


การพัฒนาซอฟต์แวร์จัดการระบบควบคุมแบบเบตซ์โดยใช้ทฤษฎีเพทรีเน็ต



นาย อรรถพล ต้นดีสันติกร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0940-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 20648819

A DEVELOPMENT OF BATCH CONTROL SYSTEM MANAGEMENT SOFTWARE
BASED ON PETRI NET THEORY



Mr. Athapol Tantisantikorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0940-2

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

อรรถพล ตันติสันติกร : การพัฒนาซอฟต์แวร์จัดการระบบควบคุมแบบแบตช์โดยใช้
ทฤษฎีเพทรีเน็ต. (A Development of Batch Control System Management
Software Based on Petri Net Theory) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.สมบุญ จงชัยกิจ
282 หน้า. ISBN 974-03-0940-2.

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์จัดการระบบควบคุมแบบแบตช์ โดยยึดตามมาตรฐานการควบคุมแบบแบตช์ ISA – S 88.01-1995 ซอฟต์แวร์ที่ออกแบบมีความสามารถจัดการผลิตได้หลายผลิตภัณฑ์โดยการนำทฤษฎีเพทรีเน็ตมาใช้เป็นรูปแบบในการจัดแบ่งทรัพยากรในกระบวนการร่วมกัน โดยซอฟต์แวร์จะทำหน้าที่สร้างและวิเคราะห์แบบจำลองเพทรีเน็ต ผลการวิเคราะห์อยู่ในรูปแผนภาพแกนต์และเวลาที่ใช้ในการผลิตทำให้ผู้ใช้สามารถทราบก่อนทำการผลิต จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการควบคุมการผลิตผ่านทางเฟสลอจิกภายในเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ ซึ่งในส่วนของการออกแบบเฟสลอจิกนั้นได้มีการประยุกต์ นำเพทรีเน็ตมาใช้ ในการวิเคราะห์คุณสมบัติการทำงานของส่วนเฟสลอจิกด้วย

ผลการทดสอบซอฟต์แวร์ได้แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนผลการทดสอบการจัดแบ่งการทำงานของกระบวนการและส่วนผลการทดสอบการควบคุมผ่านเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้โดยใช้ซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของกระบวนการ ปรากฏว่าสามารถจัดแบ่งเวลาการผลิตและสามารถควบคุมการทำงานได้อย่างถูกต้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิตร อรรถพล ตันติสันติกร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร.สมบุญ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ABSTRACT

4170704921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: BATCH CONTROL / PETRI NET

ATHAPOL TANTISANTIKORN : A Development of Batch Control System
Management Software Based on Petri Net Theory. THESIS ADVISOR :
Dr.Somboon Chongchaikit, 282 pp. ISBN 974-03-0940-2.

The objective of this thesis is to design and develop a software to manage batch process based on ISA – S 88.01-1995 standard. By using the Petri Net theory to analyse resource sharing problem, this software can manage multiple products in a production line. The results show in Gantt chart and total processing time is known before production. The software will control the process via phase logic in Programmable Logic Control (PLC). Moreover, during phase logic design, properties of phase logic can be analysed by Petri Net.

The software, tested on simulation process, shows satisfactory results. Production time of multiple products in a production line can be optimized. Phase logic design problems can be diagnosed. Batch process can be controlled by PLC.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering
Field of study Electrical Engineering
Academic year 2545

Student's signature ATHAPOL T.
Advisor's signature Dr. Somboon Chongchaikit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้มีอาจสำเร็จได้หากขาดความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า อาจารย์สมบุรณ์ จงชัยกิจ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำในการดำเนินชีวิตแก่ข้าพเจ้า จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ด้วยใจ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลาวัศมี และ อาจารย์ ดร.สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคุณสมเกียรติ สินธุชัย กรรมการผู้จัดการ บ.แซจจิเทพ (ประเทศไทย) ที่กรุณาสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำและโมดูลสำหรับติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และ PLC

ขอขอบคุณคุณวรพล สติรกุล และคุณวิริยะ เลี้ยวประเสริฐกุล ที่ให้คำแนะนำในการติดต่อของซอฟต์แวร์กับฐานข้อมูล

ขอขอบคุณสำหรับน้ำใจและมิตรภาพของพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่านที่มีอย่างมากมาย

