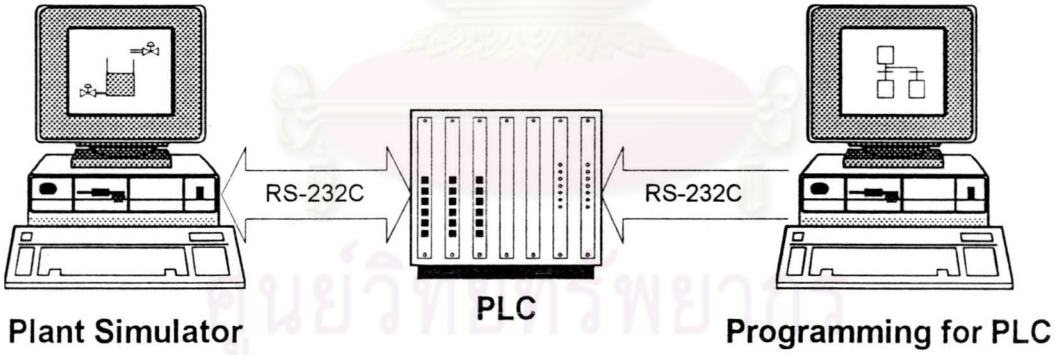
บทที่ 5

การทดสอบโปรแกรมและผลการทดสอบ

ความนำ

เพื่อทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์เพทริเน็ต ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์จำลอง (Simulation Software) ซึ่งทำหน้าที่จำลองการทำงานของระบบควบคุมลำดับ โครงสร้างของระบบที่ใช้ทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 โดยประกอบด้วยเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ (Programmable Controller) เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับโปรแกรมเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ และ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่จำลองการทำงานของระบบควบคุมลำดับ



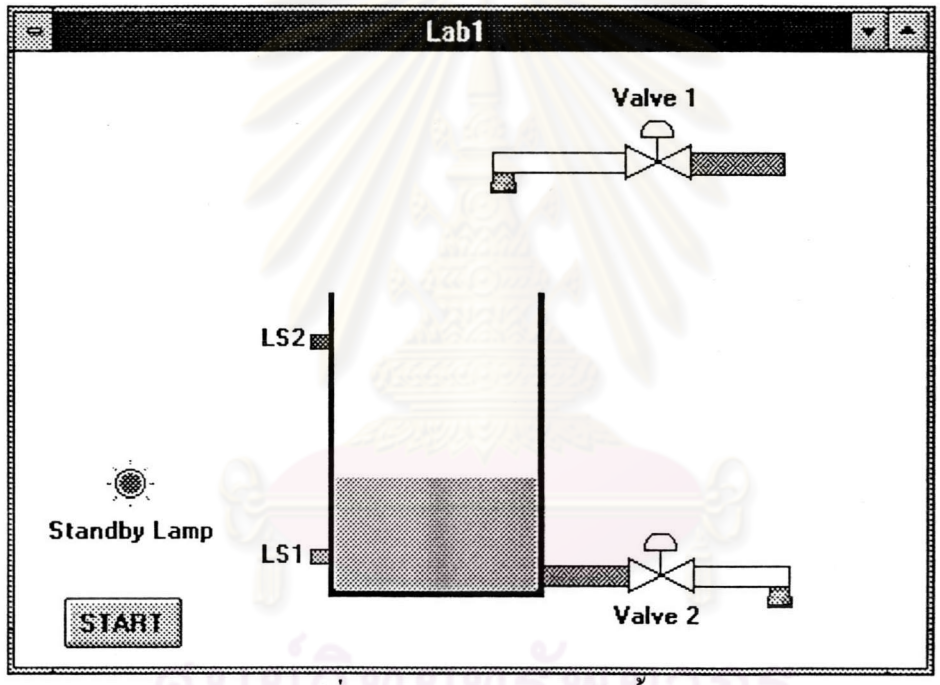
รูปที่ 5.1 โครงสร้างของระบบที่ใช้ทดสอบ

การพัฒนาซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของระบบควบคุมลำดับกระทำบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC/Compatible ซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 80486 DX2-66 และเขียนโปรแกรมจำลองด้วยภาษาวิชวลเบสิก เครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้เป็นของบริษัท ซีเมนส์ (SIEMENS) รุ่น S5-95U การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมโดยใช้มาตรฐาน RS-232C

ในการจำลองการทำงานของระบบควบคุมลำดับมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการทดลองกับระบบจริง คือ เราสามารถเปลี่ยนแปลงระบบที่ทดสอบได้ง่ายกว่า เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงทางซอฟต์แวร์ ในที่นี้เราเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบควบคุมลำดับเพื่อทดสอบ 2 ระบบ คือ

1. ระบบควบคุมระดับน้ำ
2. ระบบควบคุมสายพานลำเลียง

<u>ระบบควบคุมระดับน้ำ</u>



รูปที่ 5.2 ระบบควบคุมระดับน้ำ

รูปที่ 5.2 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำโดยอาศัยซอฟต์แวร์จำลอง ระบบประกอบด้วยถังบรรจุของเหลว วาล์วควบคุมการป้อนของเหลวเข้าสู่ถัง "Valve1" วาล์วควบคุมการถ่ายของเหลวออกจากถัง "Valve2" สวิตช์วัดระดับของเหลวในถัง "LS1" และ "LS2"

ตำแหน่งอินพุตรีเลย์และเอาต์พุตรีเลย์ของเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบควบคุมระดับน้ำแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

รีเลย์	ตำแหน่ง	อุปกรณ์
เอาต์พุตรีเลย์	Q32.0	"Valve1" จ่ายน้ำเข้าถัง
เอาต์พุตรีเลย์	Q32.1	"Valve2" ถ่ายน้ำออกจากถัง
เอาต์พุต์รีเลย์	Q32.2	หลอดไฟ "Standby Lamp" แสดงสถานะของระบบว่าพร้อมที่จะเริ่มทำงานหรือไม่
อินพุตรีเลย์	I0.0	สวิตช์กด "Start" สำหรับเริ่มการทำงาน
อินพุตรีเลย์	I0.1	สวิตช์วัดระดับ "LS1" มีสภาวะ On เมื่อระดับของน้ำในถังเกิน 5%
อินพุตรีเลย์	I0.2	สวิตช์วัดระดับ "LS2" มีสภาวะ On เมื่อน้ำเต็มถัง

ตารางที่ 5.1 การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้กับระบบควบคุมระดับน้ำ

ขั้นตอนการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมระดับน้ำแสดงได้ดังนี้

1. <u>การทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำ</u>

ขั้นตอนที่ 1 : ระบบอยู่ในสถานะว่างงาน (Idle State) หลอดไฟ "Standby Lamp" ติดสว่าง จนกว่าจะได้รับสัญญาน "Start"

ขั้นตอนที่ 2 : ปล่อยน้ำเข้าถัง จนกว่าสวิตช์วัดระดับ "LS2" มีสภาวะ On

ขั้นตอนที่ 3 : ปล่อยน้ำออกจากถัง จนกว่าสวิตช์วัดระดับ "LS1" มีสภาวะ Off

2. <u>การออกแบบระบบควบคุมระดับน้ำด้วยเพทริเน็ต</u>

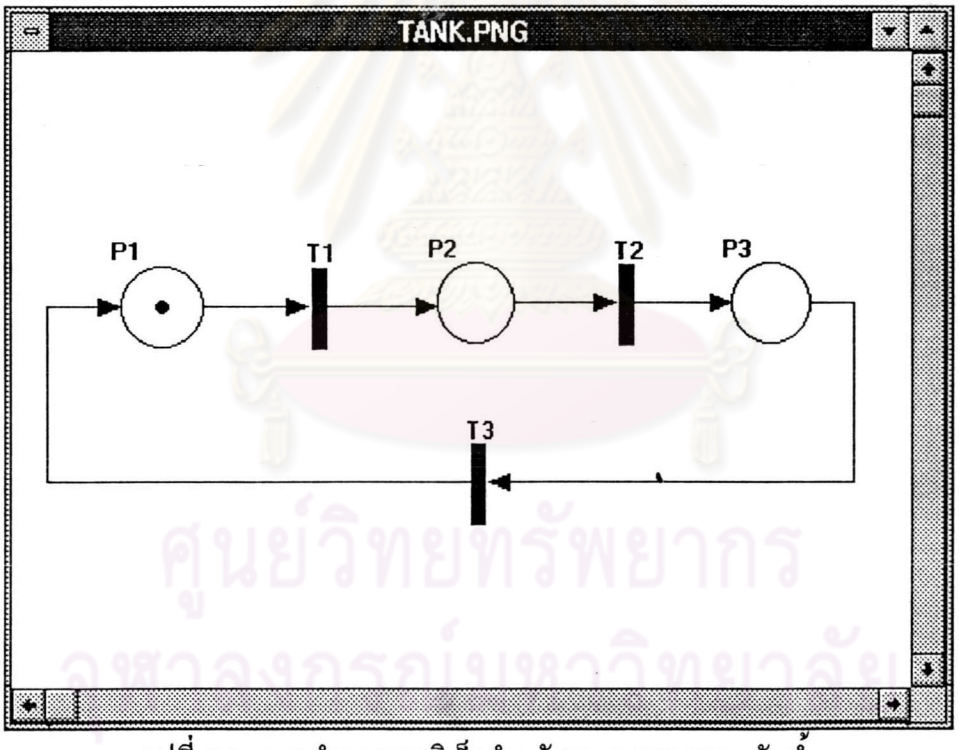
ในการหาแบบจำลองเพทริเน็ตของระบบควบคุมระดับน้ำ เรามองระบบเป็น 2 ส่วน คือ เงื่อนไขและเหตุการณ์ โดยแทนเงื่อนไขด้วยเพลส และ เหตุการณ์ด้วยทรานซิชัน

เงื่อนไข	เหตุการณ์
ก) ระบบอยู่ในสถานะว่างงาน	1) สวิตช์ "Start" ถูกกด
ข) ปล่อยน้ำเข้า	2) ระดับน้ำเต็มถัง
ค) ปล่อยน้ำออก	3) ระดับน้ำอยู่ในระดับ 5%

เหตุการณ์	เงื่อนไขก่อนเกิด	เงื่อนไขหลังเกิด
1	ก	ข
2	ข	ค
3	ค	ก

ตารางที่ 5.2 เหตุการณ์และเงื่อนไขของระบบควบคุมระดับน้ำ

จากตารางที่ 5.2 แสดงเงื่อนไขและเหตุการณ์ของระบบควบคุมระดับน้ำ เราสามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบจำลองเพทริเน็ตแสดงดังรูปที่ 5.3 โดยในเพลส P1 แทนเงื่อนไข (ก) เพลส P2 แทนเงื่อนไข (ข) เพลส P3 แทนเงื่อนไข (ค) ทรานซิชัน T1 แทนเหตุการณ์ (1) ทรานซิชัน T2 แทนเหตุการณ์ (2) และ ทรานซิชัน T3 แทนเหตุการณ์ (3)



รูปที่ 5.3 แบบจำลองเพทริเน็ตสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำ

ซึ่งเราสามารถแสดงสถานะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำในแต่ละเพลสได้ดังตารางที่ 5.3 และ แสดงทรานซิชันในรูปสถานะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำได้ดังตารางที่ 5.4

เพลส	Valve1	Valve2	Lamp
P1	Off	Off	On
P2	On	Off	Off
P3	Off	On	Off

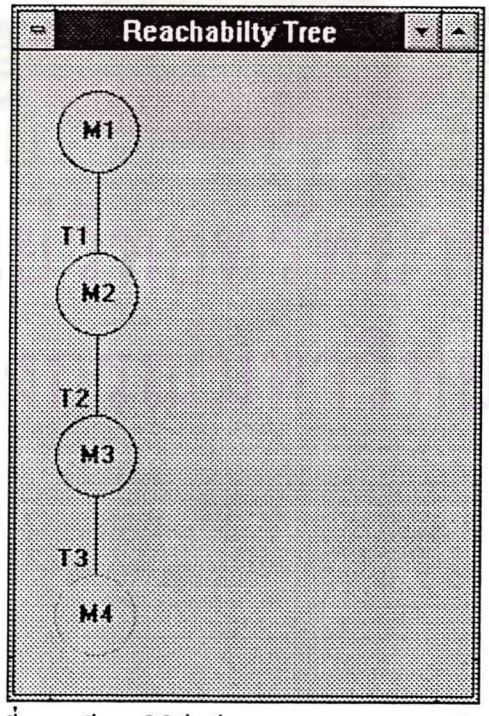
ตารางที่ 5.3 สถานะของอุปกรณ์ในแต่ละเพลส

ทรานซิชัน	สถานะของอุปกรณ์
T1	สวิตช์ "Start" = On
T2	สวิตช์วัดระดับ "LS2" = On
T3	สวิตช์วัดระดับ "LS3" = Off

