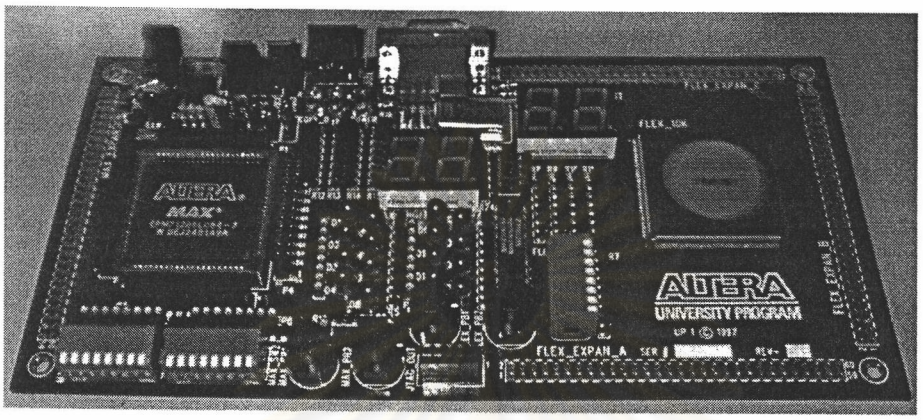
หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

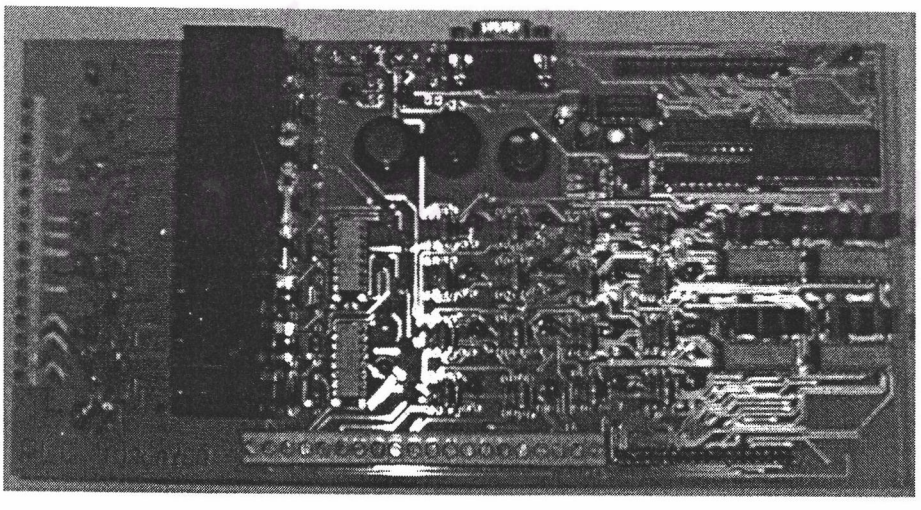
การทดสอบ

7.1 บอร์ดต้นแบบ

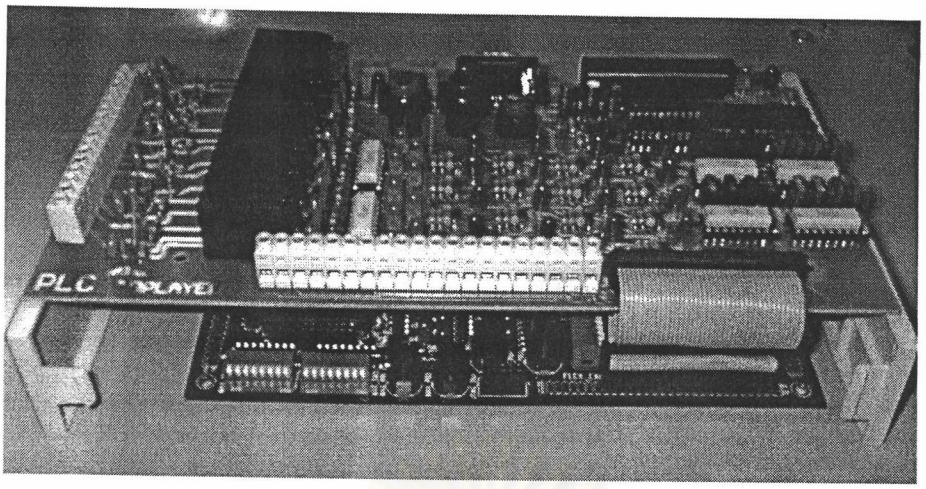


รูปที่ 7.1 บอร์ดทดลอง UP1X (University Program) ของบริษัท ALTERA

เมื่อได้ทำการออกแบบ PLC ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษา VHDL ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก. พร้อมทั้งจำลองการทำงานแล้ว ได้สังเคราะห์วงจรทั้งหมด โปรแกรมลงไปในชิป ALRERA EPC1PC8 ซึ่งเป็น ROM ที่ใช้คู่กับ SRAM Based FPGA EPF10K70RC240-4 ที่อยู่บนบอร์ดทดลอง UP1X (University Program) ของบริษัท ALTERA ดังรูปที่ 7.1 เมื่อเริ่มทำงาน (Power On) โปรแกรมจะถูกโหลดจาก ROM (EPC1PC8) ลงไปในชิป FPGA (EPF10K70RC240-4) จากนั้นก็จะเริ่มทำงานเป็น PLC คอนโทรลเลอร์



รูปที่ 7.2 บอร์ดรวมอุปกรณ์ที่อยู่ภายนอก PLC คอนโทรลเลอร์



รูปที่ 7.3 PLC ต้นแบบ

อุปกรณ์ที่อยู่ภายนอก PLC คอนโทรลเลอร์ เช่น หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (User Memory), ชิป Max232, วงจรอินพุต/เอาต์พุต, สวิตช์และหลอดไฟแสดงผลต่างๆ ประกอบกันเป็นบอร์ดต้นแบบตามรายละเอียดวงจรแสดงในภาคผนวก ค. ได้เป็นบอร์ดต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 7.2 เมื่อนำทั้ง 2 บอร์ดมาประกอบรวมกันได้เป็น PLC ต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 7.3

