนิ่ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา

2.2 จลศาสตร์, ลักษณะของการเคลื่อนที่ (KINEMATICS, THE DESCRIPTION OF MOTION)

กลศาสตร์เป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุ สิ่งแรกเราจึงต้องอธิบายลักษณะของการเคลื่อนที่ เป็นการง่ายที่จะอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคเดี่ยว นั่นคือ ขนาดและโครงสร้างภายในของวัตถุไม่เป็นปัญหาสำหรับการพิจารณา ตัวอย่าง เช่น โลกเราซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นอนุภาคเดี่ยว สำหรับปัญหาการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ แต่ไม่ถูกต้องเสมอไปสำหรับปัญหาบนผิวโลก. เราสามารถอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่เกี่ยวกับตำแหน่งของอนุภาคโดยการระบุจุดในสเปซซึ่งทำได้โดยกำหนดโคออดิเนตขึ้นมา 3 ตัวในแกนที่เราใช้กันเป็นส่วนใหญ่ คือ regtancular coordinates สำหรับอนุภาคที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (บทที่ 3) เราใช้โคออดิเนตเพียง 1 ตัวเท่านั้น เราระบุโคออดิเนตในลักษณะฟังก์ชั่นของเวลา กล่าวคือ

$$\begin{aligned} &1 - \text{มิติ} \quad : \quad x(t) \\ &2 - \text{มิติ} \quad : \quad x(t),\ y(t) \\ &3 - \text{มิติ} \quad : \quad x(t),\ y(t),\ z(t) \end{aligned} \tag{2.1}$$

ปัญหาพื้นฐานของกลศาสตร์แบบเก่า คือ การหาวิธีที่จะกำหนดฟังก์ชั่นซึ่งระบุตำแหน่งของวัตถุในรูปฟังก์ชั่นของเวลา ความหมายทางฟิสิกส์เกี่ยวกับฟังก์ชั่น $x(t)$ คือ การจำกัดกฎที่จะบอกว่าเราวัดโคออดิเนต x ของอนุภาคในเวลา t ได้อย่างไร สมมติว่าเราทราบความหมายของ $x(t)$ เราสามารถหาความเร็ว v_x ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของเวลา t ในแนวแกน x ได้ คือ

$$v_x = \dot{x} = \frac{dx}{dt} \tag{2.2}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$v_y = \dot{y} = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \dot{z} = \frac{dz}{dt}$$

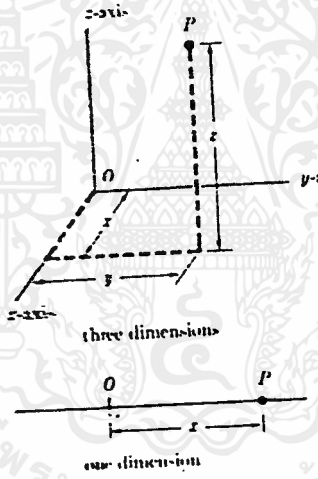
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นเราสามารถหาความเร่งในแต่ละแกน คือ a_x, a_y, a_z ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของความเร็วของแต่ละแกนเทียบกับเวลา กล่าวคือ

$$a_x = v_x = \frac{dv_x}{dt} = \dot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$a_y = v_y = \frac{dv_y}{dt} = \dot{y} = \frac{d^2y}{dt^2} \qquad (2.3)$$

$$a_z = v_z = \frac{dv_z}{dt} = \dot{z} = \frac{d^2z}{dt^2}$$



รูป 2.1 Rectargular coordinates specifying the position of a particle p relative to on origin 0

การนำระบบโคออร์ดิเนตมาใช้ เราต้องคำนึงถึงความเหมาะสมเกี่ยวกับรูปร่างของวัตถุหรืออนุภาคว่าอยู่ในลักษณะอย่างไร มีการเคลื่อนที่แบบไหน ไม่จำเป็นว่าเราจะต้องใช้ regtangular coordinates เสมอไป เพราะบางครั้ง regtangular coordinates อาจไม่สะดวกที่จะใช้ได้ เราจึงต้องใช้ระบบโคออร์ดิเนตแบบอื่น (ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1) เช่น ทรงกลม เราใช้ spherical coordinates เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.3 พลศาสตร์. มวลและแรง (DYNAMICS. MASS AND FORCE)

จากประสบการณ์ทำให้เราเชื่อว่าการเคลื่อนที่ของวัตถุจะถูกควบคุมโดยอันตรกิริยาระหว่างวัตถุเองและสิ่งที่อยู่รอบ ๆ ตัวมัน การสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์และการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเรียบทำให้เราได้ความคิดว่าการเปลี่ยนความเร็วของวัตถุเกิดขึ้นจากอันตรกิริยาของวัตถุและสิ่งรอบ ๆ ตัวมัน, วัตถุที่อยู่โดดเดี่ยวสำหรับทุก ๆ อันตรกิริยาจะมีความเร็วคงที่ ด้วยเหตุนี้เองการกำหนดกฎทางพลศาสตร์ เราจึงมุ่งความสนใจไปยังความเร่ง.

เราอาจินตนาการเกี่ยวกับอันตรกิริยาของวัตถุ 2 อัน และวัตถุที่อยู่โดดเดี่ยวซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาของสิ่งรอบตัวมัน โดยการจินตนาการอย่างสังเขปของเด็กชายสองคน ที่มีขนาดคนละขนาด (ไม่จำเป็นจะต้องมีขนาดเท่ากัน) เล่นชักกะเย่อกันบนผิวเรียบของน้ำแข็งที่แข็งเกร็ง. แม้ว่าไม่มีการกระทำระหว่างวัตถุ 2 อันใด ๆ จะสามารถอยู่ในลักษณะโดดเดี่ยวได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากอันตรกิริยาของวัตถุอื่น ๆ แต่สิ่งนี้ก็เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของจินตนาการสำหรับการยอมรับกฎทางคณิตศาสตร์แบบง่าย ๆ. ถ้าเราวัดโคออร์ดิเนต x_1 และ x_2 ของวัตถุทั้งสองในแนวของความเร่งได้ แล้ว

$$\frac{\ddot{x}_1}{\ddot{x}_2} = - k_{12} \tag{2.4}$$

เมื่อ k_{12} เป็นค่าคงที่ที่เป็นบวกของวัตถุ 2 อันที่เกี่ยวข้องกัน เครื่องหมายลบแสดงถึงความจริงที่ว่าความเร่งทั้งสองจะมีทิศทางตรงกันข้าม

เรายังพบว่าโดยทั่วไปวัตถุที่ใหญ่หรือมีน้ำหนักมาก จะถูกเร่งขึ้นได้น้อยจากความจริงเราทราบว่าอัตราส่วนของ k_{12} เป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของวัตถุ ที่ 2 ต่อวัตถุที่ 1 และความเร่งจากอันตรกิริยาของวัตถุทั้งสองเป็นสัดส่วนผกผันกับน้ำหนัก สิ่งที่กล่าวมานี้เป็นแนวทางสำหรับที่จะให้ความหมายของคำว่า มวล ของวัตถุในเทอมของความเร่ง. เราให้วัตถุมาตรฐานเป็นหนึ่งหน่วยของมวล สำหรับมวลของวัตถุอื่น ๆ เราหาได้จากอัตราส่วนของความเร่งของหนึ่งหน่วยมวลต่อความเร่งของวัตถุอื่น ๆ เมื่อวัตถุทั้งสองนั้นมีอันตรกิริยาต่อกัน :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้

$$m_i = k_{1i} = -\ddot{x}_1/\ddot{x}_2 \qquad (2.5)$$

เมื่อ m_i เป็นมวลของวัตถุ i, และวัตถุ 1 เป็นหนึ่งหน่วยมวลมาตรฐาน. เพื่อว่าสมการ (2.5) อาจเป็นนิยามที่มีประโยชน์ อัตราส่วน k_{12} ของความเร่งของวัตถุทั้งสองต้องมีข้อกำหนดที่แน่นอน

สิ่งสำคัญอีกอย่างคือ แนวความคิดของมวลที่เป็นอิสระของวัตถุซึ่งถูกกำหนดให้เป็นมวลหนึ่งหน่วย ในความหมายที่ว่าอัตราส่วนของมวล 2 มวลจะเป็นอันเดียวกันโดยไม่มีปัญหาว่าหนึ่งหน่วยของมวลจะถูกกำหนดอย่างไร นี่เป็นความจริงเพราะว่าความสัมพันธ์ต่อไปนี้ ได้ค้นพบจากการทดลอง ระหว่างอัตราส่วนของความเร่งซึ่งนิยามโดยสมการ (2.4) ของวัตถุใด ๆ 3 อัน คือ

$$k_{12}\ k_{23}\ k_{31} = 1 \qquad (2.6)$$

สมมติว่าวัตถุ 1 เป็นหนึ่งหน่วยของมวล ดังนั้นวัตถุ 2 และวัตถุ 3 จะมีอันตรกิริยาซึ่งกันและกัน เราหาความสัมพันธ์นี้ได้จากสมการ (2.4), (2.6) และ (2.5) ดังนี้

$$\begin{aligned} \ddot{x}_2/\ddot{x}_3 &= -k_{23} \\ &= -1\ (k_{12}\ k_{31}) \\ &= -k_{13}\ /\ k_{12} \\ &= -m_3/m_2 \end{aligned} \qquad (2.7)$$

ในที่สุดจะไม่มีการกล่าวถึงวัตถุ 1 ซึ่งเป็นมวลหนึ่งหน่วยมาตรฐาน ด้วยเหตุนี้อัตราส่วนของมวล 2 มวลใด ๆ จึงเป็นลบ และผกผันกับอัตราส่วนของความเร่ง โดยไม่เกี่ยวข้องกับมวลหนึ่งหน่วยที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากสมการ (2.7) เราได้ อันตรกิริยาระหว่างมวล 2 มวลเป็น

$$m_2 \ddot{x}_2 = -m_1 \ddot{x}_1 \qquad (2.8)$$

นี่คือ ปริมาณที่สำคัญ (มวล x ความเร่ง) และเราเรียกปริมาณนี้ว่าเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ ความเร่งของวัตถุในสเปซซึ่งมี 3 องค์ประกอบ แต่ละองค์ประกอบของแรงที่กระทำต่อวัตถุ คือ

$$F_x = m\ddot{x}, \quad F_y = m\ddot{y}, \quad F_z = m\ddot{z} \qquad (2.9)$$

แรงที่กระทำต่อวัตถุมีหลายชนิด เช่น แรงทางไฟฟ้า, แรงแม่เหล็ก, แรงโน้มถ่วง เป็นต้น

2.4 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (NEWTON'S LAWS OF MOTION)

นิวตัน (Sir Isaac Newton, คศ. 1642-1727) เป็นคนแรกที่สรุปกฎที่เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ไว้ 3 ข้อ โดยอาศัยการสังเกตของเขาและผู้อื่นประกอบ และเราเรียกกฎนี้ว่า "กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน" ซึ่งมีใจความดังนี้

1. อนุภาคอิสระจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยอัตราเร็วคงตัว หรือมิฉนั้นก็อยู่นิ่งกับที่ (ความเร็วเป็นศูนย์)
2. อัตราเวลาของการเปลี่ยนโมเมนตัมของอนุภาคย่อมเท่ากับแรงที่กระทำบนอนุภาคนั้น.
3. เมื่ออนุภาค 2 อนุภาคกระทำระหว่างกัน แรงบนอนุภาคหนึ่งย่อมเท่ากันและตรงกันข้ามกับแรงบนอีกอนุภาคหนึ่ง

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเราสรุปในรูปของสัญญลักษณ์ได้ดังนี้

กฎข้อที่ 1 : $\vec{F} = 0$ เมื่อ $\hat{a} = 0$

กฎข้อที่ 2: $\vec{F} = m\hat{a}$ หรือ $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎข้อที่ 3: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันทั้งสามข้อนี้ จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อกรอบอ้างอิงเป็นกรอบอ้างอิงอินเนอร์เชีย หรือกรอบอ้างอิงเฉื่อย (inertial frame of reference) และความเร็วของอนุภาคจะต้องไม่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 ของความเร็วของแสง. อาจสงสัยว่าทำไมนิวตันจึงต้องเขียนกฎข้อที่ 1 แยกออกจากกฎข้อที่ 2 ถ้าพิจารณาดูให้ดีจะเห็นว่ากฎข้อที่ 1 กรอบอ้างอิงของผู้สังเกต คือ กรอบอ้างอิงอินเนอร์เชียเท่านั้นที่กฎข้อที่ 1 จะเป็นจริง จึงอาจถือว่ากฎข้อที่ 1 เป็นการกำหนดขอบเขตการใช้กฎข้อที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นความจริงในขอบเขตนั้น กฎข้อที่ 2 ยังอาจถือเป็นนิยามของแรงและมวลให้เป็นปริมาณทางกายภาพที่ชัดเจนอีกด้วย แทนที่จะคิดเพียงว่าแรงคือการดึงหรือผลัก และมวลคือสมบัติของความเฉื่อยเท่านั้น จากกฎข้อที่ 2 นี้เราอาจกล่าวได้ว่า แรงคือสิ่งซึ่งเมื่อกระทำตามลำพังจะทำให้มวลมีความเร่งได้ ขนาดของแรงวัดได้จากความสัมพันธ์ตามกฎข้อที่ 2 ส่วนโมเมนตัมในกฎข้อที่สองนั้น เราหาได้จากสมการของแต่ละแกนดังนี้

$$P_x = mv_x, \quad P_y = mv_y, \quad P_z = mv_z. \tag{2.10}$$

เมื่อ P_x, P_y, P_z และ v_x, v_y, v_z เป็นโมเมนตัมและความเร็วในแนวแกน x, แกน y และแกน z ตามลำดับ.

กฎข้อที่ 3 เกี่ยวกับความสมมาตรในธรรมชาติของแรงระหว่างวัตถุ ดังเช่นโลกดึงดูดดวงจันทร์ด้วยแรงเท่าใด ดวงจันทร์ดึงดูดโลกด้วยแรงเท่ากัน ความจริงข้อนี้มีความสำคัญเช่นกัน เช่นการคงที่ของโมเมนตัมในการชนกันเกี่ยวข้องโดยตรงกับกฎข้อนี้ของแรง.