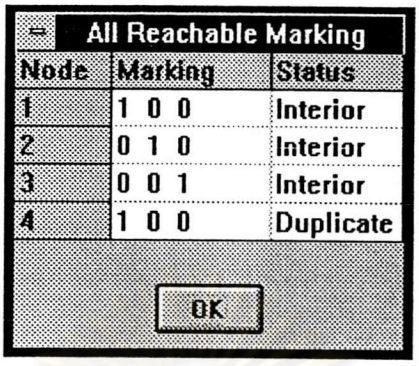
ตารางที่ 5.4 ทรานซิชันในรูปสถานะของอุปกรณ์

3. <u>การวิเคราะห์ระบบควบคุมระดับน้ำด้วยเพทริเน็ต</u>

ในการวิเคราะห์แบบจำลองเพทริเน็ตที่ออกแบบไว้แล้วในหัวข้อข้างต้น ด้วยวิธี รีเอบิลิตีทรีจากซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลของรีชเอเบิลทรีดังรูปที่ 5.4 และ รีชเอ-เบิลมาร์กกิงดังรูปที่ 5.5

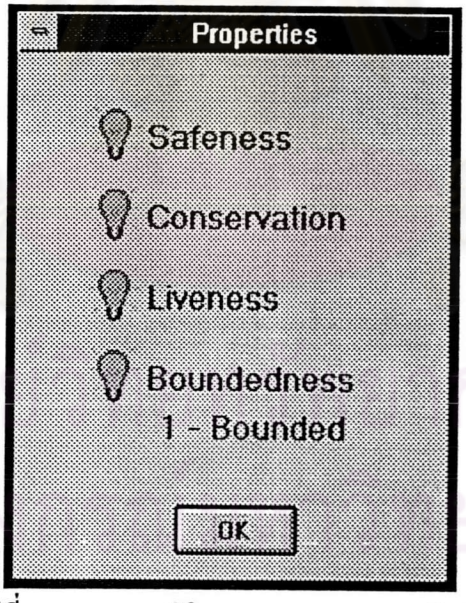


รูปที่ 5.4 รีชเอบิลิตีทรีของระบบควบคุมระดับน้ำ



รูปที่ 5.5 รีชเอเบิลมาร์กกิงของระบบควบคุมระดับน้ำ

จากรูปที่ 5.4 และ 5.5 จะเห็นได้ว่ารีชเอบิลิตีทรีมีโนดทั้งหมด 4 โนด แต่โนดที่ 4 ซ้ำกับโนดที่ 1 เพราะฉะนั้นระบบจึงมีสถานะที่เกิดขึ้นทั้งหมด 3 สถานะ โดยมีลำดับการยิงของทรานซิชันเป็น T1, T2, T3 เป็นไปตามที่เราออกแบบให้ระบบทำงาน และจากรีชเอบิลิตีทรีเราสามารถหาคุณสมบัติของระบบที่ออกแบบได้แสดงดังรูปที่ 5.6

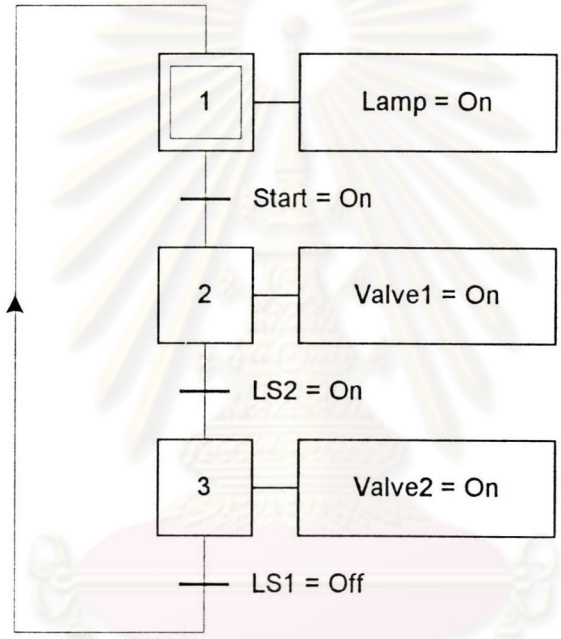


รูปที่ 5.6 คุณสมบัติของระบบควบคุมระดับน้ำ

จากรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าระบบควบคุมระดับน้ำที่ออกแบบมีคุณสมบัติ Safeness Boundness Conservation และ Liveness แสดงว่าระบบที่ออกแบบไม่เกิดสถานะ deadlock และการใช้ทรัพยากรมากเกินไป (Resource Overflow)

4. การทดสอบระบบควบคุมระดับน้ำ

ในการทดสอบนี้เราทดสอบกับระบบจำลองการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำดังกล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยเริ่มจากโปรแกรมเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ ให้ทำงานตามแบบจำลองเพทริเน็ตที่ได้ออกแบบไว้แล้ว เนื่องจากแบบจำลองเพทริเน็ตมีความสัมพันธ์กับภาษาฟังก์ชันชาร์ตที่เป็นภาษาหนึ่งที่สามารถโปรแกรมเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ ดังนั้นเราจึงแปลงแบบจำลองเพทริเน็ตที่ออกแบบไว้ให้อยู่ในภาษาฟังก์ชันชาร์ต [15,16] ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.7



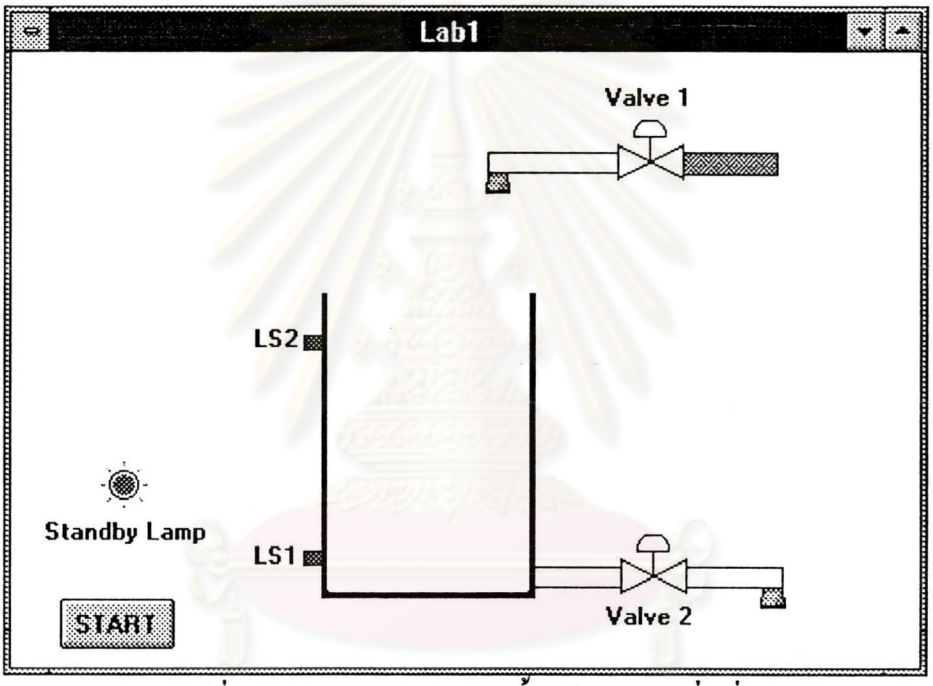
รูปที่ 5.7 ฟังก์ชันชาร์ตที่แปลงจากแบบจำลองเพทริเน็ตที่ออกแบบ

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ของบริษัท ซีเมนส์ รุ่น S5-95U ซึ่งสามารถโปรแกรมด้วยภาษาฟังก์ชันชาร์ตโดยผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีชื่อว่ากราฟไฟว์ (Graph5) [5] ซึ่งมีโครงสร้างทางภาษาเป็นไปตามมาตรฐาน IEC848 [4] การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงานของเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้เริ่มจากการแปลงแบบจำลองเพทริเน็ตที่ออกแบบไว้ไปเป็นโปรแกรมในภาษาฟังก์ชันชาร์ตโดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูปกราฟไฟว์ แล้วจึงป้อนโปรแกรมลงในเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้

5. ผลการทดสอบ

หลังจากป้อนโปรแกรมฟังก์ชันชาร์ต และสั่งให้เครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้เริ่มทำงาน ปรากฏผลการทดลองดังนี้

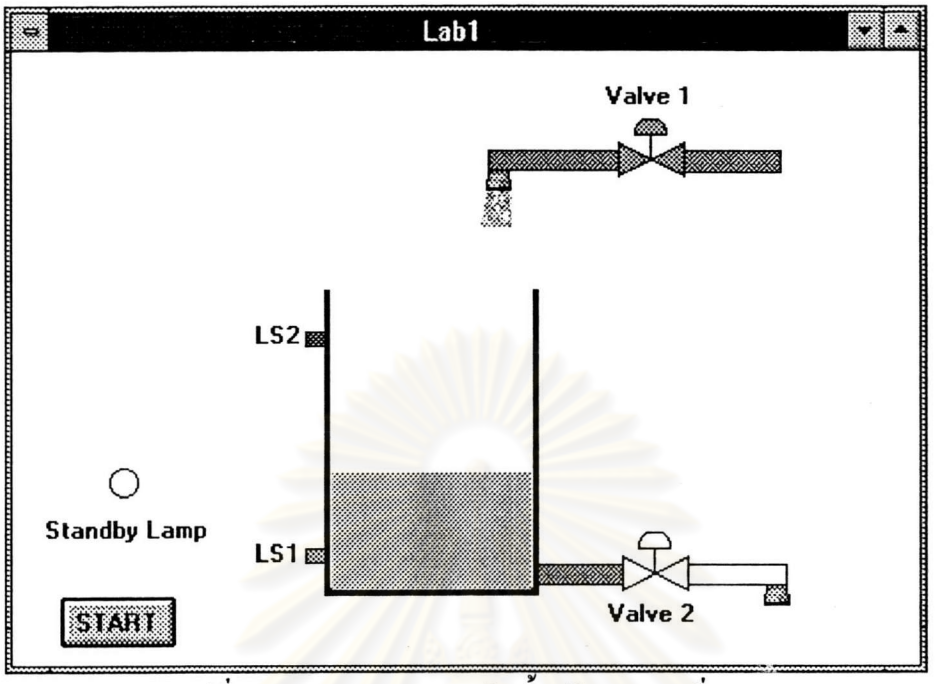
สถานะที่หนึ่ง ระบบควบคุมระดับน้ำจะอยู่ในสถานะว่าง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.8 คือ วาล์ว "Valve1" กับ วาล์ว "Valve2" อยู่ในสภาวะ Off และหลอดไฟ "Stanby Lamp" มีสภาวะ On



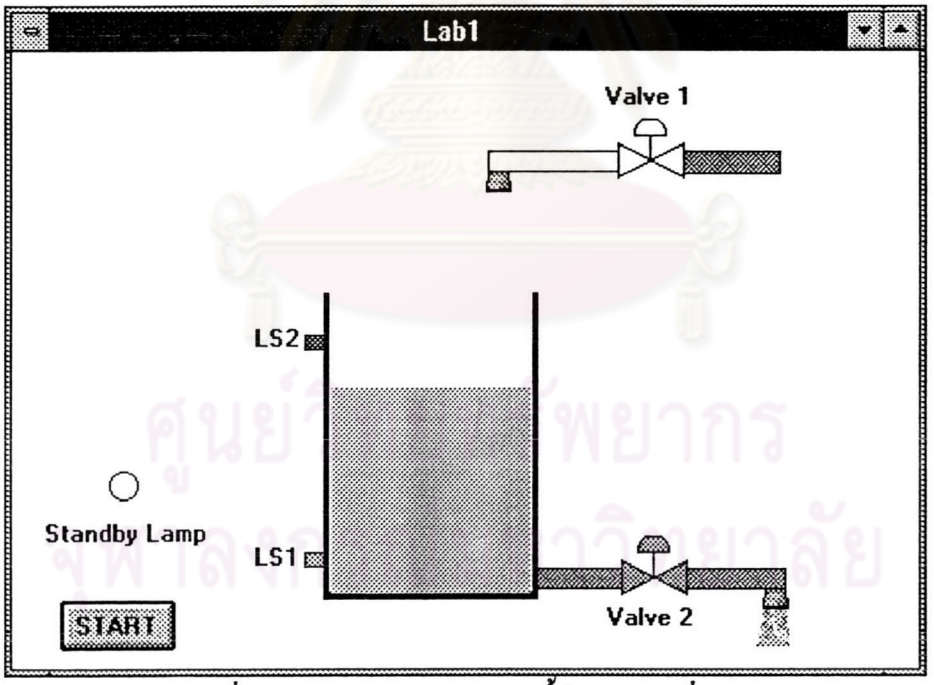
รูปที่ 5.8 ระบบควบคุมระดับน้ำอยู่ในสถานะที่หนึ่ง