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ของข้าพเจ้าที่ได้เลี้ยงดูและสนับสนุนด้านการศึกษาตลอดมา และขอขอบคุณพี่และน้องของข้าพเจ้าที่ได้ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อรรณพล ตันตีสันติกร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ต
บทที่	
1. บทนำ	1
ความนำ	1
วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	2
ขอบเขตวิทยานิพนธ์	2
ขั้นตอนการทำงาน	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบควบคุมแบบเบตซ์	4
ความนำ	4
การควบคุมแบบลำดับ	4
ตัวอย่างการควบคุมแบบลำดับ	5
เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้และแผนภาพแลตเตอร์	7
กระบวนการแบบเบตซ์	8
ตัวอย่างการจัดแบ่งยูนิตภายในกระบวนการแบบเบตซ์	11
3. การควบคุมแบบเบตซ์ตามมาตรฐาน ISA-S88.01	13
ความนำ	13
ความเป็นมา	14
คำจำกัดความของการควบคุมแบบเบตซ์	14
การทำงานของกระบวนการแบบเบตซ์	15
แบบจำลองทางกายภาพของกระบวนการแบบเบตซ์	17
โครงสร้างของการควบคุมแบบเบตซ์	19

	หน้า
ส่วนควบคุมขั้นตอนการผลิต	19
ความสัมพันธ์ของแบบจำลองการทำงานกับส่วนควบคุมขั้นตอนการผลิต	22
สูตรการผลิต	23
กิจกรรมการทำงานของระบบควบคุมแบบแบตช์	26
สรุป	28
4. ทฤษฎีเพทรีเน็ต	29
ความเป็นมา	29
พื้นฐานของเพทรีเน็ต	29
โครงสร้างของเพทรีเน็ต	31
กฎการทำงานของเพทรีเน็ต	31
สมการสแตทของเพทรีเน็ต	32
รีซเอบิลิตี้ทรี	35
คุณสมบัติของเพทรีเน็ต	37
ตัวอย่างการจำลองระบบโดยใช้เพทรีเน็ต	39
การทำงานพร้อมกันและการทำงานชนกัน	41
โทมเพทรีเน็ต	43
สรุป	46
5. การจำลองการทำงานของกระบวนการแบบแบตช์โดยใช้เพทรีเน็ต	47
ความนำ	47
รูปแบบของกระบวนการแบบแบตช์	48
แบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการแบบแบตช์หลายยูนิต	49
แบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการแบบแบตช์หลายยูนิตและหลายผลิตภัณฑ์... ..	57
ตัวอย่างกระบวนการแบบแบตช์ 2 ยูนิต 2 ผลิตภัณฑ์	68
6. การประยุกต์ใช้เพทรีเน็ตในส่วนควบคุมเฟสลोजิก	86
ความนำ	86
การจัดแบ่งการทำงานแบบเฟส	86
ขั้นตอนการออกแบบเฟสลोजิกด้วยเพทรีเน็ต	87
หลักการการทำงานของเฟสลोजิก	88
การจำลองเฟสลोजิกโดยใช้เพทรีเน็ต	90

	หน้า
การวิเคราะห์เฟสลोजิกจากเพทรีเน็ต	92
ตัวอย่างการแปลงเพทรีเน็ตเป็นแผนภาพแลตเตอร์	93
แผนภาพแลตเตอร์ของเฟสลोजิก	97
ตัวอย่างเฟสลोजิก	100
7. การออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์จัดการสำหรับระบบควบคุมแบบเบตซ์	104
ความนำ	104
ความต้องการของผู้ใช้	104
การออกแบบระบบ	105
โครงสร้างการติดต่อทางซอฟต์แวร์กับเฟสลोजิก	107
โครงสร้างของซอฟต์แวร์	108
ลำดับขั้นของการทำงานซอฟต์แวร์	109
การทำงานของส่วนต่างๆ ภายในซอฟต์แวร์	110
การทำงานของส่วนเฟสลोजิก	123
การออกแบบฐานข้อมูล	126
8. การทดสอบซอฟต์แวร์และผลการทดสอบ	132
การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์	132
กระบวนการผลิตไอศกรีม	134
ผลการจัดแบ่งเวลาการผลิต	140
ผลการควบคุมการผลิต	160
9. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	174
สรุปงานวิทยานิพนธ์	174
ข้อเสนอแนะ	175
รายการอ้างอิง	176
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การแสดงการวิเคราะห์แบบจำลองของกระบวนการแบบเบตซ์.....	179
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	282