2.5 ความโน้มถ่วง (GRAVITATION)

เราพอจะทราบว่าการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์และการตกของวัตถุบนโลกอาจเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุที่ดึงดูดซึ่งกันและกัน ผู้ที่กำหนดทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ของปรากฏการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

นี่:เป็นคนแรกคือนิวตัน นิวตันได้แสดงโดยวิธีที่พิจารณาภายหลังว่า การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์อาจจะนับหาปริมาณได้ ถ้าสมมติว่าทุก ๆ คู่ของวัตถุมีแรงกระทำร่วมกันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลและเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสองยกกำลังสอง

$$F = \frac{G m_1 m_2}{r^2} \qquad (2.11)$$

เมื่อ m_1, m_2 เป็นมวลของวัตถุทั้งสอง, r เป็นระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสอง, และ G คือค่าคงโน้มถ่วง ซึ่งจากการทดลองมีค่าเป็น

$$G = (6.675 \pm 0.005) \times 10^{8} \ cm^3 - sec^{-2} \ g^{-1} \qquad (2.12)$$

กรณีของวัตถุเล็ก ๆ มวล m ที่ใกล้ ๆ ผิวโลกหรือที่ผิวโลก แรงโน้มถ่วงคือ

$$F = mg \qquad (2.13)$$

เมื่อ

$$g = \frac{G M}{R^2} = 980.2 \ cm - sec^{-2}$$

โดยที่ M เป็นมวลของโลก และ R เป็นรัศมีของโลก ปริมาณ g เป็นขนาดของความเร่ง เราสามารถแสดงจากสมการ (2.11) และ (2.13) ว่าวัตถุที่ตกลงมาอย่างอิสระบนผิวโลกตกลงมาด้วยความเร่ง g

สมการ (2.13) ให้ความสะดวกในทางปฏิบัติโดยวัดมวลมากกว่า การพิจารณาจุดกำเนิดของนิยาม (1.5) เราอาจจะวัดมวลได้โดยหาแรงโน้มถ่วงของมันจากตาชั่ง หรือโดยการเปรียบเทียบแรงโน้มถ่วงบนวัตถุ กับ มวลมาตรฐานด้วยวิธีทำให้สมดุลหรือนำไปชั่ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้

2.6 หน่วยและขนาด (UNITS AND DIMENSIONS)

ในการจัดระบบของหน่วยในเทอมซึ่งแสดงการวัดทางกายภาพ สิ่งแรกเราเลือกหน่วยมาตรฐานสำหรับใช้เป็นปริมาณพื้นฐานทางกลศาสตร์ (เช่น มวล, ความยาว, และเวลา) เราหาหน่วยของปริมาณอื่น ๆ ในเทอมของหน่วยพื้นฐาน (เช่น หน่วยของความเร็วเป็นหนึ่งหน่วยความยาวหารด้วยหนึ่งหน่วยเวลา). มันเป็นเหตุผลเพียงสำหรับการกำหนดมวล ความยาว และเวลาให้เป็นปริมาณพื้นฐานทางกลศาสตร์โดยไม่มีข้อขัดแย้ง เราอาจกำหนดปริมาณพื้นฐานเพียง 3 ปริมาณที่กล่าวมาหรือมากกว่าก็ได้

มีระบบหน่วย 3 ระบบที่ใช้กันอยู่ คือ ระบบ c g s (Centimeter - gram -second), ระบบ m k s (meter - kilogram-second) และระบบอังกฤษ (foot - pound - second) จะเห็นว่าชื่อของมันขึ้นอยู่กับชื่อของหน่วยพื้นฐาน หน่วนสำหรับปริมาณอื่นได้จากนิยามของสมการโดยแทนหน่วยสำหรับหน่วยพื้นฐาน ตัวอย่าง เช่น ความเร็ว โดยสมการ (2.2)

$$v_x = \frac{dx}{dt}$$

ความเร็วกำหนดโดยระยะทางหารด้วยเวลา ด้วยเหตุนี้หน่วยของความเร็วจึงเป็น cm/sec, m/sec, ft/sec ในแต่ละระบบ ปัจจุบันเราพยายามใช้ระบบหน่วย SI ซึ่งตัดระบบอังกฤษออกไปนั่นเอง)

ในทำนองเดียวกัน เราสามารถแสดงหน่วยของแรงใน 3 ระบบ โดยสมการ (2.9) คือ $g - cm - sec^{-2}$, $kg - m - sec^{-2}$, $lb - ft - sec^{-2}$ หน่วยเหล่านี้เรียกชื่อเฉพาะเป็น ไดน์, นิวตัน และ เปาว์แดล. หน่วยของแรงโน้มถ่วงหาได้จากการแทนค่าสมการ (2.9)

$$F_x = \frac{m\ddot{x}}{g}, \quad F_y = \frac{m\ddot{y}}{g}, \quad F_z = \frac{m\ddot{z}}{g} \qquad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $g = 980.2\ cm - sec^{-2} = 9.802\ m - sec^{-2} = 32.16\ ft - sec^{-2}$

และเป็นความเร่งมาตรฐานของแรงโน้มถ่วงที่พื้นผิวโลก

สมการทางฟิสิกส์ขนาดหรือหน่วยของเทอมที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดต้องเท่ากันทั้งสองข้างของสมการ ตัวอย่างเช่น การตรวจหาขนาดของสมการ (2.11) จากการทราบค่าหน่วยของค่าคงที่ G จากสมการ (2.12)

$$F = \frac{G m_1 m_2}{r^2}$$

เมื่อเราแทนค่าหน่วยของปริมาณในระบบ c g s จะได้

$$g - cm - sec^{-2} = \frac{(cm^3 - sec^{-2} - g^{-1})(g)(g)}{cm^2}$$

$$= g - cm - sec^{-2} \qquad (2.16)$$

การตรวจสอบการเท่ากันของสมการทั้งสองข้างแบบนี้ ไม่ขึ้นอยู่กับระบบของหน่วย เราอาจตรวจสอบได้ใช้ระบบ m k s หรือ ระบบอังกฤษก็ได้ สมการทั้งสองข้างก็ยังคงเท่ากัน หรือเราอาจแสดงให้เห็นในแบบสัญญลักษณ์ของหน่วยพื้นฐานก็ได้ กล่าวคือ ให้ l, m, t เป็นความยาว, มวล, เวลา ตามลำดับ ดังนั้นหน่วยของแรงแบบสมการ 2.16 คือ

$$ml\ t^{-2} = \frac{(l^3\ t^{-2}\ m^{-1})(m)\ (m)}{l^2} = m\ l\ t^{-2}$$

ถ้าหน่วยของสมการทั้งสองข้างไม่เท่ากันแสดงว่าสมการนั้นผิดแน่นอน แต่ถ้าหน่วยของสมการทั้งสองเท่ากัน ก็ยังไม่อาจแน่ใจได้เลยว่าสมการนั้นจะถูกต้อง มันอาจเกิดจากความผิดพลาดหรือความบังเอิญก็ได้ เราต้องตรวจสอบความถูกต้องของที่มาของสมการเสียก่อนจึงจะแน่ใจได้ร้อยเปอร์เซ็นต์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา

2.7 ปัญหาพื้นฐานบางอย่างของกลศาสตร์ (SOME ELEMENTARY PROBLEMS IN MECHANICS)

ก่อนจะเริ่มต้นการพัฒนาการทางกลศาสตร์บนพื้นฐานของกฎซึ่งจะกล่าวถึงในตอนนี้ ขอเริ่มด้วยการพิจารณาปัญหาบางอย่างเกี่ยวกับพื้นฐานทางกลศาสตร์ เพื่อขจัดข้อสงสัยให้หมดไป

ปัญหาอย่างหนึ่งซึ่งง่ายที่สุดในทางกลศาสตร์ คือ การอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงซึ่งถูกกระทำด้วยแรงคงที่ ถ้ามวลของวัตถุ คือ m และแรงเป็น F ดังนั้นจากกฎการเคลื่อนที่ข้อ 2 ของนิวตัน เราทราบ

$$F = ma \tag{2.18}$$

ดังนั้นค่าคงที่ของความเร่ง คือ

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{F}{m} \tag{2.19}$$

เมื่อคูณสมการ (2.19) ด้วย dt เราได้การเปลี่ยนของความเร็วในระหว่างช่วงเวลาสั้น ๆ dt เป็น

$$dv = \frac{F}{m}\, dt \tag{2.20}$$

จากการอินทิเกรตสมการ (2.20) เราพบว่าการเปลี่ยนของความเร็วในระหว่างเวลา t คือ

$$dv = \frac{F}{m}\, dt, \tag{2.21}$$

$$v - v_o = \frac{F}{m}\, t \ , \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เมื่อ v_o เป็นความเร็วที่เวลา $t = o$ ถ้า เป็นระยะทางตามเส้นตรงที่วัดจากจุดกำเนิด แล้ว

$$v = \frac{dx}{dt} = v_o + \frac{F}{m} t . \tag{2.23}$$

จากการอินทิเกรตสมการ (2.23) ด้วย x แล้วอินทิเกรตเพื่อหาค่า x:

$$\int_{x_o}^{x} dx = \int_{o}^{t} (v_o + \frac{F}{m} t)\, dt \tag{2.24}$$

$$x = x_o + v_o t + \tfrac{1}{2} \frac{F}{m} t^2 \tag{2.25}$$

เมื่อ x_o แสดงตำแหน่งของวัตถุที่เวลา $t = 0$. เราได้อธิบายการเคลื่อนที่ที่สมบูรณ์. เราสามารถคำนวณจากสมการ (2.25) และ (2.22) เกี่ยวกับความเร็วของวัตถุในเวลา t ใด ๆ และระยะทางที่เคลื่อนที่ไปได้. กรณีวัตถุตกอย่างอิสระใกล้ผิวโลกซึ่งเกิดจากแรงตามสมการ (2.13). ในกรณีนี้ ถ้า x เป็นความสูงของวัตถุที่ตก เราได้

$$F = - mg \tag{2.26}$$

เครื่องหมายลบที่ปรากฏแสดงว่าแรงมีทิศลงข้างล่าง และถ้าเครื่องหมายบวกปรากฏแสดงว่าการเคลื่อนที่มีทิศขึ้นข้างบน. โดยการแทนค่าสมการ (2.26) ในสมการ (2.19), (2.22) และ (2.25), เราได้

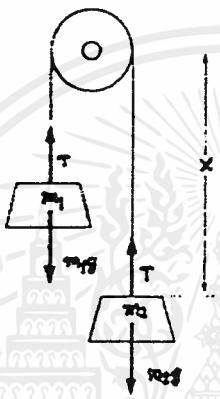
$$a = - g, \tag{2.27}$$

$$v = v_o - gt , \tag{2.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

$$x = x_o + v_o t - \tfrac{1}{2} g t^2 \qquad (2.29)$$

การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เราสามารถนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันไปใช้ได้มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สอง ตัวอย่างเช่น เรื่องของ Atwood's machine ซึ่งมีระบบการเคลื่อนที่ดังรูป 2.2 กล่าวคือ มวล m_1 และมวล m_2 ผูกติดที่ปลายเชือกเส้นหนึ่งซึ่งคล้องผ่านรอก (ไม่คิดแรงเสียดทานระหว่างรอกกับเส้นเชือก)



รูป 2.2 Atwood's machine

ถ้า $m_2 > m_1$ และเส้นเชือกมีความยาวคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ โดยแกน x การเคลื่อนที่ของระบบ ดังนั้นความเร็วของมวล m_1 และมวล m_2 คือ

$$v = \frac{dx}{dt} \qquad (2.30)$$

ความเร็ว m_1 ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นข้างบนเป็นบวก ส่วนความเร็ว m_2 เคลื่อนที่ลงข้างล่าง ถ้าเราไม่คิดแรงเสียดทานใด ๆ รวมทั้งแรงเสียดทานของอากาศ แรงที่กระทำต่อมวล m_1 และมวล m_2 คือ

$$F_1 = -m_1 g + T \qquad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

และ

$$F_2 = m_2 g - T \tag{2.32}$$

เมื่อ T เป็นแรงดึงในเส้นเชือก จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน ทำให้สมการ (2.31) และ (2.32) จึงกลายเป็น

$$-m_1 g + T = m_1 a \tag{2.33}$$

และ

$$m_2 g - T = m_2 a \tag{2.34}$$

เมื่อ a เป็นความเร่งของเส้นเชือกหรือ $= \frac{dv}{dt}$, และโดยการบวกสมการ (2.33) กับ (2.34) เราได้ค่าของความเร่งของเส้นเชือกเป็น

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{m_2 - m_1}{(m_1 + m_2)} g \tag{2.35}$$

จากการแทนค่าสมการ (2.35) ในสมการ (2.33) หรือสมการ (2.34) เราได้ค่าของแรงดึงในเส้นเชือกเป็น

$$T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g. \tag{2.36}$$

สมการ (2.35) และ (2.36) คือคำตอบของระบบการเคลื่อนที่ของ Atwood's machine กรณีที่ $m_2 > m_1$ สำหรับกรณีที่ $m_1 = m_2$ เราสามารถหาคำตอบได้ว่า a = o และ

$$T = m_1 g = m_2 g \tag{2.37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

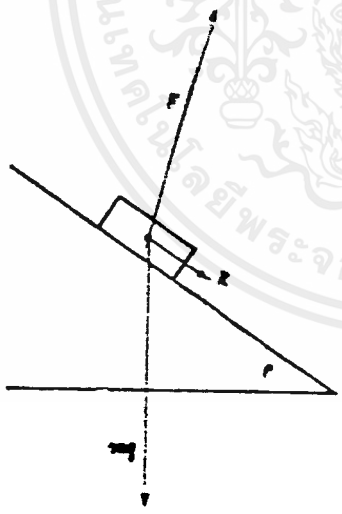
ถ้ามวลทั้งสองอยู่ในลักษณะสมดุลสถิตย์ เราทบว่า ถ้า $m_2 >> m_1$ แล้ว

$$a \doteq g \tag{2.38}$$

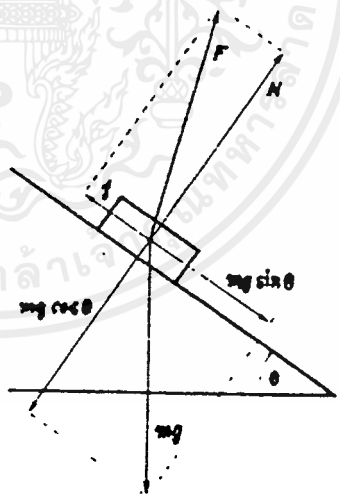
$$T \doteq 2m_1 g \tag{2.39}$$

ผู้อ่านจะต้องยอมรับด้วยตัวเองว่า สมการ (2.38) และ (2.39) เป็นไปได้ในกรณีที่กล่าวมานี้.

เมื่อมีแรงหลาย ๆ แรงกระทำต่อวัตถุ ความเร่งของมันหาได้จากผลบวกของเวกเตอร์ของแรงที่กระทำ และแรงใด ๆ เราสามารถแตกให้อยู่ในลักษณะขององค์ประกอบของแรงของแต่ละได้ แรงที่อยู่ในลักษณะเช่นนี้เป็นอีกกรณีหนึ่งของการนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันมาใช้ ตัวอย่างเช่น วัตถุมวล m เคลื่อนที่ลงบนระนาบเอียงซึ่งเอียงเป็นมุม θ กับแนวระดับ ดังรูป 2.3