สถานะที่สอง เมื่อมีการกดปุ่ม "Start" ทำให้วาล์ว "Valve1" อยู่ในสภาวะ On น้ำจะไหลเข้าถังโดยผ่านวาล์ว "Valve1" วาล์ว "Valve2" จะอยู่ในสภาวะ Off หลอดไฟ "Standby Lamp" จะดับ ระดับน้ำในถังจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งแสดงระบบควบคุมระดับน้ำในสถานะนี้ดังรูปที่ 5.9

สถานะที่สาม ขณะที่ระดับน้ำสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งระดับน้ำอยู่ในระดับที่ทำให้ลิมิตสวิตช์ "LS2" มีสภาวะ On วาล์ว "Valve1" จะอยู่ในสภาวะ Off และวาล์ว "Valve2" จะอยู่ในสภาวะ On ทำให้น้ำไหลออกจากถัง ซึ่งแสดงระบบควบคุมระดับน้ำในสถานะนี้ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 ระบบควบคุมระดับน้ำอยู่ในสถานะที่สอง

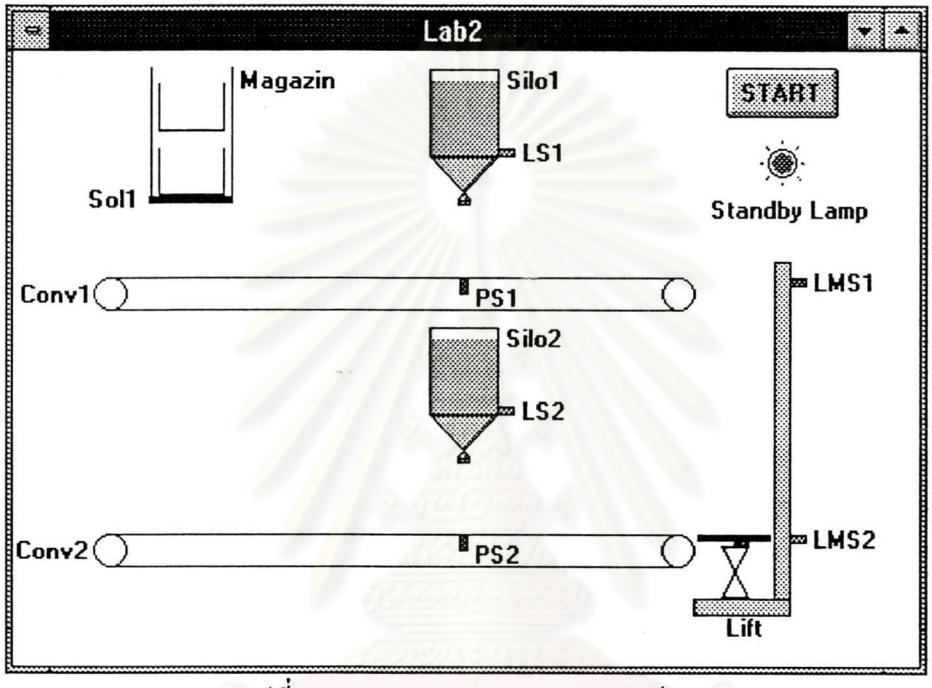


รูปที่ 5.10 ระบบควบคุมระดับน้ำในสถานะที่สาม

ระดับน้ำในถังจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งระดับน้ำต่ำกว่าระดับลิมิตสวิตช์ "LS1" ทำให้ลิมิตสวิตช์ "LS1" อยู่ในสภาวะ Off วาล์ว "Valve 2" จะอยู่ในสภาวะ Off ระดับน้ำในถังจะคงที่ หลอดไฟ "Standby Lamp" จะสว่าง ระบบจะกลับสู่สถานะเริ่มต้นหรือสถานะที่หนึ่ง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ระบบควบคุมระดับน้ำทำงานตามระบบที่ได้ออก-แบบไว้ด้วยแบบจำลองเพทริเน็ต และ เป็นไปตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองเพทริเน็ต

ระบบควบคุมสายพานลำเลียง



รูปที่ 5.11 ระบบควบคุมสายพานลำเลียง

รูปที่ 5.11 แสดงระบบควบคุมสายพานลำเลียงโดยอาศัยซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของระบบควบคุมลำดับ ระบบประกอบด้วย เครื่องปล่อยถังลงสู่สายพานลำเลียง "Magazin" สายพานลำเลียงเคลื่อนที่ไปทางขวา "Conv1" สายพานลำเลียงเคลื่อนที่จากขวาไปซ้าย "Conv2" เครื่องปล่อยของเหลวลงสู่ถัง "Silo1" และ "Silo2" เครื่องยกถังขึ้นลง "Lift" โดยมีลิมิตสวิตช์ "LMS1" และ "LMS2" แสดงตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดของการยกถังขึ้นหรือลงตามลำดับ สวิตช์วัดระดับ LS1 LS2 และพร็อกซิมิตีสวิตช์ PS1 PS2 PS3 เพื่อใช้บอกสถานะต่าง ๆ ในระบบ

ตำแหน่งอินพุตรีเลย์และเอาต์พุตรีเลย์ของเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบควบคุมลำดับ แสดงได้ดังตารางที่ 5.5

รีเลย์	ตำแหน่ง	อุปกรณ์
เอาต์พุตรีเลย์	Q32.0	"Sol1" ทำหน้าที่ปล่อยถังจาก "Magazin" ลงบนสายพานลำเลียง ทำงานที่ขอบขาขึ้น
เอาต์พุตรีเลย์	Q32.1	"Conv1" เคลื่อนถังไปทางขวา
เอาต์พุตรีเลย์	Q32.2	"Conv2" เคลื่อนถังไปทางซ้าย
เอาต์พุตรีเลย์	Q32.3	"Lift" เคลื่อนถังขึ้น
เอาต์พุตรีเลย์	Q32.4	"Silo1" ปล่อยของเหลวลงถัง
เอาต์พุตรีเลย์	Q32.5	"Silo2" ปล่อยของเหลวลงถัง
เอาต์พุตรีเลย์	Q32.6	หลอดไฟ "Standby Lamp" แสดงสถานะของระบบว่าพร้อมที่จะเริ่มทำงานหรือไม่
อินพุตรีเลย์	I0.0	สวิตช์กด "Start" สำหรับเริ่มทำงาน
อินพุตรีเลย์	I0.1	สวิตช์วัดระดับ "LS1" มีสภาวะ On เมื่อระดับของของเหลวใน "Silo1" อยู่ในระดับเกิน 3%
อินพุตรีเลย์	I0.2	พร็อกซิมิตีสวิตช์ "PS1" มีสภาวะ On เมื่อถังอยู่ใต้ "Silo1"
อินพุตรีเลย์	I0.3	พร็อกซิมิตีสวิตช์ "PS3" มีสภาวะ On เมื่อถังอยู่บน "Lift"
อินพุตรีเลย์	I0.4	ลิมิตสวิตช์ "LMS1" มีสภาวะ On เมื่อ "Lift" อยู่ในตำแหน่งสูงสุด
อินพุตรีเลย์	I0.5	ลิมิตสวิตช์ "LMS2" มีสภาวะ On เมื่อ "Lift" อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด
อินพุตรีเลย์	I0.6	พร็อกซิมิตีสวิตช์ "PS2" มีสภาวะ On เมื่อถังอยู่ใต้ "Silo2"
อินพุตรีเลย์	I0.7	สวิตช์วัดระดับ "LS2" มีสภาวะ On เมื่อระดับของของเหลวใน "Silo2" อยู่ในระดับเกิน 3%

ตารางที่ 5.5 การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้กับระบบควบคุมสายพานลำเลียง

เราสามารถแสดงขั้นตอนการออกแบบ และ ทดสอบระบบควบคุมสายพานลำเลียงได้ดังนี้

1. <u>การทำงานของระบบควบคุมสายพานลำเลียง</u>

ขั้นตอนที่ 1 : ระบบอยู่ในสถานะว่างงาน หลอดไฟ "Standby Lamp" ติดสว่าง จนกว่าจะได้รับสัญญาณ "Start"

ขั้นตอนที่ 2 : "Sol1" ปล่อยถังลงบนสายพานลำเลียง พร้อมกับให้สายพานลำเลียง "Conv1" เคลื่อนถังไปทางขวาจนถึงตำแหน่ง "PS1"

ขั้นตอนที่ 3 : ระบบเติมของเหลวจาก "Silo1" ลงในถังที่หนึ่งเป็นเวลา 2.5 วินาที พร้อมกับปล่อยถังที่สองลงบนสายพานลำเลียง

ขั้นตอนที่ 4 : "Lift" เคลื่อนที่ขึ้นมาอยู่ตำแหน่ง "LMS1" พร้อมกับให้สายพานลำเลียง "Conv1" เคลื่อนถังที่หนึ่งไปทางขวาจนไปอยู่บน "Lift" และ เมื่อสายพานลำเลียงเคลื่อนถังที่สองไปจนถึงตำแหน่ง "PS1" ระบบจะเติมของเหลวจาก "Silo1" ลงในถังที่สองเป็นเวลา 2.5 วินาที

ขั้นตอนที่ 5 : "Lift" เคลื่อนที่ลงมาอยู่ตำแหน่ง "LMS2" พร้อมกับให้สายพานลำเลียง "Conv2" เคลื่อนถังที่หนึ่งไปทางซ้าย จนถึงตำแหน่ง "PS2"

ขั้นตอนที่ 6 : ระบบเติมของเหลวจาก "Silo2" ลงในถังที่หนึ่งเป็นเวลา 2.5 วินาที และ "Lift" เคลื่อนที่ขึ้นมาอยู่ในตำแหน่ง "LMS1" พร้อมกับให้สายพานลำเลียง "Conv1" เคลื่อนถังที่สองไปทางขวาจนไปอยู่บน "Lift"

ขั้นตอนที่ 7 : "Lift" เคลื่อนที่ลงมาอยู่ตำแหน่ง "LMS2" พร้อมกับให้สายพานลำเลียง "Conv2" เคลื่อนถังที่หนึ่งและสองไปทางซ้าย จนถึงตำแหน่ง "PS2"

ขั้นตอนที่ 8 : ระบบเติมของเหลวจาก "Silo2" ลงในถังที่สองเป็นเวลา 2.5 วินาที

ขั้นตอนที่ 9 : สายพานลำเลียง "Conv2" เคลื่อนถังไปทางซ้ายจนถังหลุดพ้นจากสายพานลำเลียง

2. <u>การออกแบบระบบควบคุมสายพานลำเลียงด้วยเพทริเน็ต</u>

ในการหาแบบจำลองเพทริเน็ตของระบบควบคุมสายพานลำเลียง เรามองระบบเป็น 2 ส่วน คือ เงื่อนไขและเหตุการณ์ โดยแทนเงื่อนไขด้วยเพลส และ เหตุการณ์ด้วยทรานซิชัน

เงื่อนไข	**เหตุการณ์**
ก) ระบบอยู่ในสถานะว่าง	1) สวิตช์ "Start" ถูกกด
ข) "Sol1" ปล่อยถัง และ "Conv1" ทำงาน	2) ถังอยู่ใต้ "Silo1"
ค) "Conv1" หยุดทำงาน และ"Silo1" ปล่อยของเหลวลงถัง	3) ตัวจับเวลาครบ 2.5 วินาที
ง) "Conv1" ทำงาน และ "Lift" เคลื่อนที่ขึ้น	4) ถังอยู่บน "Lift"