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลำดับการทำงานของเครื่องกวน	10
ตารางที่ 4.1 ตารางสภาวะก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์	40
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงสภาวะก่อน หลังเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ	50
ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบ M_0	66
ตารางที่ 5.3 สถานะและเหตุการณ์ของกระบวนการ 2 ยูนิต 2 ผลิตภัณฑ์	68
ตารางที่ 5.4 สรุปตารางสภาวะก่อนและหลังการเกิดเหตุการณ์	69
ตารางที่ 5.5 ตารางสภาวะของกระบวนการในการผลิตเบตซ์ที่ 1 ก่อน	84
ตารางที่ 5.6 ตารางสภาวะของกระบวนการในการผลิตเบตซ์ที่ 2 ก่อน	85
ตารางที่ 6.1 ตารางสถานะและเหตุการณ์ของเฟสลोजิก	91
ตารางที่ 6.2 ตารางสภาวะก่อนและหลังการเกิดเหตุการณ์	92
ตารางที่ 7.1 ตำแหน่งรีเลย์ที่สามารถใช้ได้ในแต่ละเฟสลोजิก	124
ตารางที่ 7.2 รีเลย์ประจำตำแหน่งต่างๆ ในเฟสลोजิก	125
ตารางที่ 8.1 ตารางเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์และเฟสลोजิก	136
ตารางที่ 8.2 สูตรการผลิตซีอกโกแลต	137
ตารางที่ 8.3 สูตรการผลิตสตรอเบอร์รี่	138
ตารางที่ 8.4 สูตรการผลิตวานิลลา	139
ตารางที่ 8.5 ลักษณะและความหมายของแผนภาพแกนต์	140
ตารางที่ 8.6 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 1	142
ตารางที่ 8.7 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 2	143
ตารางที่ 8.8 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 3	145
ตารางที่ 8.9 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 4	146
ตารางที่ 8.10 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 5	148
ตารางที่ 8.11 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 6	149
ตารางที่ 8.12 สถานะของกระบวนการ 6 ยูนิต 3 ผลิตภัณฑ์	151
ตารางที่ 8.13 เหตุการณ์ของกระบวนการและสภาวะก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์	152
ตารางที่ 8.14 การจัดแบ่งเวลาแบบที่ 1	154
ตารางที่ 8.15 การจัดแบ่งเวลาแบบที่ 2	155
ตารางที่ 8.16 การจัดแบ่งเวลาแบบที่ 3	156

	หน้า
ตารางที่ ก.142 ตารางแสดงเวลาทำงานของเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{12}	275
ตารางที่ ก.143 ลำดับการทำงานของการจัดลำดับการยิงทรานสิชันแบบที่ 1	276
ตารางที่ ก.144 ลำดับการทำงานของการจัดลำดับการยิงทรานสิชันแบบที่ 2	277
ตารางที่ ก.145 ลำดับการทำงานของการจัดลำดับการยิงทรานสิชันแบบที่ 3	278
ตารางที่ ก.146 ลำดับการทำงานของการจัดลำดับการยิงทรานสิชันแบบที่ 4	279
ตารางที่ ก.147 ลำดับการทำงานของการจัดลำดับการยิงทรานสิชันแบบที่ 5	280
ตารางที่ ก.148 ลำดับการทำงานของการจัดลำดับการยิงทรานสิชันแบบที่ 6	281



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปแบบการควบคุมแบบลำดับ	5
รูปที่ 2.2 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังพักน้ำ	6
รูปที่ 2.3 ลำดับการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำ	7
รูปที่ 2.4 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้	8
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนภาพแลตเตอร์	8
รูปที่ 2.6 กระบวนการแบบแบตช์	9
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างยูนิทกวนวัตฤติบ	9
รูปที่ 2.8 กระบวนการผลิตเบียร์	11
รูปที่ 2.9 แบบจำลองของกระบวนการผลิตเบียร์	12
รูปที่ 3.1 โครงสร้างการผลิตแบบแบตช์	15
รูปที่ 3.2 การทำงานของกระบวนการแบบแบตช์	17
รูปที่ 3.3 แบบจำลองทางกายภาพของกระบวนการ	18
รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของส่วนควบคุมขั้นตอนการผลิต	20
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการผลิต PVC	21
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองการทำงานกับส่วนควบคุมขั้นตอนการผลิต	22
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของสูตรประเภทต่างๆ	25
รูปที่ 3.8 รูปแบบการทำงานของระบบควบคุมแบบแบตช์	26
รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของเพทรีเน็ต	30
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการยิงทรานสิชัน	32
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างเพทรีเน็ตที่ใช้หาเมตริกซ์อุบัติการณ์	33
รูปที่ 4.4 เพทรีเน็ตหลังยิงทรานสิชัน t_2	35
รูปที่ 4.5 เพทรีเน็ตที่ใช้วิเคราะห์รีซเอบิลิตี้	36
รูปที่ 4.6 รีซเอบิลิตี้ทรีของเพทรีเน็ต	36
รูปที่ 4.7 เพทรีเน็ตที่มีคุณสมบัติ Safeness	37
รูปที่ 4.8 เพทรีเน็ตที่ไม่มีคุณสมบัติ Boundedness	38
รูปที่ 4.9 เพทรีเน็ตที่ไม่มีคุณสมบัติ Liveness	39
รูปที่ 4.10 เพทรีเน็ตแสดงการจำลองขั้นตอนการผลิตในโรงงาน	41
รูปที่ 4.11 รูปแบบการทำงานพร้อมกัน	42

	หน้า
รูปที่ 4.12 รูปแบบการทำงานชนกัน	43
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างของโทมพีเทรีเน็ต	44
รูปที่ 4.14 การเคลื่อนที่ของโหนดในโทมพีเทรีเน็ต	45
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทำงานของส่วนจัดแบ่งการทำงาน	47
รูปที่ 5.2 รูปแบบของกระบวนการแบบแบดซ์	48
รูปที่ 5.3 กระบวนการแบบแบดซ์ 1 ยูนิต	49
รูปที่ 5.4 แสดงช่วงเวลาที่ยูนิตไม่พร้อมทำงาน	51
รูปที่ 5.5 แบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการแบบแบดซ์ 1 ยูนิต	51
รูปที่ 5.6 กระบวนการแบบแบดซ์ 2 ยูนิต	51
รูปที่ 5.7 แบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการแบบแบดซ์ 2 ยูนิต	52
รูปที่ 5.8 แบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการแบบแบดซ์ n ยูนิต	54
รูปที่ 5.9 รูปแบบกระบวนการแบบแบดซ์ n ยูนิต m ผลิตรภัณฑ์	57
รูปที่ 5.10 รูปแบบของกระบวนการแบบแบดซ์ 1 ยูนิต 2 ผลิตรภัณฑ์	58
รูปที่ 5.11 แบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการแบบแบดซ์ 1 ยูนิต	59
รูปที่ 5.12 รูปแบบของกระบวนการแบบแบดซ์ 2 ยูนิต 2 ผลิตรภัณฑ์	59
รูปที่ 5.13 แบบจำลองเพทรีเน็ตของกระบวนการแบบแบดซ์ 2 ยูนิต 2 ผลิตรภัณฑ์	61
รูปที่ 5.14 รูปแบบกระบวนการ n ผลิตรภัณฑ์ m ยูนิต	62
รูปที่ 5.15 กระบวนการ 2 ยูนิต 2 ผลิตรภัณฑ์	68
รูปที่ 5.16 แบบจำลองเพทรีเน็ตของระบบ 2 ยูนิต 2 ผลิตรภัณฑ์	69
รูปที่ 5.17 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_1	71
รูปที่ 5.18 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_2	72
รูปที่ 5.19 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_3	72
รูปที่ 5.20 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_4 และ t_7	73
รูปที่ 5.21 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_8	73
รูปที่ 5.22 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_5	74
รูปที่ 5.23 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_6	74
รูปที่ 5.24 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_9	75
รูปที่ 5.25 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{10}	75
รูปที่ 5.26 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{11}	76