รูป 2.3 Force acting on a brick sliding down an incline



รูป 2.4 Resolution of for as into component parallel and perpende cular to the incline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ามีแรง 2 แรงที่กระทำต่อแท่งอิฐ (brick) แรงหนึ่งคือน้ำหนัก mg จากแท่งอิฐ ส่วนอีกแรงเป็นแรง F ซึ่งเป็นแรงที่ระนาบกระทำต่อแท่งอิฐ เมื่อแท่งอิฐเคลื่อนที่ลง แรงลัพธ์ R ที่กระทำต่อแท่งอิฐ คือ

$$R = ma \tag{2.40}$$

เมื่อแท่งอิฐมีความเร่งในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ R แสดงให้เห็นว่าถ้าวัตถุเคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงโดยไม่มีการกระโดดจากพื้นเอียงแล้วแรงลัพธ์ R ที่ได้ต้องมีทิศทางตามพื้นเอียง เพื่อหาค่า R เราแก้ปัญหาของแรงโดยการแตกแรงดังรูป 2.4 กล่าวคือ เราแตกแรง F ออกเป็น 2 แรงคือ แรงปฏิกิริยาตั้งฉาก N กับแรง f ที่ขนานกับระนาบและมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ เกิดขึ้นจากความเสียดทานระหว่างแท่งอิฐกับพื้นระนาบหรือเราเรียกว่าแรงเสียดทาน จากการแตกแรงดังรูป 2.4 เราได้

$$R = mg \sin\theta - f \tag{2.41}$$

$$0 = N - mg \cos\theta \tag{2.42}$$

ถ้าแรงเสียดทาน f เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก N เราได้ว่า

$$f = \mu N = \mu mg \cos\theta \tag{2.43}$$

เมื่อ μ เป็นสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน. จากสมการ (2.43), (2.41) และ (2.40) เราสามารถคำนวณค่าของความเร่งได้เป็น

$$a = g(\sin\theta - \mu \cos\theta) \tag{2.44}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.44) เราสามารถคำนวณหาความเร็วและตำแหน่งของมวล m ได้ในลักษณะเป็นฟังก์ชั่นของเวลา. ตามตัวอย่างที่ได้กล่าวมานี้เราให้วัตถุเคลื่อนที่ลงตามระนาบเอียงโดยมีความเร่ง ถ้าเราจะพิจารณาอีกกรณีหนึ่งของตัวอย่างนี้ คือ กรณีที่วัตถุหยุดนิ่งกับที่ (หรือเคลื่อนที่ลงด้วยอัตราเร็วคงตัว) กล่าวคือให้วัตถุอยู่ในลักษณะสมดุล เนื่องจากแรงเสียดทาน ดังนั้น แรงเสียดทานขณะที่วัตถุหยุดนิ่งจะมีค่ามากที่สุด เป็น

$$f \leq \mu_s N \tag{2.45}$$

เมื่อ μ_s เป็นสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานสถิตย์ และมีค่ามากกว่า μ เสมอ ในกรณีนี้ R เป็น 0 และ

$$f = mg \sin\theta \leq \mu_s mg \cos\theta \tag{2.46}$$

ตามสมการ (2.46) มุม θ ใด ๆ ของระนาบเอียงจะต้องไม่ใหญ่กว่ามุม θ_r ซึ่งเป็นมุมที่จำกัดให้วัตถุหยุดนิ่งอยู่ได้บนระนาบเอียง นั่นคือ

$$\tan\theta \leq \tan\theta_r = \mu_s \tag{2.47}$$

กรณีวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี r ด้วยอัตราเร็วคงที่ v ความเร่งที่เกิดขึ้นจะเป็นความเร่งสู่ศูนย์กลางของวงกลม ซึ่งมีขนาดเป็น

$$a = \frac{v^2}{r} \tag{2.48}$$

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อสองของนิวตัน แรงสู่ศูนย์กลางจึงมีค่าเป็น

$$F = ma = \frac{mv^2}{r} \tag{2.49}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สังเกตว่า mv^2/r ไม่ใช่แรงหนีศูนย์กลาง เพราะแรงหนีศูนย์กลางมีทิศออกจากศูนย์กลางซึ่งตรงกันข้ามกับแรงสู่ศูนย์กลาง F ที่กล่าวมา.

ตัวอย่างของการเคลื่อนแบบวงกลมภายใต้แรงสู่ศูนย์กลาง เช่น วิถีโคจรของดวงจันทร์รอบโลก ซึ่งเกือบเป็นวงกลม (ถือว่าเป็นวงกลม) และเราสมมติว่าที่จุดศูนย์กลางของโลกเราอยู่ในสภาพนิ่ง จากสมการ (2.11) ดังนั้น แรงที่กระทำต่อดวงจันทร์ คือ

$$F = \frac{G M m}{r^2} \tag{2.50}$$

เมื่อ M เป็นมวลของโลก และ m เป็นมวลของดวงจันทร์ เราสามารถอธิบายแรงนี้ในเทอมของรัศมี R ของโลก และความเร่ง g ของแรงโน้มถ่วงที่ผิวของโลก โดยการแทนค่า GM จากสมการ (2.14) ดังนั้นสมการ (2.50) กลายเป็น

$$F = \frac{mg R^2}{r^2} \tag{2.51}$$

อัตราเร็วของดวงจันทร์ คือ

$$v = \frac{2\pi r}{T} \tag{2.52}$$

เมื่อ T เป็นคาบเวลาของการโคจรครบ 1 รอบ และโดยการแทนสมการ (2.51), (2.52) ในสมการ (2.49) เราสามารถหาค่าของ r ได้เป็น

$$r^3 = \frac{g R^2 T^2}{4\pi^2} \tag{2.53}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สมการ (2.53) นี้เป็นสมการแรกที่นิวตันใช้ตรวจหาภูกำลังสองผกผันของความโน้มถ่วง มันไม่ถูกต้องนักเพราะว่าวงโคจรของดวงจันทร์ไม่เป็นวงกลมอย่างแท้จริง และโลกก็ไม่ได้อยู่นิ่งกับที่ที่จุดศูนย์กลางของวงโคจรของดวงจันทร์ แต่เราก็สามารถทราบค่าโดยประมาณของสมการ (2.53) ได้ กล่าวคือ ถ้าเราแทนค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ทราบจากการวัดในสมการ (2.53) คือ

$$g = 980.2 \text{ cm} - \text{sec}^{-2}$$

$$R = 6,368 \text{ km}$$

$$T = 27\frac{1}{3} \text{ days}$$

เราจะได้

$$r = 383,000 \text{ km.}$$

ซึ่งค่าที่แท้จริงของระยะทางของดวงจันทร์จากโลก ตามการวัดแบบใหม่ คือ

$$r = 385,000 \text{ km.}$$

ค่าของ r และ R ตามแบบของนิวตัน แม้จะมีข้อผิดพลาดไปบ้าง แต่เราก็ไม่ปิดตายที่จะยอมรับกฎเกณฑ์และทฤษฎีของเขา.

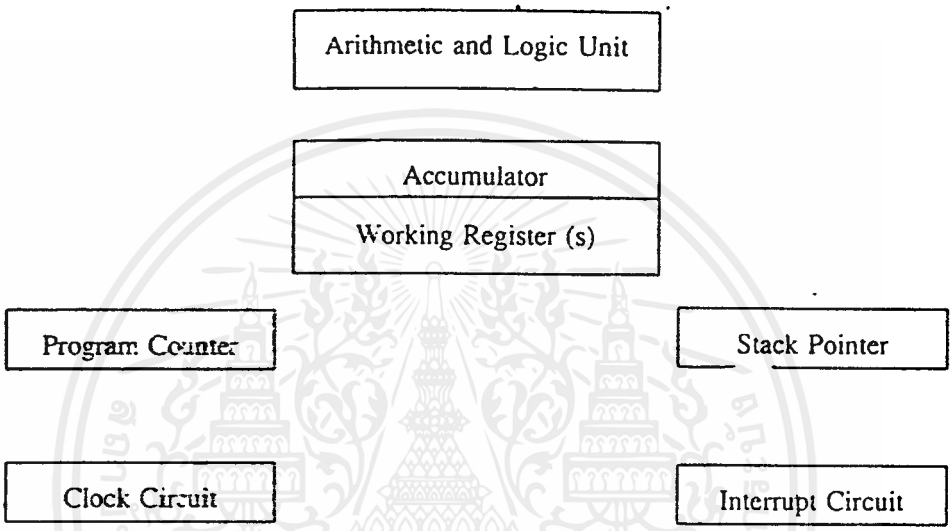
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

1.0 บทนำ

ไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีขนาดเล็กมากกินไฟน้อย (สมัยก่อน โปรเซสเซอร์ทำด้วยหลอดสูญญากาศมีขนาดใหญ่มาก) โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังแสดงใน รูปที่ 1.1



รูป 1.1 แสดงถึงบล็อคไดอะแกรมของไมโครโปรเซสเซอร์

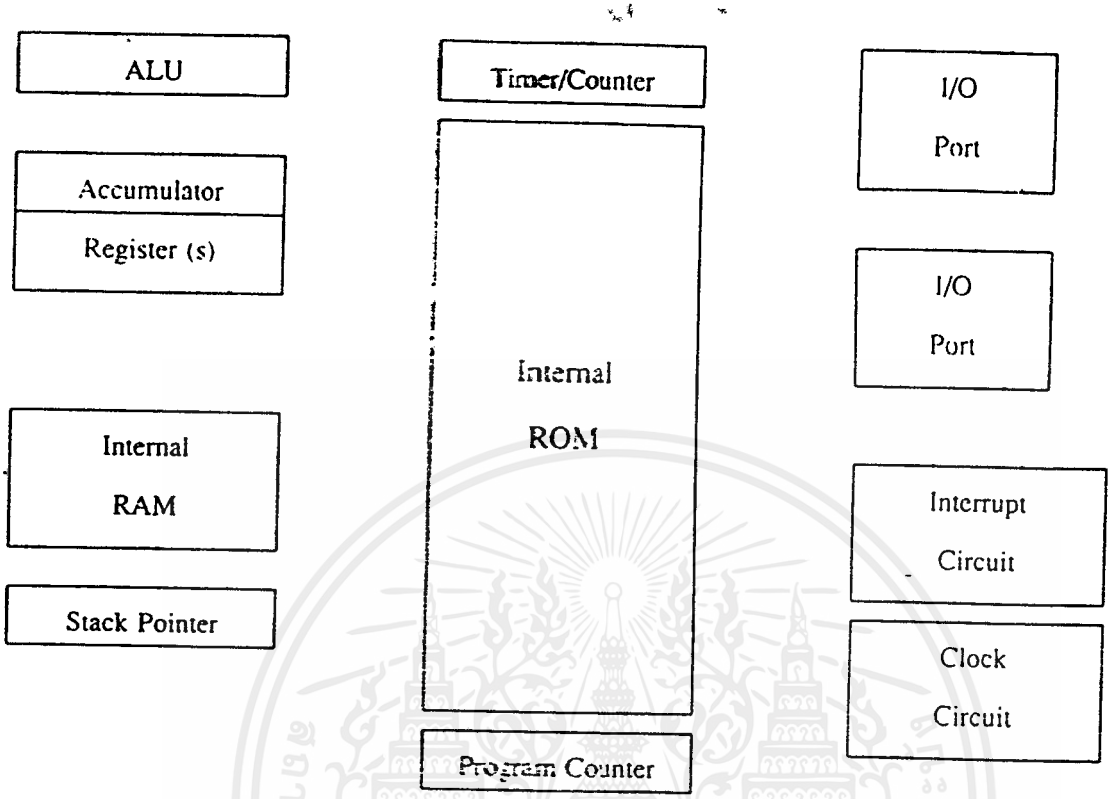
จากรูป 1.1 แสดงถึงบล็อคไดอะแกรมของไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งประกอบด้วย

- Arithemetic and Logic Unit (ALU)
- Program counter (PC)
- Stack pointer (SP)
- Working registers
- Clock Timing Cirecuit
- Interrup: Circuit

ซึ่งจะเห็นว่า ถ้านำไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้งาน ต้องนำมาต่อกับหน่วยความจำไอโอ พอร์ท Timer\Counter ซึ่งจะเห็นว่าจะทำให้บอร์ดมีขนาดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็คือไมโครโปรเซสเซอร์ที่รวมเอาส่วนของหน่วยความจำไอโอพอร์ท Timer/Counter มาบรรจุไว้ในชิพเดียวมีชื่อเรียกว่า ซิงเกิลชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ (Single Chip Microcontrollers) ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมดังรูป 1.2



รูป 1.2 บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

จะเห็นว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบไปด้วย

- ALU
- แอคคิวมูเลเตอร์ (ACC)
- รีจิสเตอร์
- แรมภายใน (Internal RAM)
- สแตคพอยเตอร์ (SP)
- อินเทอนอลรอม (Internal ROM)
- โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)
- ไอโอพอร์ท (I/O Port)
- วงจรอินเตอร์รัพต์ (Interrupt Circuit)
- วงจรคล็อค (Clock Circuit)
- ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ (Timer Counter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเปรียบเทียบระหว่าง Z-80 และ 8051

Z-80 เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิต ซึ่งผลิตโดยบริษัทไซลอก ส่วน 8051 เป็นซิงเกิลชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดยบริษัทอินเทลมีข้อแตกต่างดังนี้

	Z80	8051
Pin Configurations		
Total pins	40	40
Address pins	16 (fixed)	16
Data pins	8 (fixed)	8
Interrupt pins	2 (fixed)	2
I/O pins	0	32
Architecture		
8-bit Registers	20	34
16-bit Registers	4	2
Stack size	64K	128
Internal ROM	0	4K bytes
Internal RAM	0	128 bytes
External Memory	64K	128K bytes
Flags	6	4
Timers	0	2
Parallel port	0	4
Serial port	0	1
Instruction Sets		
(types/Variations)		
External moves	4/14	2/6
Block moves	2/4	0
Bit mainpulate	4/4	12/12
Jump on bit	0	3/3
Stack	3/15	2/2
Single byte	203	49
Multi-byte	490	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์

4 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

มีผลิตจำหน่ายอยู่หลายบริษัทด้วยกันดังนี้ คือ

			RAM	ROM	
Manufacturer : Model	Pins : I O	Counters	(bytes)	(bytes)	Other Features
Hitachi : HMCS40	28:10	-	32	512	10-bit ROM
National : COP420	28:23	1	64	1K	Serial bit I/O
OKI : MSM6411	16:11	-	32	1K	
TI : TMS 1000	28:23	-	64	1K	LED display
Toshiba : TLCS47	42:35	2	128	2K	Serial bit I/O

8 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

มีผลิตด้วยกันหลายบริษัท ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

			RAM	ROM	
Manufacturer : Model	Pins : I O	Counters	(bytes)	(bytes)	Other Features
Intel : 8048	40:27	1	64	1K	External Memory to 8K
Intel : 8051	40:32	2	128	4K	External Memory to 128K: serial port
National : COP820	28:24	1	64	1K	Serial bit I/O
Motorola : 6805	28:20	1	64	1K	
Motorola : 68HC11	52:40	2	256	8K	Serial ports: A/D:watch dog timer (WDT)
Rockwell : 6500/1	40:32	1	64	2K	
Signetics : 87C552	68:48	3	256	8K	Serial port:A/D;WDT
TI : TMS7500	40:32	1	128	2K	External memory to 64K
TI : TMS370C050	68:55	2	256	4K	External memory to 112K: A/D:serial ports;WDT
Zilog : Z8	40:32	2	128	2K	External memory to 124K: serial port
Zilog : Z8820	44:40	2	272	8K	External memory to 128K; serial port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

บริษัทที่ผลิตจำหน่ายในตลาดมีหลายบริษัทและมีรายละเอียดดังนี้ คือ

			RAM	ROM	
Manufacturer : Model	Pins : I/O	Counters	(bytes)	(bytes)	Other Features
Hitachi : H8/532	84:65	5	1K	32K	External memory to 1 mega byte;serial port:A/D;pulse width modulation
Intel : 8096	68:40	2	232	8K	External memory to 64K; serial port;A/D:WDT;pluse width modulation
National : HPC16164	68:52	4	512	16K	External memory to 64K; serial port;A/D:WDT1p;use width modulation

32 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์

บริษัทอินเทลได้ผลิตเบอร์ 80960 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

Hardware Features	Software Features
132-pin ceramic package	Efficient procedure calls
20 megahertz clock	Fault-handling capability
32-bit bus	Trace events
Floating-point unit	Global registers
512-byte instruction cache	Efficient interrupt vectors
Interrupt control	Versatile addressing

การพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ จำเป็นที่จะต้องพัฒนาทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟแวร์ในส่วนฮาร์ดแวร์ได้พัฒนาส่วนของหน่วยความจำ ROM มาเป็น EPROM และ EEPROM เพื่อสะดวกในการทำโปรโตไทพ์ (Prototype) และในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมก็ได้ทำการพัฒนาหันมาใช้ภาษาระดับสูง (High Level Language)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้