จ) "Lift" นำถังเคลื่อนที่ลง และ "Conv2" ทำงาน
ฉ) ."Conv2"หยุดทำงาน และ"Silo2" ปล่อยของเหลวลงถัง
ช) ถังเคลื่อนที่ออกจากสายพาน
5) ถังอยู่ใต้ "Silo2"
6) ตัวจับเวลาครบ 2.5 วินาที
7) ถังออกจากสายพาน

เหตุการณ์	เงื่อนไขก่อนเกิด	เงื่อนไขหลังเกิด
1	ก	ข
2	ข	ค
3	ค	ง
4	ง	จ
5	จ	ฉ
6	ฉ	ช
7	ช	ก

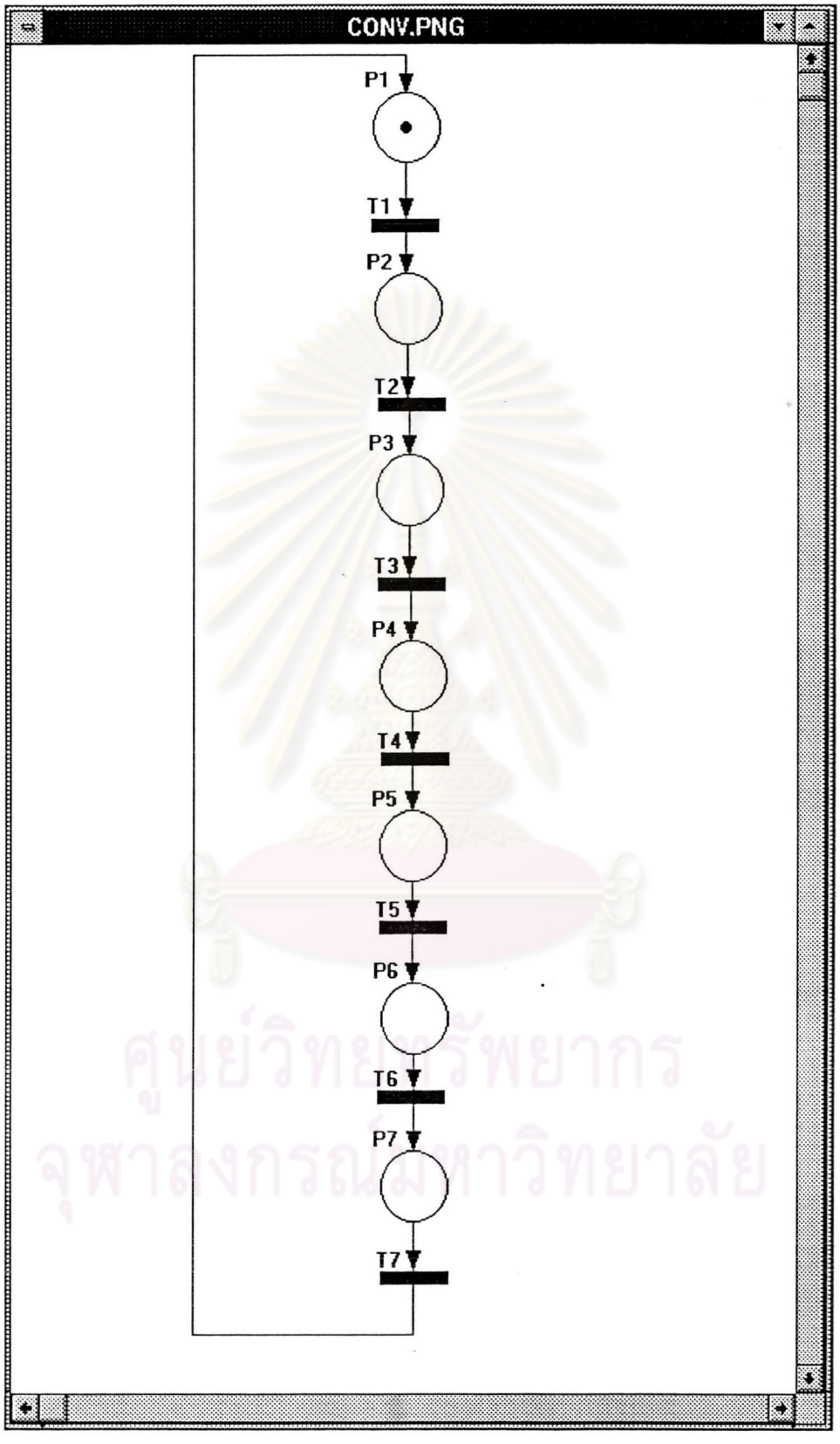
ตารางที่ 5.6 เหตุการณ์และเงื่อนไขของระบบควบคุมสายพานลำเลียงสำหรับถังใบที่ 1

ในการหาแบบจำลองเพทริเน็ตสำหรับระบบควบคุมสายพานลำเลียง เราเริ่มต้นหาเงื่อนไขและเหตุการณ์ของระบบควบคุมสายพานลำเลียงสำหรับถังใบที่ 1 ก่อน ดังแสดงในตารางที่ 5.6 ซึ่งเราสามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบจำลองเพทริเน็ตดังแสดงในรูปที่ 5.13 โดยมีรายละเอียดการแปลงดังนี้

P1 = (ก) T1 = (1)
P2 = (ข) T2 = (2)
P3 = (ค) T3 = (3)
P4 = (ง) T4 = (4)
P5 = (จ) T5 = (5)
P6 = (ฉ) T6 = (6)
P7 = (ช) T7 = (7)

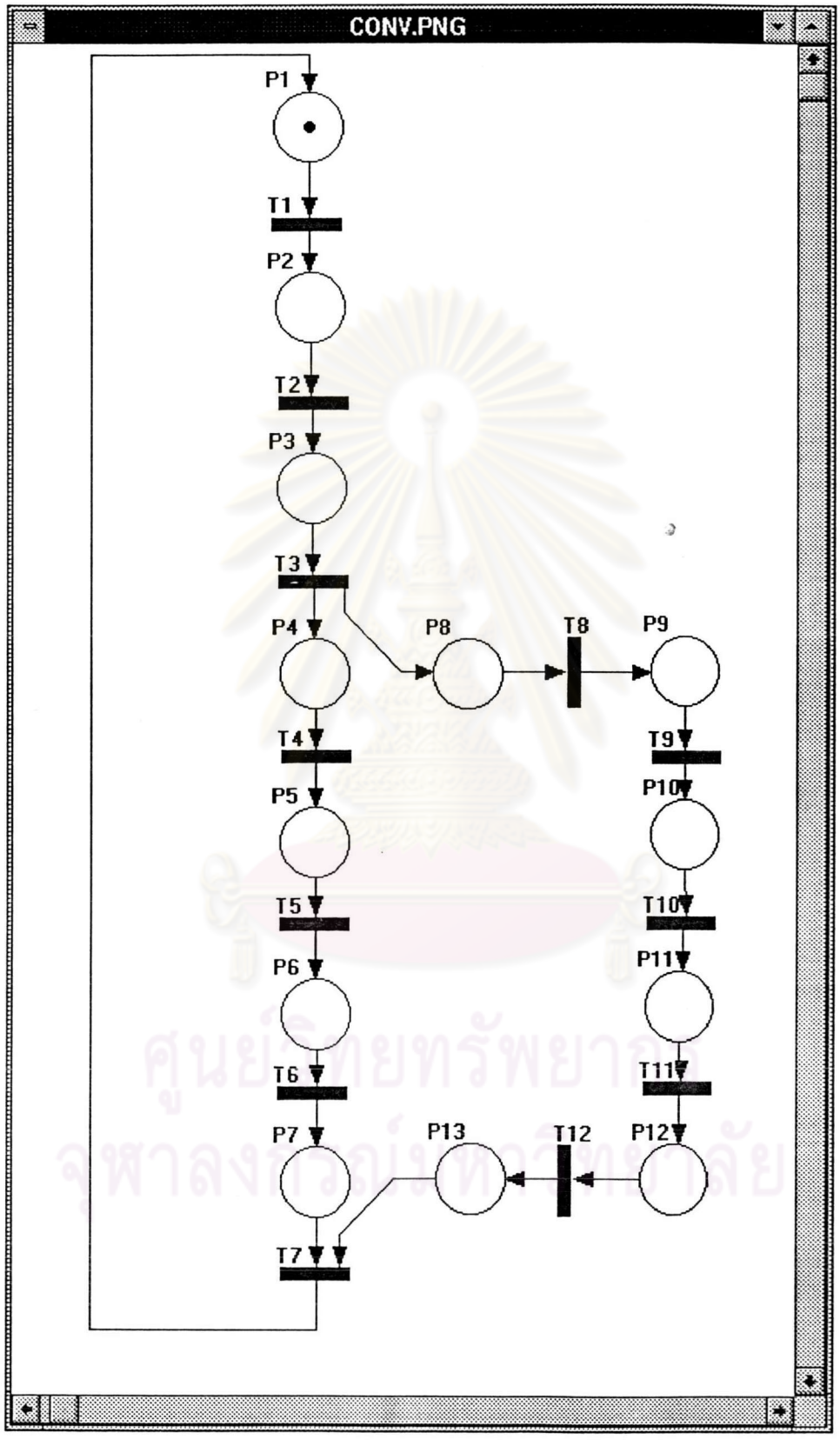
เนื่องจากขั้นตอนการทำงานสำหรับถังใบที่ 1 และ 2 เหมือนกัน ดังนั้นเราจึงสามารถเพิ่มลำดับการทำงานสำหรับถังใบที่ 2 ซึ่งเหมือนกับลำดับการทำงานสำหรับถังใบที่ 1 เข้าไปต่อขนานกับแบบจำลองเพทริเน็ตในรูปที่ 5.12 จะได้แบบจำลองเพทริเน็ตของระบบควบคุมสายพานลำเลียงสำหรับถัง 2 ใบ แสดงดังรูปที่ 5.13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 แบบจำลองเพทริเน็ตของระบบควบคุมสายพานลำเลียงสำหรับถังใบที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.13 แบบจำลองเพทริเน็ตของระบบควบคุมสายพานลำเลียงสำหรับถัง 2 ใบ

ซึ่งเราสามารถแสดงสถานะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ควบคุมสายพานลำเลียงในแต่ละเพลสได้ดังตารางที่ 5.7 และ แสดงทรานซิชันในรูปของสถานะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ควบคุมสายพานลำเลียงได้ดังตารางที่ 5.8

เพลส	Sol1	Conv1	Conv2	Lift	Silo1	Silo2	Lamp
P1	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On
P2	On	On	Off	Off	Off	Off	Off
P3	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off
P4	Off	On	Off	On	Off	Off	Off
P5	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off
P6	Off	Off	Off	Off	Off	On	Off
P7	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off

ตารางที่ 5.7 สถานะของอุปกรณ์ในแต่ละเพลส

ทรานซิชัน	สถานะของอุปกรณ์
T1	สวิตช์ "Start" = On
T2	พร็อกซิมิตีสวิตช์ "PS1" = On
T3	ตัวจับเวลาครบ 2.5 วินาที
T4	พร็อกซิมิตีสวิตช์ "PS3" = On
T5	พร็อกซิมิตีสวิตช์ "PS2" = On
T6	ตัวจับเวลาครบ 2.5 วินาที
T7	ตัวจับเวลาครบ 10 วินาที