7.2 คำนวณหาความเร็วของคำสั่ง

ความเร็วในการทำงานของแต่ละคำสั่งสามารถคำนวณได้จากจำนวน Clock Cycle ที่คำสั่งนั้นๆ ใช้คูณกับคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา จำนวน Clock Cycle ที่ใช้สามารถหาได้จากโปรแกรม VHDL ในภาคผนวก ก. และสัญญาณนาฬิกาที่ใช้คือครึ่งหนึ่งของ 25 MHz เป็น 12.5 MHz คาบเวลาเท่ากับ 80 นาโนวินาที

เวลาการทำคำสั่ง = TOTAL CLOCK CYCLE × Period CLOCK

ผลการคำนวณเวลาในการทำคำสั่งแต่ละคำสั่งแสดงผลไว้ในตารางที่ 7.2 และเวลาเฉลี่ยของการทำคำสั่งสามารถหาได้จากเวลารวมของการทำงานแต่ละคำสั่งหารด้วยจำนวนคำสั่งทั้งหมด

เวลาเฉลี่ยของการทำคำสั่ง = เวลารวมของคำสั่งทั้งหมด / จำนวนคำสั่งทั้งหมด

เวลารวมของคำสั่งทั้งหมดหาได้จากผลรวมในตารางที่ 7.2 ได้ค่าเท่ากับ 8560 นาโนวินาที และจำนวนคำสั่งทั้งหมดเท่ากับ 23 คำสั่ง แทนค่าทั้งสองลงในสมการได้

$$\text{เวลาเฉลี่ยของการทำคำสั่งทุกคำสั่ง} = \frac{8560}{23} = 372.20 \text{ นาโนวินาทีต่อคำสั่ง}$$

$$\text{เวลาเฉลี่ยของการทำคำสั่งพื้นฐาน} = \frac{5920}{19} = 311.57 \text{ นาโนวินาทีต่อคำสั่ง}$$

$$\text{เวลาเฉลี่ยของการทำคำสั่งจัดการข้อมูล} = \frac{2640}{4} = 660 \text{ นาโนวินาทีต่อคำสั่ง}$$