บทที่ 2

โครงสร้างของ MCS-51

2.0 บทนำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล MCS-51นี้ผลิตโดยบริษัทอินเทลมีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-Bit I/O Ports	16-Bit Timer/ Counters	Programmable Counter Array (PCA)	UART	Serial Expansion Port (SEP)	Global Serial Channel (GSC)	DMA Channels	A/D Channels	Interrupt Sources/ Vectors	Power Down and Idle Modes
8051	8031	—	4K	128	4	2		✓					5/5	
8051AH	8031AH	8751H, 8751BH	4K	128	4	2		✓					5/5	
8052AH	8032AH	87C52	8K	256	4	3		✓					6/6	✓
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	2		✓					5/6	✓
80C52	80C32	—	8K	256	4	3		✓					6/7	✓
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C51FB	80C51FA	87C51FB	16K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C152JA	80C152JA	—	8K	256	5	3		✓		✓	2		19/11	✓
—	80C152JB	—	—	256	—	3		✓		✓	2		19/11	✓
83C152JC	80C152JC	—	8K	256	5	3		✓		✓	2		19/11	✓
—	80C152JC	—	—	256	—	3		✓					9/8	✓
83C452	80C452	87C452	8K	256	5	3		✓						

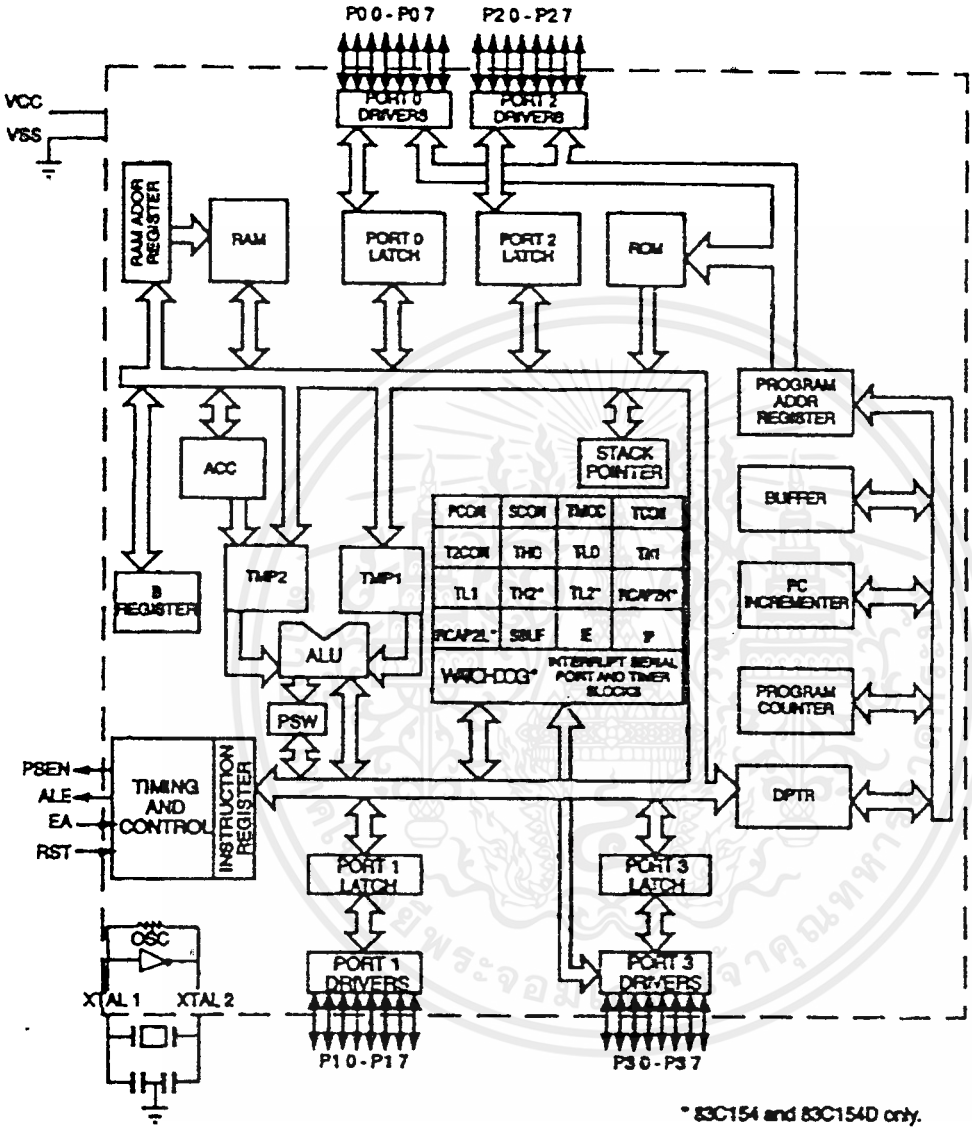
คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSC-51

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ + 5V ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031. 8032 ไม่มีหน่วยความจำชุดนี้ ส่วน 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับ 8052 มีถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและดาต้า (Program Memory และ Data Memory แยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์)
- คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 1 µs เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 MHz
- มี Timer/Counter ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวคเตอร์
- มีพอร์ทรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ท ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกันได้ (Full Duplex) เลือกรูปแบบการส่งข้อมูลได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งในการทำ AND.OR หรือ COMPLEMENT ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

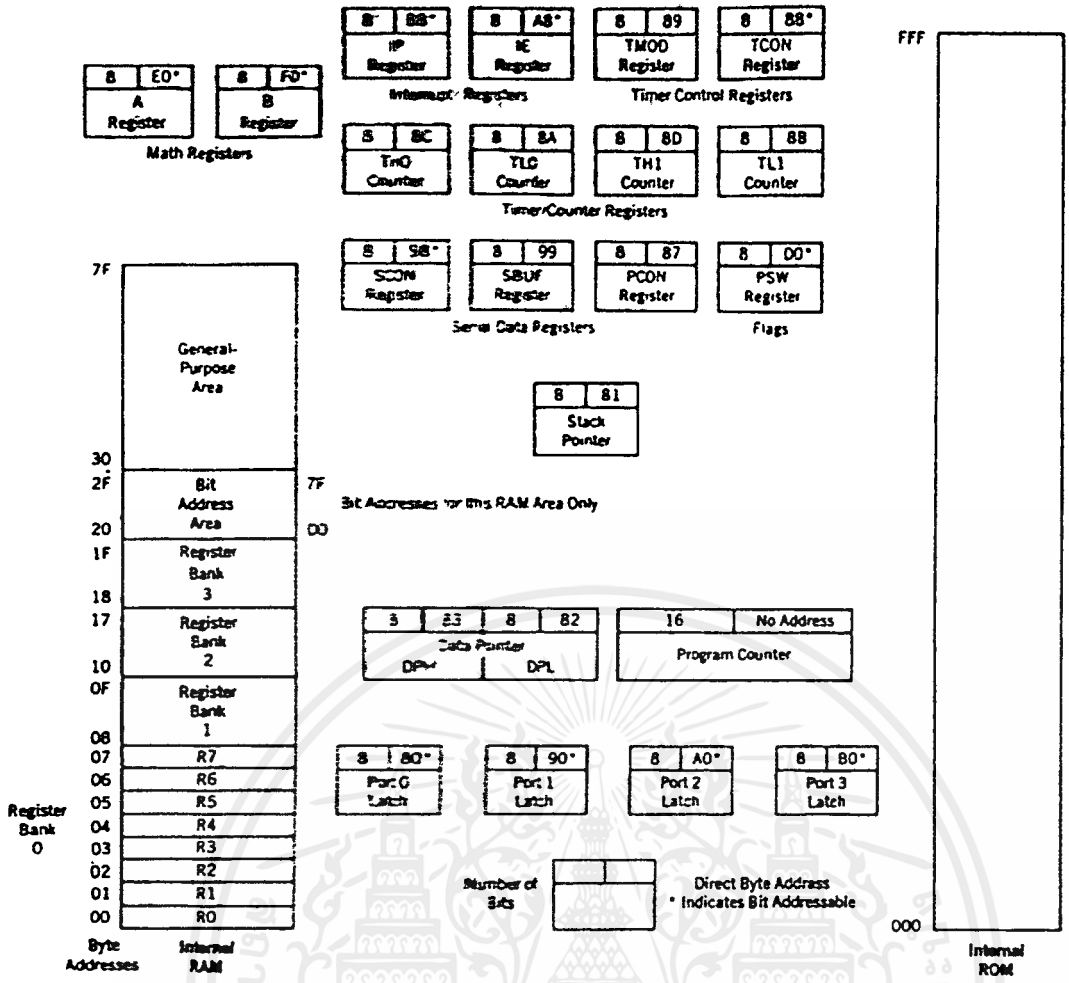
2.1 โครงสร้างภายในของ 8051

MSC-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวก สำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังแสดงในรูป 2.1 (a) และ 2.1 (b)



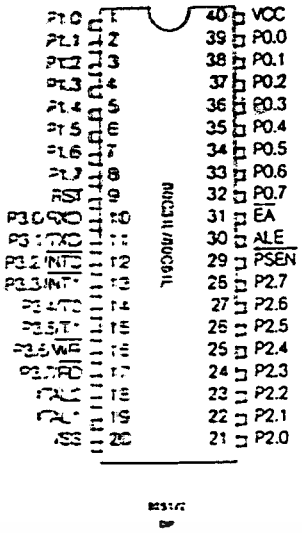
รูป 2.1 (a) 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.1 (b) ตำแหน่งต่าง ๆ ของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ
และหน่วยความจำที่ใช้ประกอบในการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

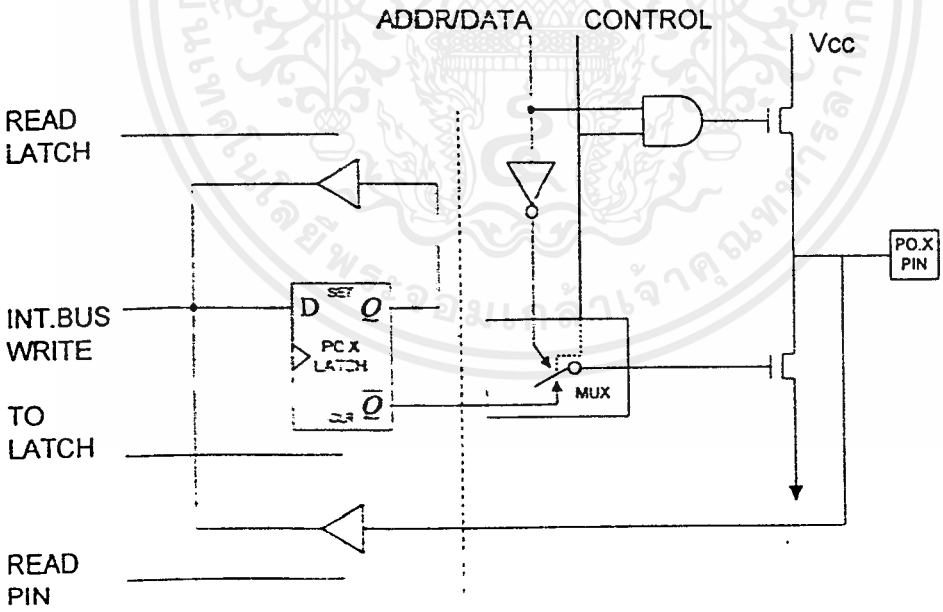


รูป 2.2 การจัดวางขาของ 8051

2.2 พอร์ทของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่าง ๆ ดังนี้

- Vcc (ขา 40) ต่อกับ + 5V
- Vss (ขา 20) เป็นขา GND
- PORT 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.0-P0.7) มีโครงสร้างแบบ Open Drain Bi-directional ดังแสดงในรูป 2.3

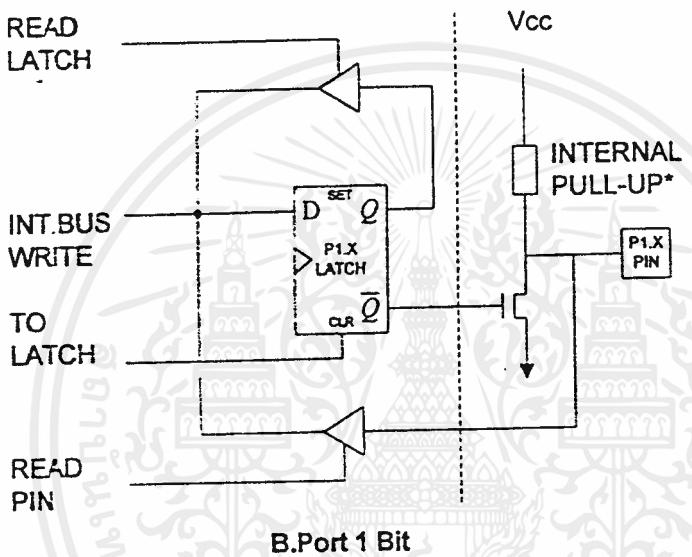


A.Port 0 Bit

รูป 2.3 แสดงโครงสร้าง พอร์ท 0 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

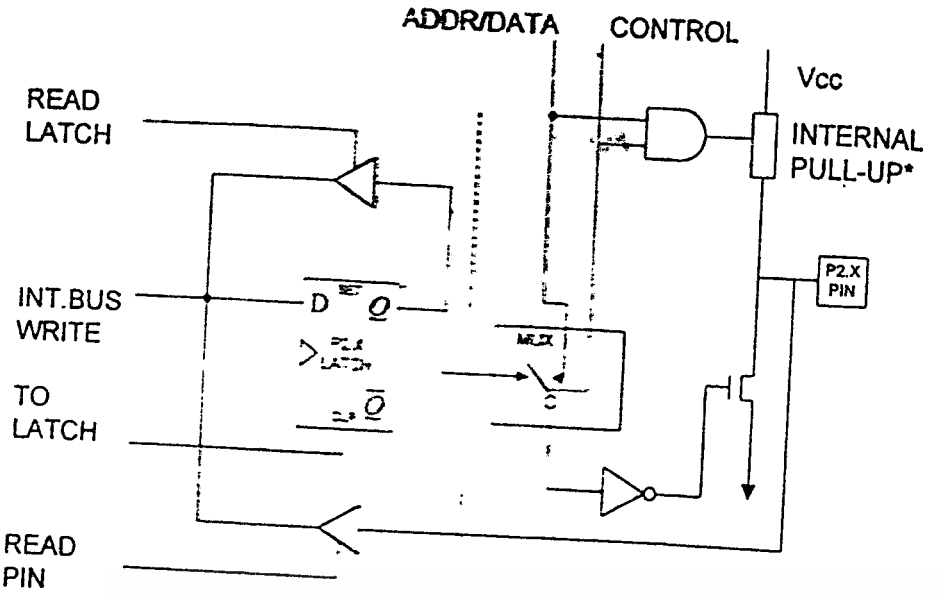
- **พอร์ท 0 (ขา 32-39)** มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.0-P0.7) ใช้งานได้ 2 หน้าที่ คือ ส่งแอดเดรสและดาต้าออกไปให้หน่วยความจำภายนอกเมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอกควบคุมด้วยขา Control ดูรูป 2.3 ประกอบและอีกหน้าที่หนึ่งก็คือเป็นพอร์ท I O ถ้าต้องการ ให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก "1" ไปยังพอร์ทนี้ จะมีผลให้ $\overline{Q}$ ของ D-FF เป็น "0" ทำให้FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุทพอร์ท PIN (พอร์ท P0.X PIN) จะใช้สัญญาณ READ LATCH เมื่อถูกกระตุ้นที่ Tri-State Buffer ตัวบน
- พอร์ท 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ท 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพูลอัพแทน(Internal Pull Up Register) มีโครงสร้างดังรูป 2.4



รูป 2.4 โครงสร้างของพอร์ท 1 (บิต)

- พอร์ท 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P2.0-P2.7) มีโครงสร้างคล้าย PORT 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน(Interna[illegible]PullUp) พอร์ทนี้ทำงาน 2 หน้าที่ คือสามารถใช้เป็นพอร์ทสำหรับส่งแอดเดรส 8 [illegible] A15) และเป็น I/O พอร์ทใช้งานทั่วไป เมื่อจะใช้งานเป็นอินพุทพอร์ท "1" มาที่พอร์ทนี้ก่อน เพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสภาวะ OFF ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