ตารางที่ 5.8 ทรานซิชันในรูปสถานะของอุปกรณ์

โดยมีเพลสและทรานซิชันที่มีสถานะของอุปกรณ์เหมือนกันดังนี้

P8 = P2	P11 = P5	T8 = T2	T11 = T5
P9 = P3	P12 = P6	T9 = T3	T12 = T6
P10 = P4	P13 = P7	T10 = T4	

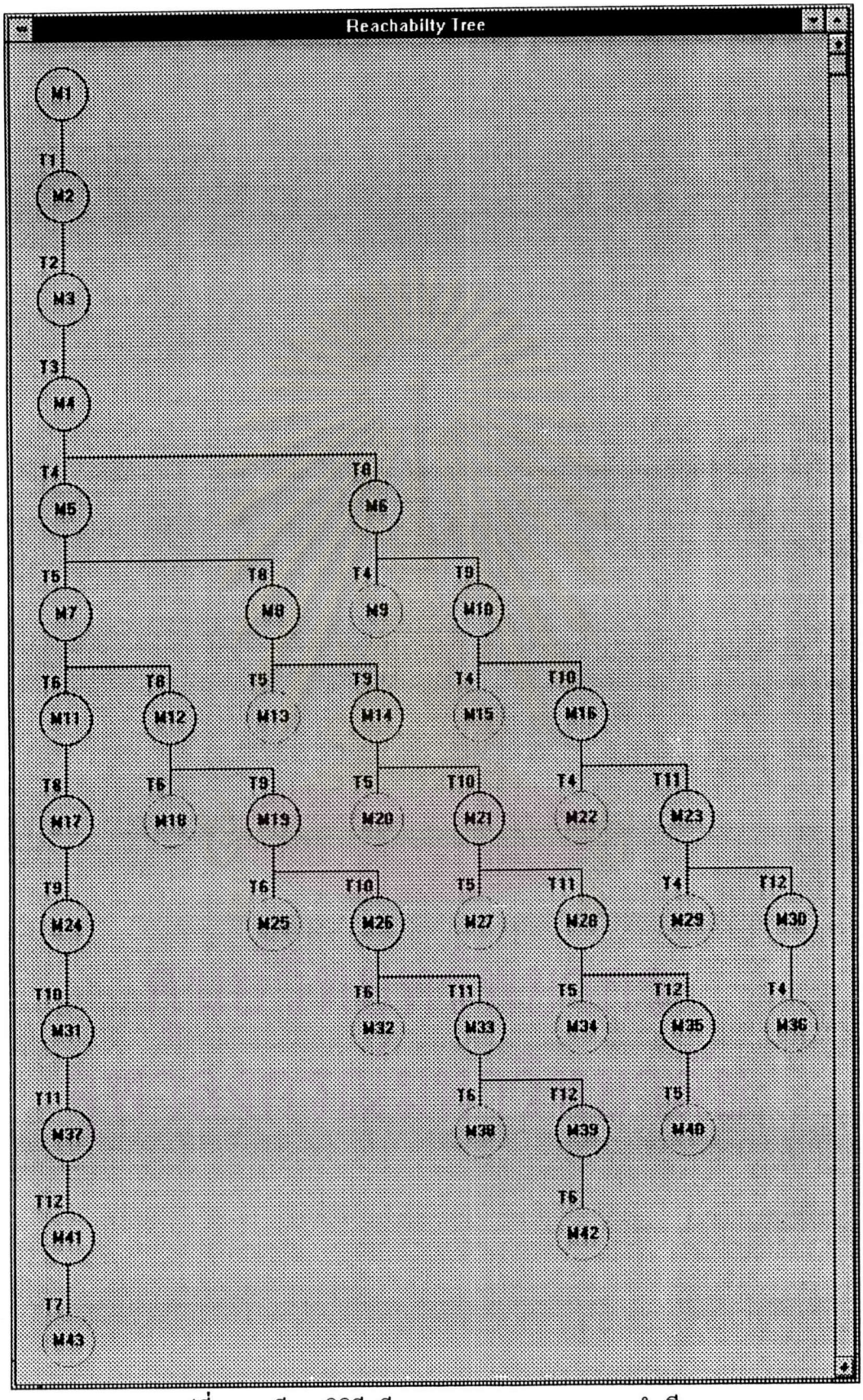
3. <u>การวิเคราะห์ระบบควบคุมสายพานลำเลียงด้วยเพทริเน็ต</u>

ในการวิเคราะห์แบบจำลองเพทริเน็ตที่ออกแบบไว้ในรูปที่ 5.13 ด้วยวิธีรีเอบิลิตีทรีจากซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลของรีชเอเบิลมาร์กกิงดังรูปที่ 5.14 และรีชเอบิลิตีทรีดังรูปที่ 5.15

All Reachable Marking

Node	Marking	Status
1	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Interior
2	0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Interior
3	0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Interior
4	0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0	Interior
5	0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0	Interior
6	0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0	Interior
7	0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0	Interior
8	0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0	Interior
9	0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0	Duplicate
10	0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0	Interior
11	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0	Interior
12	0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0	Interior
13	0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0	Duplicate
14	0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0	Interior
15	0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0	Duplicate
16	0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0	Interior
17	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0	Interior
18	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0	Duplicate
19	0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0	Interior
20	0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0	Duplicate
21	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0	Interior
22	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0	Duplicate
23	0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0	Interior
24	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0	Interior
25	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0	Duplicate
26	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0	Interior
27	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0	Duplicate
28	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0	Interior
29	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0	Duplicate
30	0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1	Interior
31	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0	Interior
32	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0	Duplicate
33	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0	Interior
34	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0	Duplicate
35	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1	Interior
36	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1	Duplicate
37	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0	Interior
38	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0	Duplicate
39	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1	Interior
40	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1	Duplicate
41	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1	Interior
42	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1	Duplicate
43	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Duplicate

รูปที่ 5.14 รีชเอเบิลมาร์กกิงของระบบควบคุมสายพานลำเลียง



รูปที่ 5.15 รีชเอบิลิตีทรีของระบบควบคุมสายพานลำเลียง

จากรูปที่ 5.14 และ 5.15 จะเห็นได้ว่าโนดที่ 6, 14, 26 และ 31 จะทำให้ระบบทำงานผิดพลาดเนื่องจากคำสั่งที่ขัดแย้งกันเองในการใช้ทรัพยากรร่วมกันโดยมีรายละเอียดในแต่ละโนดดังนี้

โนดที่ 6 เกิดโทเค็นในเพลส P4 และ P9 ซึ่งเพลส P4 สั่งให้สายพานลำเลียง "Conv1" เคลื่อนถังไปยัง "Lift" แต่เพลส P9 สั่งให้สายพานลำเลียง "Conv1" หยุดเพื่อเติมของเหลวจาก "Silo1" ลงถัง

โนดที่ 14 เกิดโทเค็นในเพลส P5 และ P10 ซึ่งเพลส P5 สั่งให้ "Lift" เคลื่อนถังลง แต่เพลส P10 สั่งให้เคลื่อน "Lift" ขึ้นเพื่อไปรับถัง

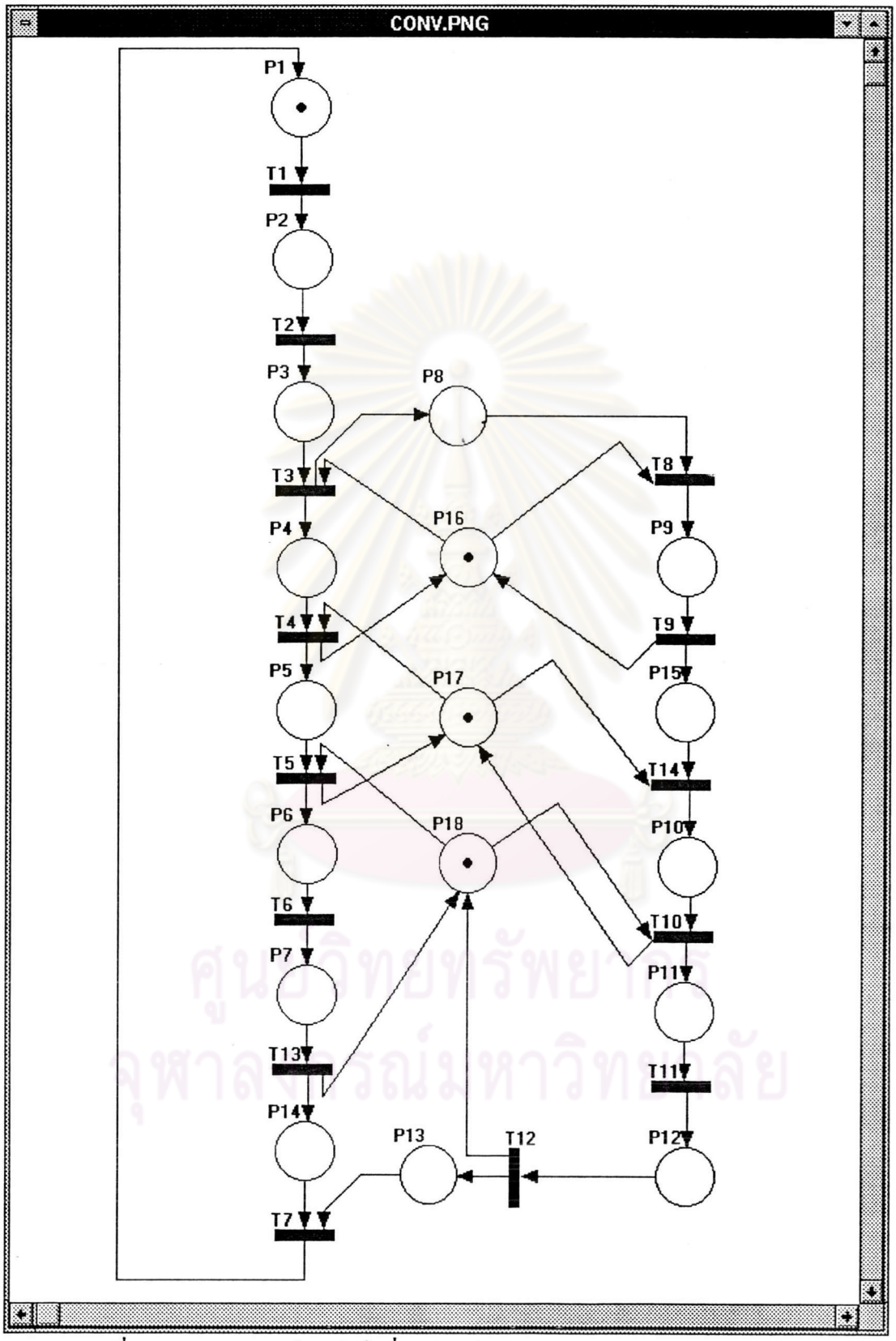
โนดที่ 26 เกิดโทเค็นในเพลส P6 และ P11 ซึ่งเพลส P6 สั่งให้สายพานลำเลียง "Conv2" หยุดเพื่อเติมของเหลวจาก "Silo2" ลงถัง แต่เพลส P11 สั่งให้สายพานลำเลียง "Conv2" เคลื่อนถังไปยัง "Silo2" เพื่อเติมของเหลว

โนดที่ 37 เกิดโทเค็นในเพลส P7 และ P12 ซึ่งเพลส P7 สั่งให้สายพานลำเลียง "Conv2" เคลื่อนถังจนหลุดพ้นจากสายพานลำเลียง แต่เพลส P12 สั่งให้สายพานลำเลียง "Conv2" หยุดเพื่อเติมของเหลวจาก "Silo2"

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองเพทริเน็ตของระบบควบคุมสายพานลำเลียงเพื่อแบ่งปันทรัพยากรและให้ระบบทำงานอย่างถูกต้อง โดยเพิ่มเพลสและทรานซิชันเพื่อช่วยในการตรวจสอบเงื่อนไข ซึ่งแสดงสถานะการทำงานของแต่ละเพลสและทรานซิชันได้ดังตารางที่ 5.9 และแบบจำลองเพทริเน็ตที่ถูกปรับปรุงของระบบควบคุมสายพานลำเลียงแสดงดังรูปที่ 5.16

เพลสและทรานซิชัน	สถานะของระบบ
P14	ระบบอยู่ในสถานะคอยงาน
P15	ระบบอยู่ในสถานะคอย "Lift" ว่าง
P16	สายพานลำเลียง "Conv1" พร้อมที่จะรับคำสั่ง
P17	"Lift" ว่าง
P18	สายพานลำเลียง "Conv2" พร้อมที่จะรับคำสั่ง
T13	พร็อกซิมิตีสวิตช์ "PS2" มีสภาวะ Off
T14	ตรวจสอบเงื่อนไขว่า "Lift" ว่างหรือไม่