7.3 เปรียบเทียบด้านความเร็วกับ PLC ขนาดเล็กที่มีอยู่

เวลาเฉลี่ยของการทำคำสั่งของ PLC ในวิทยานิพนธ์นี้เท่ากับ 372.20 นาโนวินาทีหรือ 0.372 μS/step น้อยกว่า PLC ที่ใช้ CPU เบอร์ 8085 ของ [1] เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 15.62 ไมโครวินาที และน้อยกว่า PLC ที่ใช้ Z80CTC ของ [3] เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 5.7 ไมโครวินาที

และเปรียบกับ PLC ขนาดเล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมตามตารางที่ 4.2 ได้ดังนี้

	PLC ต้นแบบ	OMRON PLC CPM2A-20	FUJI NB0-P14	MITSUBISHI MELSEC FX1S-14MR
คำสั่งพื้นฐาน	0.31 μS	0.64 μS	0.7-10.3 μS	0.55 – 0.7 μS
คำสั่งพิเศษ	0.66 μS	7.8 μS	4.9 – 56 μS	1.65 – 100 μS

ตารางที่ 7.1 ตารางเปรียบเทียบด้านความเร็วของ PLC ต้นแบบและ PLC ที่ใช้จริง

จากการเปรียบเทียบ PLC ต้นแบบใช้เวลาในการทำคำสั่งต่อหนึ่งขั้นน้อยที่สุด

คำสั่ง	State Machine	Total Clock Cycle	เวลา/คำสั่ง (nSec)
LD	Fetch, Decode, Decode2	3	240
LDI	Fetch, Decode, Decode2	3	240
AND	Fetch, Decode, Decode2	3	240
ANDI	Fetch, Decode, Decode2	3	240
OR	Fetch, Decode, Decode2	3	240
ORI	Fetch, Decode, Decode2	3	240
OUT	Fetch, Decode, Decode2, Execute_Out	4	320
SET	Fetch, Decode, Decode2, Execute_Setrst, Saveoutput, Saveoutput2	6	480
RST	Fetch, Decode, Decode2, Execute_Setrst, Saveoutput, Saveoutput2	6	480
TIM	Fetch, Decode, Decode2, Execute_Tim, Execute_Cnt2, Execute_Cnt3, Saveoutput, Saveoutput2	8	640
CNT	Fetch, Decode, Decode2, Execute_Cnt, Execute_Cnt2, Execute_Cnt3, Saveoutput, Saveoutput2	8	640
CMP	Fetch, Decode, Decode2, Execute_Data, Execute_Data2, Execute_Data3, Execute_Cmp, Saveoutput, Saveoutput2	9	720
ADD	Fetch, Decode, Decode2, Execute_Data, Execute_Data2, Execute_Data3, Execute_Add, Saveoutput, Saveoutput2	9	720

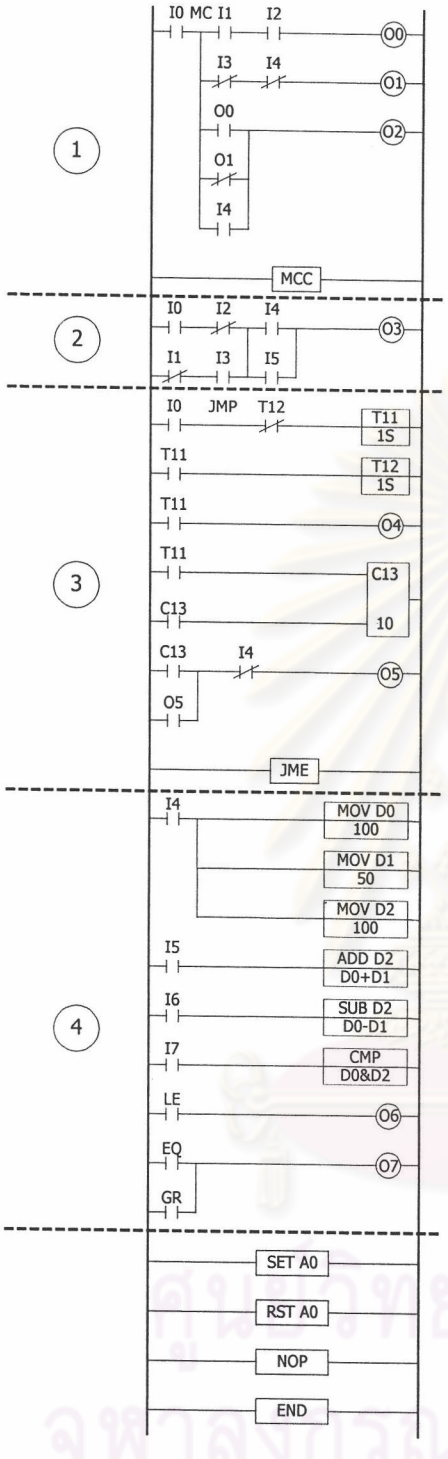
ตารางที่ 7.2 แสดงค่าเวลาที่ใช้ของแต่คำสั่งจากการคำนวณ