C.Port 2 Bit

รูป 2.5 โครงสร้างของ พอร์ท 2 (บิต)

- พอร์ท 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือ ขา (P3.0-P3.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท1 พอร์ทนี้ทำหน้าที่คือเป็น I/O พอร์ท ถ้าจะให้พอร์ทนี้เป็น I/P PORT ก็ให้ส่งลอจิก "1" มาที่พอร์ทนี้ก่อนและอีกหน้าที่หนึ่งก็คือ ส่งสัญญาณควบคุมออกมา และรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่าง ๆ มีดังนี้

P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

P3.1/RXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P3.2/$\overline{INT0}$ (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.3/$\overline{INT1}$ (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.4/T0 (Timer/Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/Counter 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณ T1 นี้หรือสัญญาณนาฬิกาก็ได้

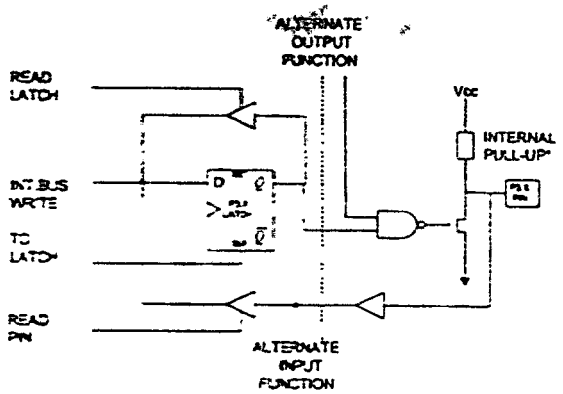
P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยัง Timer/Counter 1 ซึ่งมีการทำงานเหมือนกับ T0

P3.6/$\overline{WR}$ (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051

P3.7/$\overline{RD}$ (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

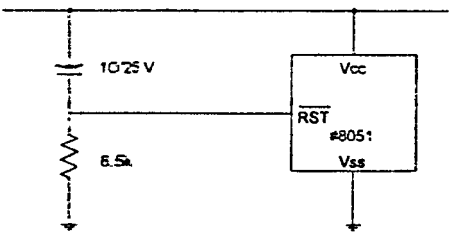
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของ(พอร์ท 3) ดังแสดงในรูป 2.6



รูป 2.6 โครงสร้างของพอร์ท 3 (บิต)

- ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลตช์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) ที่ส่งออกมาจาก(พอร์ท 0) สัญญาณนี้จะแอดทีฟทุก ๆ 2 ครั้ง ใน 1 แมชชีนไซเคิล (1/16 ของสัญญาณนาฬิกา)
- $\overline{\text{PSEN}}$ (ขา 29) เป็นขาที่ใช้ส่งสโตรบสำหรับอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอก (หน่วยความจำประเภท ROM EPROM) สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้ง ในแต่ละแมชชีนไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณออกที่ขานี้
- $\overline{\text{EA}}$ (ขา 30) ถ้าป้อนลอจิก "0" เข้าที่ขานี้ซีพียูจะอ่านค่าจาก Program Memory ภายนอกชิพเท่านั้น แต่ถ้าถูกป้อนด้วยลอจิก "1" ก็จะอ่านโปรแกรมภายในชิพ
- RST (ขา 9) เป็นขารีเซ็ทซีพียูจะรีเซ็ทได้ก็ต่อเมื่อ ป้อนลอจิก "1" เข้าที่ขานี้นานอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล เมื่อซีพียูถูกรีเซ็ทค่าต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ใดๆ จะมีคำสั่งดัง Table 2.1
- XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุทเข้าสู่วงจรออสซิสเลเตอร์
- XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นเอาท์พุทของวงจรออสซิสเลเตอร์

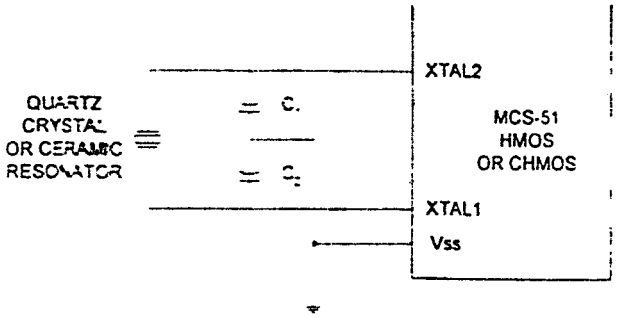


รูป 2.7 การต่อขารีเซ็ทให้กับ 8051

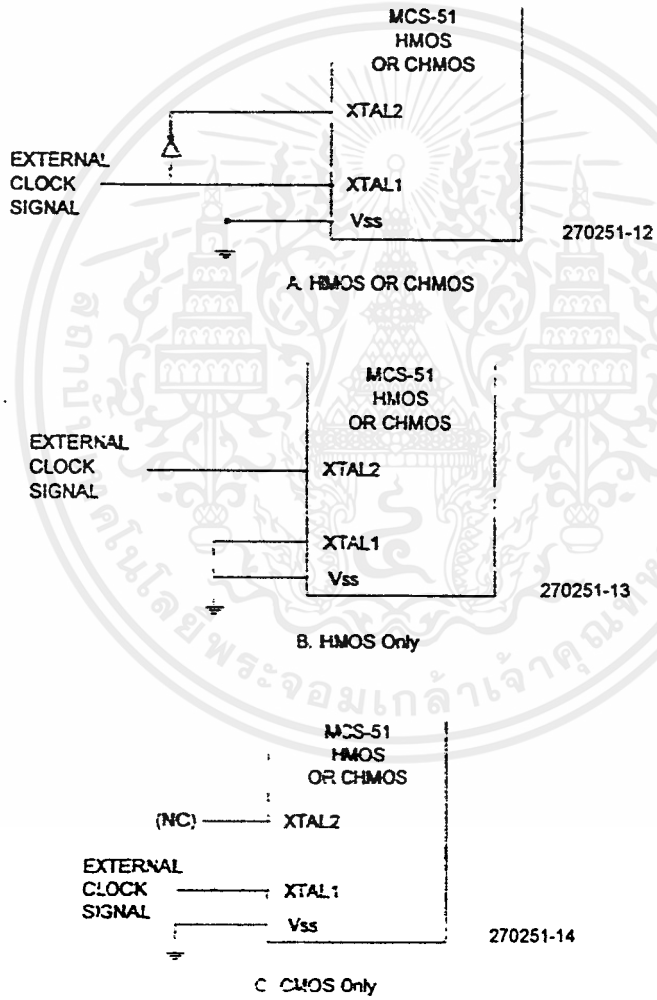
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วงจรล็อคของ 8051

การต่อมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ แบบคล็อคภายในและคล็อคจากภายนอกมีรูปแบบการต่อดังรูป 2.8



(a) Using the on-chip Oscillator

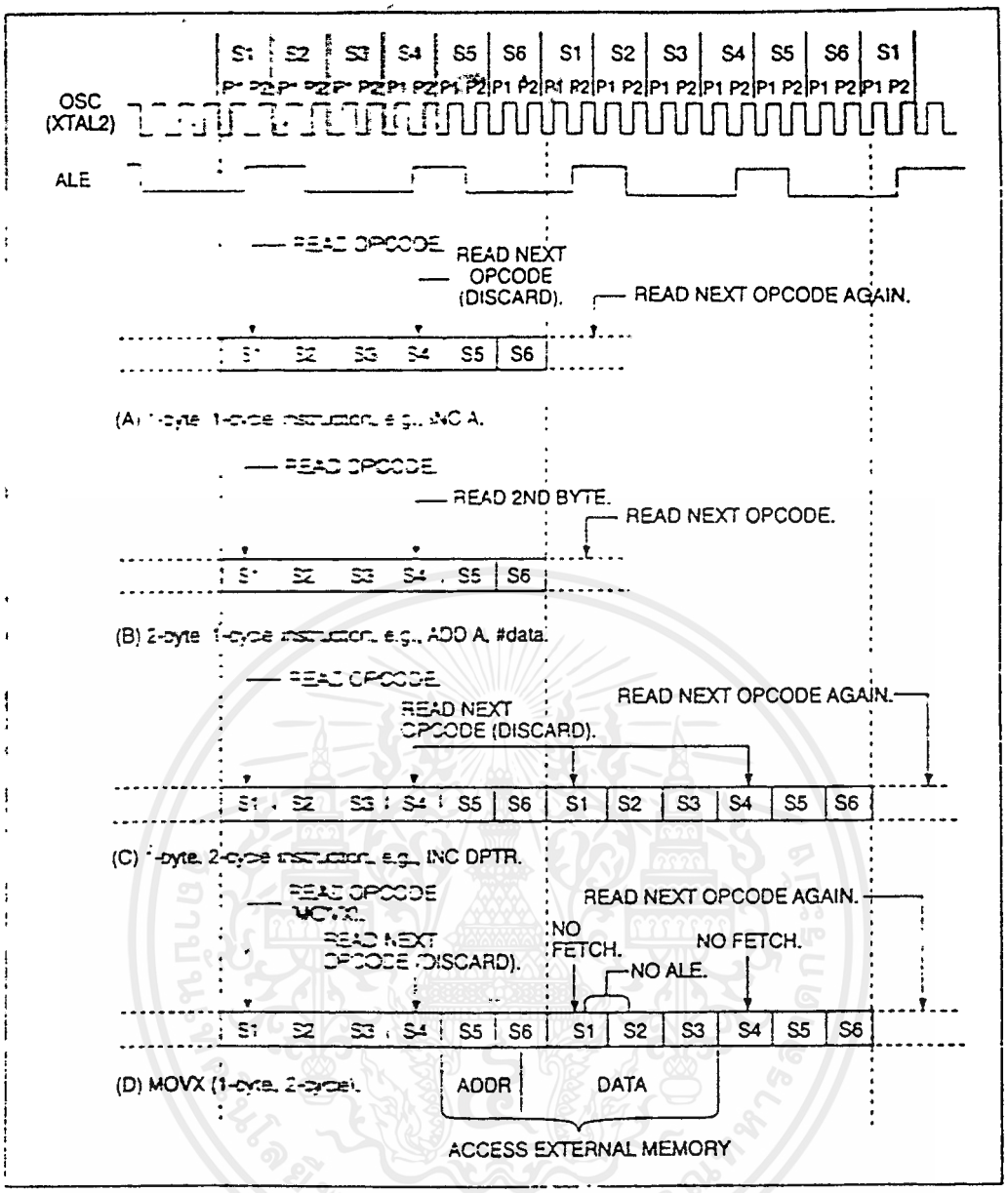


(b) Using the External Clock

รูป 2.8 วงจรสร้างคล็อคของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผังเวลาของซีพียู (CPU Timming)



รูป 2.9 ผังเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่ง

การทำงานใน 1 คำสั่งคำสุดระดับเวลาเพียง 1 µS เช่นคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ 1 Cycle Instruction ซึ่งจะเป็นคล็อคโปรเซสเท่ากับ 12 ลูก โดยคล็อคลูกที่ 1 และ 2 จะอยู่ในช่วง S1 เฟส 1 และ S1 เฟส 2 และคล็อคลูกที่ 12 ก็จะอยู่ในช่วง S6P2 นั่นเอง (ปรกติแล้ว ซีพียูจะ RUN ด้วยความเร็วเท่ากับ 12 MHz ดังนั้น คล็อก 12 ลูกจะกินเวลาเท่ากับ (1/12)*12 = 1 µS

* คำว่า 1 แมชีนไซเคิล คือช่วงการทำงานตั้งแต่ S1 จนถึง S6 *

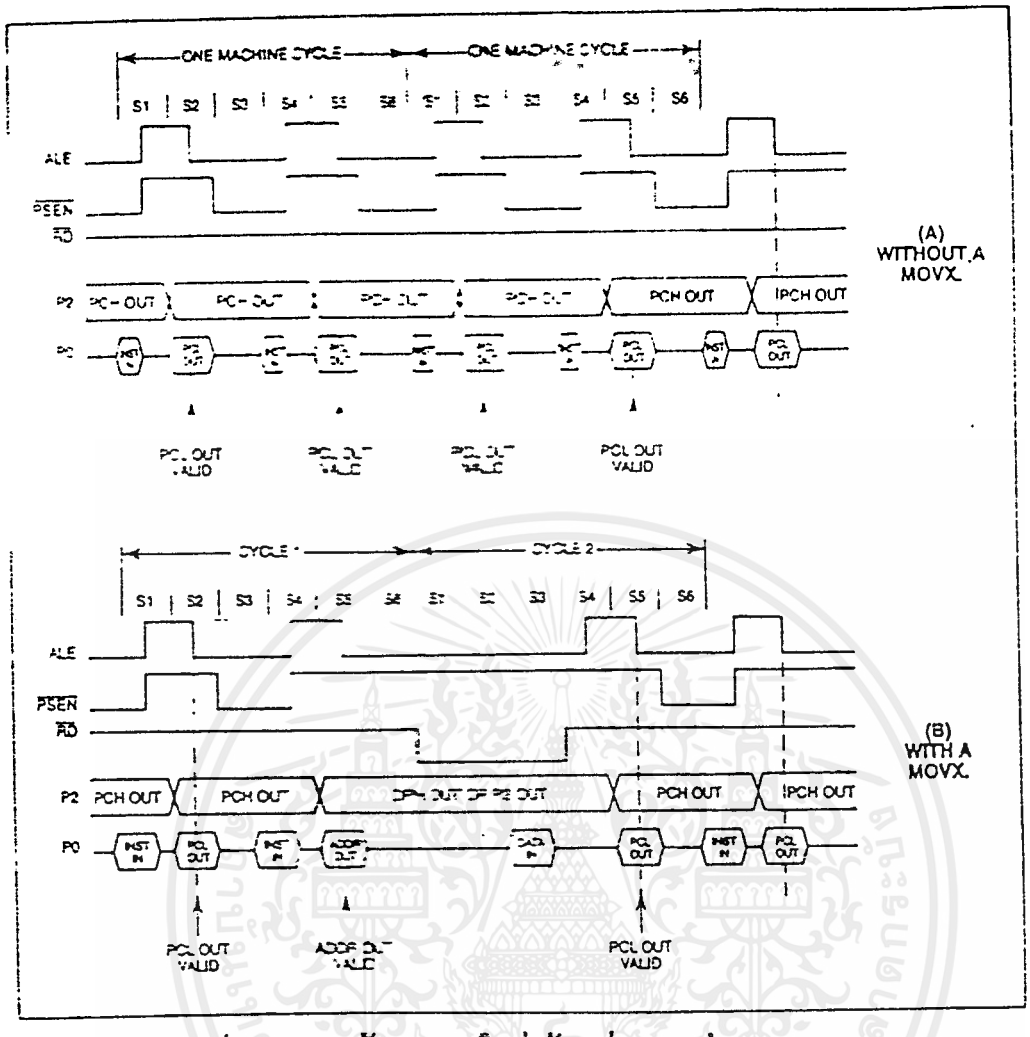
รูป 2.9 (a) แสดงการทำงานของคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ทำงานเสร็จ ภายใน 1 แมชีนไซเคิล

รูป 2.9 (b) แสดงการทำงานของคำสั่ง ADD A,=Dataซึ่งเป็นคำสั่ง2ไบต์แต่ทำงานเสร็จใน1แมชีนไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.9 (c) แสดงการทำงานของคำสั่ง INC DPTR ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมชีไซเคิล

รูป 2.9 (d) แสดงการทำงานของคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมชีนไซเคิล



รูป 2.10 แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

รูป 2.10 (a) เป็นผังเวลาของสัญญาณซึ่งเกี่ยวข้องกับเฟิทช์เมื่อส่วนของ Program Memory อยู่ภายนอก ดังนั้น สัญญาณที่จะนำไปใช้อ่าน OP-Code จาก Program Memory ก็คือ $\overline{PSEN}$ ซึ่งจะแอทีฟ 2 ครั้งใน 1 แมชีนไซเคิล ดังนั้น สัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{PSEN}$

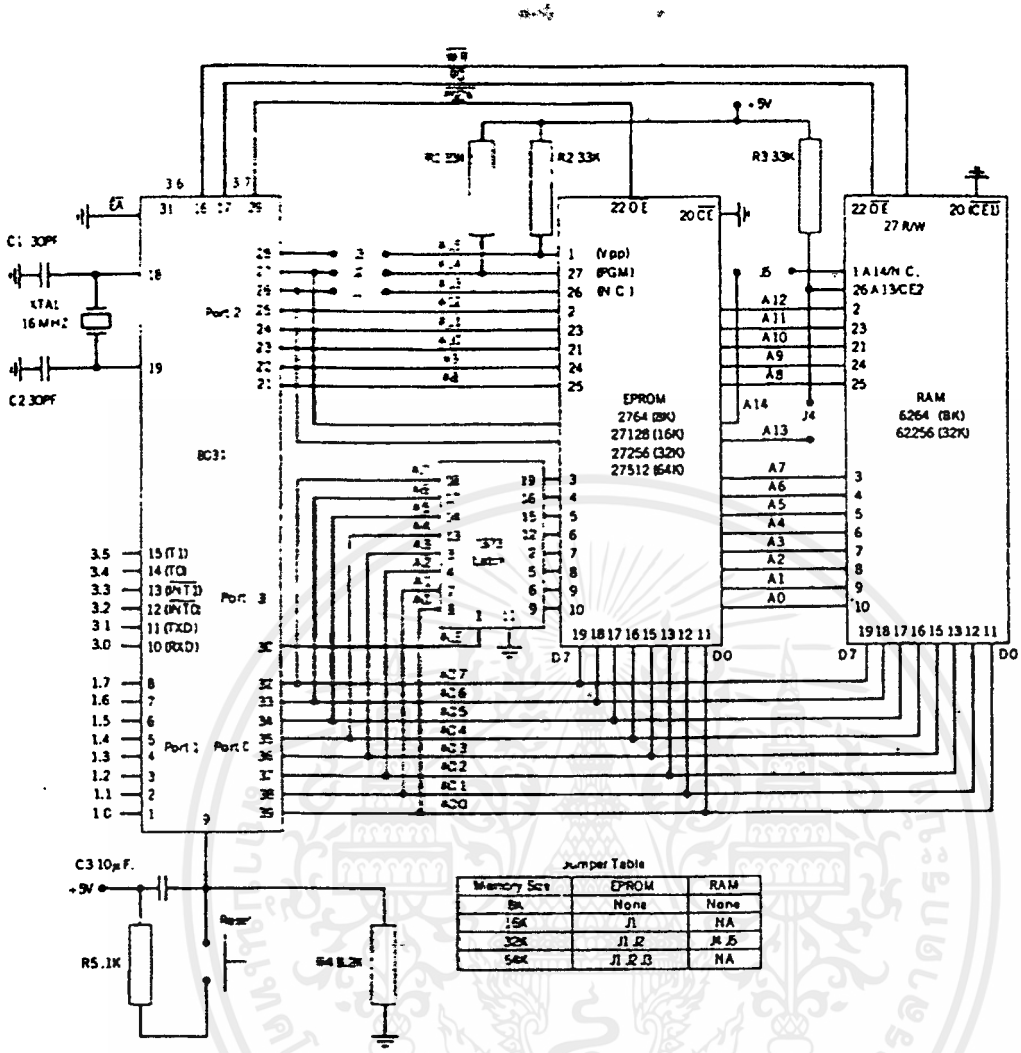
รูป 2.10 (b) เป็นผังเวลาของสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการอ่านข้อมูลจาก Data Memory สัญญาณ $\overline{PSEN}$ จะมีเพียง 1 ลูก เพราะช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงเวลาในการอ่านข้อมูลจาก Data Memory โดยใช้สัญญาณ $\overline{RD}$

(อาจสรุปได้ง่าย ๆ ว่าการอ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{PSEN}$ และการอ่านข้อมูลจาก Data Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{RD}$ ส่วนสัญญาณ ALE คือ สัญญาณที่ใช้ในการ Latch Address A0-A7 นั่นเอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การต่อหน่วยความจำ Program Memory และ Data Memory ภายนอกชิพ

การต่อหน่วยความจำดังแสดงในรูป 2.11

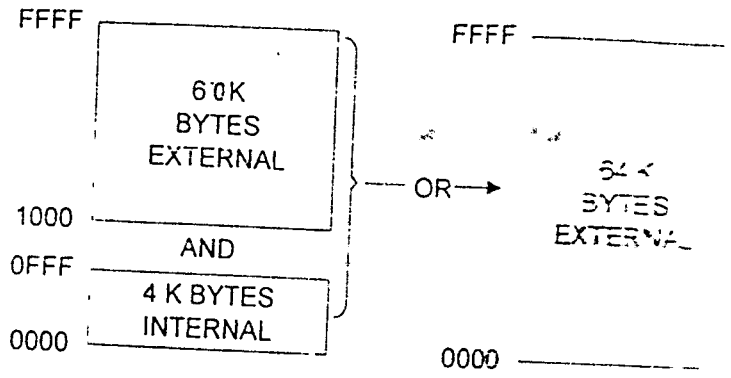


รูป 2.11 การต่อหน่วยความจำโปรแกรม และดาต้า ภายนอกชิพ

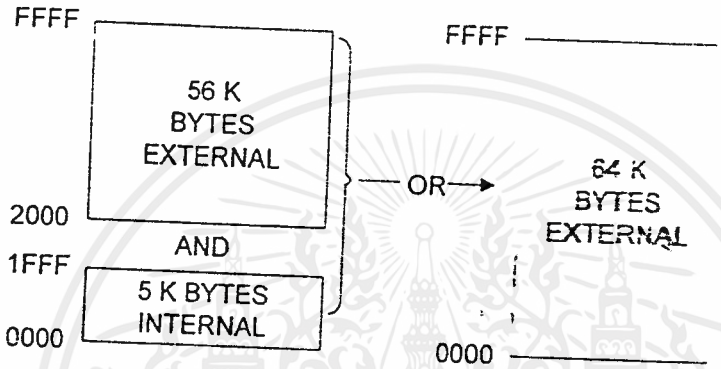
2.6 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ใช้กับMSC-51 มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือProgram MemoryและData Memory Program Memory ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานบรรจุอยู่ในชิพ 8051 ส่วนที่เป็น Program Memory ก็คือROM ขนาด 4 กิโลไบต์นั่นเอง แต่ถ้าเป็นเบอร์ 8052 ก็คือROMขนาด 8 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูป 2.12 และ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

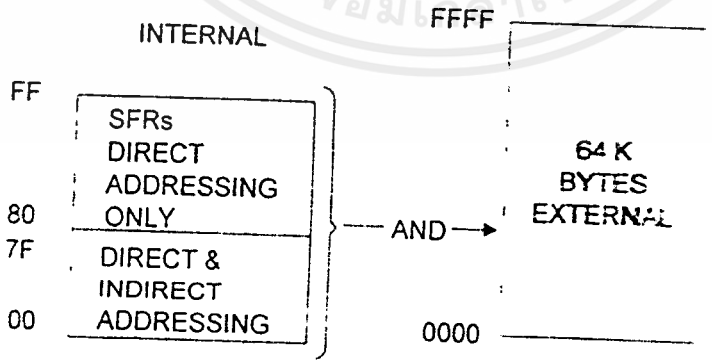


รูป 2.12 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8051



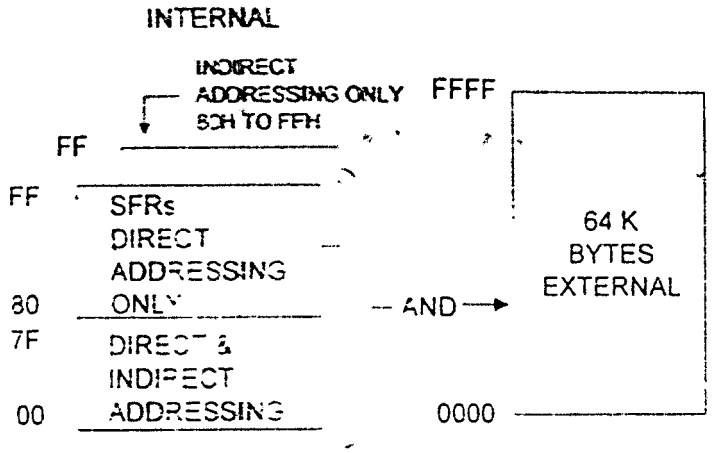
รูป 2.13 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8052

Data Memory เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลหน่วยความจำนี้ สามารถเขียนข้อมูลลงไป และอ่านข้อมูลออกมาได้ ซึ่งเป็นหน่วยความจำภายในชิพมีเพียง 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 และ 256 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 ส่วนหน่วยความจำภายนอกชิพมี 64 กิโลไบต์ดังแสดงในรูป 2.14 และ 2.15



รูป 2.14 ผังหน่วยความจำสำหรับ Data Memory เบอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.15 ผังหน่วยความจำสำหรับ Program Memory ของ 8052

บางครั้งอาจจะสงสัยว่าตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและดาต้ามีตำแหน่งที่ซ้อนกันซีพียูจะรู้ได้อย่างไรว่าติดต่อกับหน่วยความจำที่เป็นโปรแกรมและดาต้า บริษัทอินเทลได้ออกแบบแยกคำสั่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

MOV ใช้ติดต่อกับ RAM ภายใน

MOVC ใช้ติดต่อ Program Memory

MOVX ใช้ติดต่อ Data Memory ภายนอกชิพ โดยระบุตำแหน่งผ่านรีจิสเตอร์ DPTR

ชิพเบอร์ 8052 จะมีพื้นที่บริเวณ 80h-FFh ซึ่งถ้าจะเขียนอ่านข้อมูล ณ บริเวณนี้จะเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมเท่านั้น ดังผังหน่วยความจำดังรูป 2.15

พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมเท่านั้น (Indirect Address Area)

พื้นที่หน่วยความจำบริเวณ (80h-FFh) ตามรูป 2.15 เป็นพื้นที่ซ้อนกันอยู่อย่างละ 128 ไบต์ โดยส่วนแรกจะเป็น SFR แอดเดรสและ Indirect Address Area ดังนั้น ผู้เขียนโปรแกรมถ้าจะติดต่อกับ SFR จะต้องใช้คำสั่งแบบเข้าถึงข้อมูลโดยตรงเท่านั้น (Direct Address Area) ส่วนพื้นที่อีกส่วนหนึ่งจะเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมเท่านั้น (Indirect Address Only)

พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยตรงและทางอ้อม (Direct and Indirect Address Area)

พื้นที่ 128 ไบต์ ล่างสุดจะแบ่งเป็น 3 ส่วนดังรูป 2.16

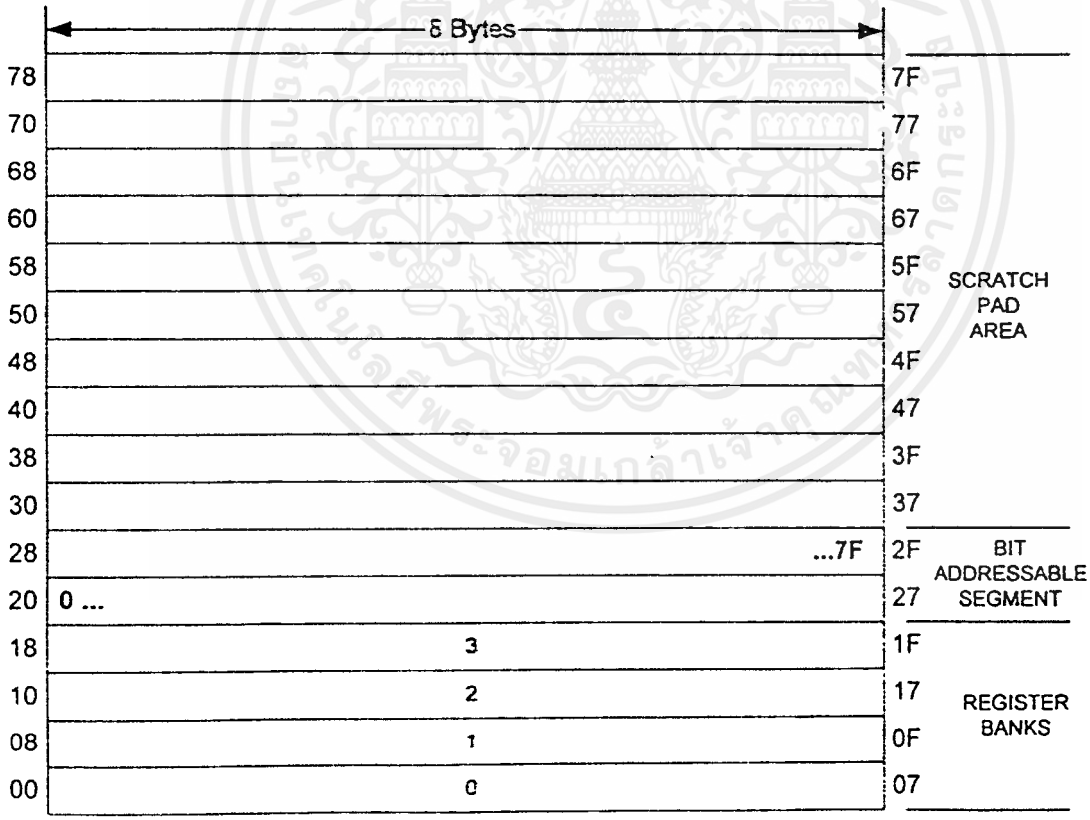
1. รีจิสเตอร์ แบงค์ (Register Banks 0-3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ตำแหน่ง (00-1Fh) จะเป็นส่วนของรีจิสเตอร์แบงค์ (0-3) โดยแบ่งเป็นแบงค์ละ ไบต์ รวมแล้วได้ 32 ไบต์ ถ้าซีพียูทำงานอยู่ที่แบงค์ 3 เมื่อถูกรีเซ็ทก็จะกลับมาทำงานที่แบงค์ 0 เสมอ และ SP จะมาเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 07h ทันที

2. บริเวณหน่วยความจำที่ใช้คำสั่งเขียน อ่านเกี่ยวกับบิตได้ (Bit Addressable Area)
พื้นที่ตั้งแต่แอดเดรส 20h-2Fh จำนวน 16 ไบต์หรือถ้านับเป็นบิตจะได้เท่ากับ 128 บิต ซึ่งตำแหน่งบิต 00,01,02,03,04,05,06,07 ก็คือ ตำแหน่งหน่วยความจำตำแหน่ง 20h ที่บิต 0,1,2,3,4,5,6,7 ตามลำดับ ดูรูป 2.17 เช่น ต้องการเซ็ทบิต D0 ของตำแหน่ง 20h ก็จะต้องเขียนคำสั่งว่า SET 00h

3. บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป (Scratch Pad Area)
พื้นที่ตั้งแต่ (30h-7Fh) จะเขียนข้อมูลได้ทีละไบต์เท่านั้น ไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับบิตได้ ถ้าย้ายเนื้อที่สแตคมาบริเวณนี้โปรดระวังในการเขียนข้อมูลทับสแตค



รูป 2.16 128 ไบต์ของ RAM ที่เข้าถึงข้อมูลแบบทางตรงและทางอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RAM