ตารางที่ 5.9 สถานะการทำงานของเพลสและทรานซิชันที่เพิ่มเข้ามา



รูปที่ 5.16 แบบจำลองเพทริเน็ตที่ถูกปรับปรุงของระบบควบคุมสายพานลำเลียง

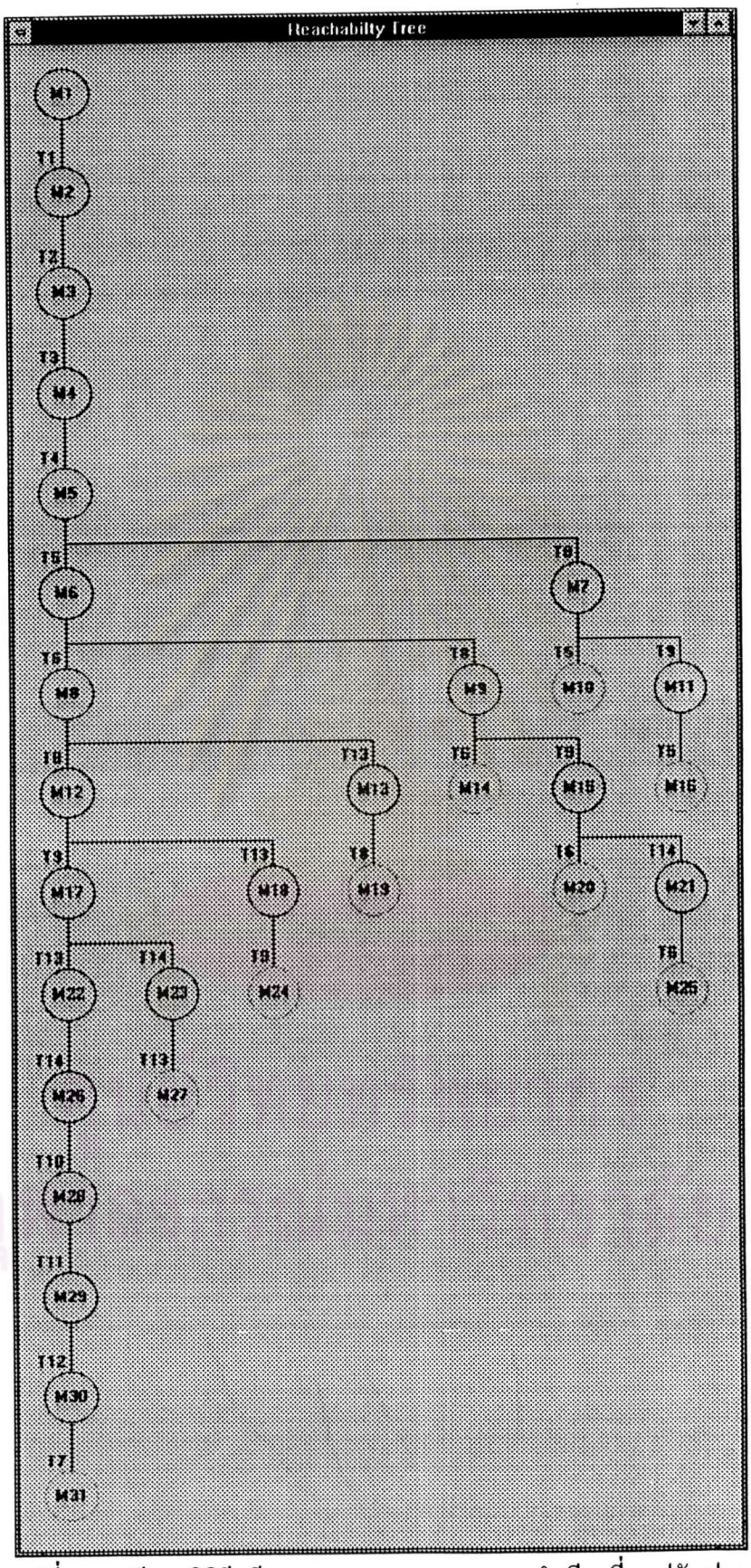
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากแบบจำลองเพทริเน็ตที่ถูกปรับปรุงของระบบควบคุมสายพานลำเลียง สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนา คือ รีชเอเบิลมาร์กกิงของระบบในรูปที่ 5.17 รีชเอบิลิตีทรีของระบบในรูปที่ 5.18 และจากรีชเอบิลิตีทรีเราสามารถหาคุณสมบัติของระบบควบคุมสายพานลำเลียงได้แสดงดังรูปที่ 5.19

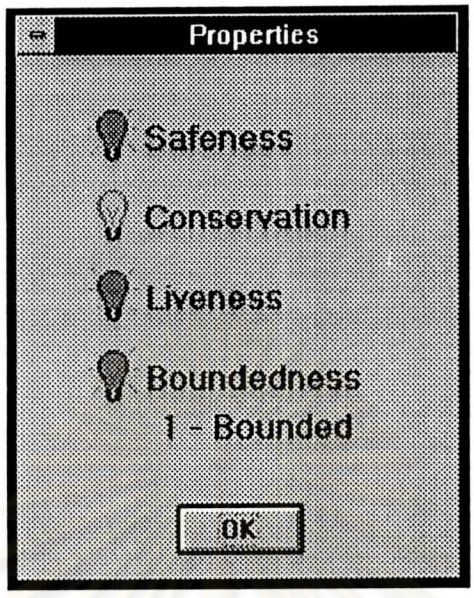
All Reachable Marking

Node	Marking	Status
1	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1	Interior
2	0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1	Interior
3	0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1	Interior
4	0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1	Interior
5	0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1	Interior
6	0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0	Interior
7	0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1	Interior
8	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0	Interior
9	0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0	Interior
10	0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0	Duplicate
11	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1	Interior
12	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0	Interior
13	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1	Interior
14	0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0	Duplicate
15	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0	Interior
16	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0	Duplicate
17	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0	Interior
18	0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 1	Interior
19	0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 1	Duplicate
20	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0	Duplicate
21	0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0	Interior
22	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	Interior
23	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0	Interior
24	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	Duplicate
25	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0	Duplicate
26	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1	Interior
27	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1	Duplicate
28	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0	Interior
29	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0	Interior
30	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1	Interior
31	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1	Duplicate

รูปที่ 5.17 รีชเอเบิลมาร์กิงของระบบควบคุมสายพานลำเลียงที่ถูกปรับปรุง



รูปที่ 5.18 รีชเอบิลิตีทรีของระบบควบคุมสายพานลำเลียงที่ถูกปรับปรุง

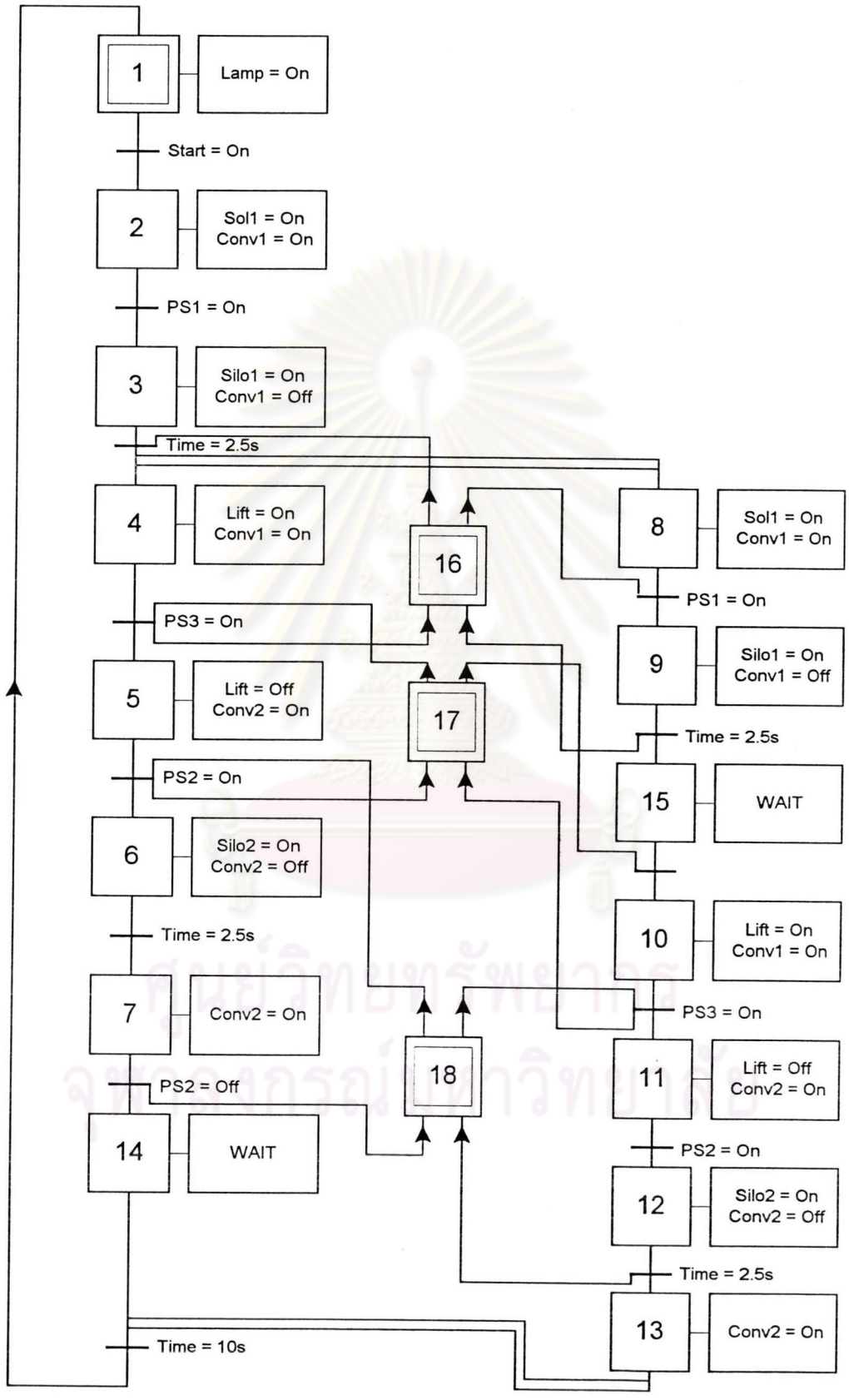


รูปที่ 5.19 คุณสมบัติของระบบควบคุมสายพานลำเลียง

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าไม่เกิดกรณีที่ทำให้ระบบทำงานผิดพลาดเหมือนกับแบบจำลองเพทริเน็ตเดิม เช่น มีโทเค็นในเพลส P4 และ P9 ในมาร์กกิงเดียวกัน หรือ มีโทเค็นในเพลส P5 และ P9 ในมาร์กกิงเดียวกัน เป็นต้น และจากคุณสมบัติของระบบควบคุมสายพานลำเลียงที่วิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 5.19 แสดงให้เห็นว่าระบบที่ได้ออกแบบมีคุณสมบัติ Liveness และ Safeness ซึ่งทำให้เราแน่ใจได้ว่าระบบที่ออกแบบไม่เกิดสถานะ deadlock และสถานะการใช้ทรัพยากรมากเกินไป ดังนั้นเราจึงนำแบบจำลองเพทริเน็ตที่ถูกปรับปรุงไปใช้ทดสอบกับระบบจำลองการทำงานของระบบควบคุมสายพานลำเลียง

4. <u>การทดสอบกับระบบควบคุมสายพานลำเลียง</u>

ในการทดสอบนี้เราทดสอบกับระบบจำลองการทำงานของระบบควบคุมสายพานลำเลียงที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยเริ่มจากแปลงแบบจำลองเพทริเน็ตที่ออกแบบไว้แล้วในรูปที่ 5.16 ให้อยู่ในรูปแบบภาษาฟังก์ชันชาร์ตซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.20 แล้วป้อนโปรแกรมภาษาฟังก์ชันชาร์ตผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปกราฟไฟว์ลงในเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้

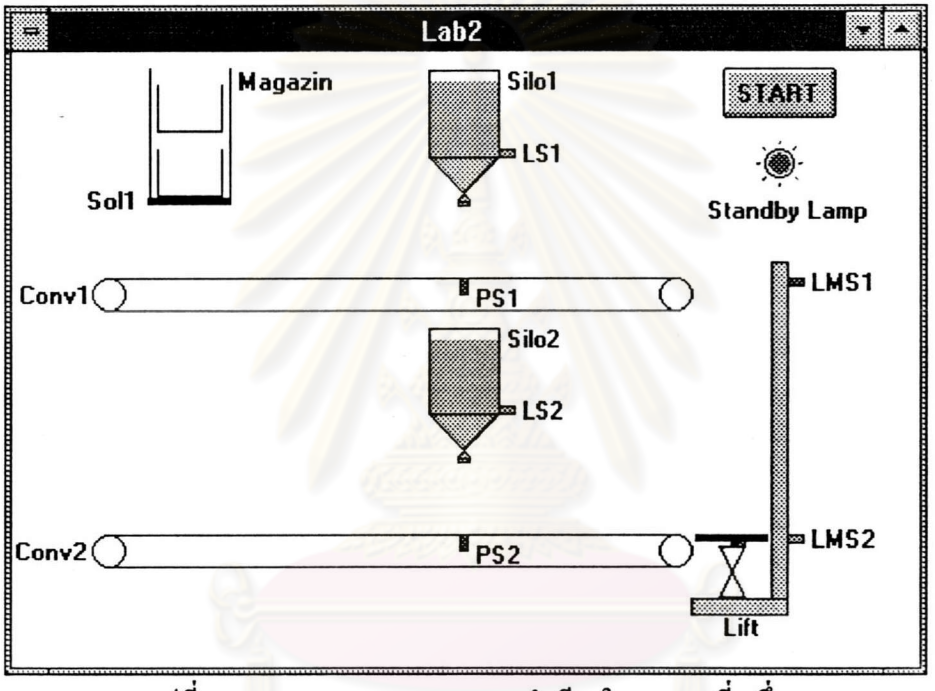


รูปที่ 5.20 ฟังก์ชันชาร์ตที่ใช้ในระบบควบคุมสายพานลำเลียง

5. ผลการทดสอบ

หลังจากโปรแกรมฟังก์ชันชาร์ตที่แปลงจากแบบจำลองเพ็ตตรีเน็ตที่ได้ออกแบบไว้แล้ว และสั่งให้เครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้เริ่มทำงาน ซึ่งแสดงสถานะการทำงานของระบบควบคุมสายพานลำเลียงได้ดังนี้

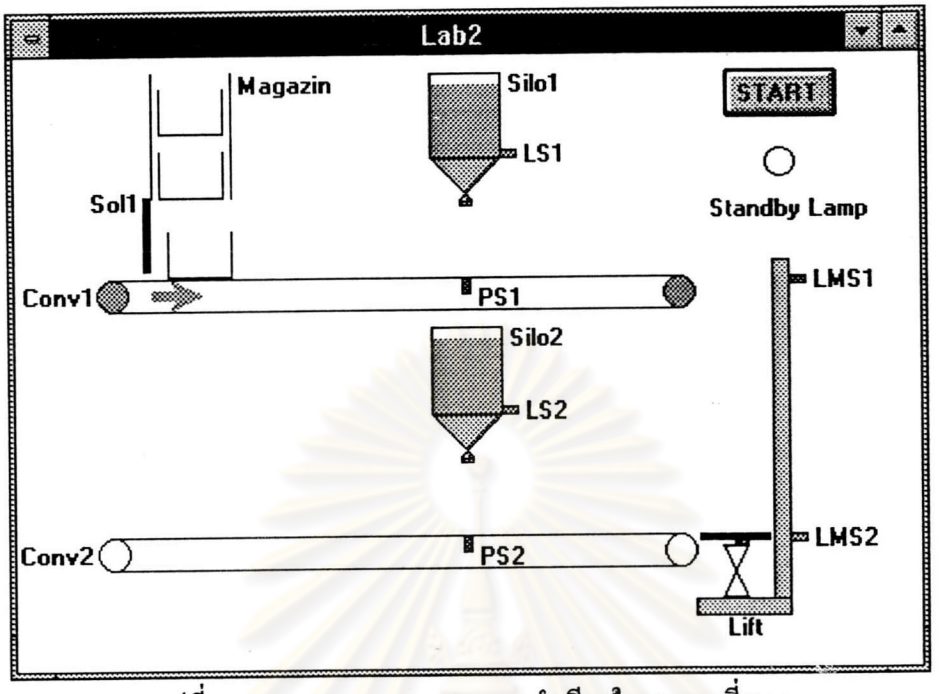
สถานะที่หนึ่ง ระบบควบคุมสายพานลำเลียงอยู่ในสถานะว่าง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.21 คือ หลอดไฟ "Standby Lamp" อยู่ในสภาวะ On ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบอยู่ในสถานะ Off



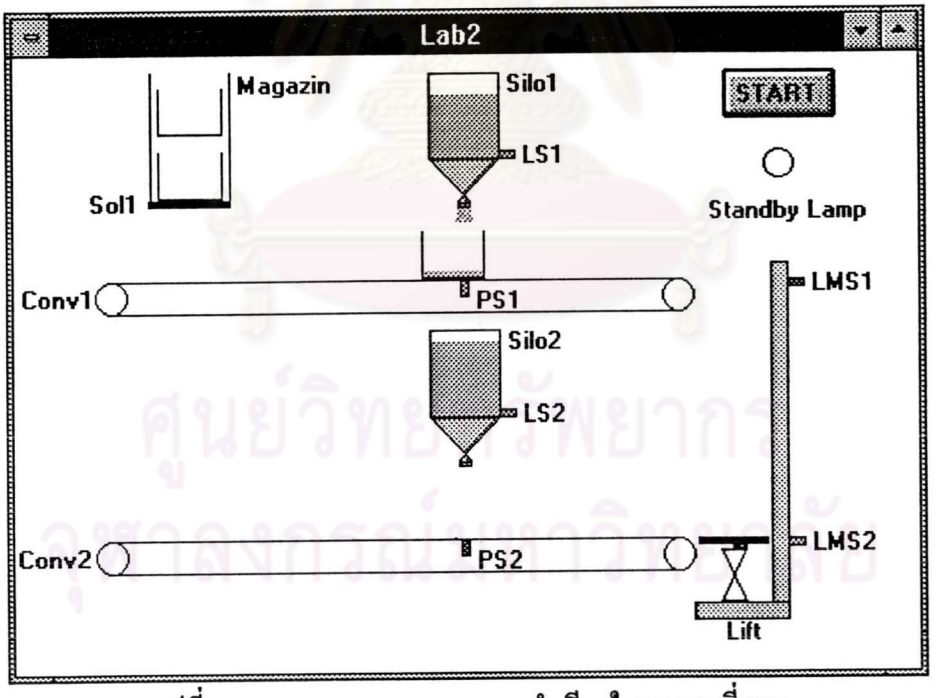
รูปที่ 5.21 ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่หนึ่ง

สถานะที่สอง เมื่อมีการกดปุ่ม "Start" ทำให้ถังหล่นลงบนสายพานลำเลียง พร้อมกับสายพานลำเลียง "Conv1" เคลื่อนถังไปทางขวา และหลอดไฟ "Standby Lamp" จะดับ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.22

สถานะที่สาม ขณะที่ถังเคลื่อนที่ไปทางขวาจนกระทั่งถึงตำแหน่ง "PS1" สายพานลำเลียง "Conv1" จะหยุดพร้อมกับเติมของเหลวจาก "Silo1" ลงในถังเป็นเวลา 2.5 วินาที ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.23

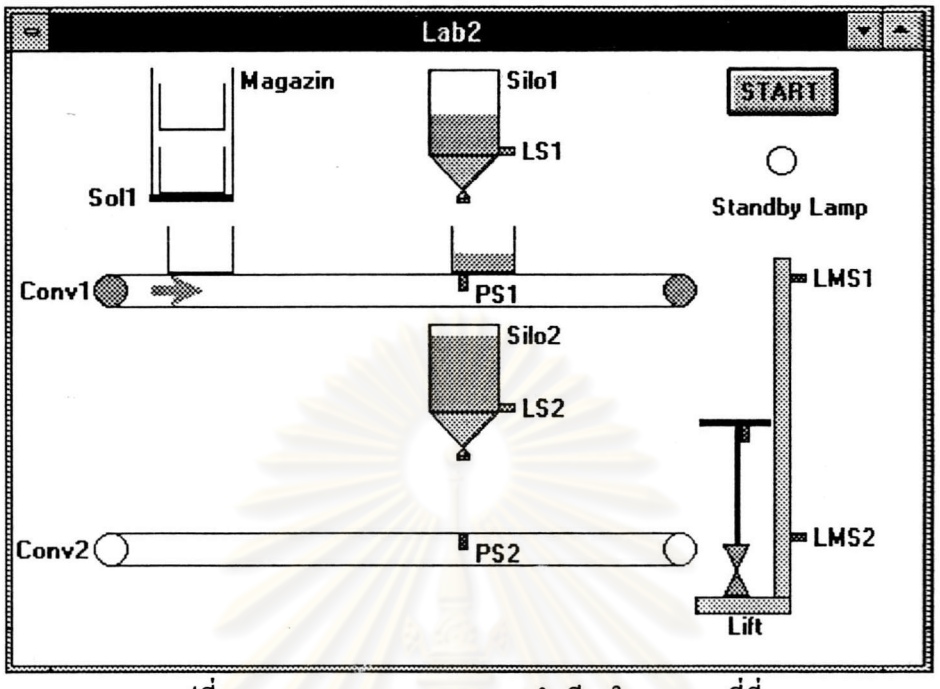


รูปที่ 5.21 ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่สอง



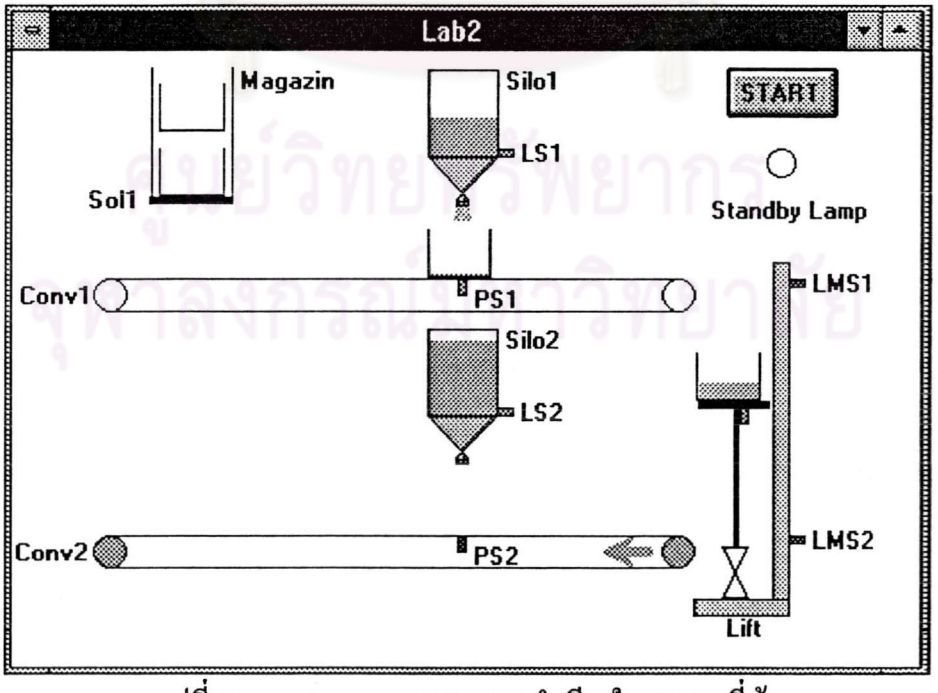
รูปที่ 5.23 ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่สาม

สถานะที่สี่ เมื่อเติมของเหลวจาก "Silo1" ลงในถังครบ 2.5 วินาที "Sol1" จะปล่อยถังที่ 2 ลงบนสายพานลำเลียง "Conv1" พร้อมกับสั่งให้สายพานลำเลียงเคลื่อนที่ไปทางขวา และ สั่งให้ "Lift" เคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.24

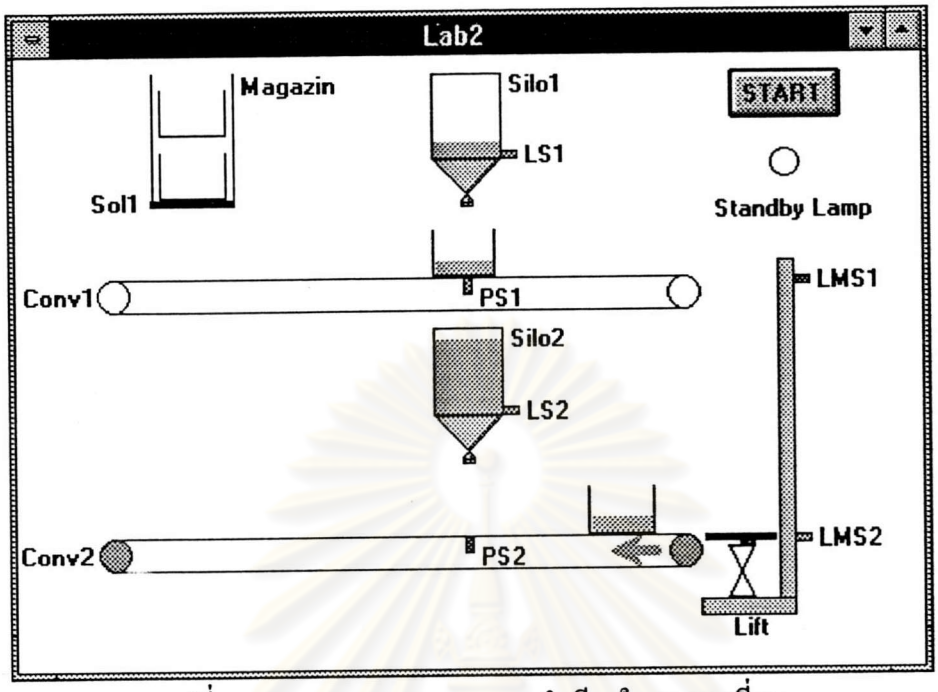


รูปที่ 5.24 ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่สี่

สถานะที่ห้า เมื่อถังที่ 2 เคลื่อนที่ถึงตำแหน่ง "PS1" ระบบจะเติมของเหลวจาก "Silo1" ลงในถังที่ 2 และ เมื่อถังที่ 1 อยู่บน "Lift" "Lift" จะเคลื่อนถังลงพร้อมกับสั่งให้สายพานลำเลียง "Conv2" เคลื่อนที่ไปทางซ้าย ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.25

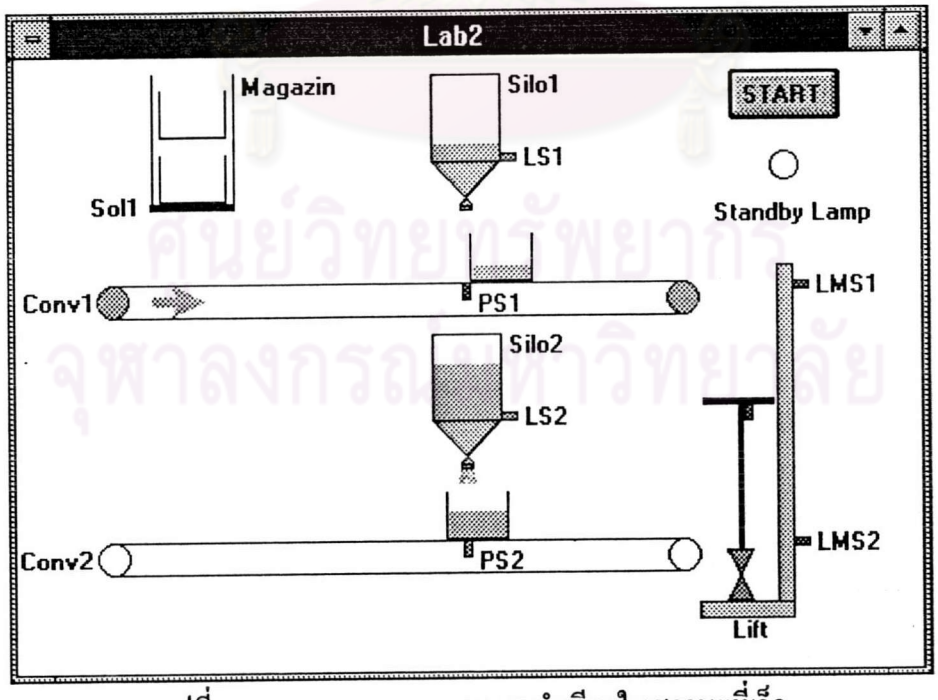


รูปที่ 5.25 ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่ห้า



รูปที่ 5.26 ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่หก

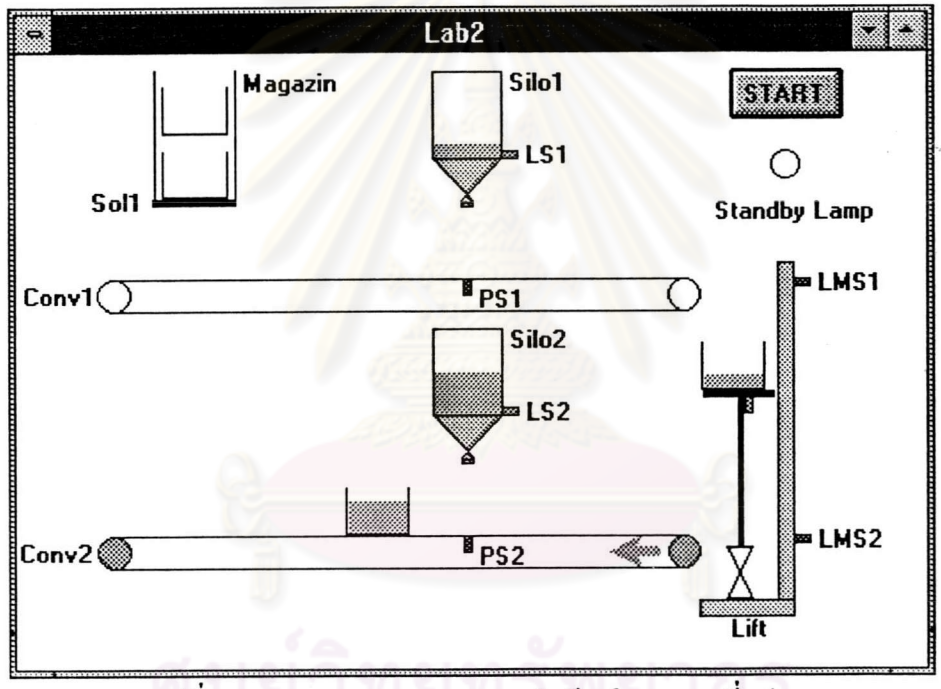
สถานะที่หก เมื่อเติมของเหลวจาก "Silo1" ลงในถังที่ 2 ครบ 2.5 วินาที ระบบจะสั่งให้หยุดเติม และคอยจนกระทั่งถังที่ 1 เคลื่อนที่ออกไปจาก "Lift" ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.27 ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่เจ็ด

สถานะที่เจ็ด เมื่อ "Lift" ว่างระบบจะสั่งให้สายพานลำเลียงเคลื่อนถังที่ 2 ไปทางขวา พร้อมกับสั่งให้ "Lift" เคลื่อนที่ขึ้น และ สำหรับถังที่ 1 เมื่อเคลื่อนที่ถึงตำแหน่ง "PS2" ระบบจะสั่งให้เติมของเหลวจาก "Silo2" ลงในถังที่ 1 เป็นเวลา 2.5 วินาที

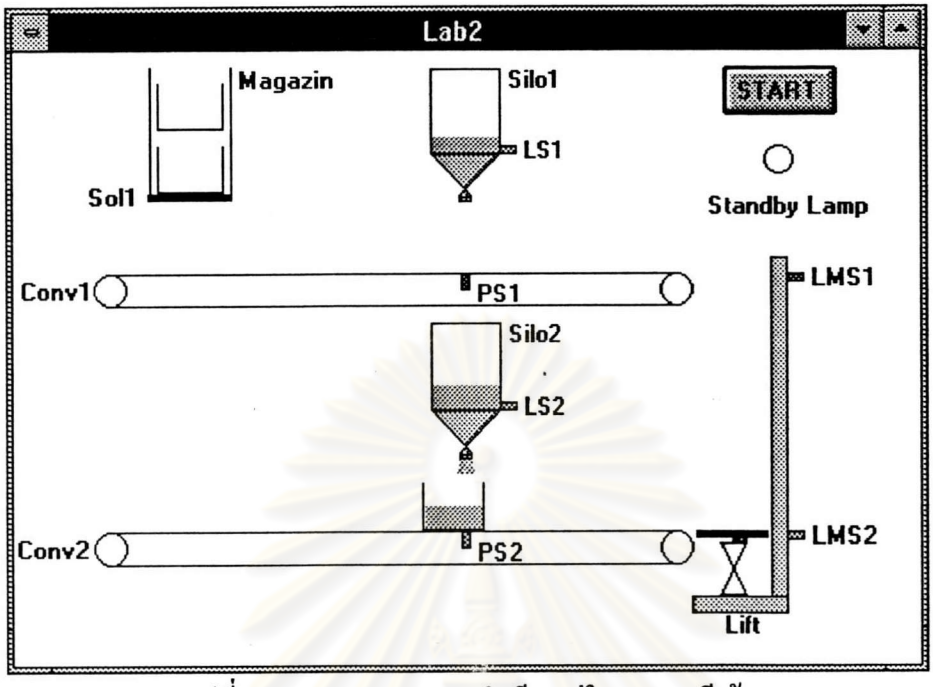
สถานะที่แปด เมื่อเติมของเหลวจาก "Silo2" ลงในถังที่ 1 ครบ 2.5 วินาที ระบบจะสั่งให้สายพานลำเลียง "Conv2" เคลื่อนถังที่ 1 ไปให้พ้นตำแหน่ง "PS2" และสำหรับถังที่ 2 เมื่อถังที่ 2 อยู่บน "Lift" ระบบจะสั่งให้ "Lift" เคลื่อนที่ลงพร้อมกับสายพานลำเลียง "Conv2" เคลื่อนที่ไปทางซ้าย ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.28



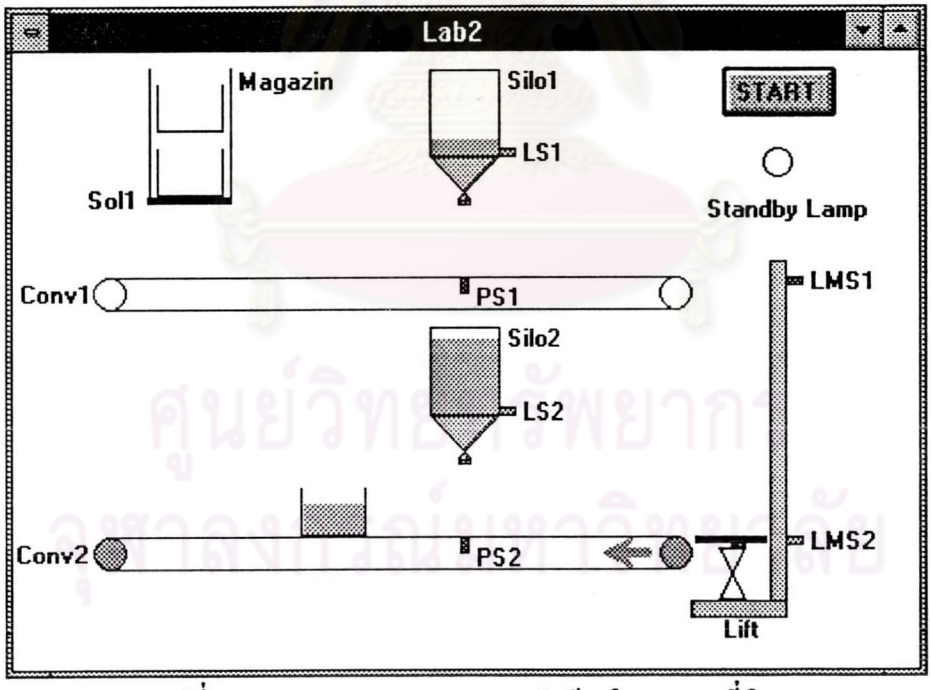
รูปที่ 5.28 ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่แปด

สถานะที่เก้า เมื่อถังที่ 2 เคลื่อนที่ถึงตำแหน่ง "PS2" ระบบจะสั่งให้สายพานลำเลียง "Conv2" หยุดพร้อมกับเติมของเหลวจาก "Silo2" ลงในถังที่ 2 เป็นเวลา 2.5 วินาที

สถานะที่สิบ เมื่อระบบเติมของเหลวจาก "Silo2" ลงในถังที่ 2 ครบ 2.5 วินาที ระบบจะสั่งให้สายพานลำเลียงเคลื่อนที่ไปทางซ้ายเป็นเวลา 10 วินาที เพื่อให้ถังที่ 2 เคลื่อนออกจากสายพานลำเลียง "Conv2"



รูปที่ 5.29 ระบบสายพานลำเลียงอยู่ในสถานะที่เก้า



รูปที่ 5.30 ระบบควบคุมสายพานลำเลียงในสถานะที่สิบ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าระบบควบคุมสายพานลำเลียงทำงานตามระบบที่ได้ออกแบบไว้ด้วยแบบจำลองเพ็ตตรีเน็ต ไม่เกิดสถานะที่ทำให้ระบบทำงานผิดพลาดหรือการแย่งกันใช้ทรัพยากรในระบบ