คำสั่ง	State Machine	Total Clock Cycle	เวลา/คำสั่ง (nSec)
SUB	Fetch, Decode, Decode2, Execute_Data, Execute_Data2,Execute_Data3, Execute_Sub, Saveoutput, Saveoutput2	9	720
MOV	Fetch, Decode, Decode2, Execute_Mov, Saveoutput, Saveoutput2	6	480
ANDB	Fetch, Decode, Decode2	3	240
ORB	Fetch, Decode, Decode2	3	240
END	Fetch, Decode, Decode2	3	240
MC	Fetch, Decode, Decode2	3	240
MMC	Fetch, Decode, Decode2	3	240
JMP	Fetch, Decode, Decode2	3	240
JME	Fetch, Decode, Decode2	3	240
NOP	Fetch, Decode, Decode2	3	240
รวม		**107**	**8560**

ตารางที่ 7.2 แสดงค่าเวลาที่ใช้ของแต่คำสั่งจากการคำนวณ (ต่อ)

7.4 การทดสอบกับโปรแกรมขั้นบันได

โปรแกรมขั้นบันไดตามรูปที่ 7.4 ถูกเขียนขึ้นโดยใช้ทุกคำสั่งเพื่อทดสอบการทำงานของ PLC นี้โปรแกรมมีความยาว 67 ขั้น (Step) การทดสอบทำอยู่สองอย่างคือ ทดสอบความถูกต้องของการทำงาน และทดสอบเปรียบเทียบหาเวลา 1 Scan time ระหว่างผลของการคำนวณและผลที่ได้จากการวัด



no	command	address
1	LD	I0
2	MC	
3	LD	I1
4	AND	I2
5	OUT	O0
6	LDI	I3
7	ANDI	I4
8	OUT	O1
9	LD	O0
10	ORI	O1
11	OR	I4
12	OUT	O2
13	MCC	
14	LD	I0
15	ANDI	I2
16	LDI	I1
17	AND	I3
18	ORB	
19	LD	I4
20	LD	I5
21	ORB	
22	ANDB	
23	OUT	O3
24	LD	I0
25	JMP	
26	ANDI	T12
27	TIM	T11 0.1
28		10
29	LD	T11
30	TIM	T12 0.1
31		5
32	LD	T11
33	OUT	O4

34	LD	T11
35	LD	C13
36	CNT	C13
37		10
38	LD	C13
39	OR	O5
40	ANDI	I4
41	OUT	O5
42	JME	
43	LD	I4
44	MOV	D0
45		100
46	MOV	D1
47		50
48	MOV	D2
49		100
50	LD	I5
51	ADD	D2
52		D0 + D1
53	LD	I6
54	SUB	D2
55		D0 - D1
56	LD	I7
57	CMP	
58		D0 & D2
59	LD	LE
60	OUT	O6
61	LD	EQ
62	OR	GR
63	OUT	O7
64	SET	A0
65	RST	A0
66	NOP	
67	END	

จำนวนแต่ละคำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม

LD	18
LDI	2
AND	2
ANDI	4
OR	3
ORI	1
OUT	8
SET	1
RST	1
TIM	2
CNT	1
CMP	1
ADD	1
SUB	1
MOV	3
ANDB	1
ORB	2
END	1
MC	1
MMC	1
JMP	1
JME	1
NOP	1

รูปที่ 7.4 โปรแกรมขั้นบันไดที่ใช้ทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผลการทดสอบความถูกต้องตามโปรแกรมขั้นบันได