รูปที่ 5.27 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{12}	76
รูปที่ 5.28 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_7	77
รูปที่ 5.29 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_8	78
รูปที่ 5.30 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_9	78
รูปที่ 5.31 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{10} และ t_1	79
รูปที่ 5.32 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_2	79
รูปที่ 5.33 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{11}	80
รูปที่ 5.34 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{12}	80
รูปที่ 5.35 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_3	81
รูปที่ 5.36 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_4	81
รูปที่ 5.37 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_5	82
รูปที่ 5.38 เพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_6	82
รูปที่ 5.39 ริชเอบิลิตี้ทรี	83
รูปที่ 5.40 แกนซ์ชาร์ตของการผลิตแบคทีเรียที่ 1 ก่อน	84
รูปที่ 5.41 แกนซ์ชาร์ตของการผลิตแบคทีเรียที่ 2 ก่อน	85
รูปที่ 6.1 รูปแสดงเฟสลอจิกในหน่วยความจำของเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้	87
รูปที่ 6.2 ขั้นตอนการทำงานของส่วนจัดแบ่งการทำงาน	88
รูปที่ 6.3 แบบจำลองเฟสลอจิก	88
รูปที่ 6.4 แผนภาพเวลาแสดงการทำงานของเฟสลอจิก	89
รูปที่ 6.5 เฟสลอจิกอยู่ในรูปแบบของฮาร์ดแวร์	90
รูปที่ 6.6 รูปแบบของระบบ	90
รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตโดยใช้เพทรีเน็ต	90
รูปที่ 6.8 แบบจำลองเพทรีเน็ตของเฟสลอจิก	91
รูปที่ 6.9 ริชเอบิลิตี้ทรีของเฟสลอจิก	92
รูปที่ 6.10 เพทรีเน็ตของลอจิก AND	94
รูปที่ 6.11 แผนภาพแลตเตอร์และเพทรีเน็ตของลอจิก OR	94
รูปที่ 6.12 ตัวอย่างการแปลงเพทรีเน็ตเป็นแผนภาพแลตเตอร์ (1)	95
รูปที่ 6.13 ตัวอย่างการแปลงเพทรีเน็ตเป็นแผนภาพแลตเตอร์ (2)	95
รูปที่ 6.14 ตัวอย่างการแปลงเพทรีเน็ตเป็นแผนภาพแลตเตอร์ (3)	96

	หน้า
รูปที่ 6.15 ตัวอย่างการแปลงเพทรีเน็ตเป็นแผนภาพแลตเตอร์ (4)	96
รูปที่ 6.16 ตัวอย่างการแปลงเพทรีเน็ตเป็นแผนภาพแลตเตอร์ (5)	97
รูปที่ 6.17 ส่วนต่างๆ ของแผนภาพแลตเตอร์ของเฟสลोजิก	97
รูปที่ 6.18 แผนภาพแลตเตอร์ของเฟสลोजิก	98
รูปที่ 6.19 ยูนิตดังกวน	100
รูปที่ 6.20 การเริ่มเดินมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า	101
รูปที่ 6.21 แผนภาพแลตเตอร์ในส่วนการเดินมอเตอร์สามเฟส	102
รูปที่ 7.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุม	105
รูปที่ 7.2 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้	106
รูปที่ 7.3 การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้	107
รูปที่ 7.4 โครงสร้างของซอฟต์แวร์	108
รูปที่ 7.5 ลำดับการทำงานของซอฟต์แวร์	109
รูปที่ 7.6 หน้าต่างเมนูหลัก	110
รูปที่ 7.7 หน้าต่าง Open Database File	111
รูปที่ 7.8 หน้าต่าง Process Modelling	112
รูปที่ 7.9 หน้าต่าง Process Modelling แทบ Connection	113
รูปที่ 7.10 หน้าต่าง Recipe Select	113
รูปที่ 7.11 หน้าต่าง Recipe Editor	114
รูปที่ 7.12 หน้าต่าง Recipe Editor แทบ View Recipe Procedure	115
รูปที่ 7.13 หน้าต่างของ Batch Mangement	116
รูปที่ 7.14 หน้าต่างของ Batch Mangement แทบ Select Recipe	117
รูปที่ 7.15 ขั้นตอนการจัดแบ่งเวลาการผลิต	118
รูปที่ 7.16 หน้าต่างของ Batch Mangement แทบ Control	119
รูปที่ 7.17 ขั้นตอนการควบคุมการทำงานระดับยูนิต	120
รูปที่ 7.18 ขั้นตอนการควบคุมการทำงานระดับเฟส	121
รูปที่ 7.19 หน้าต่าง Tag Linker	122
รูปที่ 7.20 เฟสลोजิก	123
รูปที่ 7.21 เฟสลोजิกที่ 1	124
รูปที่ 7.22 รูปแสดงรายละเอียดของเอนทิตี process table	126