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

รูป 2.17 แสดงตำแหน่งบิตต่าง ๆ ในตำแหน่งแอดเดรส (20h-2Fh)

รีจิสเตอรหน้าที่พิเศษ (Special Function Register) รายละเอียดดังตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ชื่อและตำแหน่งต่าง ๆ ที่มีอยู่ใน SFR

Symbol	Name	Address
*ACC	Accumulator	E0H
*B	B Register	F0H
*PSW	Program Status Word	D0H
SP	Stack Pointer	81H
DPTR	Data Pointer 2 Bytes	
DPL	Low Byte	82H
DPH	High Byte	83H
*P0	Port 0	80H
*P1	Port 1	90H
*P2	Port 2	A0H
*P3	Port 3	B0H
*IP	Interrupt Priority Control	B8H
*IE	Interrupt Enable Control	A8H
TMOD	Timer/Counter Mode Control	89H
*TCON	Timer/Counter Control	88H
*-T2CON	Timer/Counter 2 Control	C8H
TH0	Timer 7 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
-TH2	Timer/Counter 2 High Byte	CDH
-TL2	Timer/Counter 2 Low Byte	CCH
-RCAP2H	T/C 2 Capture Reg High	CBH
-RCAP2L	Byte	CAH
*SCON	T C 2 Capture Reg Low	98H
SBUF	Byte	99H
PCON	Serial Control	87H
	Serial Data Buffer	
	Power Control	

- Bit addressable
- 8052 only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
        MOV   DPTR,#PORTB          ,PORTB READ MODIFY WRITE
        MOVX  A,@DPTR
        CLR   ACC.0                ;RS=0
        CLR   ACC.1                ;R/W=0
        CLR   ACC.2                ,ENABLE=0
        MOVX  @DPTR,A
        SETB  ACC.2                ;ENABLE=1
        MOVX  @DPTR,A
        CLR   ACC.2                ;ENABLE=0
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   A,#0                 ,DELAY
LCDWI1: DEC   A
        JNZ   LCDWI1
        RET

; ********** LCDWD **********
; LCD WRITE DATA (RS=1)
; IN  = A
  REG = A,DPTR

LCDWD   MOV   DPTR,#PORTA          DATA TO PORTA
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   DPTR,#PORTB          ,PORTB READ MODIFY WRITE
        MOVX  A,@DPTR
        SETB  ACC.0                ,RS=1
        CLR   ACC.1                ,R/W=0
        CLR   ACC.2                ,ENABLE=0
        MOVX  @DPTR,A
```



```
        SETB  ACC.2                ;ENABLE=1
        MOVX  @DPTR,A
        CLR   ACC.2                ;ENABLE=0
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   A,#0                 ;DELAY
LCDWD1: DEC   A
        JNZ   LCDWD1
        RET
        END
```

```
        DB    00000000B
        DB    00000000B
        DB    00000000B
        DB    00001110B
        DB    00010001B
        DB    00000001B
        DB    00000001B
        DB    00000001B

;********** DELAY SUB **********
; DELAY SUBROUTINE
; IN  = R2
; REG = R2,R3,R4

DELAY:  MOV   R3,#0
DELAY1: MOV   R4,#0
        DJNZ  R4,$
        DJNZ  R3,DELAY1
        DJNZ  R2,DELAY
        RET

;********** LCDDIS **********
; LOAD DATA TO LCD-MODULE
; IN  = DPTR  START BLOCK (40 BYTE)
; REG = A,R2,DPTR

LCDLD:  MOV   A,#80H          ;SET ADDRESS LINE 1
        LCALL LCDLDS
```



```
        MOV   A,#0C0H         ;SET ADDRESS LINE 2
        LCALL LCDLDS
        RET

LCDLDS: PUSH  DPH             ;LOAD SUB
        PUSH  DPL
        LCALL LCDWI           ;WRITE ADDRESS
        POP   DPL
        POP   DPH
        MOV   R2,#20          ;20 CHAR.
LCDLDS1: CLR  A
        MOVC  A,@A+DPTR       ;MOVC FOR CODE / MOVX FOR DATA
        PUSH  DPH
        PUSH  DPL
        LCALL LCDWD           ;WRITE DATA
        POP   DPL
        POP   DPH
        INC   DPTR
        DJNZ  R2,LCDLDS1
        RET

;********** LCDWI **********
; LCD WRITE INSTRUCTION (RS=0)
; IN  = A
; REG = A,DPTR

LCDWI:  MOV   DPTR,#PORTA     ;DATA TO PORTA
        MOVX  @DPTR,A
```

```
        MOV   DPTR,#MAINT2
        LCALL LCDLD
        MOV   R2,#10H
        LCALL DELAY
        MOV   DPTR,#MAINT3
        LCALL LCDLD
        MOV   R2,#10H
        LCALL DELAY
        MOV   DPTR,#MAINT4
        LCALL LCDLD
        MOV   R2,#10H
        LCALL DELAY
        MOV   A,#00001111B      ;CURSOR & BLINK
        LCALL LCDWI
        MOV   A,#80H            ;AT HOME
        LCALL LCDWI
        MOV   R2,#10H
        LCALL DELAY

        MOV   A,#80H            ;DDRAM ADD
        LCALL LCDWI
        MOV   R7,#40
MAIN4:  MOV   A,#00011100B      ;SHIFT , RIGHT
        LCALL LCDWI
        MOV   R2,#1
        LCALL DELAY
        DJNZ  R7,MAIN4
        MOV   R2,#10H
        LCALL DELAY
        LJMP  MAIN2

MAINT1: DB    "    LCD MODULE    "
        DB    " BY SILA RESEARCH "
MAINT2: DB    "   EASY TO USE    "
        DB    "   LOW POWER      "
MAINT3: DB    "DMC202 20 CHR 2 LINE"
        DB    "DMC164 16 CHR 4 LINE"
MAINT4: DB    "---- ",0,1,2," ----"
        DB    "0123456789ABCDEFGHIJ"

MAINTD: DB    00011111B
        DB    00000000B
        DB    00000001B
        DB    00001111B
        DB    00010001B
        DB    00011101B
        DB    00010001B
        DB    00010001B
        DB    00000000B
        DB    00000000B
        DB    00000000B
        DB    00001110B
        DB    00010001B
        DB    00001111B
        DB    00001001B
        DB    00010001B
```

module เป็น 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งคำสั่ง และตำแหน่งข้อมูล ซึ่งก็จะให้ผลในทำนองเดียวกับ LCDWI และ LCDWD นั่นเอง

```
; FILENAME      XDMC202.ASM
; DESCRIPTION   DEMO PROGRAM FOR DMC202 LCD-MODULE
; HARDWARE      JAZZ-31 & LCD (CONNECT AT 8255 PORT)
; ASSEMBLER     SXA51
; COMPANY       SILA RESEARCH CO.,LTD.
; FUNCTION      DISPLAY CHARACTER ON DMC202 LCD
                DMC202 CONNECT AT 8255 PORT (I/O)
;********** VARIABLE **********

PORTA   EQU   0FC00H          ;LCD DATA (PA0-PA7)
PORTB   EQU   0FC01H          ;LCD CONTROL (PB0-PB2)
                              ;PB0 -> RS
                              ;PB1 -> R/W
                              ;PB2 -> E
PORTP   EQU   0FC03H          ;8255 CONTROL PORT

;********** MAIN **********

        ORG   8100H

MAIN:   MOV   DPTR,#PORTP     ;SET 8255 CONTROL PORT
        MOV   A,#80H
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   R2,#2           ;FIRST DELAY
        LCALL DELAY

;**** LCD INITIALIZE ****
        MOV   A,#00111000B    ;FUNCTION SET
        LCALL LCDWI
        MOV   A,#00001110B    ;DISPLAY ON/OFF
        LCALL LCDWI
        MOV   A,#01H          ;CLEAR
        LCALL LCDWI
        MOV   R2,#2
        LCALL DELAY

;**** LOAD SILA CHARACTER ****
        MOV   A,#01000000B    ;CGRAM ADD
        LCALL LCDWI
        MOV   R7,#8*3         ;LOAD CHAR
        MOV   DPTR,#MAINTD
MAIN1:  CLR   A
        MOVC  A,@A+DPTR
        PUSH  DPH
        PUSH  DPL
        LCALL LCDWD
        POP   DPL
        POP   DPH
        INC   DPTR
        DJNZ  R7,MAIN1

MAIN2:  MOV   DPTR,#MAINT1    ;LCD MODULE
        LCALL LCDLD
        MOV   R2,#10H
        LCALL DELAY
```

⇒ การต่อแบบ Memory map

1 สามารถต่อเข้ากับ Chip เบอร์ทั่ว ๆ ไปได้ เช่น 8051 หรือ Z80 โดยจะทำให้ระบบไมโคร ฯ มองเห็น LCD module ในลักษณะ ของ Memory ได้ทันที

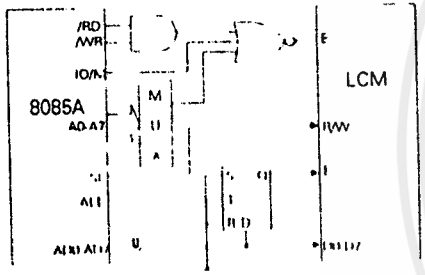
2. ผู้ใช้สามารถเขียนและอ่านข้อมูลจาก LCD module ได้ ทำให้มองเสมือนว่าเป็น Memory Buffer ไปในตัว

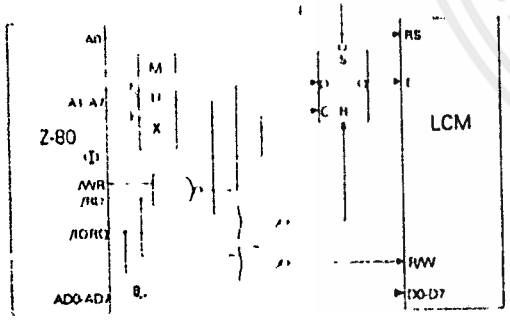
3.เนื่องจากสามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงทำให้สามารถตรวจสอบ Flag ความพร้อมในขณะที่ LCD module กำลังทำงานได้

4. ใช้ได้กับบอร์ดที่มี LCD bus มาให้พร้อมเท่านั้น

5. ทำให้กินพื้นที่ของหน่วยความจำไปส่วนหนึ่ง และต้องมีการ Decode ละเอียดพอสมควร

6. การจัดขาสัญญาณจะต้องเป็นไปตามแบบของ Chip





⇒ การต่อแบบ I/O port

1. สามารถต่อเข้ากับ I/O port ใด ๆ ก็ได้ โดยใช้สายสัญญาณจำนวน 11 เส้น และใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมา ให้ตรงกับข้อกำหนดของ LCD module

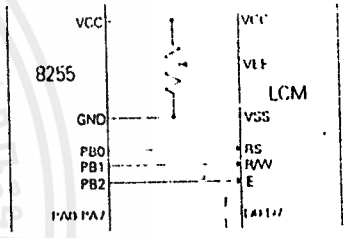
2. ผู้ใช้จะเขียนข้อมูลให้ LCD module ได้อย่างเดียว ซึ่งผู้ใช้ควรจะกำหนด memory ส่วนหนึ่งให้เสมือน Buffer ให้กับ LCD module

3. เนื่องจากไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงต้องใช้การหน่วงเวลาของระบบเอง เพื่อรอให้ LCD module กระทำขบวนการต่าง ๆ

4. ใช้ได้กับบอร์ดทั่ว ๆ ไปที่มี Port

5 ไม่เปลืองส่วนของ Memory ในการใช้งาน

6. การจัดขาสัญญาณกระทำได้อย่างอิสระ



ชุดคำสั่งควบคุมและการแสดงข้อความ

ขาสัญญาณ VEE มีไว้สำหรับกำหนดความเข้มของตัวอักษร โดยถ้าต่อกับ GND จะมีความเข้มสูงสุด แต่ถ้าต่อกับ VCC จะมีความเข้มต่ำสุด ปกติ LCD รุ่นธรรมดา ขาจะต่อกับ GND ไว้เลยก็ได้ ไม่ต้องใส่ VR ให้สิ้นเปลือง แต่ถ้าเป็นรุ่น STN (มุมมองกว้าง) ให้ใช้ R 2K ต่อลง GND อีกที เพื่อให้ความเข้มมีความเหมาะสม การเขียนหรืออ่านข้อมูลกับ LCD module ก็คือการกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ในการใช้งานของ LCD ตามชุดคำสั่งควบคุม และรวมไปถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความ เพื่อให้ปรากฏบนแผงแสดงด้วย โดยมีรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

INSTRUCTION	RS	R/W	DATA BIT								EXE TIME
			7	6	5	4	3	2	1	0	
CLEAR DISPLAY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1640
CURSOR AT HOME	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	1640
ENTRY MODE SET	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40
DISPLAY ON/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	40
DISPLAY SHIFT	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	40
FUNCTION SET	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	40
SET CGRAM ADD	0	0	0	1	CGRAM ADDRESS						40
SET DDRAM ADD	0	0	1	DDRAM ADDRESS							40
BUSY,ADD READ	0	1	BF	ADDRESS							0
CGRAM,DDRAM WR	1	0	WRITE DATA								40
CGRAM,DDRAM RD	1	1	READ DATA								40

ความเข้าใจพื้นฐาน

1 การเขียนข้อมูลให้กับ LCD module จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ Intruction และ Data โดยจะกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS คือถ้า RS=0 จะหมายถึงส่งสัญญาณควบคุม (intruction) หรืออ่านค่า Flag สภาพการทำงานของ LCD module และถ้า RS=1 จะหมายถึงการเขียนหรืออ่าน Data กับ LCD module

2 หลังการให้การเขียนข้อมูลให้ LCD module นี้ คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้ว ตัว LCD module จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง (ตามค่า execute time ในตาราง) ซึ่งระหว่างนี้โครฯ สามารถตรวจสอบได้จาก Busy Flag (BF) และถ้าเรียกใช้งานแล้ว จึงจะสามารถเขียนข้อมูลคำสั่งต่อไปได้ ในกรณีที่การต่อวงจรเป็นแบบ I/O port คือไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระหว่างนี้โครฯ ก็จะต้องใช้วิธีการหน่วงเวลาแทน

3. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD module นี้สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 bit และ 4 bit โดยการนี้ 4 bit จะใช้สายสัญญาณ Data เพียง 4 เส้น คือ DB4-DB7 (ใช้สำหรับระบบไมโครฯ แบบ 4 bit หรือเพื่อการประหยัดสาย) การเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือนกับ 8 bit เพียงแต่ให้เขียน 2 ครั้ง คือ DB4-DB7 ก่อนแล้วตามด้วย DB0-DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่า DL ในคำสั่ง Function set ด้วย

4 DDRAM (Display Data Ram) คือหน่วยความจำภายในตัว LCD module ที่เป็น Buffer ของข้อมูลโดยถ้าเขียนรหัส ASCII ใดๆ ลงไปในหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏเป็นตัวอักษรที่แผงแสดงหน้าที่

5 CGRAM (Character Generator Ram) คือหน่วยความจำภายในตัว LCD module สำหรับเก็บภาพตัวอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างได้เอง (8 ตัว) โดยจะต้อง Address ได้ทั้งหมด 64 byte คือ 8 ตัวอักษร คูณกับ 8 row

รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง

1. CLEAR DISPLAY

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

สำหรับการ Clear Display โดยจะทำการเขียนตัวอักษร Space ลงไปใน DDRAM ทั้งหมด และทำกำหนดค่า DDRAM Addressให้เป็น 0 พร้อมทั้ง Cursor จะกลับไปที่ตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ

2 CURSOR AT HOME

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

สำหรับกำหนดค่า DDRAM Address ให้เป็น 0 พร้อมทั้ง Cursor จะไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ โดยที่ข้อมูลใน DDRAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3. ENTRY MODE SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S

I/D=0 กำหนดทิศทางของ Cursor และ DDRAM ให้เป็นแบบ Decrement

I/D=1 กำหนดทิศทางของ Cursor และ DDRAM ให้เป็นแบบ Increment

S=0 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว Cursor จะถูกเลื่อนไปตามทิศทางของค่า I/D

S=1 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว Cursor จะอยู่กับที่ และตัวอักษรจะถูกดันไปตามทิศทางของค่า I/D

การกำหนด I/D และ S นี้ให้กำหนดก่อนการเขียนข้อมูลใน DDRAM และเมื่อกำหนดแล้วจะยังไม่ใช้คำสั่ง Clear display อีก

DISPLAY ON/OFF

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

D=0 กำหนดให้ Off display

D=1 กำหนดให้ On display

C=0 กำหนดให้ Off cursor

C=1 กำหนดให้ On cursor โดย Cursor จะเป็นแสงขีดใต้ตัวอักษร

B=0 กำหนดให้ไม่มีการกระพริบที่ตำแหน่ง Cursor

B=1 กำหนดให้มีการกระพริบที่ตำแหน่ง Cursor (กระพริบเป็นรูปสี่เหลี่ยม)

5. DISPLAY SHIFT

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

S/C=0 กำหนดให้เลื่อน Cursor ตามทิศทาง R/L ไป 1 ตำแหน่ง

S/C=1 กำหนดให้เลื่อนข้อความบนแผงแสดงตามทิศทาง R/L ไป 1 Column (เลื่อนทุกบรรทัด)

R/L=0 กำหนดให้มีทิศทางไปทางซ้าย

R/L=1 กำหนดให้มีทิศทางไปทางขวา

6. FUNCTION SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*

DL=0 กำหนดให้การติดต่อกับ LCD module เป็นแบบ 4 bit

DL=1 กำหนดให้การติดต่อกับ LCD module เป็นแบบ 8 bit จะสังเกตว่า การกำหนดค่า D/L นี้สามารถกระทำได้ที่ DB4-DB7 ซึ่งถ้ามีการกำหนดให้เป็นแบบ 4 bit ตั้งแต่ครั้งแรก หลังจากจ่ายไฟเลี้ยงก็จะทำให้ LCD module มีการรับข้อมูลแบบ 4 Bit ทันที

N=0 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/8 Duty และ 1/11 Duty

N=1 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/16 Duty

F=0 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5*7 Dots

F=1 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5*10 Dots

(กรณีที่ LCD module เป็นแบบ 5*7 อยู่แล้ว ก็จะไม่มีผลกระทบ)

7 SET CGRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	CGRAM ADDRESS					

สำหรับการกำหนด Address ของ CGRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้วการอ่านและเขียน Data ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม Address ที่กำหนดทันที

8. SET DDRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	DDRAM ADDRESS						

สำหรับการกำหนด Address ของ DDRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้วการอ่านและเขียน Data ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม Address ที่กำหนดทันที ตำแหน่งของ Address ในแต่ละรุ่นจะมีความแตกต่างกันบ้าง เพราะจำนวนตัวอักษรต่อบรรทัดไม่เท่ากัน ซึ่งแสดงดังตารางต่อไปนี้

(ตารางนี้จะกำหนดให้บิทที่ 7 เท่ากับ 1 เสมอ เพื่อความสะดวกในการเรียกใช้)

☑ รุ่น DMC161

80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	BC	8D	8E	8F

☑ รุ่น DMC162

80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F
C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF

☑ รุ่น DMC164

80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F
C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	9A	9B	9C	9D	9E	9F
D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	DA	DB	DC	DD	DE	DF

☑ รุ่น DMC202

80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F	90	91	92	93
C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF	D0	D1	D2	D3

9 BUSY FLAG AND ADDRESS READ

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	ADDRESS						

สำหรับการอ่านค่า BF (Busy Flag) ซึ่งบอกถึงความพร้อมของ LCD module ในการรับข้อมูล ถ้า BF=0 หมายความว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไปได้ แต่ถ้า BF=1 หมายความว่ายังไม่พร้อม นอกจากนี้ยังเป็นการอ่านค่า Address ของ CGRAM หรือ DDRAM ด้วย

การอ่านและเขียนข้อมูลกับ DDRAM/CGRAM

1. WRITE DATA TO DDRAM OR CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	DATA							

สำหรับการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ DDRAM หรือ CGRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว Address จะถูกเพิ่มหรือลงโดยอัตโนมัติตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง Entry mode set และการเขียนจะเป็น DDRAM หรือ CGRAM ก็ขึ้นกับว่า ก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนด Address ที่ใด

2. READ DATA FROM DDRAM OR CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	DATA							

สำหรับการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ DRAM หรือ CGRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว Address จะถูกเพิ่มหรือลดลงโดยอัตโนมัติ ตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง Entry mode set และการอ่านจะเป็น DDRAM หรือ CGRAM ก็ขึ้นกับว่า ก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนด Address ที่ใด

แนวทางการเขียนโปรแกรมควบคุม

1. เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ LCD module ครั้งแรก ภายในจะมีการ Reset ระบบโดยอัตโนมัติซึ่งจะใช้เวลา 10 mS หลังจากที่ระดับแรงไฟขึ้นถึง 4.5 V แล้วทั้งนี้ระบบ Reset ต่างๆ จะกระทำสิ่งต่าง ๆ ต่อไปดังนี้

- ทำการ Clear จอภาพทั้งหมด (Clear Display)
- กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง Function set คือ DL=1 (ติดต่อกับระบบไมโคร ฯ ในแบบ 8 bit), N=0 (แสดงข้อมูล 1 บรรทัด), F=0 (กำหนดตัวอักษรแบบ 5*7 Dots)
- กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง Display ON/OFF คือ D=0 (ไม่แสดงข้อมูล), C=0 (Cursor OFF), B=0 (Blank OFF)
- กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง Entry mode set คือ I/D=1 (increment), S=0 (No shift)

การใช้งาน LCD module ต้องรอให้ขบวนการ Reset ภายในทำงานเรียบร้อยก่อนซึ่งจะตรวจสอบได้ด้วย BF (Busy Flag) หรืออาจจะใช้การหน่วงเวลาก็ได้

2 การใช้งาน LCD module จะต้องเกี่ยวข้องกับทางด้านโปรแกรมเป็นส่วนใหญ่ ชุดคำสั่งต่าง ๆ รวมทั้งการอ่านหรือเขียนข้อมูลนั้น จะถูกกำหนดด้วยขาสัญญาณทั้งหมดที่มีอยู่ปกติโปรแกรมจะต้องกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องการไว้ที่ส่วนต้น จากนั้นก็จะเป็นการอ่านและเขียนข้อมูลลงใน DDRAM ซึ่งก็คือข้อความที่จะให้แสดงผลนั่นเอง ส่วนรายละเอียดของตัวโปรแกรมสามารถศึกษาได้จากโปรแกรมตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในแผ่นดิสค์ Allone ชื่อ XDMC202.ASM ซึ่งส่วนใหญ่จะให้มาพร้อมกับสินค้าของศิลา แต่จะเสนอตัวอย่างไว้ในตอนท้ายเรื่องด้วย

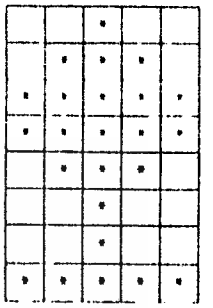
การโหลดอักษรที่ออกแบบเอง

LCD module จะสามารถโหลดตัวอักษรที่ออกแบบเองได้ โดยกระทำได้ 8 ตัวอักษรซึ่งหลักการก็คือ ให้ทำการโหลดรูปแบบที่กำหนดไว้แล้วลงในหน่วยความจำ CGRAM นั่นเอง Address ที่ส่งถึง CGRAM จะใช้เพียง 6 bit โดยสามารถได้ทั้งหมด 64 byte (คือ 8 ตัวอักษรคูณกับ 8row) และการเรียกใช้ตัวอักษรที่ออกแบบไว้จะใช้รหัส 00-07 (หรือ 08-0f ก็ได้) ขั้นตอนในการโหลดตัวอักษรจะเป็นดังนี้

1 กำหนด Address ของ CGRAM ด้วยคำสั่ง Set CGRAM ทั้งนี้ถ้าโหลดอักษรตัวแรกก็จะใช้ Address ที่ตำแหน่ง 0

2 เขียนข้อมูลที่เป็นรูปแบบของตัวอักษร ด้วยคำสั่ง WRITE DATA โดยรูปแบบนี้จะใช้ 8 byte ต่อหนึ่งตัวอักษร คือเรียง row จากแถวบนลงล่างและใช้ bit ที่ 0-4 เท่านั้น การโหลดนี้จะทำได้ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ โดยไม่ต้องกำหนด Address ใหม่

3 ตัวอักษรที่โหลดลงไปแล้ว สามารถเรียกใช้ได้ตลอดไปในขณะที่ยังมีไฟเลี้ยงอยู่ ซึ่งการโหลดนี้ให้กระทำที่ส่วนต้นของโปรแกรมได้เลย รูปแบบของตัวอักษรมีตัวอย่างดังนี้



ADDRESS	DATA
00	04
01	0F
02	1F
03	1F
04	0E
05	04
06	04
07	1F

ตัวอย่างโปรแกรม

ตัวอย่างโปรแกรมต่อไปนี้ เป็นการส่งข้อความให้แสดงบน LCD module รุ่น DMC202 ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ JA22.11 เป็นตัวควบคุม (Chip เบอร์ 80C31) โดยต่อ LCD module เข้ากับ 8255 Bus จุดสำคัญของโปรแกรม ก็คือ Subroutine ทั้ง 3 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับตัว LCD module โดยตรง ซึ่งมีหน้าที่ต่างรายละเอียดต่อไปนี้

LCDWI สำหรับส่งคำสั่งไปยัง LCD module นั่นหมายถึงชุดคำสั่งทั้งหมดที่มีอยู่ โดยจะกำหนดให้ขาสัญญาณ RS=0

LCDWD สำหรับส่งข้อมูลไปยัง LCD module ซึ่งก็คือส่วนที่เขียนลง DDRAM หรือ CGRAM โดยจะกำหนดขาสัญญาณ RS=1

LCDLD สำหรับการโหลดข้อความจากหน่วยความจำบนบอร์ด ให้ไปปรากฏบนแผงแสดง LCD module การโหลดนี้จะกระทำทั้ง Block ข้อมูล ทั้งนี้ผู้ใช้อาจจะประยุกต์โดยกำหนดหน่วยความจำในส่วนของ RAM แทน ซึ่งก็จะเสมือนว่าเป็น Buffer สำหรับ LCD module และเมื่อมีการแก้ไขใด ๆ ในหน่วยความจำนี้ ก็จะทำการโหลดเข้า LCD ทุกครั้ง

ในกรณีที่มีการใช้งานเป็นการต่อแบบ Memory map การติดต่อกับ LCD module ก็จะได้โดยใช้เพียงคำสั่งอ่านและเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำเท่านั้น (เช่น MOVX) ซึ่งก็จะทำให้มองเห็น LCD

แนวทางการใช้งาน LCD MODULE

ปัจจุบัน LCD เป็นที่นิยมกันเป็นอย่างมาก สำหรับการแสดงผลในเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากมีความเหมาะสมหลาย ๆ ด้าน เช่นการใช้กระแสต่ำ สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิก (เฉพาะรุ่น) จะมีปัญหาก็คือในด้านวงจร ซึ่งมีระบบการทำงานที่สับซ้อนและหาอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยาก แต่ขณะนี้ผู้ผลิต LCD จะทำรุ่นที่เป็น LCD จะผลิตเป็น module ออกมาคือเป็น module ที่มีตัว LCD และวงจรควบคุมมาให้พร้อม (เรียกว่า LCM) ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถต่อเข้ากับระบบไมโคร ฯ ได้ง่ายและสะดวกสำหรับการเขียนโปรแกรม รวมทั้งมีจำหน่ายกันอย่างกว้างขวางและมีราคาที่เหมาะสม ทำให้ผู้ใช้ทางด้านไมโคร ฯ หันมาใช้แผงแสดงผลด้วย LCD module กันมากขึ้น

LCD module มีอยู่หลายรุ่น และคุณสมบัติแตกต่างกันไป ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือ แบบ Dot matrix และ Graphic โดยแบบ Dot matrix จะแสดงผลเป็นตัวอักษรขนาด 5x8 Dot และมีจำนวนอักษรและบรรทัดแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่น ส่วนแบบ Graphic จะสามารถแสดงผลในแบบ Bit map คือจะสร้างเป็นภาพใด ๆ ก็ได้ตามต้องการ แนวทางในการใช้งานของทั้ง 2 แบบ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้แบบ Dot matrix มากกว่าเนื่องจากราคาถูกกว่า และเพียงพอต่องานส่วนใหญ่ คุณสมบัติของ Dot matrix LCD module สามารถสรุปได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1 มีให้เลือกหลายรูปแบบ ตามขนาดการใช้งาน โดยมีจำนวนตัวอักษร และบรรทัดแตกต่างกันไป

2 ตัวอักษรแสดงได้ทั้ง Dot matrix และ Bit Dot

3 สามารถต่อเข้ากับระบบไมโคร ฯ ได้ 2 ลักษณะคือ แบบ Memory map และแบบ I/O (เหมือน 8255 port ซึ่งจะใช้ขาสัญญาณทั้งหมด 14 PIN เว้นต่อ 16 PIN))

4 การใช้งานง่ายและสะดวก ระบบไมโคร ฯ เพียงแค่ส่งข้อมูลให้กับ LCD module เท่านั้น ข้อความก็จะปรากฏบนแผงแสดง และจะค้างไว้ตลอดทำให้ไม่ต้องเสียเวลาของระบบ

5 มีคำสั่งพิเศษสำหรับอำนวยความสะดวกมากมาย เช่น CLEAR,DISPLAY,HOME,CURSOR ON OFF CURSOR,BLANK CHARACTER และอื่น ๆ อีก

6. สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลขได้ 160 ตัว และสัญลักษณ์พิเศษอีก 32 ตัว รวมทั้งสามารถกำหนดอักษรที่ออกแบบเองได้อีก 8 ตัว

7 กินกระแสน้อยและมีน้ำหนักเบา รวมทั้งทางานได้ด้วยไฟเลี้ยงระดับ 5 โวลต์

ขาสัญญาณของ LCD MODULE

PIN	SYMBOL	LEVEL	FUNCTION
1	Vss	-	0 V GND
2	Vcc	-	+5 V Power Supply
3	Vee	-	+V For Liquid Crystal Drive
4	RS	H/L	Register Select H: Data Input L. Intruction Input
5	R/W	H/L	H: Data Read L. Data Write
6	E	H	Enable Signal (L->H)
7	DB 0	H/L	Data Bus Bit 0
8	DB 1	H/L	Data Bus Bit 1
9	DB 2	H/L	Data Bus Bit 2
10	DB 3	H/L	Data Bus Bit 3
11	DB 4	H/L	Data Bus Bit 4
12	DB 5	H/L	Data Bus Bit 5
13	DB 6	H/L	Data Bus Bit 6
14	DB 7	H/L	Data Bus Bit 7

การต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

LCD module จะต่อเข้ากับระบบไมโคร ฯ ได้ 2 ลักษณะดังได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งทั้งสองแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป โดยแต่ละแบบจะมีหลักการดังนี้

เอกสารอ้างอิง

ผศ.สมยศ จุณณะปิยะ, การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51, ภาควิชาวิศสกรรมโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผศ.สานิตย์ ชัยพัฒน์, กลศาสตร์, ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้