ผลการทดสอบการทำงานตามโปรแกรมขั้นบันไดนี้ PLC ทำงานได้ถูกต้อง ซึ่งแสดงผลของแต่ละส่วนของโปรแกรมได้ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ทดสอบคำสั่ง LD,LDI,AND,ANDI,OR,ORI,OUT,MC และ MCC ได้ผลการทดสอบดังนี้

ผลลัพธ์ที่ O0

I0	I1	I2	O0
0	0	0	**0**
0	0	1	**0**
0	1	0	**0**
0	1	1	**0**
1	0	0	**0**
1	0	1	**0**
1	1	0	**0**
1	1	1	**1**

ผลลัพธ์ที่ O1

I0	I3	I4	O1
0	0	0	**0**
0	0	1	**0**
0	1	0	**0**
0	1	1	**0**
1	0	0	**1**
1	0	1	**0**
1	1	0	**0**
1	1	1	**0**

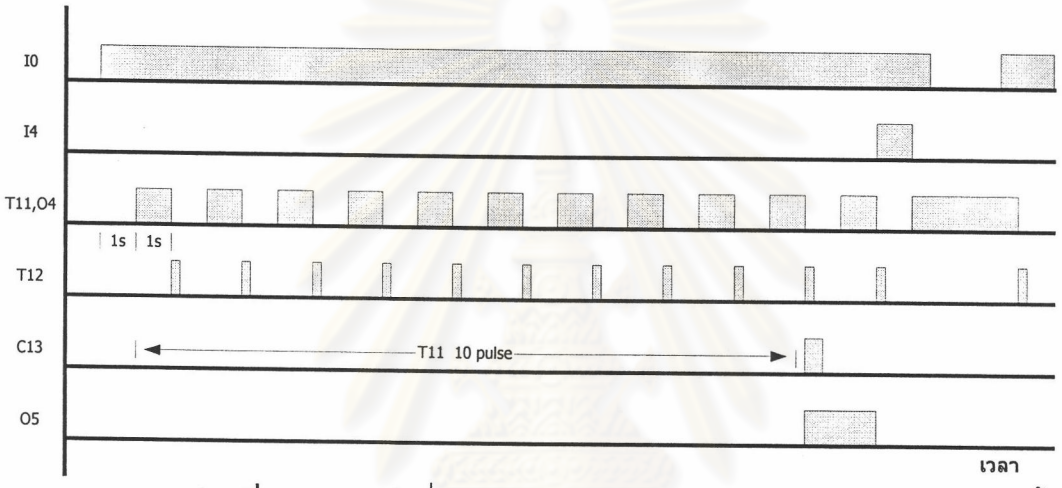
ผลลัพธ์ที่ O2

I0	I4	O0	O1	O2
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1
0	อื่นๆ นอกจากนี้			

ส่วนที่ 2 ทดสอบคำสั่ง ANDB, ORB ได้ผลการทดสอบดังนี้
ผลลัพธ์ที่ O3

I0	I1	I2	I3	I4	I5	O3
1	0	0	0	1	0	1
1	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	1	0	1
0	0	0	1	0	1	1
อื่นๆ นอกจากนี้						0

ส่วนที่ 3 ทดสอบคำสั่ง TIM, CNT, JMP และ JME ได้ผลการทดสอบดังนี้
ผลลัพธ์ที่ O4 และ O5



ส่วนที่ 4 ทดสอบคำสั่ง MOV, ADD, SUB และ CMP ได้ผลการทดสอบดังนี้
ผลลัพธ์ที่ O6 และ O7