	หน้า
รูปที่ 7.23 รูปแสดงรายละเอียดของเอนทิตี unit table	127
รูปที่ 7.24 รูปแสดงรายละเอียดของเอนทิตี phase in unit table	127
รูปที่ 7.25 รูปแสดงรายละเอียดของเอนทิตี phase table	127
รูปที่ 7.26 รูปแสดงรายละเอียดของเอนทิตี recipe table	128
รูปที่ 7.27 รูปแสดงรายละเอียดของเอนทิตี operation table	128
รูปที่ 7.28 รูปแสดงรายละเอียดของเอนทิตี operation sequence table ..	128
รูปที่ 7.29 รูปแสดงรายละเอียดของเอนทิตี phase sequence table	129
รูปที่ 7.30 โครงสร้างการควบคุมตามมาตรฐานกับความสัมพันธ์ของเอนทิตี ..	129
รูปที่ 7.31 แผนภาพ E-R	130
รูปที่ 8.1 รูปแบบการทดสอบระบบควบคุม	132
รูปที่ 8.2 การเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์ในการตรวจสอบการทำงานของระบบ	133
รูปที่ 8.3 กระบวนการผลิตไอศกรีม	134
รูปที่ 8.4 ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม	135
รูปที่ 8.5 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 1	141
รูปที่ 8.6 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 2	141
รูปที่ 8.7 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 3	144
รูปที่ 8.8 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 4	144
รูปที่ 8.9 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 5	147
รูปที่ 8.10 ผลการจัดแบ่งเวลาแบบที่ 6	147
รูปที่ 8.11 กระบวนการ 6 ยูนิต 3 ผลิตภัณฑ์	150
รูปที่ 8.12 แบบจำลองของกระบวนการแบบแบดซ์	150
รูปที่ ก.1 กระบวนการแบบแบดซ์ 6 ยูนิต 3 ผลิตภัณฑ์	179
รูปที่ ก.2 แบบจำลองของกระบวนการแบบแบดซ์ 6 ยูนิต 3 ผลิตภัณฑ์	179
รูปที่ ก.3 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_1	180
รูปที่ ก.4 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_2	180
รูปที่ ก.5 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{13}	181
รูปที่ ก.4 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_4	182
รูปที่ ก.7 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน $t_5 t_{14}$	182
รูปที่ ก.8 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน $t_{15} t_{25}$	183

	หน้า
รูปที่ ก.9 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_6	184
รูปที่ ก.10 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_7 t_{16}	184
รูปที่ ก.11 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{17} t_{26}	185
รูปที่ ก.12 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{27}	186
รูปที่ ก.13 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_8	186
รูปที่ ก.14 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_9 t_{18}	187
รูปที่ ก.15 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{10}	188
รูปที่ ก.16 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{11} t_{19} t_{28}	188
รูปที่ ก.17 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{29}	189
รูปที่ ก.18 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{12} t_{20}	190
รูปที่ ก.19 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{21}	190
รูปที่ ก.20 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{30}	191
รูปที่ ก.21 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{22} t_{31}	192
รูปที่ ก.22 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{23} t_{32}	192
รูปที่ ก.23 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{33}	193
รูปที่ ก.24 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{24}	194
รูปที่ ก.25 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{34}	194
รูปที่ ก.26 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{35}	195
รูปที่ ก.27 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{36}	196
รูปที่ ก.28 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_3 t_{25}	196
รูปที่ ก.29 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_4	197
รูปที่ ก.30 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_5 t_{26}	198
รูปที่ ก.31 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_3 t_{27}	199
รูปที่ ก.32 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{16}	199
รูปที่ ก.33 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_7 t_{28}	200
รูปที่ ก.34 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{14} t_{29}	200
รูปที่ ก.35 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_8 t_{15}	201
รูปที่ ก.36 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_9 t_{30}	202
รูปที่ ก.37 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{10}	202

	หน้า
รูปที่ ก.125 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{14} t_{29}	262
รูปที่ ก.126 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_1 t_{15}	262
รูปที่ ก.127 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{30}	263
รูปที่ ก.128 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{16}	264
รูปที่ ก.129 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_2 t_{17}	264
รูปที่ ก.130 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_3 t_{32}	265
รูปที่ ก.131 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{18} t_{33}	266
รูปที่ ก.132 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_4 t_{19} t_{34}	266
รูปที่ ก.133 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_5	267
รูปที่ ก.134 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{20} t_{34}	268
รูปที่ ก.135 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{21}	268
รูปที่ ก.136 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_6	269
รูปที่ ก.137 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{36}	270
รูปที่ ก.138 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_7 t_{22}	270
รูปที่ ก.139 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{23}	271
รูปที่ ก.140 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_8	272
รูปที่ ก.141 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_9 t_{24}	272
รูปที่ ก.142 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{10}	273
รูปที่ ก.143 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{11}	274
รูปที่ ก.144 แบบจำลองเพทรีเน็ตหลังจากยิงทรานสิชัน t_{12}	274