2. ทดสอบหา Scan Time

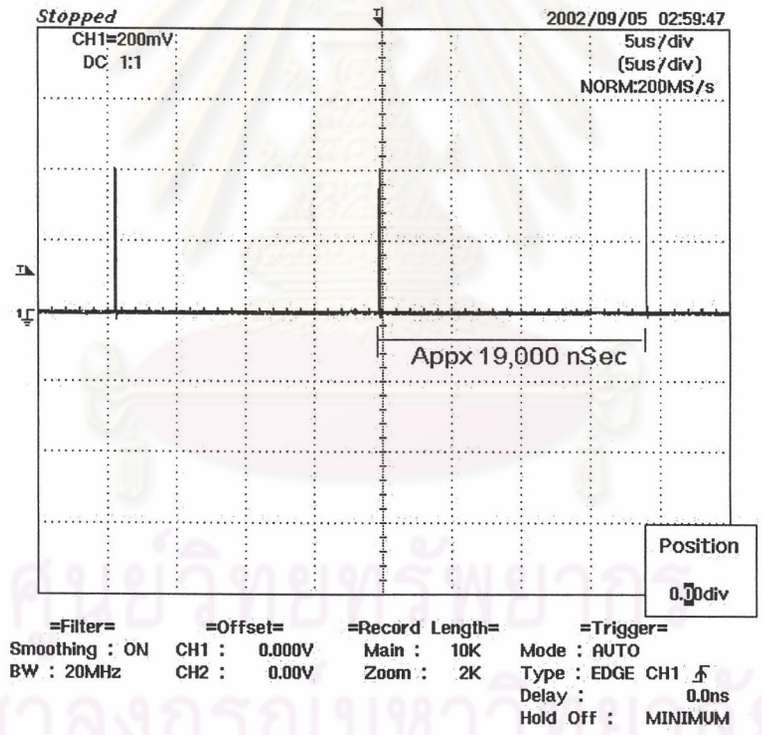
การทดสอบต่อไปก็คือการคำนวณหาเวลา 1 Scan Time ของโปรแกรมและเปรียบเทียบกับค่าการวัดจริง การคำนวณ 1 Scan Time ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. อ่านอินพุตและบันทึกลงในหน่วยความจำใช้ 4 Clock Cycle
2. ส่วนของโปรแกรมขั้นบันไดนี้ได้จากการคำนวณในตาราง 7.3 ใช้ 230 Clock Cycle
3. อ่านค่าเอาต์พุตจากหน่วยความจำส่งออกไปยังพอร์ตเอาต์พุต และส่งค่าสถานะของหน่วยความจำภายในส่วนข้อมูล (Data Memory) ไปยังคอมพิวเตอร์ใช้ 4 Clock Cycle

ดังนั้น PLC ทำงานที่ 12.6 Mhz คาบเวลา 1 Clock Cycle เท่ากับ 80 นาโนวินาที

โปรแกรมขั้นบันไดนี้ใช้ทั้ง 4 + 230 + 4 = 238 Clock Cycle

1 Scan Time = 238 × 80 = 19040 **นาโนวินาที (จากการคำนวณ)**



รูปที่ 7.5 การวัดคาบเวลา 1 Scan Time

จากรูปที่ 7.5 แสดงการวัดสัญญาณ Watch Dog ที่ CPU ของ PLC ซึ่งส่งสัญญาณเป็น Pulse สั้นๆ ทุกการเริ่มต้นของ Scan Time การวัดค่าเวลาระหว่าง 2 Pulse ก็คือเวลา 1 Scan Time นั้นเอง จากรูปที่ 7.4 ค่าจากการวัดได้ประมาณ 19000 นาโนวินาที ใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณคือ 19400 นาโนวินาที

No	คำสั่ง	คำนวณความเร็วเฉลี่ยทุกคำสั่ง		คำนวณ Scan Time	
		จำนวน Cycle	เวลาที่ใช้ (nSec)	จำนวนที่ใช้ในโปรแกรม	จำนวน Cycle
1	LD	3	240	18	54
2	LDI	3	240	2	6
3	AND	3	240	2	6
4	ANDI	3	240	4	12
5	OR	3	240	3	9
6	ORI	3	240	1	3
7	OUT	4	320	8	32
8	SET	6	480	1	6
9	RST	6	480	1	6
10	TIM	8	640	2	16
11	CNT	8	640	1	8
12	CMP	9	720	1	9
13	ADD	9	720	1	9
14	SUB	9	720	1	9
15	MOV	6	480	3	18
16	ANDB	3	240	1	3
17	ORB	3	240	2	6
8	END	3	240	1	3
19	MC	3	240	1	3
20	MMC	3	240	1	3
21	JMP	3	240	1	3
22	JME	3	240	1	3
23	NOP	3	240	1	3
รวม		เวลารวมคำสั่ง	8560	รวม Cycle	230

ตารางที่ 7.3 การคำนวณเวลาการทำงานของโปรแกรมขั้นบันไดที่ใช้ทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย