

แบบจำลองระบบจอตรอัตโนมัติเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

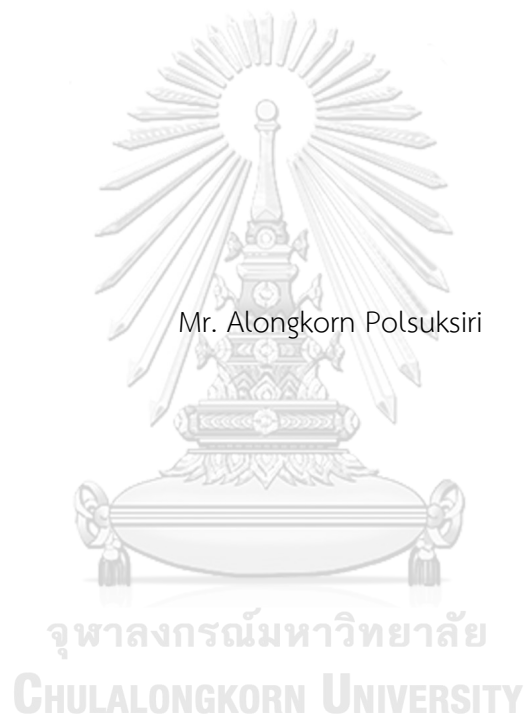
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Simulation modeling for performance assessment of automated parking system



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

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ
โดย	นายอลงกรณ์ พรสุขศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา)	กรรมการ
.....	(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ ลีละวัฒน์)
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช)	

อลงกรณ์ พรสุขศิริ : แบบจำลองระบบจอดรถอัตโนมัติเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ. (Simulation modeling for performance assessment of automated parking system) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.ปารเมศ ชูติมา

ระบบจอดรถอัตโนมัตินั้นสามารถช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับที่จอดรถ และช่วยให้การลงทุนในด้านอสังหาริมทรัพย์นั้นมีความคุ้มค่ามากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดขนาดของพื้นที่ที่ต้องใช้สำหรับจอดรถได้อีกด้วย ปัจจุบันระบบจอดรถอัตโนมัติมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับผู้ผลิตรายนั้นๆ โดยงานวิจัยฉบับนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยในการเลือกใช้ระบบจอดรถอัตโนมัติระหว่างระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด(Pallet type) และระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์(Robot type) ทั้งในด้านต้นทุน ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และประสิทธิภาพของระบบโดยทั่วไป ประสิทธิภาพของระบบจอดรถอัตโนมัติจะคำนวณจากเวลาเฉลี่ยระหว่างตำแหน่งที่จอดรถที่ใกล้ที่สุดและไกลที่สุดเพียงสองตำแหน่งเท่านั้น จากการคำนวณดังกล่าวส่งผลให้มีความน่าเชื่อถือไม่เพียงพอสอดคล้องความต้องการของลูกค้า ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของระบบจอดรถอัตโนมัติโดยการเปรียบเทียบระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาดและระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ ผ่านการแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SIMIO รวมไปถึงการวิเคราะห์ต้นทุน และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการศึกษา ผู้วิจัยพบว่าในด้านของประสิทธิภาพของสำหรับกระบวนการนำรถเข้าจอดนั้น ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการนำรถออกจากระบบนั้นระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาดมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่าต้นทุนและปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ต่ำกว่าระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6470305521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Automated parking system, Performance Estimation, Simulation analysis, SIMIO

Alongkorn Polsuksiri : Simulation modeling for performance assessment of automated parking system. Advisor: Prof. PARAMES CHUTIMA

Automated parking systems make it possible to alleviate the parking problem, improve effective investment in real estate, and reduce the area devoted to parking. Currently, there are several types of automated parking systems, depending on the manufacturer. This thesis record focuses on the pallet type and robot type, and the main factors in the selection of an automatic parking system are cost, power consumption, and system performance. Generally, the performance of an automatic parking system is calculated based on the average processing time between the nearest and the farthest parking at only two positions, which results in low reliability. Therefore, the objective of this thesis is to study and assess the performance of automatic parking systems by comparing the pallet-type and robot-type systems through computer simulations using SIMIO software, analyzing the costs and power consumption. The results show that the process of parking the robot type is more efficient than that of the pallet type. However, the results show that the process of retrieving cars is more efficient with the pallet type than with the robot type, and the total cost and power consumption of the robot type are lower than that of the pallet type.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2022

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้มอบความรู้ คำแนะนำอันมีค่า และความช่วยเหลือต่าง ๆ ตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิรพัฒน์ เกาประเสริฐวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ณีฎฐ์ ลีละวัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์จากภายนอกที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และ ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด ที่คอยเป็นกำลังใจ และแรงสนับสนุนอันดีให้กับข้าพเจ้าตลอดมา

อลงกรณ์ พรสุขศิริ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ระบบจอดรถอัตโนมัติ.....	7
2.1.1 ระบบจอดรถอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Fully-automatic parking system).....	7
2.1.2 ระบบจอดรถกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automatic parking system).....	11
2.2 ทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory).....	14
2.2.1 ตัวแบบสโตแคสติกสำหรับขั้นตอนของผู้รับบริการและผู้ให้บริการ (Stochastic Models for Arrival and Service Processes).....	15

2.2.2	กฎระเบียบการให้บริการแถวคอย (Queue discipline)	18
2.2.3	การจัดวางผังระบบแถวคอย	18
2.2.4	สัญลักษณ์ที่ใช้เขียนแทนตัวแบบแถวคอย	22
2.3	ระบบการให้บริการแบบ FCFS (First Come First Serve).....	24
2.4	การจำลองแบบปัญหา (Simulation).....	25
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3	การศึกษาระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา.....	32
3.1	ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา.....	32
3.1.1	รายละเอียดระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา.....	33
3.2	รายละเอียดระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type).....	37
3.3	กระบวนการให้บริการระบบจอตลอดอัตโนมัติ.....	40
3.4	การเก็บรวบรวมข้อมูล	41
3.4.1	ข้อมูลระยะเวลาการทำงานของระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดภาค	41
3.4.2	ข้อมูลระยะเวลาการทำงานของระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์.....	44
3.4.3	ข้อมูลปริมาณการใช้ระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา	47
3.4.4	ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบจอตลอดอัตโนมัติ	48
3.4.5	ข้อมูลต้นทุนระบบจอตลอดอัตโนมัติและการก่อสร้าง.....	51
3.5	โปรแกรม SIMIO.....	54
3.6	กระบวนการสร้างแบบจำลองปัญหา (Simulation process).....	55
บทที่ 4	การสร้างแบบจำลองปัญหา.....	56
4.1	การออกแบบหลักการทำงานของแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติ.....	56
4.1.1	การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายรถภายในระบบจอตลอดอัตโนมัติ	56
4.1.2	การวางตำแหน่งต่างๆภายในระบบจอตลอดอัตโนมัติ	57
4.1.3	การทำงานของระบบจอตลอดอัตโนมัติภายในแบบจำลอง.....	58

4.1.4 การสร้างแบบจำลองของระบบจอตกรถอัตโนมัติ	59
4.2 การกำหนดจำนวนรอบการทดลอง	65
4.3 สมมติฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง.....	66
4.4 การพิสูจน์ยืนยันแบบจำลอง.....	67
4.5 การรายงานผลจากแบบจำลอง	67
4.6 การนำข้อมูลอัตราส่วนความถี่การเข้าจอตกรถสู่แบบจำลองระบบจอตกรถอัตโนมัติ.....	68
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	69
5.1 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation).....	69
5.2 ผลการทดลองของตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนต่างๆของระบบจอตกรถอัตโนมัติ.....	71
5.2.1 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนของผู้ใช้บริการ (รถยนต์).....	71
5.2.2 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนของผู้ใช้บริการ (คน)	72
5.2.3 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนของระบบจอตกรถอัตโนมัติ.....	74
5.3. ผลการประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ.....	75
5.3.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ หน่วย).....	75
5.3.2 ต้นทุนของระบบจอตกรถอัตโนมัติและการก่อสร้าง (บาท).....	83
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	84
6.1 บทสรุปงานวิจัย	84
6.2 อภิปรายผลการวิจัย	86
6.3 สรุปข้อจำกัด.....	86
6.4 ข้อเสนอแนะ	87
บรรณานุกรม.....	88
ภาคผนวก ก.....	90
การสร้างแบบจำลองแบบจำลองระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาด.....	90
การสร้างแบบจำลองแบบจำลองระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์.....	92

ตัวอย่างกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในระบบจอตรถอัตโนมัติ.....	93
ภาคผนวก ข.....	96
ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation).....	96
ผลการทดลองของตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนต่างๆของระบบจอตรถอัตโนมัติจากโปรแกรม SIMIO	97
ประวัติผู้เขียน.....	102



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	เทคโนโลยีและลักษณะบริษัทต่างๆของระบบจอตรอัตโนมัติในประเทศไทย	2
ตารางที่ 3.1	แสดงข้อมูลระยะเวลาทำงานของระบบจอตรอัตโนมัติชนิดถาดในแต่ละชั้นตอน.....	41
ตารางที่ 3.2	แสดงข้อมูลระยะทางของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งระบบชนิดถาด.....	43
ตารางที่ 3.3	แสดงข้อมูลระยะทางของการเคลื่อนที่ในแนวนอนระบบชนิดถาด	44
ตารางที่ 3.4	แสดงข้อมูลระยะเวลาทำงานของระบบจอตรอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ในแต่ละชั้นตอน	45
ตารางที่ 3.5	แสดงข้อมูลระยะทางของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งระบบชนิดหุ่นยนต์.....	46
ตารางที่ 3.6	แสดงข้อมูลระยะทางของการเคลื่อนที่ในแนวนอนระบบชนิดหุ่นยนต์.....	47
ตารางที่ 3.7	แสดงอัตราการเข้าและออก ของปริมาณการใช้ระบบจอตรอัตโนมัติของบริษัท กรณีศึกษา.....	48
ตารางที่ 3.8	แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบจอตรอัตโนมัติชนิดถาด	49
ตารางที่ 3.9	แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบจอตรอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์	50
ตารางที่ 3.10	แสดงข้อมูลต้นทุนระบบจอตรอัตโนมัติและการก่อสร้างของชนิดถาด.....	53
ตารางที่ 3.11	แสดงข้อมูลต้นทุนระบบจอตรอัตโนมัติและการก่อสร้างของชนิดหุ่นยนต์.....	53
ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองระบบจอตรอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type) ด้วยวิธีทางสถิติ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากโปรแกรม SPSS.....	70
ตารางที่ 5.2	ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองระบบจอตรอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type) ด้วยวิธีทางสถิติ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากโปรแกรม SPSS.....	70
ตารางที่ 5.3	เวลาในการรอเข้าจอตรของระบบจอตรอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type) จาก แบบจำลอง.....	71
ตารางที่ 5.4	เวลาในการรอเข้าจอตรของระบบจอตรอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type) จาก แบบจำลอง.....	72
ตารางที่ 5.5	เปรียบเทียบจำนวนรถในการรอเข้าจอตรสูงสุดของแต่ละระบบ.....	72

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบเวลาในการรอนำรถออกของแต่ละระบบ 73

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบจำนวนผู้ขับขี่ที่รอนำรถออกสูงสุดของแต่ละระบบ 73

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมงของแต่ละระบบ.. 74

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบอัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ออกจากระบบต่อหนึ่งชั่วโมงของแต่ละระบบ
..... 75

ตารางที่ 5.10 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดลิปต์แนวตั้งในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดลาด 76

ตารางที่ 5.11 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดลิปต์แนวนอนในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดลาด
..... 77

ตารางที่ 5.12 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดประตูในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดลาด 78

ตารางที่ 5.13 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดลิปต์แนวตั้งในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด
หุ้มยนต์ 79

ตารางที่ 5.14 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดลิปต์แนวนอนในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด
หุ้มยนต์ 80

ตารางที่ 5.15 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดหุ้มยนต์ในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ้มยนต์ 81

ตารางที่ 5.16 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดประตูในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดลาด 82

ตารางที่ 5.17 เปรียบเทียบต้นทุนของระบบจอดรถอัตโนมัติและการก่อสร้าง 83

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างแผนผังระบบจอตrolleyอัตโนมัติที่แสดงการคำนวณพื้นที่ใช้สอย.....	1
รูปที่ 1.2 ตัวอย่างแผนผังอาคารจอตrolleyทั่วไปที่แสดงการคำนวณพื้นที่ใช้สอย.....	2
รูปที่ 1.3 ระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type).....	4
รูปที่ 1.4 ระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type).....	4
รูปที่ 2.1 อธิบายองค์ประกอบหลักของระบบจอตrolleyอัตโนมัติเต็มรูปแบบ.....	8
รูปที่ 2.2 ระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type).....	9
รูปที่ 2.3 ระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type).....	9
รูปที่ 2.4 ระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดทาวเวอร์ (Robot type).....	10
รูปที่ 2.5 ระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดเครน (Crane Type).....	11
รูปที่ 2.6 อธิบายองค์ประกอบหลักของระบบจอตrolleyกึ่งอัตโนมัติ.....	12
รูปที่ 2.7 ระบบจอตrolleyชนิด Stack (Stack type).....	13
รูปที่ 2.8 ระบบจอตrolleyชนิดโรตารี (Rotary type).....	13
รูปที่ 2.9 ระบบจอตrolleyชนิดพัซเซิล (Puzzle Type).....	14
รูปที่ 2.10 แผนผังแสดงโครงสร้างพื้นฐานระบบแถวคอย.....	15
รูปที่ 2.11 ระบบหนึ่งช่องให้บริการหนึ่งแถวคอย.....	18
รูปที่ 2.12 ระบบหนึ่งช่องให้บริการหลายแถวคอย.....	18
รูปที่ 2.13 ระบบหลายช่องให้บริการหนึ่งแถวคอย.....	19
รูปที่ 2.14 ระบบหลายช่องให้บริการหลายแถวคอย.....	20
รูปที่ 2.15 ระบบแบบอนุกรม และมี 1 แถวคอยทุกชั้นตอน.....	20
รูปที่ 2.16 ระบบหลายช่องให้บริการ หลายชั้นตอน โดยมี 1 แถวคอยทุกชั้นตอน.....	21
รูปที่ 2.17 ระบบหลายช่องให้บริการ หลายชั้นตอน โดยมี 1 แถวคอย และหลายชั้นตอน.....	21

รูปที่ 2.18	กลยุทธ์การจัดตารางด้วยเป้าหมายปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวม	26
รูปที่ 2.19	กลยุทธ์การจัดตารางด้วยเป้าหมายลดเวลาการรอคอยทั้งหมด.....	27
รูปที่ 2.20	รูปการทำงานของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด CAP (Compact automated parking)	28
รูปที่ 2.21	ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด CRAP (Compact robotic automated parking).....	30
รูปที่ 2.22	ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด CAP (Compact automated parking).....	30
รูปที่ 3.1	แผนผังแสดงเส้นทางจราจรของบริษัทกรณีศึกษา	33
รูปที่ 3.2	แผนผังแสดงตำแหน่งลิฟต์รับรถยนต์ที่ชั้น 1 และห้องพักคอย ของบริษัทกรณีศึกษา	34
รูปที่ 3.3	แผนผังแสดงชั้นจอดรถยนต์อัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา ชั้น 2-11.....	34
รูปที่ 3.4	แผนผังแสดงรูปตัดที่จอดรถยนต์อัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา	35
รูปที่ 3.5	รูปสามมิติที่จอดรถยนต์อัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา.....	35
รูปที่ 3.6	แผนผังแสดงชั้นจอดรถยนต์อัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ ชั้น 2-11.....	38
รูปที่ 3.7	แผนผังแสดงรูปตัดที่จอดรถยนต์อัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์	38
รูปที่ 3.8	กระบวนการนำรถเข้าจอดในระบบจอดรถอัตโนมัติ	40
รูปที่ 3.9	กระบวนการนำรถออกจากระบบจอดรถอัตโนมัติ	40
รูปที่ 3.10	แผนผังแสดงตำแหน่งการหาระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวนอนระบบชนิดลาด	43
รูปที่ 3.11	แผนผังแสดงตำแหน่งการหาระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวนอนระบบชนิดหุ่นยนต์	46
รูปที่ 3.12	แผนผังแสดงขอบเขตการคิดต้นทุนการก่อสร้างของระบบจอดรถอัตโนมัติ ชั้น 1.....	51
รูปที่ 3.13	แผนผังแสดงขอบเขตการคิดต้นทุนการก่อสร้างของระบบจอดรถอัตโนมัติ ชั้นจอดรถ ..	52
รูปที่ 3.14	รูปตัดแสดงขอบเขตการคิดต้นทุนการก่อสร้างของระบบจอดรถอัตโนมัติ.....	52
รูปที่ 3.15	การสร้างแบบจำลอง 2 มิติ และแสดงเป็น 3 มิติ	54
รูปที่ 3.16	การกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการภายในแบบจำลอง	54
รูปที่ 3.17	แสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัยและสร้างแบบจำลอง.....	55
รูปที่ 4.1	แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์แนวตั้ง.....	56
รูปที่ 4.2	แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์แนวนอน	57

รูปที่ 4.3 การวางตำแหน่งลิฟต์แนวตั้งและลิฟต์แนวนอนในแบบจำลอง	57
รูปที่ 4.4 การวางตำแหน่งช่องจอดแต่ละชั้นในแบบจำลอง	58
รูปที่ 4.5 การออกแบบการทำงานระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type).....	58
รูปที่ 4.6 การออกแบบการทำงานระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type).....	59
รูปที่ 4.7 การสร้างและวางตำแหน่งวัตถุบนแบบจำลอง	60
รูปที่ 4.8 การเชื่อมเส้นการเดินทางภายในระบบจอตrolleyอัตโนมัติ	60
รูปที่ 4.9 การตั้งค่าวัตถุของอุปกรณ์ลิฟต์แนวตั้งในแบบจำลองอุปกรณ์ลิฟต์	61
รูปที่ 4.10 การตั้งค่าวัตถุของอุปกรณ์ลิฟต์แนวนอนในแบบจำลอง	61
รูปที่ 4.11 การตั้งค่าวัตถุของช่องจอตrolleyในแบบจำลอง.....	62
รูปที่ 4.12 การตั้งค่าวัตถุของถาดที่ใช้สำหรับระบบชนิดถาดในแบบจำลอง	62
รูปที่ 4.13 การตั้งค่าวัตถุของหุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับระบบชนิดหุ่นยนต์ในแบบจำลอง	63
รูปที่ 4.14 การตั้งค่าการเลือกตำแหน่งช่องจอตrolleyของระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดถาด.....	64
รูปที่ 4.15 การตั้งค่าการเลือกตำแหน่งลิฟต์ของระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์	64
รูปที่ 4.16 การตั้งค่าการเลือกตำแหน่งช่องจอตrolleyของระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์.....	65
รูปที่ 4.17 ตัวอย่างของหน้าต่างที่แสดงจากโปรแกรม SIMIO เมื่อแบบจำลองมีข้อผิดพลาด	67
รูปที่ 4.18 ตัวอย่างของการรายงานผลการใช้งานอุปกรณ์ในแบบจำลองจากโปรแกรม SIMIO	68
รูปที่ 4.19 ตัวอย่างการนำข้อมูลอัตราส่วนความถี่การเข้าจอตrolleyสู่แบบจำลองระบบจอตrolleyอัตโนมัติ	68
รูปที่ ก.1 แผนผังของระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดถาด.....	90
รูปที่ ก.2 ตัวอย่างการสร้างวัตถุพื้นฐานต่างๆ	90
รูปที่ ก.3 การเชื่อมต่อจุดและเส้นทางต่างๆ.....	91
รูปที่ ก.4 การแบ่งกลุ่มของวัตถุสำหรับงานต่าง ๆ.....	91
รูปที่ ก.5 แผนผังของระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์	92
รูปที่ ก.6 ตัวอย่างการวางวัตถุหุ่นยนต์	92

รูปที่ ก.7 การเคลื่อนย้ายรถยนต์โดยลิฟต์แนวตั้ง.....	93
รูปที่ ก.8 การเคลื่อนย้ายรถยนต์โดยลิฟต์แนวนอน	93
รูปที่ ก.9 การจอดรถยนต์ในช่องจอดรถ.....	94
รูปที่ ก.10 รถยนต์ขณะรอเข้าจอดในระบบ	94
รูปที่ ก.11 คิวที่เกิดขึ้นขณะรอนำรถยนต์ออกจากระบบ	95
รูปที่ ข.1 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากโปรแกรม SPSS	96
รูปที่ ข.2 การแสดงผลของเวลาในการรอเข้าจอดรถของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด.....	97
รูปที่ ข.3 การแสดงผลของเวลาในการรอเข้าจอดรถของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์.....	97
รูปที่ ข.4 การแสดงผลของจำนวนรถในการรอเข้าจอดสูงสุดของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด....	97
รูปที่ ข.5 การแสดงผลของจำนวนรถในการรอเข้าจอดสูงสุดของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์	97
รูปที่ ข.6 การแสดงผลของเวลาในการรอนำรถออกโดยเฉลี่ยของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด ...	98
รูปที่ ข.7 การแสดงผลของเวลาในการรอนำรถออกโดยเฉลี่ยของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์	98
รูปที่ ข.8 การแสดงผลของจำนวนแถวคอยของลูกค้าที่รอนำรถออกสูงสุดของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด.....	98
รูปที่ ข.9 การแสดงผลของจำนวนแถวคอยของลูกค้าที่รอนำรถออกสูงสุดของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์.....	98
รูปที่ ข.10 การแสดงผลของอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมงของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด	99
รูปที่ ข.11 การแสดงผลของอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมงของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์.....	99
รูปที่ ข.12 การแสดงผลของเวลาในการทำงานลิฟต์แนวตั้งของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด	99
รูปที่ ข.13 การแสดงผลของเวลาในการทำงานลิฟต์แนวนอนของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด.	100
รูปที่ ข.14 การแสดงผลของรอบการทำงานของประตูระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด.....	100

รูปที่ ข.15 การแสดงผลของเวลาในการทำงานลิฟต์แนวตั้งของระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ 100

รูปที่ ข.16 การแสดงผลของเวลาในการทำงานลิฟต์แนวนอนของระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ 101

รูปที่ ข.17 การแสดงผลของรอบการทำงานของหุ่นยนต์ระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์..... 101

รูปที่ ข.18 การแสดงผลของรอบการทำงานของประตูระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ 101



บทที่ 1

บทนำ

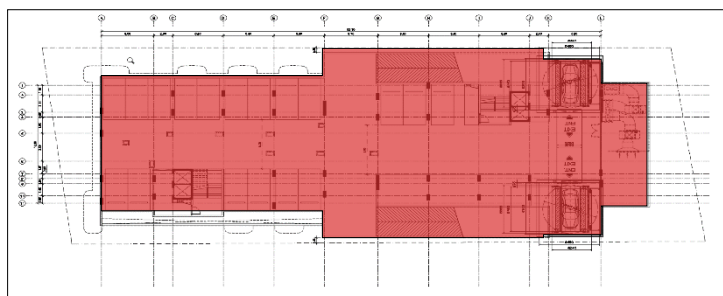
1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการลงทุนในด้านอสังหาริมทรัพย์ประเภทคอนโดมิเนียมนั้นมีความท้าทายมากขึ้น เนื่องจากปัจจัยต่างๆมากมายไม่ว่าจะเป็นสถานการณ์เศรษฐกิจในปัจจุบัน การแข่งขันที่สูงขึ้น แนวโน้มต้นทุนงานก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น และโดยเฉพาะปัจจัยหลักคือราคาที่ดินที่มีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในเมืองหลวง และ ย่านศูนย์กลางเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นทำเลที่ดินที่นักพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ส่วนใหญ่ต้องการ ดังนั้นเพื่อให้การลงทุนเกิดความคุ้มค่ามากที่สุด การนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้พัฒนาในด้านอสังหาริมทรัพย์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

ระบบจอดรถอัตโนมัติเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาในด้านอสังหาริมทรัพย์ ถึงแม้ว่าจะมีการลงทุนที่ค่อนข้างสูง แต่ประโยชน์ที่ได้รับเมื่อเทียบกับต้นทุนนั้นคุ้มค่า ในด้านของพื้นที่ ระบบจอดรถอัตโนมัตินั้นใช้พื้นที่ใช้สอยเฉลี่ย 13 ตารางเมตรต่อคัน เมื่อเทียบกับอาคารจอดรถทั่วไป พื้นที่ใช้สอยเฉลี่ย 26 ตารางเมตรต่อคัน รวมพื้นที่ของถนนและทางลาดขึ้นอาคาร อ้างอิงตาม (สภากรุงเทพมหานคร, 2544) ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 ข้อ 105 “กำหนดให้การคิดคำนวณพื้นที่จอดรถ ซึ่งติดตั้งระบบเคลื่อนย้ายรถด้วยเครื่องจักรกลให้คิดพื้นที่ใช้สอยต่อ 1 คัน โดยคิดทุกคันรวมกัน และรวมพื้นที่อื่นๆ ที่บุคคลอาจใช้สอยได้” ดังรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2 โดยจะสามารถนำพื้นที่ไปใช้ประโยชน์ใช้สอยในส่วนอื่นหรือ เพิ่มพื้นที่ขายสำหรับอสังหาริมทรัพย์ประเภทคอนโดมิเนียมได้



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างแผนผังระบบจอดรถอัตโนมัติที่แสดงการคำนวณพื้นที่ใช้สอย



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างแผนผังอาคารจอดรถทั่วไปที่แสดงการคำนวณพื้นที่ใช้สอย

ปัจจุบันธุรกิจระบบจอดรถอัตโนมัติในประเทศไทยนั้นมีการแข่งขันค่อนข้างสูงและเทคโนโลยีของระบบจอดรถอัตโนมัตินั้นมีมากมายหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเทคโนโลยีและลักษณะบริษัทต่างๆ ของระบบจอดรถอัตโนมัติในประเทศไทย ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เทคโนโลยีและลักษณะบริษัทต่างๆของระบบจอดรถอัตโนมัติในประเทศไทย

บริษัท	ลักษณะของธุรกิจ	ประเทศผู้ผลิต	เทคโนโลยีระบบจอดรถอัตโนมัติ
บริษัท igr จำกัด	นำเข้า,ติดตั้งและให้บริการระบบจอดรถอัตโนมัติ	เกาหลีใต้	ชนิดถาด และ ชนิดหุ่นยนต์
บริษัท เอ จำกัด	ผู้ผลิต,ติดตั้งและให้บริการระบบจอดรถอัตโนมัติ	ญี่ปุ่น	ชนิดถาด
บริษัท บี จำกัด	นำเข้า,ติดตั้งและให้บริการระบบจอดรถอัตโนมัติ	จีน, ญี่ปุ่น, เกาหลีใต้	ชนิดถาด และ ชนิดหวี (Comb Exchange)
บริษัท ซี จำกัด	นำเข้า,ติดตั้งและให้บริการระบบจอดรถอัตโนมัติ	เกาหลีใต้	ชนิดหุ่นยนต์

หมายเหตุ ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์เป็นเทคโนโลยีที่บริษัท igr จำกัด นำเข้ามาในประเทศไทยหลังจากระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด

ปัจจัยในการเลือกใช้ระบบจอตรอัตโนมัตินอกจากปัจจัยทางด้านต้นทุนแล้ว ยังมีปัจจัยในเรื่องของประสิทธิภาพในการทำงานของระบบจอตรอัตโนมัติ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการให้บริการแก่ผู้ใช้บริการ โดยปกติในการคำนวณประสิทธิภาพของระบบจอตรอัตโนมัติ เป็นเพียงการคำนวณหาระยะเวลาการทำงานในระบบในตำแหน่งช่องจอดที่ใกล้ที่สุดและไกลที่สุดเพียง 2 ตำแหน่ง หลังจากนั้นนำค่าเฉลี่ยของ 2 ตำแหน่งมาหาอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์และนำรถยนต์ออกจากระบบต่อหนึ่งชั่วโมง (Average Throughput Storage and Retrieve Operation in 1 Hour) ด้วยโปรแกรม Excel ปัญหาที่พบคือ จากการคำนวณดังกล่าวลูกค้าส่วนใหญ่มองว่าข้อมูลไม่ละเอียดเพียงพอในการประเมินประสิทธิภาพของระบบซึ่งส่งผลต่อความน่าเชื่อถือในการนำเสนอสินค้า และปัจจุบันลูกค้าได้มีความต้องการให้สร้างแบบจำลอง (Simulation model) ของระบบจอตรอัตโนมัติเพิ่มขึ้น เพื่อประเมินประสิทธิภาพและภาพรวมการจราจรภายในโครงการ ซึ่งหากไม่มีนำเสนอรายละเอียดแบบจำลองของระบบจอตรอัตโนมัติจะไม่สามารถแข่งขันกับบริษัทคู่แข่งในตลาดได้

ด้วยเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นโดยนำบริษัทกรณีศึกษาที่ได้มีการติดตั้งระบบจอตรอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type) ดังรูปที่ 1.3 จากการคำนวณปัจจุบัน เวลาการนำรถเข้าเฉลี่ยต่อคิวต่อลิฟต์คือ 131 วินาที และเวลาการนำรถออกเฉลี่ยต่อคิวต่อลิฟต์คือ 167 วินาที และได้ทดลองออกแบบระบบจอตรอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type) ดังรูปที่ 1.4 ภายในบริษัทกรณีศึกษา จากการคำนวณ เวลาการนำรถเข้าเฉลี่ยต่อคิวต่อลิฟต์คือ 80 วินาที และเวลาการนำรถออกเฉลี่ยต่อคิวต่อลิฟต์คือ 198 วินาที ซึ่งระบบทั้ง 2 ชนิดจะต้องมีความสามารถจัดการคิวให้ไม่เกิน 7 นาที

ผู้วิจัยได้นำระบบจอตรอัตโนมัติทั้ง 2 ชนิดมาสร้างแบบจำลองปัญหา (Simulation model) เพื่อจำลองปัญหาจริงของระบบจอตรอัตโนมัติในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบทั้งด้านประสิทธิภาพของระบบและด้านต้นทุน



รูปที่ 1.3 ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type)



รูปที่ 1.4 ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบจอดรถอัตโนมัติของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด และชนิดหุ่นยนต์ ผ่านการจำลองระบบด้วยโปรแกรม SIMIO ตลอดจนทำการเปรียบเทียบต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆสำหรับระบบจอดรถอัตโนมัติทั้ง 2 ชนิด

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ทำการศึกษาเฉพาะบริษัทกรณีศึกษาที่เป็นระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด ประกอบด้วย ลิฟต์แนวตั้ง 3 เครื่อง ลิฟต์แนวนอน 10 เครื่อง จำนวนที่จอดรถ 260 คัน และ ทดลอง ออกแบบเป็นระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ภายใต้เงื่อนไขเดิม
2. ศึกษาภายใต้ปัจจัยของระบบแบบ FCFS (First Come First Serve)
3. ศึกษาข้อมูลปริมาณรถที่เข้า-ออกระบบจอดรถอัตโนมัติของบริษัท ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2564 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2564 (3 เดือน)

4. ประเมินประสิทธิภาพของระบบจอตกรถอัตโนมัติ โดยใช้ตัวชี้วัดผล (Performance Measure) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนของผู้ใช้บริการ (รถยนต์)

- 1) เวลาในการรอเข้าจอตกรถโดยเฉลี่ย (Average Waiting Time to Entry)
- 2) จำนวนแถวคอยของรถในการรอเข้าจอตกรถสูงสุด (Maximum Queue Length to Entry)

ส่วนของผู้ใช้บริการ (คน)

- 3) เวลาในการรอนำรถออกโดยเฉลี่ย (Average Waiting Time to Retrieve)
- 4) จำนวนแถวคอยของลูกค้าที่รอนำรถออกสูงสุด (Maximum Queue Length to Retrieve)

ส่วนของระบบจอตกรถอัตโนมัติ

- 5) อัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมง (Average Throughput to Storage Operation in 1 Hour)
 - 6) อัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ออกจากระบบต่อหนึ่งชั่วโมง (Average Throughput to Retrieve Operation in 1 Hour)
5. ประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังต่อไปนี้
- 1) ต้นทุนของระบบจอตกรถอัตโนมัติ (บาท)
 - 2) ต้นทุนการก่อสร้าง (บาท)
 - 3) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ หน่วย)

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาขั้นตอนการทำงานของระบบจอตกรถอัตโนมัติ
3. ศึกษาวิธีใช้โปรแกรม SIMIO
4. จำลองระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาด และชนิดหุ่นยนต์ ลงในแบบจำลองของโปรแกรม SIMIO
5. ทดสอบแบบจำลองที่ได้สร้างไว้
6. เก็บรวบรวมข้อมูลต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ
7. บันทึกผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

8. สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ
9. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจอตลอดอัตโนมัติทั้งสองชนิด
2. เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการเลือกลงทุนระบบจอตลอดอัตโนมัติในด้านของประสิทธิภาพ และ ต้นทุน
3. สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือในการนำเสนอสินค้าให้กับลูกค้า



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีแถวคอย ทฤษฎี FCFS ทฤษฎีการจำลองแบบปัญหา และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ระบบจอดรถอัตโนมัติ

Hamelink (2011) ได้นิยามระบบจอดรถอัตโนมัติ คือเป็นระบบที่มีเครื่องจักรในการเคลื่อนย้ายรถอย่างน้อย จากทางเข้าที่จอดรถ(Entrance of the parking facility) ไปยัง ตำแหน่งที่จอดรถ (Parking place) และสามารถนำรถกลับมาคืนสู่ผู้ขับได้

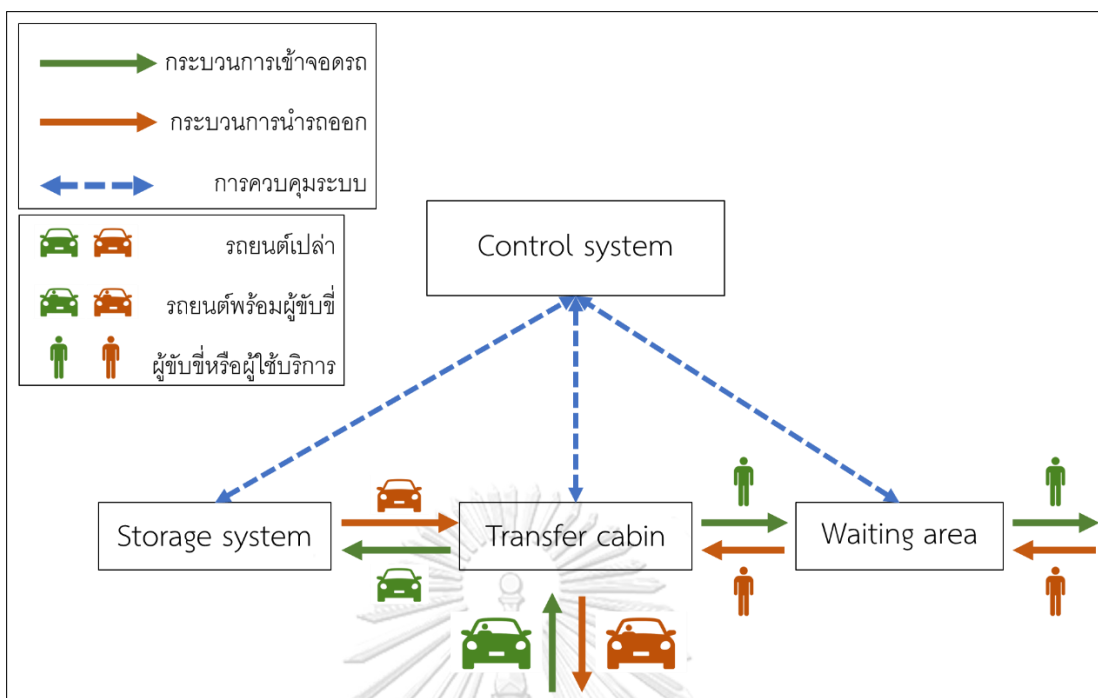
ระบบจอดรถอัตโนมัติมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการแข่งขันในปัจจุบัน จึงทำให้เกิดรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน เพื่อตอบสนองความต้องการที่แตกต่างกันออกไป (Hamelink, 2011) ได้แบ่งประเภทของระบบจอดรถอัตโนมัติออกเป็น 2 ประเภทคือ แบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Fully-automatic) และแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automatic)

2.1.1 ระบบจอดรถอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Fully-automatic parking system)

ระบบจอดรถชนิดนี้เป็นระบบที่ไม่มีผู้ใช้งานหรือผู้ขับขี้อยู่ด้านในระบบขณะที่ระบบกำลังทำงาน โดยขั้นตอนการใช้งานเบื้องต้นผู้ขับขีต้องขับรถเข้าไปจอดในตำแหน่งรับรถ ถัดมาผู้ขับขี้ออกจากรถและสั่งให้ระบบนำรถเก็บที่แผงควบคุม โดยระบบจะทำตามขั้นตอนการทำงานตามลำดับประตูปิด และระบบนำรถไปเก็บตามตำแหน่งที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้ ในขั้นตอนนำรถออกเมื่อมีคำสั่งจากผู้ขับขีระบบจะนำรถออกมาส่งให้ที่ตำแหน่งรับรถและประตูเปิด โดยขั้นตอนทั้งหมดนี้ระบบจะต้องดำเนินการโดยอัตโนมัติ และ องค์ประกอบหลักของระบบ มีดังนี้

- ห้องลิฟต์รับรถ (Transfer cabin)
- ตำแหน่งสั่งการเรียกรถหรือนำรถออก (Waiting area)
- ระบบจัดเก็บรถ (Storage system)
- ระบบควบคุม (Control system)

ในการควบคุมของระบบจอดรถอัตโนมัติเต็มรูปแบบโดยระบบควบคุมจะสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ ห้องลิฟต์รับรถ (Transfer cabin), ระบบจัดเก็บรถ (Storage system) และ ตำแหน่งสั่งการเรียกรถหรือนำรถออก (Waiting area) ดังรูปที่ 2.1

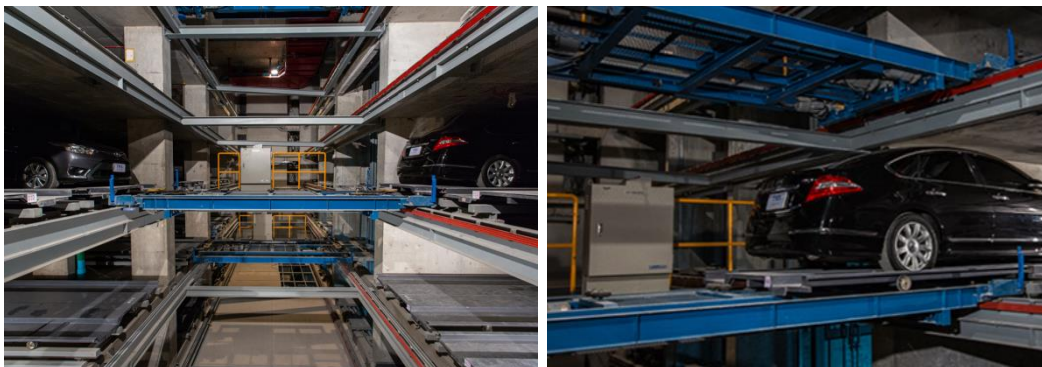


รูปที่ 2.1 อธิบายองค์ประกอบหลักของระบบจอดรถอัตโนมัติเต็มรูปแบบ

(Hamelink, 2011)

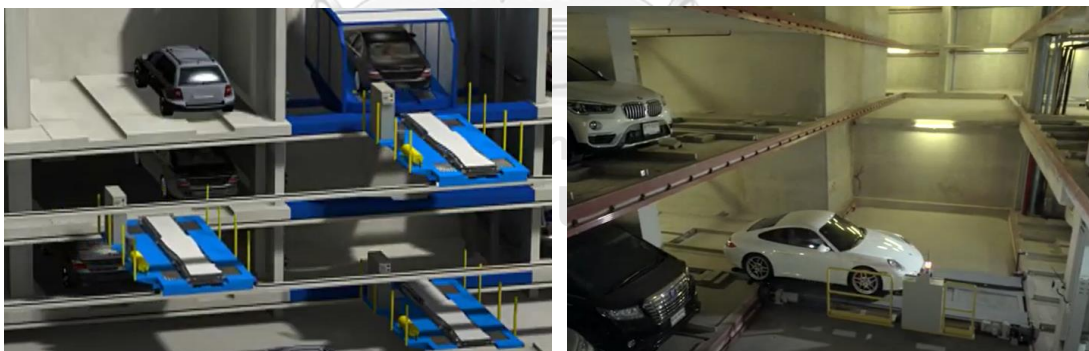
ปัจจุบันระบบจอดรถอัตโนมัติเต็มรูปแบบที่มีการติดตั้งในประเทศไทย และที่ถูกรใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะขอยกตัวอย่างระบบที่พบเห็นได้ในประเทศไทยดังนี้

1. ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type) โดยระบบจะเคลื่อนย้ายรถโดยโดยมีถาดรองรับรถ ซึ่งข้อดีของระบบนี้คือเทคโนโลยีค่อนข้างเสถียรเนื่องจากกลไกของตัวระบบไม่ซับซ้อนและสามารถพัฒนาเพื่อใช้งานร่วมกับสถานีชาร์จรถไฟฟ้าได้ ข้อเสียคือใช้พื้นที่และความสูงโดยรวมในการติดตั้งมากกว่าระบบอื่น ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type)
(www.thsparking.co.th) สืบค้นเมื่อวันที่ 01 สิงหาคม 2565

- ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type) โดยระบบจะเคลื่อนย้ายรถโดยมีหุ่นยนต์เป็นอุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายรถโดยตรงข้อดีของระบบนี้คือใช้พื้นที่และความสูงโดยรวมในการติดตั้งน้อยและใช้ปริมาณเหล็กน้อยกว่าระบบอื่นซึ่งส่งผลดีจากราคาเหล็กที่ผันผวนบ่อย ระบบมีความซับซ้อนทำให้มีโอกาสที่ระบบจะมีความผิดพลาด ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type)
(www.thsparking.co.th) สืบค้นเมื่อวันที่ 01 สิงหาคม 2565

- ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดทาวเวอร์ (Tower Type) เป็นระบบที่มีส่วนประกอบหลักเป็นลิฟต์ที่เคลื่อนย้ายรถในแนวตั้งนำไปเก็บตามช่องจอดรถในแต่ละชั้น ข้อดีคือใช้พื้นที่น้อยเฉลี่ยเพียง 7 x 7 เมตรก็สามารถติดตั้งได้และเป็นระบบที่ประสิทธิภาพดีเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ ข้อเสีย ต้นทุนสูงและใช้ระยะความสูงในการติดตั้งมาก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดทาวเวอร์ (Robot type)

(www.ihl.co.jp) สืบค้นเมื่อวันที่ 01 สิงหาคม 2565

4. ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดเครน (Crane Type) เป็นระบบที่มีส่วนประกอบหลักคือเครนโดยสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งแนวแกน X และ Y ได้พร้อมกัน ข้อดี ได้จำนวนที่จอดรถมากกว่าระบบอื่นเนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีลิฟต์แนวตั้ง ข้อเสีย น้ำหนักที่ลงพื้นของเครนค่อนข้างสูงและอาจทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 2.5



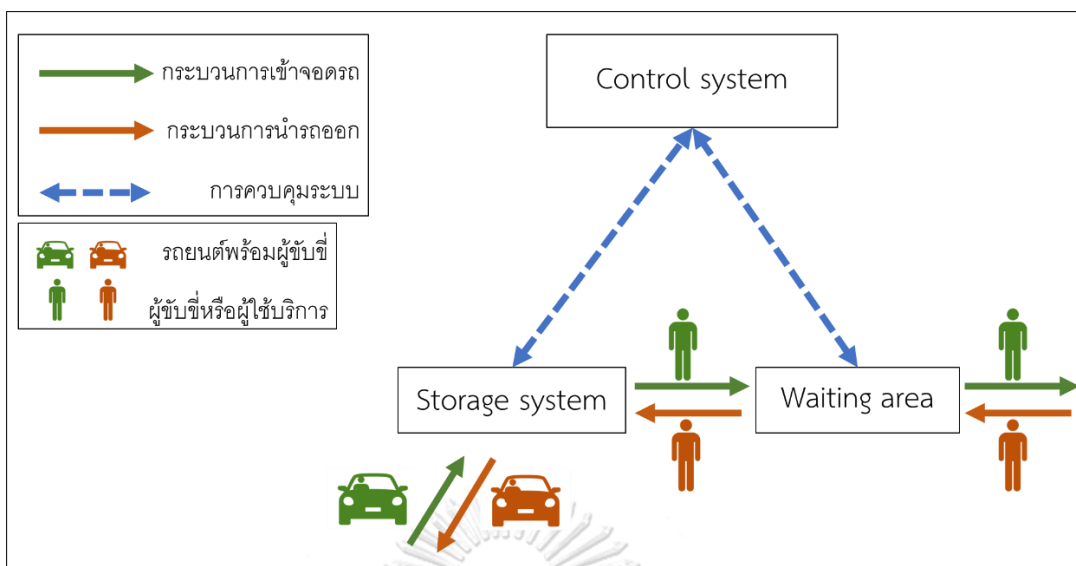
รูปที่ 2.5 ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดเครน (Crane Type)

(www.automatedroboticparking.com) สืบค้นเมื่อวันที่ 01 สิงหาคม 2565

2.1.2 ระบบจอดรถกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automatic parking system)

ระบบจอดรถชนิดนี้เป็นระบบที่มีขั้นตอนเบื้องต้นคือ ผู้ใช้งานหรือผู้ขับขี่ขับรถเข้าไปในแพลตฟอร์มที่จอดรถเมื่อเสร็จสิ้น ผู้ใช้งานออกจากรถและดำเนินการให้ระบบยกหรือเลื่อนแพลตฟอร์มไปยังตำแหน่งที่ว่าง โดยระบบนี้สามารถเพิ่มที่จอดรถจากเดิมได้ 2 ถึง 3 เท่า ในขณะที่สามารถใช้พื้นที่และสิ่งอำนวยความสะดวกคล้ายกับที่จอดรถทั่วไปได้ องค์ประกอบหลักของ มีดังนี้

- ตำแหน่งสั่งการเรียกรถหรือนำรถออก (Waiting area)
- ระบบจัดเก็บรถ (Storage system)
- ระบบควบคุม (Control system)



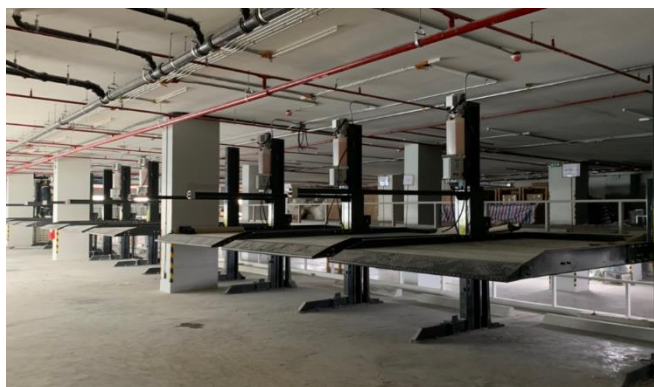
รูปที่ 2.6 อธิบายองค์ประกอบหลักของระบบจอดรถกึ่งอัตโนมัติ

(Hamelink, 2011)

จากรูปที่ 2.6 จะแสดงให้เห็นการควบคุมของระบบจอดรถกึ่งอัตโนมัติโดยระบบควบคุมจะควบคุมเพียง ระบบจัดเก็บรถ (Storage system) และ ตำแหน่งสั่งการเรียกรถหรือนำรถออก (Waiting area)

ระบบจอดรถอัตโนมัติแบบที่มีการติดตั้งในประเทศไทย และที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะขอยกตัวอย่างระบบที่พบเห็นได้ในประเทศไทยดังนี้

1. ระบบจอดรถชนิดสแต็ก (Stack type) ลักษณะการทำงานของระบบชนิดนี้ทำหน้าที่เพียงยกขึ้นและลงเพื่อให้สามารถจอดรถซ้อนกันได้ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ระบบจอดรถชนิด Stack (Stack type)
 (www.g-park.co.th) สืบค้นเมื่อวันที่ 01 สิงหาคม 2565

2. ระบบจอดรถชนิดโรตารี (Rotary type) ลักษณะการทำงานของระบบชนิดนี้จะหมุนขึ้นไปเก็บรถด้านบนคล้ายกับชิงช้าสวรรค์ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระบบจอดรถชนิดโรตารี (Rotary type)
 (www.yintian.co.th) สืบค้นเมื่อวันที่ 01 สิงหาคม 2565

3. ระบบจอดรถชนิดพัซเซิล (Puzzle Type) ลักษณะการทำงานของระบบชนิดนี้จะสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งแนวแกน X และ Y โดยเคลื่อนที่ทีละแกนเพื่อนำรถไปเก็บ ดังรูปที่ 2.9



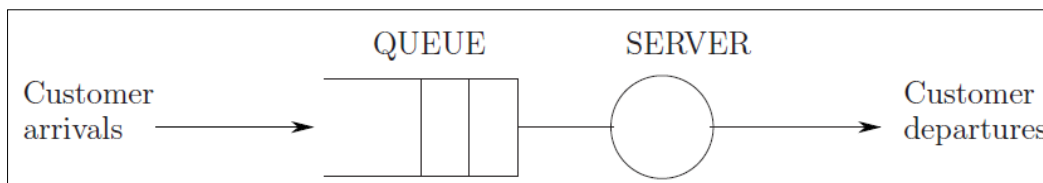
รูปที่ 2.9 ระบบจอดรถชนิดพัซเซิล (Puzzle Type)
(www.yintian.co.th) สืบค้นเมื่อวันที่ 01 สิงหาคม 2565

2.2 ทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory)

Sundarapandian (2009) ทฤษฎีแถวคอยเป็นทฤษฎีที่พัฒนาเป็นตัวแทนทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แทนปัญหาแถวคอย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สถานะของระบบแถวคอย โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นของผู้เข้ามาใช้บริการและการให้บริการ ผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาช่วยในการตัดสินใจดำเนินการเกี่ยวกับการออกแบบการให้บริการที่เหมาะสม ลดค่าใช้จ่าย และช่วยจัดระบบการให้บริการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ระบบแถวคอย (Queuing Systems) เป็นระบบที่เกิดจากการรอคอยเพื่อรับบริการ ซึ่งมีความต้องการในการรับบริการสูงกว่าอัตราการให้บริการ หรือ อัตราการรับบริการสูงกว่าอัตราการให้บริการ โดยระบบแถวคอยจะมีส่วนประกอบพื้นฐาน 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.10

- ผู้รับบริการ (Customer Arrivals)
- หน่วยให้บริการ (Server)
- แถวคอย (Queue)



รูปที่ 2.10 แผนผังแสดงโครงสร้างพื้นฐานระบบแถวคอย

(Cassandras & Lafortune, 2008)

2.2.1 ตัวแบบสโตแคสติกสำหรับขั้นตอนของผู้รับบริการและผู้ให้บริการ (Stochastic Models for Arrival and Service Processes)

ในระบบแถวคอย เหตุการณ์ของการเข้ามารับบริการแบบสุ่มตามลำดับคือ $\{Y_0, Y_1, \dots\}$ ดังสมการ (2.1)

$Y_k =$ เวลาการรอคอยเพื่อเข้ามารับบริการระหว่าง (k-1) ถึง k ; k=1,2,...
เมื่อ k คือ ลำดับของผู้มาใช้บริการ (2.1)

โดยทั่วไป เรามักจะกำหนดให้ $Y_0=0$, ดังนั้น Y_1 จึงเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่อธิบายเวลาของผู้มาใช้บริการลำดับแรก สำหรับทฤษฎีแถวคอยส่วนใหญ่จะถูกกำหนดว่าตัวแปรนั้นเป็นตัวแปรสุ่มอิสระและมีกระจายตัวเหมือนกัน ดังนั้น สามารถหาความน่าจะเป็นได้จากสมการ (2.2)

$$\text{จุพาล } A(t) = P[Y \leq t] \text{ วิทยาลัย} \quad (2.2)$$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สำหรับค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันการแจกแจง $A(t)$ สามารถหาค่าได้จากสมการ (2.3)

$$E[Y] = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3)$$

โดย λ คือ อัตราการเข้ามารับบริการเฉลี่ย (Mean arrival rate)

ในทางเดียวกัน เหตุการณ์ของการให้บริการแบบสุ่มตามลำดับคือ $\{Z_1, Z_2, \dots\}$ โดยที่

$Z_k =$ เวลาในการให้บริการสำหรับลำดับของผู้มาใช้บริการ k ; k=1,2,...

สามารถหาความน่าจะเป็นได้จากสมการ (2.4)

$$B(t) = P [Z \leq t] \quad (2.4)$$

สำหรับค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันการแจกแจง $B(t)$ สามารถหาค่าได้จากสมการ (2.5)

$$E[Z] = \frac{1}{\mu} \quad (2.5)$$

โดย μ คือ อัตราการให้บริการเฉลี่ย (Mean service rate)

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซอง (Poisson probability distribution)

จำนวนผู้เข้ามาใช้บริการ (Arrival) จะเกิดแบบสุ่มที่ขึ้นกับเวลา t ความน่าจะเป็นที่จะมีผู้มา
รับบริการในระบบ n คน ในช่วงเวลา t สามารถหาได้จากสมการ (2.6)

$$P\{X(t)=n\} = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!}; n=0,1,2,\dots; e=2.7183$$

โดย $X(t)$ มีค่าเฉลี่ย $E(X) = \lambda t$ และความแปรปรวน $V(X) = \lambda t$ (2.6)

เมื่อ n คือ จำนวนผู้เข้ามาใช้บริการในระบบในช่วงเวลา t

λ คือ อัตราการเข้ามาใช้บริการเฉลี่ย (Mean arrival rate)

จำนวนลูกค้าที่แล้วเสร็จจากการให้บริการ (Departure) จะเกิดแบบสุ่มที่เกิดขึ้นกับเวลา t
ความน่าจะเป็นที่มีลูกค้าแล้วเสร็จจากการรับบริการ n คน ในช่วงเวลา t สามารถหาได้จากสมการ (2.7) และ (2.8)

$$P_t(t) = P\{X(t)=n\} = \frac{e^{-\mu t} (\mu t)^{N-n}}{(N-n)!}; n=1,2,\dots,N; e=2.7183 \quad (2.7)$$

$$P_0(t) = P\{X(t)=0\} = 1 - \sum_{n=1}^N \frac{e^{-\mu t} (\mu t)^{N-n}}{(N-n)!}$$

โดย $X(t)$ มีค่าเฉลี่ย $E(X) = \mu t$ และความแปรปรวน $V(X) = \mu t$
 เมื่อ n คือ จำนวนผู้เข้ามาใช้บริการในระบบในช่วงเวลา t
 N คือ จำนวนผู้รับบริการทั้งหมดในระบบ
 μ คือ อัตราการให้บริการเฉลี่ย (Mean service) (2.8)

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential probability distribution)

ระยะเวลาระหว่างการเข้ามาของผู้มารับบริการคนหนึ่งกับคนถัดไป (interarrival time) จะเกิดขึ้นแบบสุ่ม ลักษณะนี้มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential distribution) ความน่าจะเป็น สามารถหาได้จากสมการ (2.9)

$$f_T(t) = \lambda e^{-\lambda t}; t \geq 0; e=2.7183$$

โดย T มีค่าเฉลี่ย $E(T) = \frac{1}{\lambda}$ และความแปรปรวน $V(T) = \frac{1}{\lambda^2}$
 เมื่อ T คือ ตัวแปรสุ่มแทนระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามาของผู้รับบริการ (2.9)
 $\frac{1}{\lambda}$ คือ ระยะเวลาระหว่างการเข้ามาของผู้มารับบริการเฉลี่ย (Mean arrival time)

เวลาให้บริการ (Service time) หากมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ความน่าจะเป็นสามารถหาได้จากสมการ (2.10)

$$f_T(t) = \mu e^{-\mu t}; t \geq 0; e=2.7183$$

โดย T มีค่าเฉลี่ย $E(T) = \frac{1}{\mu}$ และความแปรปรวน $V(T) = \frac{1}{\mu^2}$ (2.10)
 เมื่อ T คือ ตัวแปรสุ่มแทนระยะเวลาให้บริการ
 $\frac{1}{\mu}$ คือ ระยะเวลาให้บริการเฉลี่ย (Mean service time)

2.2.2 กฎระเบียบการให้บริการแถวคอย (Queue discipline)

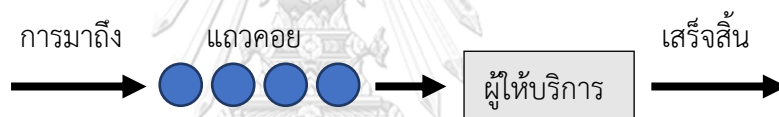
กฎระเบียบการให้บริการแถวคอย หมายถึง วิธีการจัดผู้เข้ารับบริการในแถวคอยเพื่อเข้ารับบริการก่อนหลัง ซึ่งมีหลายวิธี เช่น

- มาก่อนได้ก่อน (First-Come First-Service: FCFS)
- เข้าหลังได้ก่อน (Last-Come First-Service: LCFS)
- การให้บริการอย่างสุ่ม (Service In Random Order: SIRO)
- การให้บริการลูกค้าที่มีสิทธิพิเศษ (Priority)

2.2.3 การจัดวางผังระบบแถวคอย

1. ระบบแถวคอยที่มีหนึ่งขั้นตอน

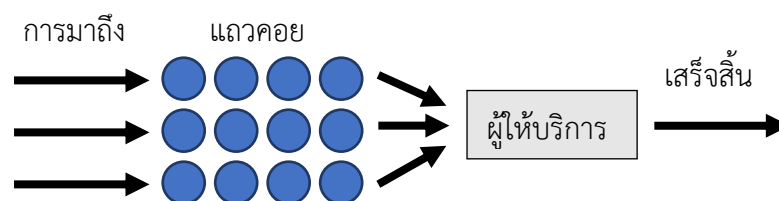
รูปแบบที่มีผู้ให้บริการเพียงช่องเดียว และมีแถวคอยเพียงแถวเดียว ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ระบบหนึ่งช่องให้บริการหนึ่งแถวคอย

จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นระบบแถวคอยที่มีขั้นตอนเดียว มีแถวคอยเดียว และมีหน่วยบริการ 1 หน่วย เช่น เครื่องหยอดเหรียญจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติหรือเครื่อง ATM เมื่อผู้ใช้บริการได้รับบริการแล้วออกจากระบบไป

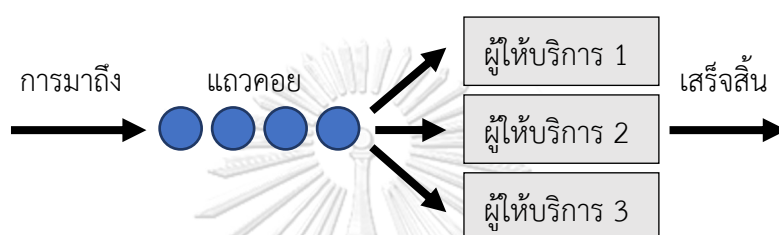
รูปแบบที่มีผู้ให้บริการเพียงช่องเดียว และมีแถวคอยหลายแถว ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ระบบหนึ่งช่องให้บริการหลายแถวคอย

จากรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นระบบแถวคอยที่มีชั้นตอนเดียว มีหลายแถวคอย และมีหน่วยบริการ 1 หน่วย เช่น ช่องทางชำระค่าทางด่วนในกรณีที่เปิดเพียงช่องเดียวหรือการใช้บริการลิฟต์โดยสารกรณีที่มีเพียง 1 เครื่อง

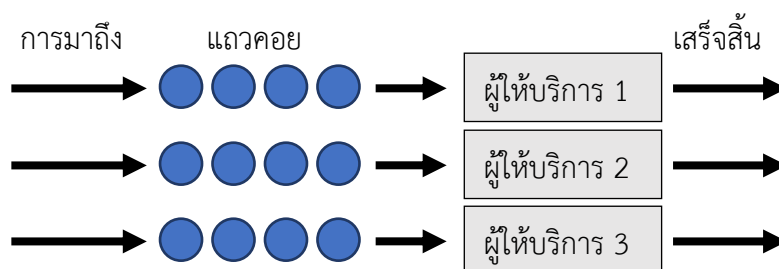
รูปแบบที่มีผู้ให้บริการหลายช่อง และมีแถวคอยเพียงแถวเดียว ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ระบบหลายช่องให้บริการหนึ่งแถวคอย

จากรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นระบบแถวคอยที่มีชั้นตอนเดียว มีแถวคอยเดียว แต่มีหน่วยให้บริการหลายหน่วย เช่น ธนาคารจะจัดให้มีแถวคอยแถวเดียวแต่มีช่องบริการหลายช่อง

รูปแบบที่มีผู้ให้บริการหลายช่อง และมีหลายแถวคอย ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ระบบหลายช่องให้บริการหลายแถวคอย

จากรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นระบบแถวคอยที่มีขั้นตอนเดียว แถวคอยหลายแถวและมีหน่วยให้บริการหลายหน่วย เช่น ช่องทางการชำระสินค้าของซูเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่

2. ระบบแถวคอยที่มีหลายขั้นตอน

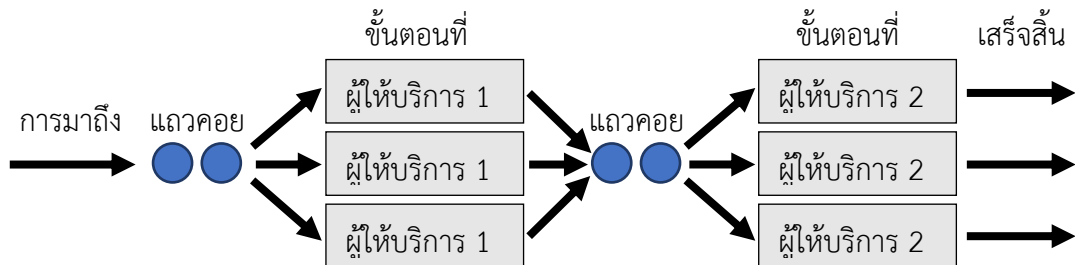
รูปแบบอนุกรมซึ่งมีหลายขั้นตอนโดยแต่ละขั้นตอนมีช่องให้บริการเพียงช่องเดียวระบบงานนี้ลูกค้าเมื่อรับบริการจากจุดหนึ่งแล้วต้องไปรับบริการจุดอื่นต่อไปจนกว่าจะเสร็จงาน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ระบบแบบอนุกรม และมี 1 แถวคอยทุกขั้นตอน

จากรูปที่ 2.15 แสดงให้เห็นระบบแถวคอยที่มีหลายขั้นตอน มีแถวคอยแถวเดียวและในแต่ละขั้นตอนมีหน่วยบริการ 1 หน่วยให้บริการ เช่น ร้านล้างรถอัตโนมัติ ขั้นตอนแรกล้างรถด้วยเครื่องล้างรถอัตโนมัติ จากนั้นเข้ารับบริการดูดฝุ่นและทำความสะอาดภายในรถ และขั้นตอนสุดท้ายคือ ชำระค่าบริการ

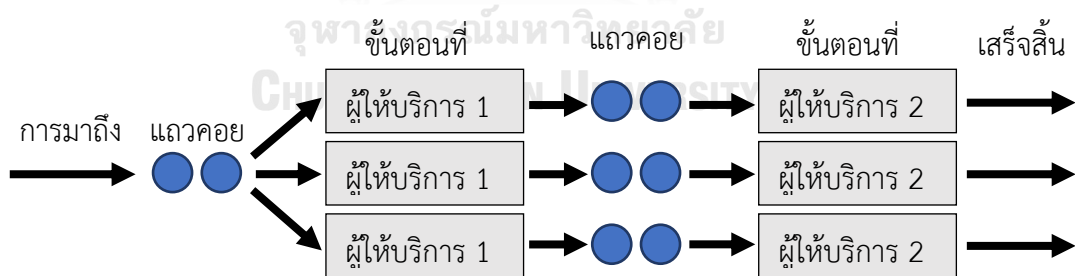
รูปแบบหลายช่องบริการ หลายขั้นตอน โดยมี 1 แกวคอยทั้งในขั้นตอนที่ 1 และหลายขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ระบบหลายช่องให้บริการ หลายขั้นตอน โดยมี 1 แกวคอยทุกขั้นตอน

จากรูปที่ 2.16 ระบบแกวคอยที่มีหลายขั้นตอน มีแกวคอยแกวเดียวและในแต่ละขั้นตอนมีหน่วยบริการหลายหน่วยให้บริการ เช่น คลินิกขนาดใหญ่ โดยคนไข้จะต้องเข้าแกวพบแพทย์แต่ละคนเป็นขั้นตอนแรก จากนั้นรับใบสั่งยาจากแพทย์ไปเข้าแกวเพื่อชำระเงิน และขั้นตอนสุดท้ายคือ รอรับยา

รูปแบบหลายช่องบริการ หลายขั้นตอน โดยมี 1 แกวคอยทั้งในขั้นตอนที่ 1 และหลายแกวคอยในขั้นตอนถัดมา ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ระบบหลายช่องให้บริการ หลายขั้นตอน โดยมี 1 แกวคอย และหลายขั้นตอน

จากรูปที่ 2.17 ระบบแกวคอยที่มีหลายขั้นตอน มีแกวคอยแกวเดียวในขั้นตอนแรกและมีหลายแกวคอยในขั้นตอนถัดมา เช่น โรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่คนไข้ต้องรับบริการหลายด้าน อย่างเช่น เอ็กซเรย์ พบแพทย์เฉพาะทาง หรือ ตรวจสอบสุขภาพ

2.2.4 สัญลักษณ์ที่ใช้เขียนแทนตัวแบบแถวคอย

Kendall (1953) กำหนดเครื่องหมายแสดงถึงตัวแบบแถวคอย ประกอบด้วยรายละเอียด 6 ส่วน ได้ดังนี้

$$(a / b / s) : (d / e / f)$$

a แทน การแจกแจงการเข้ามา

b แทน การแจกแจงการให้บริการ

s แทน จำนวนหน่วยให้บริการ

d แทน กฎระเบียบของแถวคอย (Queue discipline)

e แทน ขีดความสามารถของระบบในการรองรับผู้เข้ามาใช้บริการ

f แทน ขนาดของประชากรผู้มารับบริการ

สัญลักษณ์ตำแหน่งของ a และ b เป็นได้ดังนี้

M แทน การแจกแจงจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการหรือจำนวนผู้ที่เสร็จจากการรับ บริการเป็นแบบ พัวซอง (Poisson) หรือการแจกแจงของระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามาหรือเวลาให้บริการเป็นแบบ เอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential)

D แทน การแจกแจงระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามา หรือเวลาให้บริการเป็นแบบคงที่ (Constant)

E แทน การแจกแจงระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามา หรือเวลาให้บริการเป็นแบบเออร์แลงค์ (Erlang)

G แทน การแจกแจงระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามา หรือเวลาให้บริการเป็นแบบ ทั่ว ๆ ไป (General)

สัญลักษณ์ตำแหน่งของ d เป็นได้ดังนี้

FCFS เกณฑ์การให้บริการเป็นแบบมาก่อนรับบริการก่อน

LCFS เกณฑ์การให้บริการเป็นแบบมาทีหลังได้รับบริการก่อน

SIRO เกณฑ์การให้บริการเป็นแบบสุ่ม

GD เกณฑ์การให้บริการเป็นแบบใด ๆ (General service discipline)

สัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวแบบแถวคอย

n คือ จำนวนคนทั้งหมดในระบบ (จำนวนผู้รอในแถวคอยรวมกับจำนวนผู้กำลังรับบริการ)

$P_n(t)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะมีลูกค้า n คน ในระบบ เมื่อเวลา t

P_n คือ ความน่าจะเป็นที่จะมีลูกค้า n คน ในสถานะคงที่

λ_n คือ อัตราการเข้ามาเฉลี่ยของผู้มารับบริการ เมื่อมีลูกค้า n คน ในระบบ

λ คือ อัตราการเข้ามาเฉลี่ยของผู้มารับบริการ เมื่อระบบอยู่ในสถานะคงที่

μ_n คือ อัตราให้บริการเฉลี่ย เมื่อมีลูกค้า n คน ในระบบ

μ คือ อัตราให้บริการเฉลี่ย เมื่อระบบอยู่ในสถานะคงที่

s คือ จำนวนหน่วยให้บริการ (แต่ละหน่วยให้บริการไม่แตกต่างกัน)

ρ คือ สัดส่วนเวลาที่หน่วยบริการทำงาน หรือหน่วยให้บริการไม่ว่าง (Server utilization)

L_q คือ จำนวนลูกค้าเฉลี่ยในแถวคอย (Expected number of customers in queue) หรือความยาวแถวคอยเฉลี่ย (Average queue length) โดยไม่นับรวมลูกค้าที่กำลังรับบริการ (หน่วย : จำนวนลูกค้าต่อ 1 หน่วยเวลา)

L คือ จำนวนลูกค้าเฉลี่ยในระบบ (Expected number of customers in the system) โดยนับรวมลูกค้าที่รอในแถวคอยและกำลังรับบริการ (หน่วย : จำนวนลูกค้าต่อ 1 หน่วยเวลา)

W_q คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่ลูกค้ารอในแถวคอยเพื่อเข้ารับบริการ (Expected waiting time in queue) (หน่วย: ระยะเวลาต่อลูกค้า 1 คน)

W คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้ในระบบ (Expected waiting time in the system) โดยนับรวมเวลารอในแถวคอยและเวลารับบริการ (หน่วย : ระยะเวลาต่อลูกค้า 1 คน)

ระบบแถวคอยที่มีหลายช่องทางขั้นตอนเดียว (Multi channel, Single phase system) เป็นระบบแถวคอยที่มีหลายหน่วยบริการแบบขนาน การเข้ามามีการแจกแจงแบบพัซซอง Poisson และเวลาที่ใช้ในการให้บริการ มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล Exponential แบ่งออกเป็น 4 ระบบได้ดังนี้

1. ตัวแบบที่มีความยาวแถวคอยและลูกค้าที่เข้ามารับบริการไม่จำกัด
(M / M / s : FCFS / ∞ / ∞)
2. ตัวแบบที่มีความยาวแถวคอยจำกัดและลูกค้าที่เข้ามารับบริการการไม่จำกัด
(M / M / s : FCFS / N / ∞)
3. ตัวแบบที่มีความยาวแถวคอยไม่จำกัดและลูกค้าที่เข้ามารับบริการจำกัด
(M / M / s : FCFS / ∞ / N)
4. ตัวแบบที่มีความยาวแถวคอยจำกัดและลูกค้าที่เข้ามารับบริการจำกัด
(M / M / s : FCFS / N / N)

2.3 ระบบการให้บริการแบบ FCFS (First Come First Serve)

ในการศึกษาในครั้งนี้ สอดคล้องกับตัวแบบแถวคอย (M / G / s : FCFS / ∞ / N) เป็นรูปแบบแถวคอยที่มีการแจกแจงการเข้ามารับบริการเป็นแบบ Poisson และการแจกแจงเวลาการให้บริการเป็นแบบ ทัว ๆ ไป มี s หน่วยบริการ และเกณฑ์การให้บริการเป็นแบบมาก่อนรับบริการก่อน ชัดความสามารถของระบบคือความยาวแถวคอยไม่จำกัดและลูกค้าที่เข้ามารับบริการจำกัด

2.4 การจำลองแบบปัญหา (Simulation)

De Smet (1993) กล่าวถึงการจำลองแบบปัญหาเป็นเทคนิคที่ใช้แก้ปัญหาในกระบวนการต่างๆโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อการออกแบบจำลองของระบบจริง เพื่อการเรียนรู้และวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบที่ต้องการศึกษา และนำมาเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจและปรับปรุงการดำเนินการในด้านต่างๆของระบบจริง

กระบวนการจำลองแบบปัญหาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. การสร้างแบบจำลอง
2. การนำแบบจำลองมาใช้วิเคราะห์

ข้อจำกัดของเทคนิคการจำลองแบบปัญหา คือแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นไม่สามารถที่จะสร้างได้เหมือนกับระบบจริงทุกประการได้ ซึ่งรายละเอียดบางอย่างของระบบจะถูกตัดออกไปบ้าง แต่จะมีความเหมือนกันทางด้านสถิติซึ่งจะสามารถยอมรับรายละเอียดที่ตัดออกไปได้ ดังนั้นการจำลองแบบปัญหาไม่ใช่การหาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบ อีกทั้งสิ่งที่ต้องยอมรับคือการจำลองแบบปัญหานั้นมาจากการเก็บข้อมูลในอดีต ซึ่งการวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองแบบปัญหากับระบบจริงอาจจะมี ความคลาดเคลื่อนหรือแตกต่างกันได้ เนื่องจากระบบจริงจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแต่การจำลองแบบปัญหาจะอ้างอิงจากข้อมูลในอดีต

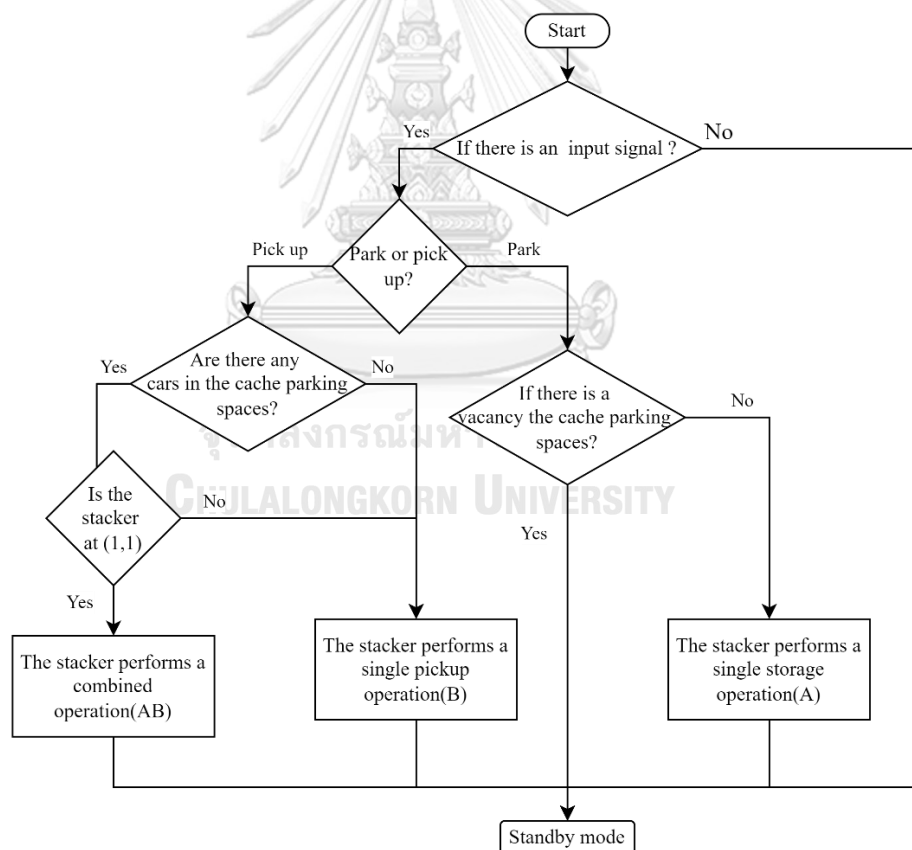
ขั้นตอนของการจำลองแบบปัญหา (Simulation Process) ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. การตั้งปัญหา (Problem formulation)
2. การสร้างแบบจำลอง (Model formulation)
3. การจัดเตรียมข้อมูล (Data preparation)
4. การแปลแบบจำลองเป็นรูปแบบโปรแกรม (Model translation)
5. การวางแผนออกแบบการทดลอง (Experimental design planning)
6. การทดสอบความถูกต้อง (Validation)
7. การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical planning)
8. การดำเนินการทดลอง (Experimentation)
9. การตีความผลการทดลอง (Interpretation)
10. การนำไปใช้และการจัดทำเอกสารการใช้งาน (Implementation and Documentation)

ในระหว่างการสร้างแบบจำลองจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นขั้นตอนต่างๆอาจมีการย้อนกลับหรือทำขั้นตอนหลายขั้นตอนไปพร้อมๆกันตามความเหมาะสมของงานนั้น

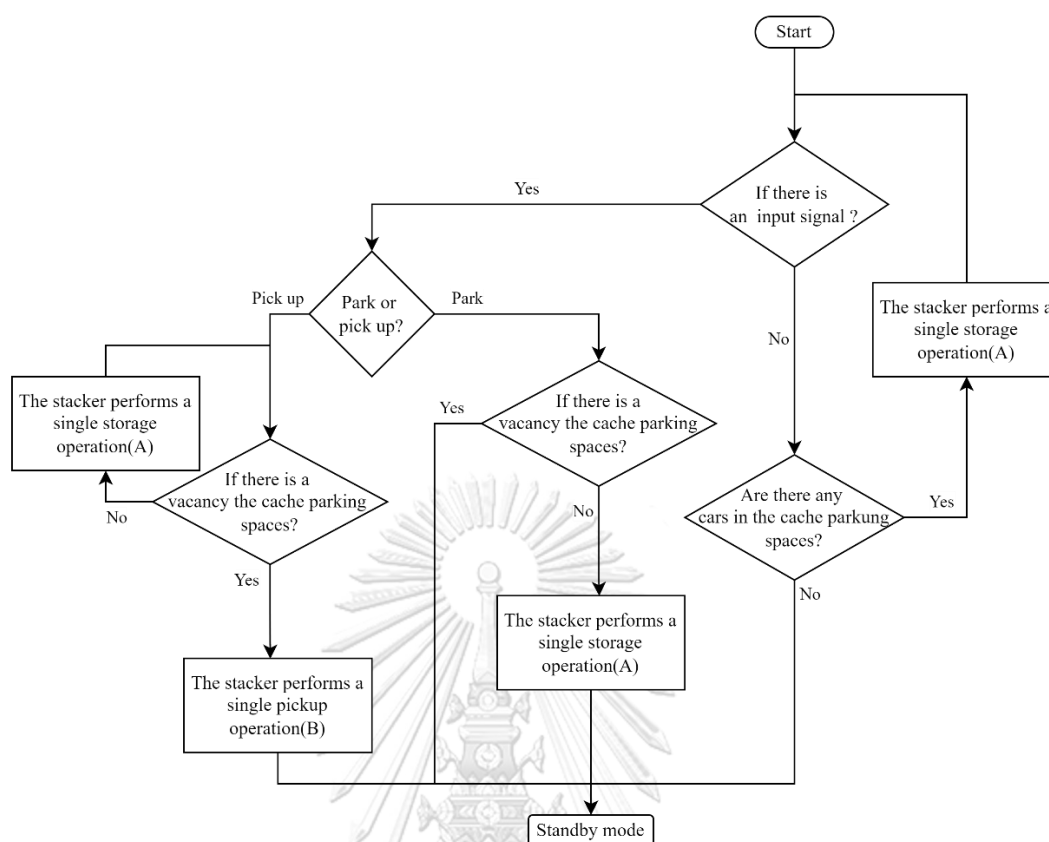
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Li & Miao (2020) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบจอดรถอัตโนมัติเพื่อลดต้นทุนในด้านการก่อสร้างและปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการจัดตารางการทำงานของระบบจอดรถอัตโนมัติเป็น 2 กลยุทธ์ โดยกลยุทธ์ที่หนึ่ง จะทำการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมโดยจะมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานและลดการทำงานของระบบที่ไม่จำเป็นออกไป ดังรูปที่ 2.18 และกลยุทธ์ที่สอง จะมุ่งเน้นไปที่การลดเวลาการรอคอยของระบบ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 กลยุทธ์การจัดตารางด้วยเป้าหมายปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวม

(Li & Miao, 2020) หน้า 8

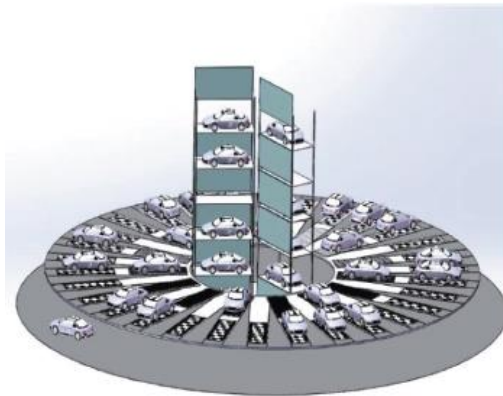


รูปที่ 2.19 กลยุทธ์การจัดตารางด้วยเป้าหมายลดเวลาการรอคอยทั้งหมด

(Li & Miao, 2020) หน้า 10

โดยทั้งสองกลยุทธ์จะใช้วิธีวิเคราะห์และแสดงออกมา ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสถิติ โดยใช้โปรแกรม MATLAB และ SPSS (โปรแกรมพัฒนาโดย IBM) ในการคำนวณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบระหว่างกลยุทธ์ทั้งสองในด้านต่างๆ และมีการแนะนำการจัดตารางการทำงานของระบบ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการทำงานโดยรวมของอุปกรณ์อีกด้วย

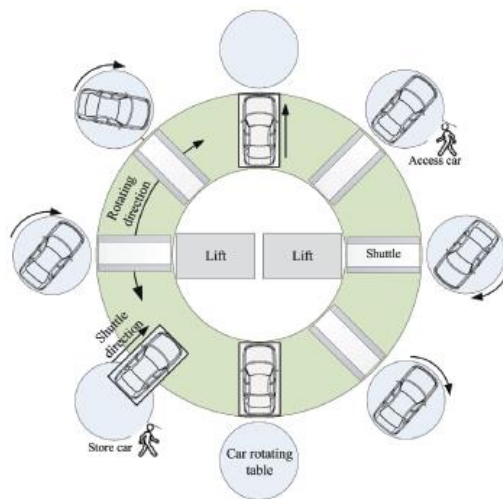
Wu et al. (2019) ได้ทำการศึกษาระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด CAP (Compact automated parking) ซึ่งเป็นระบบที่มีรูปทรงเป็นวงแหวน โดยมีลิฟต์อยู่ตำแหน่งกลางของวงแหวน 2 เครื่อง ที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง และมีกลไกสำหรับเคลื่อนที่รถในแนวนอน (Shuttles) ของแต่ละชั้น ดังรูปที่ 2.20



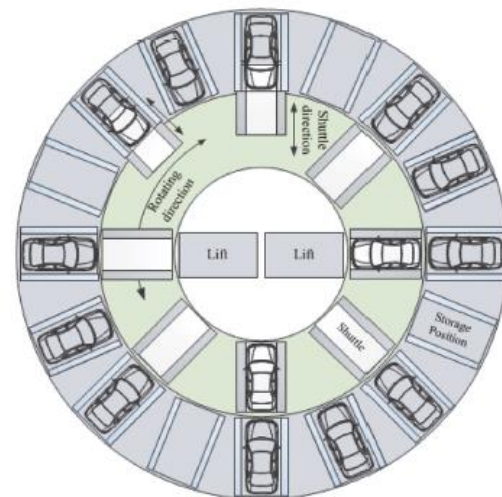
(a) Schematic view



(b) System with two rotating discrete lifts (VW Storage in Wolfsburg)



(c) Top view of ground floor tier



(d) Top view of a higher tier

รูปที่ 2.20 รูปการทำงานของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด CAP (Compact automated parking)

(Wu et al., 2019)

โดยผู้วิจัยได้นำเสนอนโยบายการจัดการลิฟต์ระหว่าง 2 นโยบาย นโยบายแรกกำหนดให้ลิฟต์ 1 เครื่องสำหรับจอดรถและลิฟต์ที่เหลือสำหรับนำรถออก นโยบายที่สองให้ลิฟต์ทั้ง 2 เครื่อง สำหรับทั้งจอดรถและนำรถออก โดยในงานวิจัยนี้จะสามารถตอบคำถามได้ดังนี้

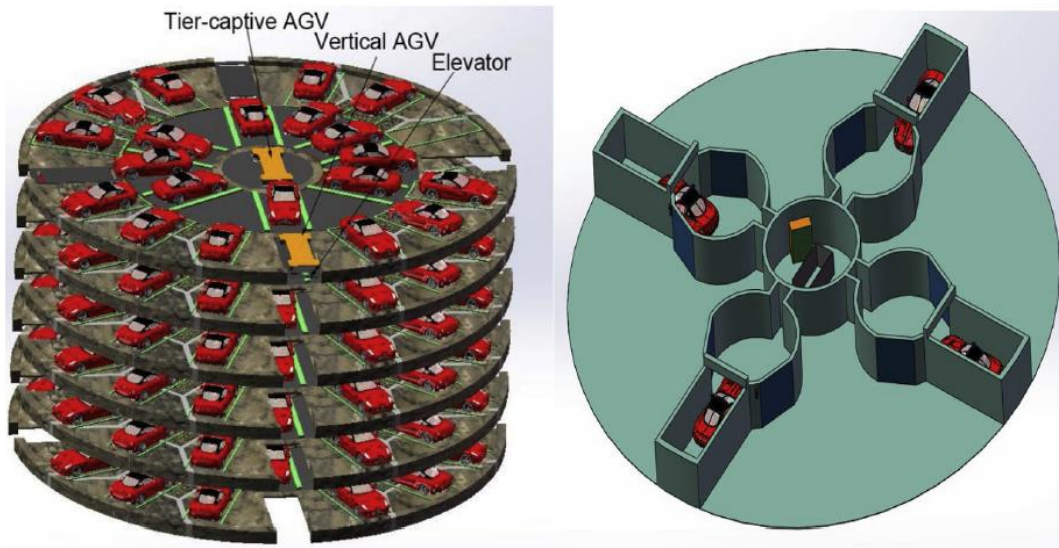
1. เราจะสร้างแบบจำลองที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพเพื่อประเมินเวลาและปริมาณการทำงานของ CAP ได้อย่างไร
2. นโยบายการจัดการลิฟต์ไหนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

3. การออกแบบใดที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณา จากต้นทุนและเวลา
4. ระบบ CAP จำนวนลิฟต์มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างไร

อีกทั้งยังเปรียบเทียบด้านต้นทุนระหว่าง CAP และ ระบบ Cubic parking system
Zaerpour et al. (2017)

Wu et al. (2020) ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบจอดรถอัตโนมัติ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด CRAP (Compact robotic automated parking) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีการใช้ประโยชน์จากที่จอดรถได้มากขึ้นและทำงานตอบสนองการจับคู่และนำรถออกได้อย่างรวดเร็ว CRAP เป็นระบบที่มีที่จอดรถเป็นรูปทรงวงแหวน 2 ชั้น แทนระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด CAP (Compact automated parking) ซึ่งเป็นระบบแบบเก่าที่มีที่จอดรถเป็นรูปทรงวงแหวนเพียง 1 ชั้น

CRAP จะเคลื่อนที่โดยใช้ลิฟต์แนวตั้ง (Elevator) ที่มีระบบเคลื่อนย้ายรถด้านในเป็นระบบ AGV (Automated guided vehicle) ซึ่งตำแหน่งลิฟต์แนวตั้งจะอยู่ด้านนอกของวงแหวน ในแต่ละชั้นจอดรถจะมีระบบ AGV และ จานหมุน (Rotating ring) เพื่อเคลื่อนย้ายรถในแต่ละชั้น ดังรูปที่ 2.21

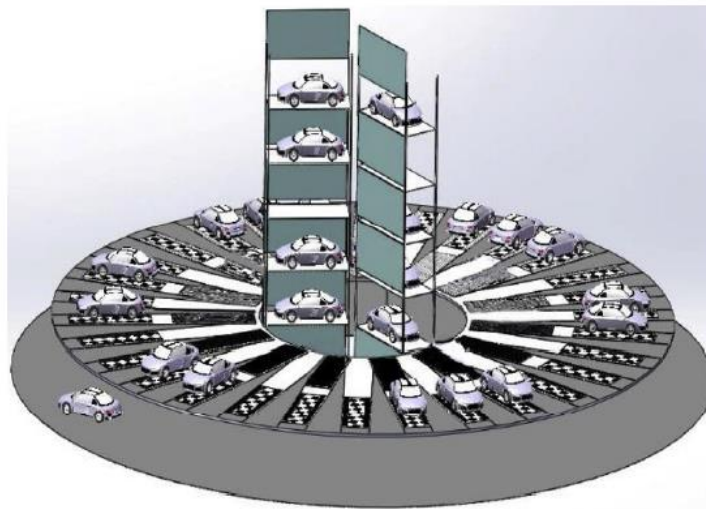


(a) Schematic view

(b) Top view of ground floor tier

รูปที่ 2.21 ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด CRAP (Compact robotic automated parking)
(Wu et al., 2020)

CAP จะเคลื่อนที่โดยใช้ลิฟต์แนวตั้ง (Elevator) ที่มีระบบเคลื่อนย้ายรถด้านในเป็นระบบสายพาน (Conveyor) ซึ่งตำแหน่งลิฟต์แนวตั้งจะอยู่ตรงกลางของวงแหวน ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิด CAP (Compact automated parking)
(Wu et al., 2020)

ผู้วิจัยได้เริ่มทำการศึกษาโดย ขั้นแรกจะประเมินประสิทธิภาพของระบบจอตลอดอัตโนมัติทั้ง 2 ระบบ จากตัวแบบเครือข่ายแถวคอย (Queuing network model) ขั้นที่สองได้ตรวจสอบการวิเคราะห์แบบจำลองผ่านการจำลองแบบปัญหา (Simulation) ผ่านโปรแกรม Arena (version 14.0) ขั้นที่สามปรับการตั้งค่าของระบบให้เหมาะสม โดยให้เวลาการนำรถออกจากระบบ (Retrieval time) น้อยที่สุด ขั้นตอนที่สุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง 2 ระบบด้วยเงื่อนไขจำนวนที่จอดรถที่เท่ากัน โดยผลลัพธ์จะแสดงให้เห็นว่าเวลาในการนำรถออกจากระบบ CRAP ลดลงจากระบบ CAP อย่างน้อย 29.7% เมื่อจำนวนที่จอดรถ 400 คัน และ การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ (Space utilization) ดีขึ้นอย่างน้อย 32.0%



บทที่ 3

การศึกษาระบบจอดรถอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงข้อมูลต่างๆของบริษัทกรณีศึกษา ระบบจอดรถอัตโนมัติปัจจุบันในบริษัท ระบบจอดรถอัตโนมัติรูปแบบใหม่ที่จะทำการวิจัย และการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองปัญหาเพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพและต้นทุนต่างๆ รวมไปถึงกระบวนการสร้างแบบจำลองปัญหา (Simulation process)

3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

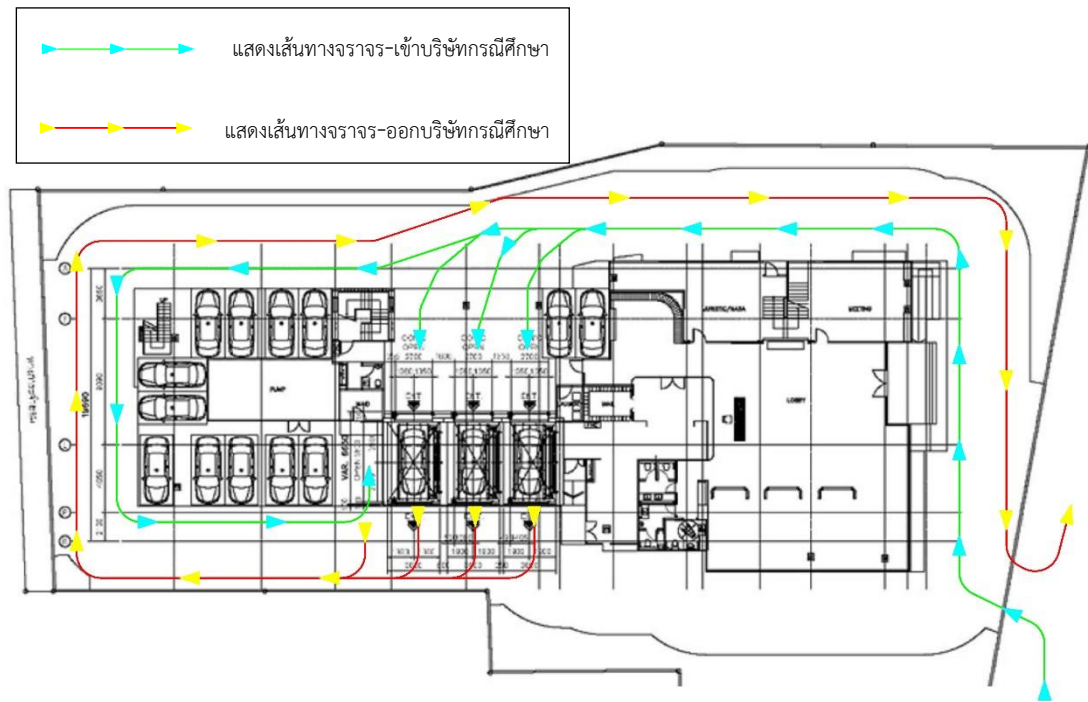
บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้พัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ แห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร เขตพญาไท ประเภทคอนโดมิเนียม อาคารสูง 35 ชั้น มีห้องพักชุดอาศัย 390 ห้อง ขนาดที่ดิน 1 ไร่ 3 งาน 44.9 ตารางวา ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ.2561 ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษานี้สามารถขายห้องพักชุดอาศัยได้ 100% มีที่จอดรถยนต์ทั้งหมด 273 คัน โดยแบ่งเป็นที่จอดรถทั่วไป 13 คัน และที่จอดรถยนต์อัตโนมัติ จำนวน 260 คันภายในระบบจอดรถอัตโนมัติมีจำนวนลิฟต์แนวตั้ง 3 เครื่อง และจำนวนลิฟต์แนวนอน 10 เครื่อง โดยบริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้นำเข้าและติดตั้งให้กับบริษัทกรณีศึกษา

จากที่ข้อมูลปริมาณการเข้า-ออกของบริษัทกรณีศึกษาพบว่าปริมาณการใช้ระบบที่จอดรถอัตโนมัตินั้นมีการใช้งานไม่ถึง 100% ถึงแม้ว่าจะสามารถขายห้องพักชุดอาศัยได้ทั้งหมด เนื่องจากลักษณะของผู้พักอาศัยที่มีการเดินทางสัญจรโดยรถไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ และมีห้องพักบางส่วนที่ยังไม่มีผู้เข้าพักอาศัย

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับที่จอดรถซึ่งสอดคล้องกับการออกแบบ อ้างอิงข้อกำหนดตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544 ข้อ 84 สรุปได้ดังนี้

1. อาคารอยู่อาศัยรวมหรืออาคารชุด (ที่มีพื้นที่ห้องชุดตั้งแต่ 60 ตารางเมตรขึ้นไป) ให้มีที่จอดรถ 1 คัน ต่อ 1 ห้องชุด ซึ่งบริษัทกรณีศึกษานี้มี ขนาดพื้นที่ห้องชุดขนาด 64 ตารางเมตร จำนวน 55 ห้อง ต้องจัดให้มีที่จอดรถ ไม่น้อยกว่า 55 คัน
2. อาคารขนาดใหญ่ ให้มีที่จอดรถ 1 คันต่อพื้นที่อาคาร 120 ตารางเมตร หรือให้มีที่จอดรถตามจำนวนที่กำหนดของแต่ละประเภทของอาคารที่ใช้เป็นที่ประกอบกิจการในอาคารขนาดใหญ่ นั้นรวมกัน ทั้งนี้ ให้ถือที่จอดรถจำนวนที่มากกว่าเป็นเกณฑ์บังคับ ยกเว้นโรงงาน คลังสินค้า ซึ่งบริษัทกรณีศึกษานี้มีพื้นที่อาคาร เท่ากับ 24,677.2 ตารางเมตร ต้องจัดให้มีที่จอดรถไม่น้อยกว่า 206 คัน

การจราจรภายในบริษัทกรณศึกษา ทางเข้าและทางออกของบริษัทกรณศึกษาอยู่ทางด้านหน้า
ของ บริษัทกรณศึกษาผ่านถนนพหลโยธิน เส้นทางจราจรดังรูปที่ 3.1

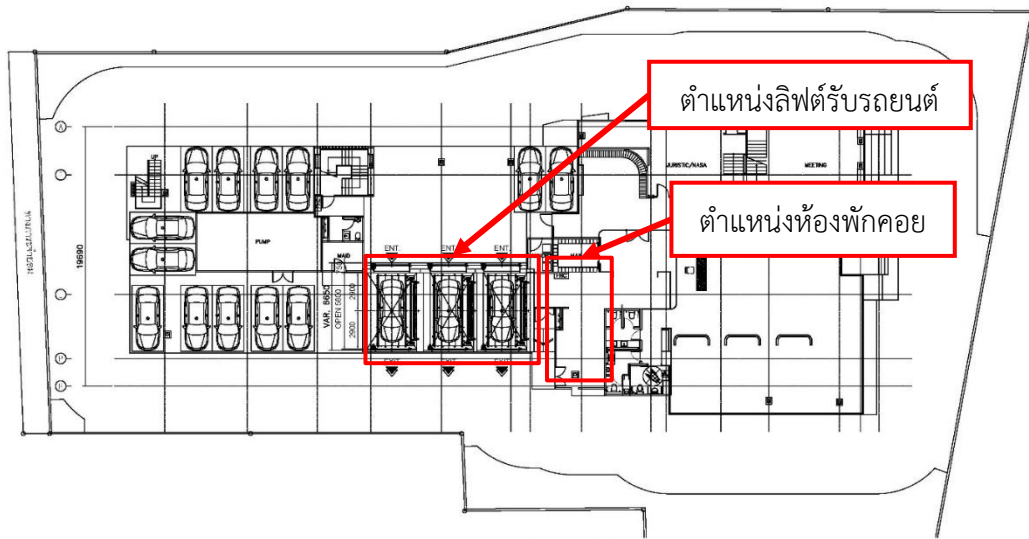


รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงเส้นทางจราจรของบริษัทกรณศึกษา

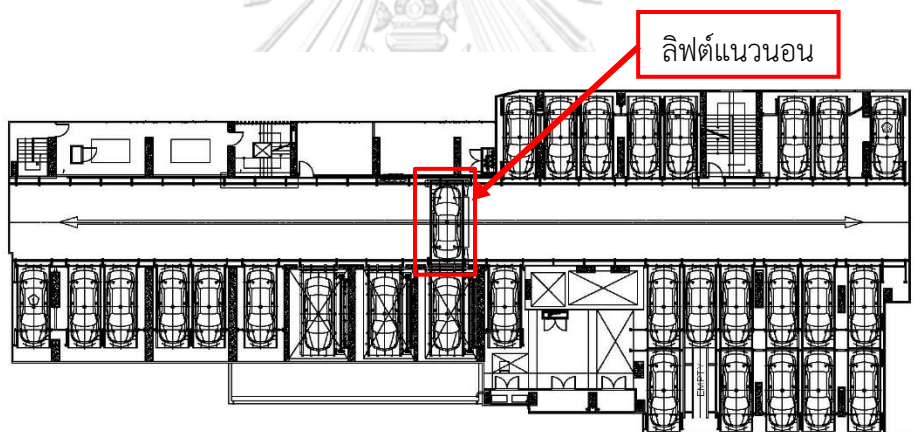
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1 รายละเอียดระบบจอดรถอัตโนมัติของบริษัทกรณศึกษา

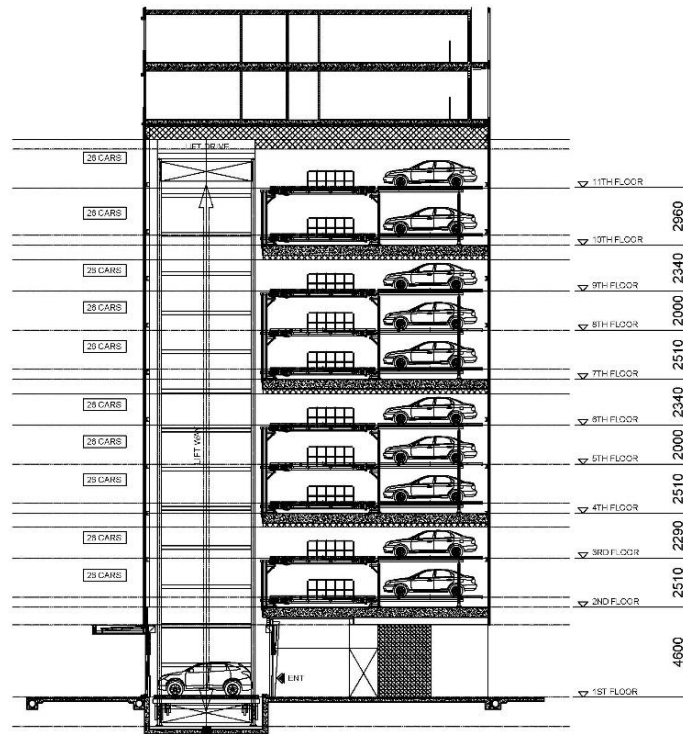
ในการออกแบบระบบจอดรถอัตโนมัติของบริษัทกรณศึกษานั้นได้ออกแบบเป็นระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type) โดยจัดให้มีลิฟต์รับรถที่ชั้น 1 จำนวน 3 ชุด ดังรูปที่ 3.2 และ ลิฟต์แนวนอนที่คอยรับส่งรถในแต่ละชั้น จำนวน 10 เครื่อง จำนวนชั้นจอดรถทั้งหมด 10 ชั้น มีพื้นคอนกรีตในชั้นที่ 2 ,4 ,10 เพื่อรองรับโครงสร้างเหล็กของระบบจอดรถอัตโนมัติ โดยระบบสามารถรองรับการจอดรถยนต์ได้ทั้งหมด 260 คัน ดังรูปที่ 3.3และ รูปที่ 3.4อีกทั้งยังแสดงแบบ 3 มิติระบบจอดรถอัตโนมัติ ของบริษัทกรณศึกษา ดังรูปที่ 3.5



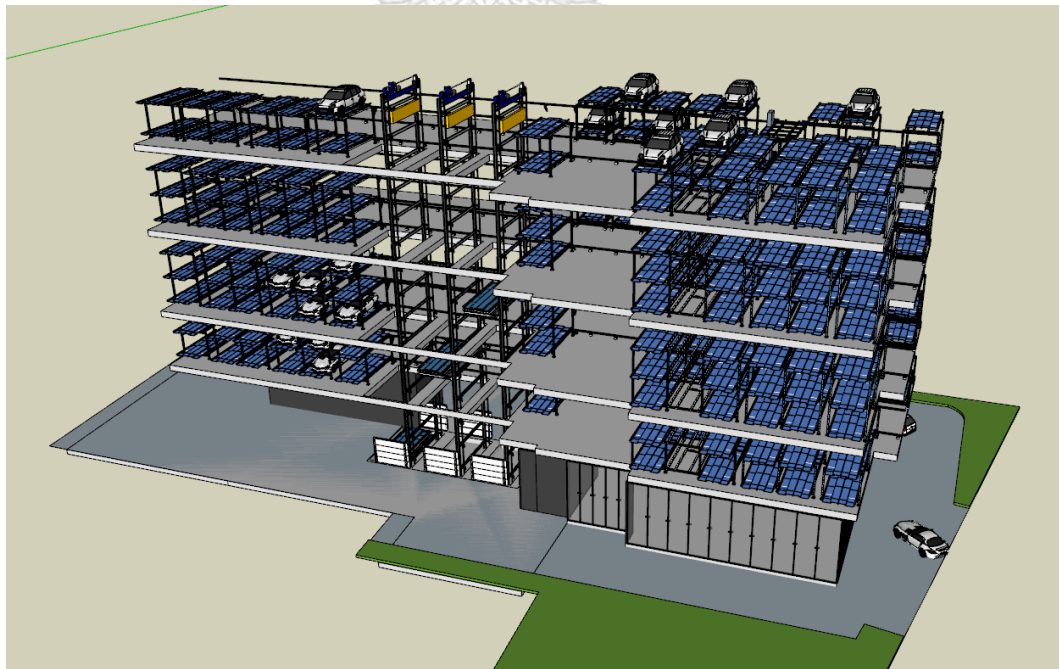
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงตำแหน่งลิฟต์รับรถยนต์ที่ชั้น 1 และห้องพักคอย ของบริษัทกรณีสึกษา



รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงชั้นจอดรถยนต์อัตโนมัติของบริษัทกรณีสึกษา ชั้น 2-11



รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงรูปตัดที่จอดรถยนต์อัตโนมัติของบริษัทกรณิศึกษา



รูปที่ 3.5 รูปสามมิติที่จอดรถยนต์อัตโนมัติของบริษัทกรณิศึกษา

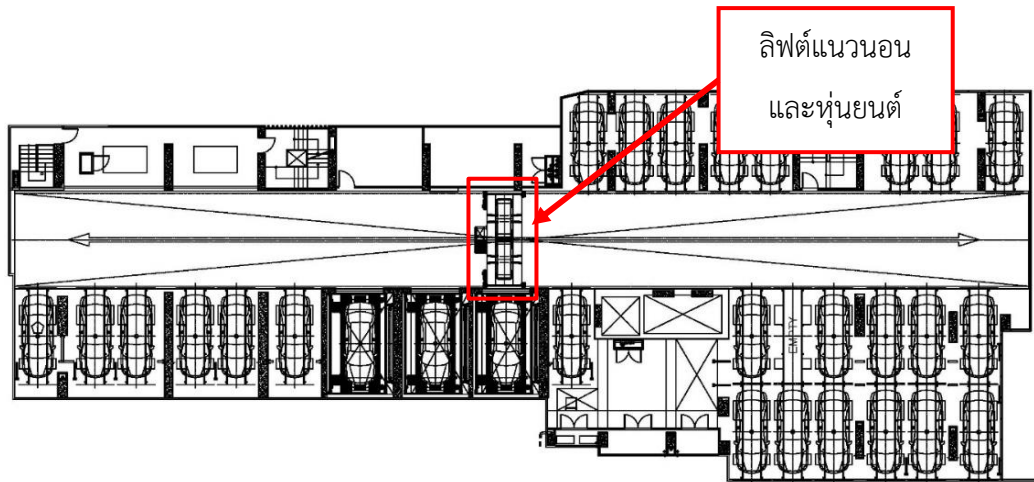
รายละเอียดของอุปกรณ์พื้นฐานระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดกาดมีดังนี้

1. อุปกรณ์แจ้งสัญญาณบริเวณทางเข้าช่องลิฟต์รับรถไปยังระบบจอดรถอัตโนมัติโดยจะมีระบบไฟสัญญาณติดตั้งเหนือบนประตูลิฟต์ โดยประตูลิฟต์จะมีลักษณะเป็นบานเลื่อน
2. เครื่องรับข้อมูลของรถยนต์ จะติดตั้งอยู่บริเวณหน้าลิฟต์รับรถ ซึ่งจะเป็นลักษณะของเซ็นเซอร์จับสัญญาณกับบัตรอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Card) ที่อยู่กับเจ้าของรถ
3. ด้านหน้าและด้านในลิฟต์มีจอแสดงข้อความที่มองเห็นง่าย เพื่อชี้นำทางผู้ขับรถไปบนตำแหน่งรับรถและจอดในตำแหน่งที่ถูกต้อง
4. ภายในลิฟต์รับรถจะมีระบบเซ็นเซอร์ที่ตรวจสอบตำแหน่งและขนาดของรถยนต์โดยมีเครื่องอ่าน และเซ็นเซอร์ชนิดลำแสง (Photo sensor) เพื่อตรวจสอบการจอดรถในตำแหน่งจอดเพื่อความปลอดภัย โดยอุปกรณ์และสัญญาณต่างๆจะบอกตำแหน่งรถที่ถูกต้องให้กับผู้ขับขี่ พร้อมกันนี้ระบบจะแสดงสถานะของรถจากช่องลิฟต์รับรถไปตลอดจนถึงตำแหน่งที่จอด โดยอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ในลิฟต์เพื่อความถูกต้องแม่นยำในการตรวจสอบ การควบคุม และชี้แนะสำหรับผู้ขับรถ มีดังนี้
 - เซ็นเซอร์ชนิดลำแสงที่ติดตั้งไว้เป็นคู่ที่ด้านหน้าและด้านหลังของรถ เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของรถบนถาดรับรถ
 - เซ็นเซอร์ชนิดลำแสงที่ติดตั้งไว้เป็นคู่ที่ด้านข้างของรถ เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของรถบนถาดรับรถ
 - เซ็นเซอร์ชนิดลำแสงที่ติดตั้งไว้ที่ล้อรถคู่หน้า เพื่อตรวจสอบว่ารถจอดในตำแหน่งของล้อรถที่ถูกต้องบนถาดรับรถ
 - เซ็นเซอร์ชนิดลำแสงที่ติดตั้งไว้เพื่อตรวจสอบช่องห่างของรถทั้งด้านข้างและด้านบนว่าอยู่ในตำแหน่งระยะที่ยอมรับได้หรือไม่
5. ถาดรองรับรถ ทำหน้าที่รองรับรถเพื่อเป็นพาหนะในการเคลื่อนย้ายรถยนต์ในระบบจอดรถอัตโนมัติ
6. ลิฟต์รับรถ ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้
 - อินเวอร์เตอร์ (Inverters) ทำหน้าที่ควบคุมลิฟต์ ความเร็วและตำแหน่งของลิฟต์
 - กว้านลิฟต์ (Windlass)
 - ตัวถ่วงน้ำหนัก (Counter weight lift)
 - เซ็นเซอร์ตรวจสอบตำแหน่งของลิฟต์

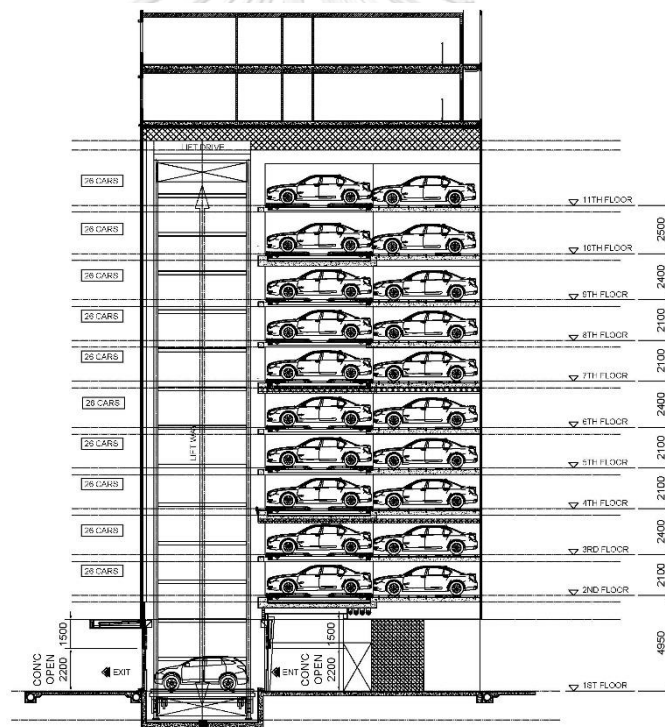
- กลไกในการเคลื่อนย้ายภาตรองรับรถ
7. ลิฟต์แนวนอน ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้
 - อินเวอร์เตอร์ (Inverters) ทำหน้าที่ควบคุมลิฟต์ ความเร็วและตำแหน่งของลิฟต์
 - เซ็นเซอร์ตรวจสอบตำแหน่งของลิฟต์
 - กลไกในการเคลื่อนย้ายภาตรองรับรถ
 8. ประตูอัตโนมัติ ประตูจะทำงานก็ต่อเมื่อมีคำสั่งให้เปิดและปิดโดยระบบควบคุมของระบบจอตารถอัตโนมัติ
 9. ช่องจอตารถ เป็นโครงสร้างเหล็กที่ออกแบบมาเพื่อรองรับภาตรองรับรถ
 10. ระบบควบคุมการทำงาน ควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ และ อุปกรณ์ควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักร (Programmable logic Control)

3.2 รายละเอียดระบบจอตารถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type)

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบ ในด้านประสิทธิภาพและต้นทุนต่างๆ ของระบบจอตารถอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type) และ ชนิดหุ่นยนต์ (Robot type) ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบจอตารถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type) ในบริษัทกรณีศึกษา โดยจัดให้มีลิฟต์รับรถที่ชั้น 1 จำนวน 3 ชุด ในตำแหน่งเดิม ดังรูปที่ 3.2 และ ลิฟต์แนวนอนที่มีหุ่นยนต์ในแต่ละชั้นจำนวน 10 เครื่อง จำนวนชั้นจอตารถทั้งหมด 10 ชั้น โดยมีพื้นคอนกรีตทุกชั้นจากข้อจำกัดของระบบจอตารถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถรองรับการจอตารถยนต์ได้ทั้งหมด 260 คัน ดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงชั้นจอดรถยนต์อัตโนมัติชนิดหุนยนต์ ชั้น 2-11



รูปที่ 3.7 แผนผังแสดงรูปตัดที่จอดรถยนต์อัตโนมัติชนิดหุนยนต์

รายละเอียดของอุปกรณ์พื้นฐานระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์มีดังนี้

1. อุปกรณ์แจ้งสัญญาณบริเวณทางเข้าช่องลิฟต์รับรถไปยังระบบจอดรถอัตโนมัติโดยจะมีระบบไฟสัญญาณติดตั้งเหนือบนประตูลิฟต์ โดยประตูลิฟต์จะมีลักษณะเป็นบานเลื่อน
2. เครื่องรับข้อมูลของรถยนต์ จะติดตั้งอยู่บริเวณหน้าลิฟต์รับรถ ซึ่งจะเป็นลักษณะของเซ็นเซอร์จับสัญญาณกับบัตรอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Card) ที่อยู่กับเจ้าของรถ
3. ด้านหน้าและด้านในลิฟต์มีจอแสดงข้อความที่มองเห็นง่าย เพื่อชี้นำทางผู้ขับรถไปบนตำแหน่งรับรถและจอดในตำแหน่งที่ถูกต้อง
4. ภายในลิฟต์รับรถจะมีระบบเซ็นเซอร์ที่ตรวจสอบตำแหน่งและขนาดของรถยนต์โดยมีเครื่องอ่าน และเซ็นเซอร์ชนิดลำแสง (Photo sensor) เพื่อตรวจสอบการจอดรถในตำแหน่งจอดเพื่อความปลอดภัย โดยอุปกรณ์และสัญญาณต่างๆจะบอกตำแหน่งรถที่ถูกต้องให้กับผู้ขับขี่ พร้อมกันนี้ระบบจะแสดงสถานะของรถจากช่องลิฟต์รับรถไปตลอดจนถึงตำแหน่งที่จอด โดยอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ในลิฟต์เพื่อความถูกต้องแม่นยำในการตรวจสอบ การควบคุม และชี้แนะสำหรับผู้ขับรถ มีดังนี้
 - เซ็นเซอร์ชนิดลำแสงที่ติดตั้งไว้เป็นคู่ที่ด้านหน้าและด้านหลังของรถ เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของรถเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้
 - เซ็นเซอร์ชนิดลำแสงที่ติดตั้งไว้เป็นคู่ที่ด้านข้างของรถ เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของรถเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้
 - เซ็นเซอร์ชนิดลำแสงที่ติดตั้งไว้ที่ล้อรถคู่หน้า เพื่อตรวจสอบว่ารถจอดในตำแหน่งของล้อรถที่ถูกต้องเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้
 - เซ็นเซอร์ชนิดลำแสงที่ติดตั้งไว้เพื่อตรวจสอบช่องห่างของรถทั้งด้านข้างและด้านบนว่าอยู่ในตำแหน่งระยะที่ยอมรับได้หรือไม่
5. ลิฟต์รับรถ ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้
 - อินเวอร์เตอร์ (Inverters) ทำหน้าที่ควบคุมลิฟต์ ความเร็วและตำแหน่งของลิฟต์
 - กว้านลิฟต์ (Windlass)
 - ตัวถ่วงน้ำหนัก (Counter weight lift)
 - เซ็นเซอร์ตรวจสอบตำแหน่งของลิฟต์และหุ่นยนต์
 - รางวิ่งสำหรับหุ่นยนต์
6. ลิฟต์แนวนอน ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

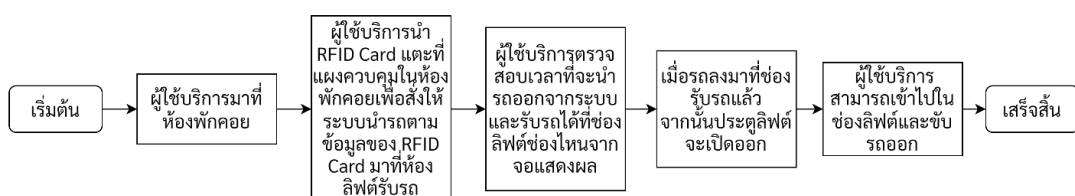
- อินเวอร์เตอร์ (Inverters) ทำหน้าที่ควบคุมลิฟต์ ความเร็วและตำแหน่งของลิฟต์
 - เซ็นเซอร์ตรวจสอบตำแหน่งของลิฟต์
 - รางวิ่งสำหรับหุ่นยนต์
7. ประตูอัตโนมัติ ประตูจะทำงานก็ต่อเมื่อมีคำสั่งให้เปิดและปิดโดยระบบควบคุมของระบบจอตกรถอัตโนมัติ
 8. ช่องจอตกรถ เป็นพื้นคอนกรีตที่ออกแบบมาเพื่อให้มีทางวิ่งสำหรับหุ่นยนต์เพื่อสามารถยก รถไปจอตหรือนำรถออกได้ โดยรถที่ช่องจอตจะวางอยู่บนพื้นคอนกรีตโดยตรง
 9. ระบบควบคุมการทำงาน ควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ และ อุปกรณ์ควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักร (Programmable logic Control)

3.3 กระบวนการให้บริการระบบจอตกรถอัตโนมัติ

กระบวนการให้บริการระบบจอตกรถอัตโนมัติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการนำรถเข้าจอตกรถ ดังรูปที่ 3.8 และกระบวนการนำรถออกจากระบบจอตกรถอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 กระบวนการนำรถเข้าจอตกรถในระบบจอตกรถอัตโนมัติ



รูปที่ 3.9 กระบวนการนำรถออกจากระบบจอตกรถอัตโนมัติ

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 ข้อมูลระยะเวลาการทำงานของระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาด

ข้อมูลระยะเวลาขั้นตอนการทำงานของระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาดสามารถหาได้จากข้อมูลทางเทคนิคของระบบและระยะทางในการเคลื่อนที่ในระบบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลระยะเวลาทำงานของระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาดในแต่ละขั้นตอน

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	ความเร็ว (มิลลิเมตร ต่อวินาที) V	เวลาเร่ง ความเร็ว (วินาที) t_a	เวลาลด ความเร็ว (วินาที) t_d	ระยะเวลาใน การทำงาน (วินาที) T
ลิฟต์แนวตั้ง	แนวตั้ง	1022.17	3	5	A
	กลไกเลื่อนถาดไปที่ ลิฟต์แนวนอน	636.67	3	3	12.34
	เวลาล่าช้า	-	-	-	1
ลิฟต์แนวนอน	แนวนอน	1120.00	3	1.5	B
	กลไกเลื่อนถาดไปที่ ลิฟต์แนวตั้งหรือ ช่องจอด	636.67	3	3	11.62
	กลไกการดึงถาด	-	-	-	3
	เวลาล่าช้า	-	-	-	1
ประตู	เปิด	-	-	-	8
	ปิด	-	-	-	8

หมายเหตุ เวลาล่าช้าเป็นข้อมูลจากข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ และอักษร A B คำนวณได้จากสมการ (3.1) และ (3.2)

การหาระยะเวลาในการทำงานของ A, B สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.1) และ (3.2)

$$t_m = \frac{\left[S - \frac{v}{2}(t_a + t_d) \right]}{v} \quad (3.1)$$

$$T = \begin{cases} t_a + t_m + t_d & , t_m \geq 0 \\ \sqrt{\frac{2St_a^2}{v(t_a + t_d)}} + \sqrt{\frac{2St_d^2}{v(t_a + t_d)}} & , t_m \leq 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

โดยที่ T = ระยะเวลาในการทำงาน A, B (วินาที)

t_m = เวลาในช่วงความเร็วคงที่ (วินาที)

t_a = เวลาเร่งความเร็ว (วินาที)

t_d = เวลาลดความเร็ว (วินาที)

v = ความเร็ว (มิลลิเมตรต่อวินาที)

S = ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร (มิลลิเมตร)

ข้อมูลระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร

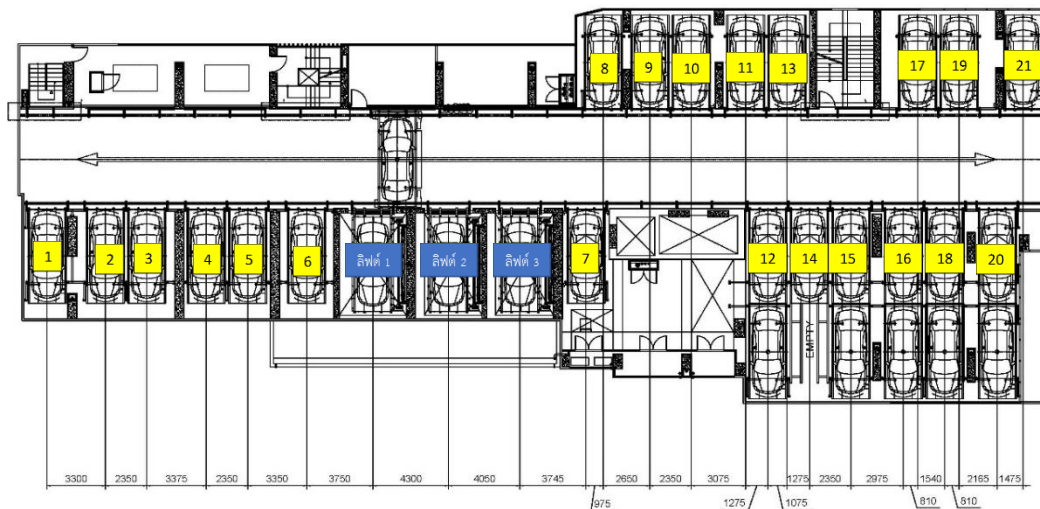
1. ลีฟต์แนวตั้ง การหาระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งไปในแต่ละชั้นสามารถหาได้จาก รูปที่ 3.4 และแสดงข้อมูลระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลระยะทางของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งระบบชนิดถาด

จาก	ถึง	ระยะทาง (มิลลิเมตร)
ชั้น 1	ชั้น 2	4,600
ชั้น 2	ชั้น 3	2,510
ชั้น 3	ชั้น 4	2,290
ชั้น 4	ชั้น 5	2,510
ชั้น 5	ชั้น 6	2,000
ชั้น 6	ชั้น 7	2,340
ชั้น 7	ชั้น 8	2,510
ชั้น 8	ชั้น 9	2,000
ชั้น 9	ชั้น 10	2,340
ชั้น 10	ชั้น 11	2,960

2. ลิฟต์แนวนอน ในการหาระยะการเคลื่อนที่ในแนวจะกำหนดตำแหน่งในการเคลื่อนที่ไว้ ดังรูปที่ 3.10 และแสดงข้อมูลระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ดังตารางที่

3.3



รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงตำแหน่งการหาระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวนอนระบบชนิดถาด

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลระยะทางของการเคลื่อนที่ในแนวนอนระบบชนิดถาด

จาก	ถึง	ระยะทาง (มิลลิเมตร)	จาก	ถึง	ระยะทาง (มิลลิเมตร)
1	2	3,300	10	11	3,075
2	3	2,350	11	12	1,275
3	4	3,375	12	13	1,075
4	5	2,350	13	14	1,275
5	6	3,350	14	15	2,350
6	ลิฟต์ 1	3,750	15	16	2,975
ลิฟต์ 1	ลิฟต์ 2	4,300	16	17	810
ลิฟต์ 2	ลิฟต์ 3	4,050	17	18	1,540
ลิฟต์ 3	7	3,745	18	19	810
7	8	975	19	20	2,165
8	9	2,650	20	21	1,475
9	10	2,350			

3.4.2 ข้อมูลระยะเวลาการทำงานของระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

ข้อมูลระยะเวลาดำเนินการของระบบจอตrolleyอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์สามารถหาได้จากข้อมูลทางเทคนิคของระบบและระยะทางในการเคลื่อนที่ในระบบ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลระยะเวลาทำงานของระบบจอตลอดโนมิติชนิดหุ่นยนต์ในแต่ละขั้นตอน

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	ความเร็ว (มิลลิเมตร ต่อวินาที) v	เวลาเร่ง ความเร็ว (วินาที) t_a	เวลาลด ความเร็ว (วินาที) t_d	ระยะเวลาใน การทำงาน (วินาที) T
ลิฟต์แนวตั้ง	แนวตั้ง	1008.33	3	5	A
	เวลาล่าช้า	-	-	-	1
ลิฟต์แนวนอน	แนวนอน	1011.67	3	1.5	B
	เวลาล่าช้า	-	-	-	1
หุ่นยนต์	เคลื่อนที่ไปที่ลิฟต์ แนวตั้ง				11.92
	เคลื่อนที่ไปที่ลิฟต์ ช่องจอด แถว 1	666.67	3	3	11.29
	เคลื่อนที่ไปที่ลิฟต์ ช่องจอด แถว 2				19.49
	ยกกรถ	-	-	-	8
	วางรถ	-	-	-	8
	เวลาล่าช้า	-	-	-	1
ประตู	เปิด	-	-	-	8
	ปิด	-	-	-	8

หมายเหตุ เวลาล่าช้าเป็นข้อมูลจากข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ และระยะเวลา A B
คำนวณได้จากสมการ (3.1) และ (3.2)

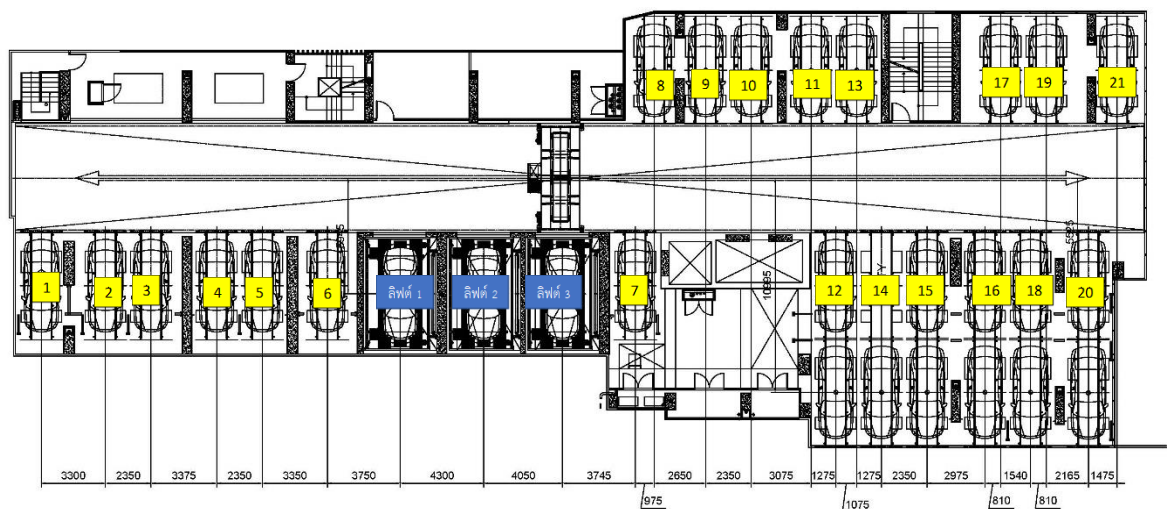
ข้อมูลระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร

1. ลิฟต์แนวตั้ง การหาระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งไปในแต่ละชั้นสามารถหาได้จาก
รูปที่ 3.7 และแสดงข้อมูลระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลระยะทางของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งระบบชนิดหุ่นยนต์

จาก	ถึง	ระยะทาง (มิลลิเมตร)
ชั้น 1	ชั้น 2	4,950
ชั้น 2	ชั้น 3	2,100
ชั้น 3	ชั้น 4	2,400
ชั้น 4	ชั้น 5	2,100
ชั้น 5	ชั้น 6	2,100
ชั้น 6	ชั้น 7	2,400
ชั้น 7	ชั้น 8	2,100
ชั้น 8	ชั้น 9	2,100
ชั้น 9	ชั้น 10	2,400
ชั้น 10	ชั้น 11	2,500

2. ลิฟต์แนวนอน ในการหาระยะการเคลื่อนที่ในแนวจะกำหนดตำแหน่งในการเคลื่อนที่ไว้ ดังรูปที่ 3.11 และแสดงข้อมูลระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ดังตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.11 แผนผังแสดงตำแหน่งการหาระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวนอนระบบชนิดหุ่นยนต์

ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลระยะทางของการเคลื่อนที่ในแนวนอนระบบชนิดหุ่นยนต์

จาก	ถึง	ระยะทาง (มิลลิเมตร)	จาก	ถึง	ระยะทาง (มิลลิเมตร)
1	2	3,300	10	11	3,075
2	3	2,350	11	12	1,275
3	4	3,375	12	13	1,075
4	5	2,350	13	14	1,275
5	6	3,350	14	15	2,350
6	ลิฟต์ 1	3,750	15	16	2,975
ลิฟต์ 1	ลิฟต์ 2	4,300	16	17	810
ลิฟต์ 2	ลิฟต์ 3	4,050	17	18	1,540
ลิฟต์ 3	7	3,745	18	19	810
7	8	975	19	20	2,165
8	9	2,650	20	21	1,475
9	10	2,350			

3.4.3 ข้อมูลปริมาณการใช้ระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทการศึกษา

ข้อมูลปริมาณรถที่เข้า-ออกระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทการศึกษา ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2564 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2564 (3 เดือน) จากการสัมภาษณ์พนักงานดูแลบริษัทการศึกษาพบว่า ปริมาณรถที่เข้า-ออกระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทการศึกษา ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเวลา 6.00-19.00 ผู้วิจัยจึงได้ให้สมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูล อยู่ในช่วง 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงอัตราการเข้าและออก ของปริมาณการใช้ระบบจอดรถอัตโนมัติของบริษัท
กรณีศึกษา

เดือน	ปริมาณรถที่เข้า-ออกระบบจอดรถอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา	คันต่อเดือน	คันต่อวัน	คันต่อชั่วโมง
ต.ค. 64	เข้าจอดในระบบ	3,371	3,371/31	13.59
	ออกจากระบบ	3,560	3,560/31	14.35
พ.ย. 64	เข้าจอดในระบบ	2,651	2,651/30	11.04
	ออกจากระบบ	2,818	2,818/30	11.74
ธ.ค. 64	เข้าจอดในระบบ	3,278	3,278/31	13.22
	ออกจากระบบ	3,266	3,266/31	13.17

จากตารางที่ 3.7 จะเห็นว่า ปริมาณรถเข้าจอดในระบบอยู่ในช่วง 11.04 – 13.59 คันต่อชั่วโมง จากนั้นนำปริมาณรถเข้าจอดในระบบหน่วยคันต่อชั่วโมงทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในแบบจำลองโดยจะเท่ากับ 12.62 คันต่อชั่วโมง และปริมาณรถออกจากระบบอยู่ในช่วง 11.74 – 14.35 คันต่อชั่วโมง จากนั้นนำปริมาณรถออกจากระบบหน่วยคันต่อชั่วโมงทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในแบบจำลองโดยจะเท่ากับ 13.09 คันต่อชั่วโมง

3.4.4 ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบจอดรถอัตโนมัติ

1. ข้อมูลแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดภาค
ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบจอตรถอัตโนมัติชนิดถาด

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	จำนวน อุปกรณ์	ระยะเวลาใน การทำงาน (วินาที)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้า ต่อ 1 รอบการ เคลื่อนที่ (หน่วย/รอบ)
ลิฟต์แนวตั้ง	แนวตั้ง	22	1	A	22(A)/3600
	กลไกเลื่อนถาด ไปที่ลิฟต์ แนวนอน	1.5	1	12.34	18.51/3600
ลิฟต์แนวนอน	แนวนอน	1.5	2	B	3(B)/3600
	กลไกเลื่อนถาด ไปที่ลิฟต์แนวตั้ง หรือช่องจอด	2.2	1	11.62	25.56/3600
	กลไกการดึงถาด	0.75	2	3	4.5/3600
ประตู	เปิด	0.2	1	8	1.6/3600
	ปิด	0.2	1	8	1.6/3600

2. ข้อมูลแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ในระบบจอตรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ ดังตารางที่ 3.9

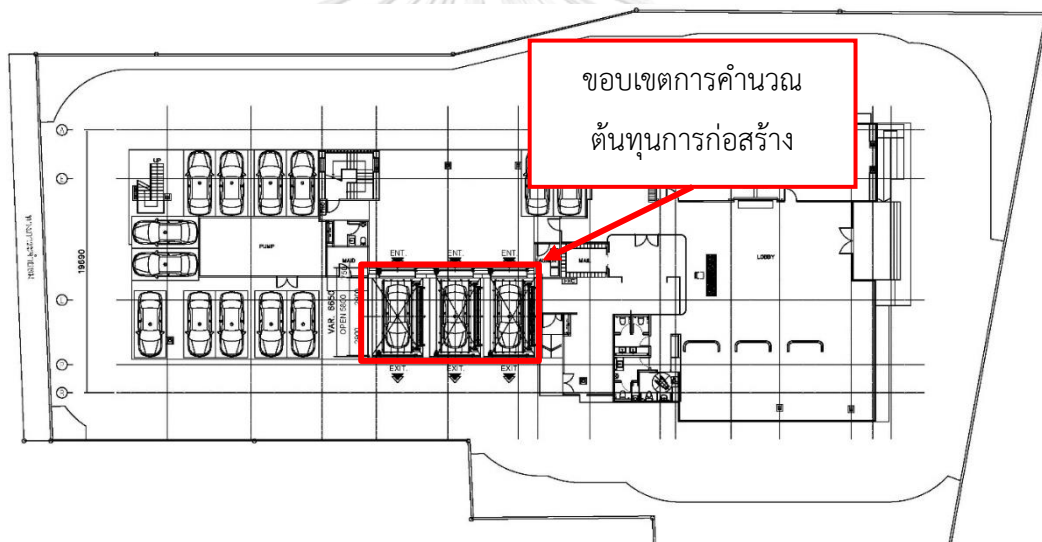
ตารางที่ 3.9 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	จำนวน อุปกรณ์	ระยะเวลา ในการ ทำงาน (วินาที)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้า ต่อ 1 รอบการ เคลื่อนที่ (หน่วย/รอบ)
ลิฟต์แนวตั้ง	แนวตั้ง	22	1	A	22(A)/3600
ลิฟต์ แนวนอน	แนวนอน	1.5	2	B	3(B)/3600
หุ่นยนต์	เคลื่อนที่ไปที่ลิฟต์ แนวตั้ง	0.75	2	11.92	17.88/3600
	เคลื่อนที่ไปที่ลิฟต์ ช่องจอด แถว 1			11.29	16.94/3600
	เคลื่อนที่ไปที่ลิฟต์ ช่องจอด แถว 2			19.49	29.23/3600
	ยกรถ	0.75	2	8	12/3600
	วางรถ	0.75	2	8	12/3600
ประตู	เปิด	0.2	1	8	1.6/3600
	ปิด	0.2	1	8	1.6/3600

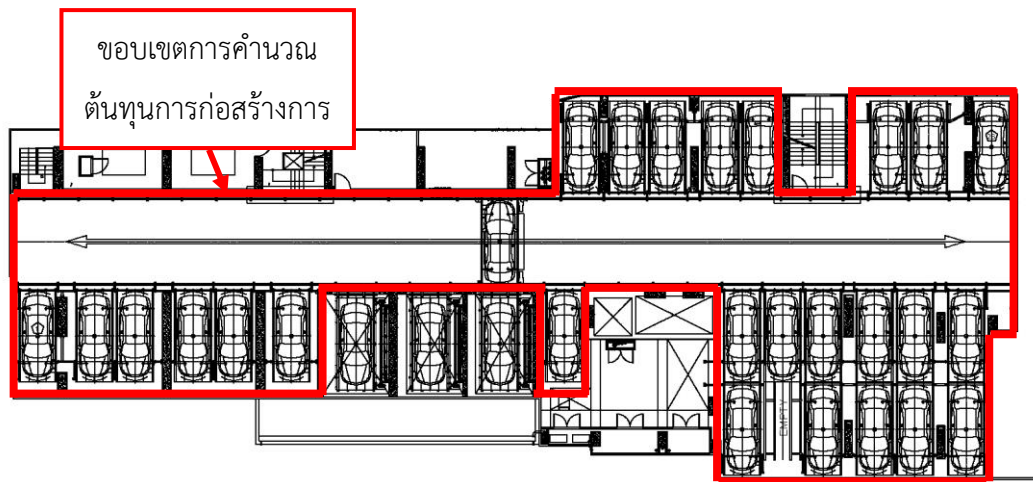
จากตารางที่ 3.8 และตารางที่ 3.9 สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยรวมได้
จากแบบจำลองโดยคำนวณจากระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของแต่ละอุปกรณ์

3.4.5 ข้อมูลต้นทุนระบบจอตลอดอัตโนมัติและการก่อสร้าง

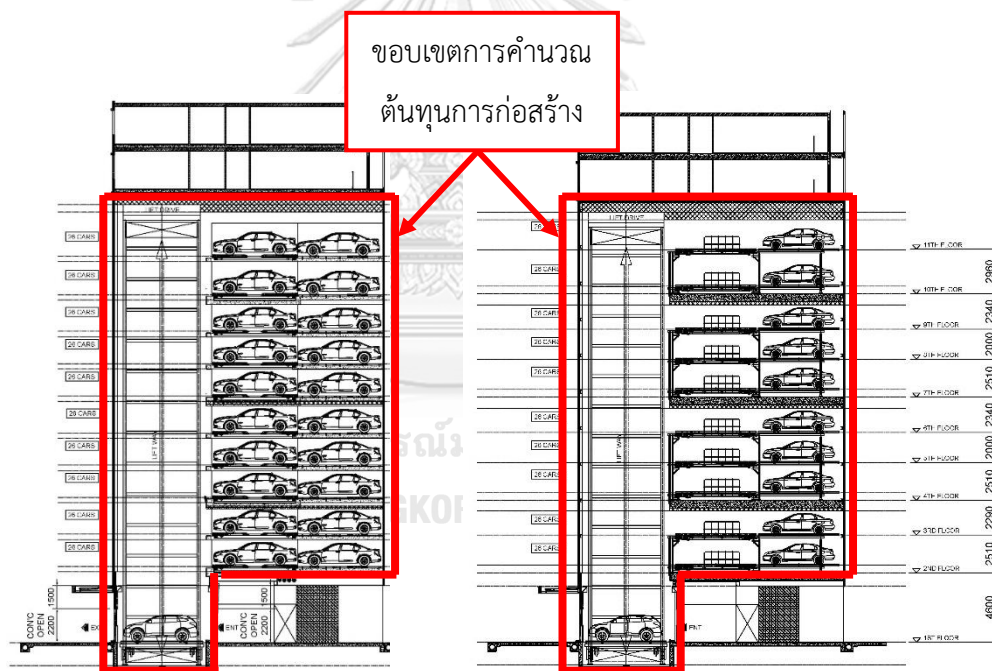
ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบในด้านต้นทุนของระบบจอตลอดอัตโนมัติและการก่อสร้างระหว่างระบบ 2 ชนิด ซึ่งต้นทุนด้านการก่อสร้างที่จะนำมาศึกษานั้นคำนวณเฉพาะในส่วน
ของระบบจอตลอดอัตโนมัติ โดยชั้น 1 คำนวณเฉพาะปล่องลิฟต์ ดังรูปที่ 3.12 ในชั้นจอตลอด ดังรูปที่
3.13 และรูปตัด ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งเป็นเพียงการประเมินคร่าวๆจากปริมาณพื้นที่ของคอนกรีตที่ใช้ ซึ่ง
ในความจริงอาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อต้นทุนด้านการก่อสร้าง โดยจะอ้างอิงจากราคาประเมินของค่า
ก่อสร้าง ประเภท อาคารจอตลอดส่วนบนดิน ราคาเฉลี่ย 11,600.00 บาทต่อตารางเมตร ข้อมูลจาก:
(มูลนิธิประเมินค่า-นายหน้าแห่งประเทศไทย, 2565) โดยข้อมูลต้นทุนของระบบจอตลอดอัตโนมัติและ
การก่อสร้าง สรุปไว้ดังตารางที่ 3.10 และ ตารางที่ 3.11



รูปที่ 3.12 แผนผังแสดงขอบเขตการคิดต้นทุนการก่อสร้างของระบบจอตลอดอัตโนมัติ ชั้น 1



รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงขอบเขตการคิดต้นทุนการก่อสร้างของระบบจอดรถอัตโนมัติ ชั้นจอดรถ



รูปที่ 3.14 รูปตัดแสดงขอบเขตการคิดต้นทุนการก่อสร้างของระบบจอดรถอัตโนมัติ

ตารางที่ 3.10 แสดงข้อมูลต้นทุนระบบจอดรถอัตโนมัติและการก่อสร้างของชนิดถาด

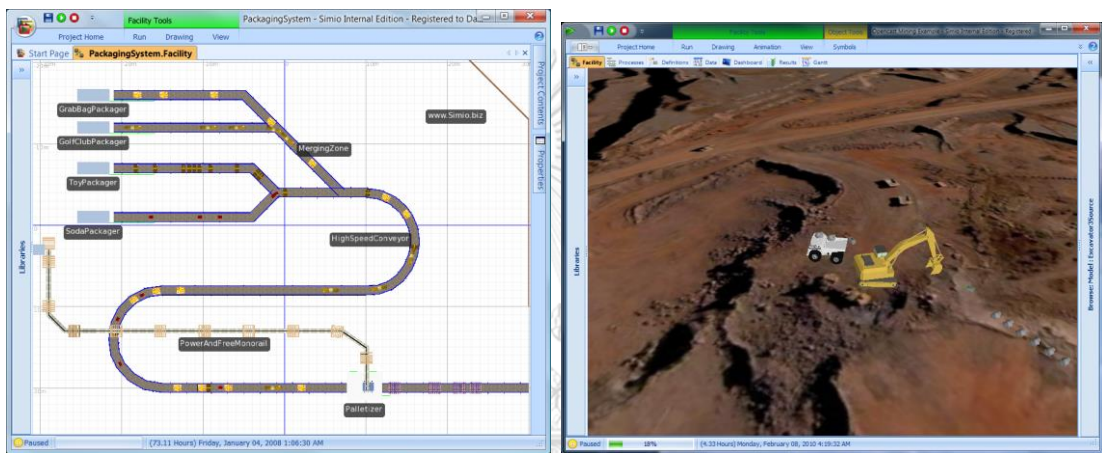
รายการ	หน่วย	จำนวน	ต้นทุนต่อหน่วย เฉลี่ย (บาท)	ต้นทุนรวมเฉลี่ย (บาท)	
ลิฟต์แนวตั้ง	เครื่อง	3	7,250,000	21,750,000	
ลิฟต์แนวนอน	เครื่อง	10	3,660,000	36,600,000	
ถาดรับรถ	ถาด	250	30,800	7,700,000	
โครงสร้างช่องจอด	ช่องจอด	260	80,900	21,034,000	
ก่อสร้าง อาคาร	ชั้น 1	ตร.ม.	72.9	11,600	845,640
	ชั้นจอดรถ พื้นหนา 500 มม.	ตร.ม.	3,106.71	23,200	72,075,672
รวม				160,005,312	

ตารางที่ 3.11 แสดงข้อมูลต้นทุนระบบจอดรถอัตโนมัติและการก่อสร้างของชนิดหุ่นยนต์

รายการ	หน่วย	จำนวน	ต้นทุนต่อหน่วย เฉลี่ย (บาท)	ต้นทุนรวมเฉลี่ย (บาท)	
ลิฟต์แนวตั้ง	เครื่อง	3	7,500,000	22,500,000	
ลิฟต์แนวนอน	เครื่อง	10	4,000,000	40,000,000	
หุ่นยนต์	เครื่อง	10	2,000,000	20,000,000	
โครงสร้างช่องจอด	ช่องจอด	160	15,000	2,400,000	
ก่อสร้าง อาคาร	ชั้น 1	ตร.ม.	72.90	11,600	845,640
	ชั้นจอดรถ พื้นหนา 250 มม.	ตร.ม.	5,905.3 6	11,600	68,502,176
รวม				154,247,816	

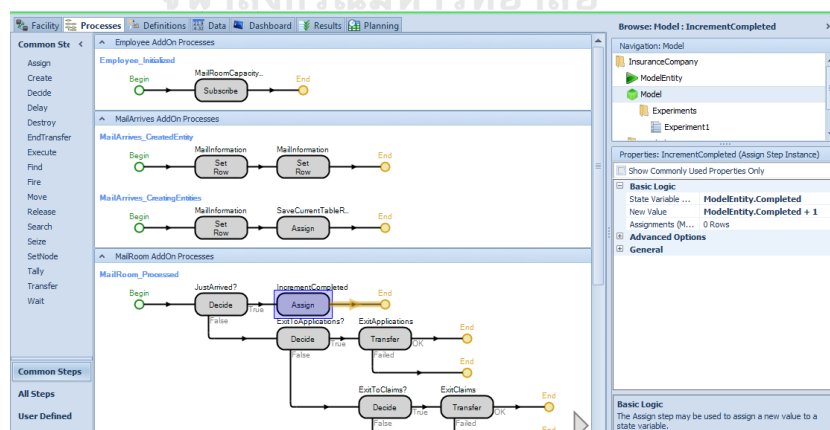
3.5 โปรแกรม SIMIO

Houck & Whitehead (2019) โปรแกรม SIMIO สามารถลดความซับซ้อนของการสร้างแบบจำลองเดิม ที่เป็นการจำลองแบบ 2 มิติ พัฒนาเป็นการจำลองแบบ 3 มิติ อีกทั้งยังสามารถสร้างแบบจำลองในหลายรูปแบบร่วมกันได้ เช่น เหตุการณ์ กระบวนการ ตามวัตถุประสงค์ การวางแผนความเสี่ยง และการจัดตารางต่างๆ ดังรูปที่ 3.15 อีกทั้งยังสามารถกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการต่างๆในแบบจำลอง ยกตัวอย่าง หากทำกระบวนการ A แล้วต้องทำกระบวนการ B ต่อไป หรือ หากยังไม่ผ่านกระบวนการ A ห้ามทำกระบวนการ B เป็นต้น ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 การสร้างแบบจำลอง 2 มิติ และแสดงเป็น 3 มิติ

(Houck & Whitehead, 2019)

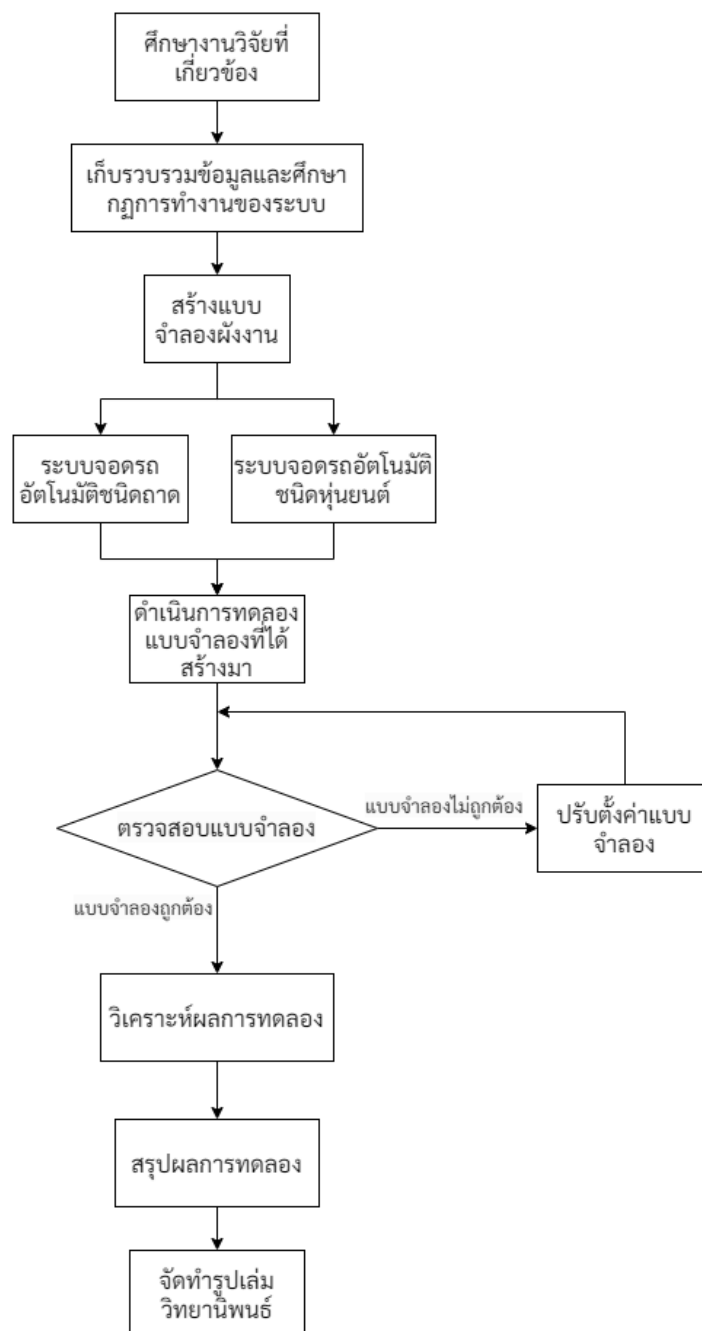


รูปที่ 3.16 การกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการภายในแบบจำลอง

(Houck & Whitehead, 2019)

3.6 กระบวนการสร้างแบบจำลองปัญหา (Simulation process)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นในการสร้างแบบจำลองระบบจอดรถอัตโนมัติ ชนิดถาดแบบปัจจุบัน และชนิดหุ่นยนต์แบบใหม่ ด้วยโปรแกรม SIMIO จากข้อมูลการทำงานของระบบจอดรถอัตโนมัติและข้อมูลปริมาณจราจรย้อนหลัง โดยแสดงภาพรวมขั้นตอนการดำเนินการศึกษา ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัยและสร้างแบบจำลอง

บทที่ 4

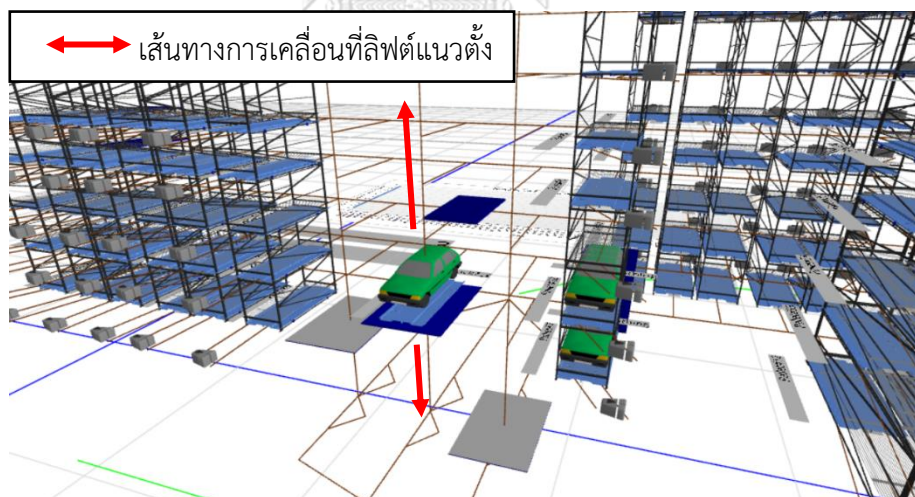
การสร้างแบบจำลองปัญหา

หลังจากทำการศึกษาระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา กระบวนการให้บริการระบบจอตลอดอัตโนมัติ และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์แล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการสร้างแบบจำลองปัญหาจากข้อมูลที่รวบรวม เพื่อจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา โดยในบทนี้จะอธิบายถึงการสร้างแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type) และชนิดหุ่นยนต์ (Robot type) ด้วยโปรแกรม SIMIO มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบจอตลอดอัตโนมัติของทั้ง 2 ชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

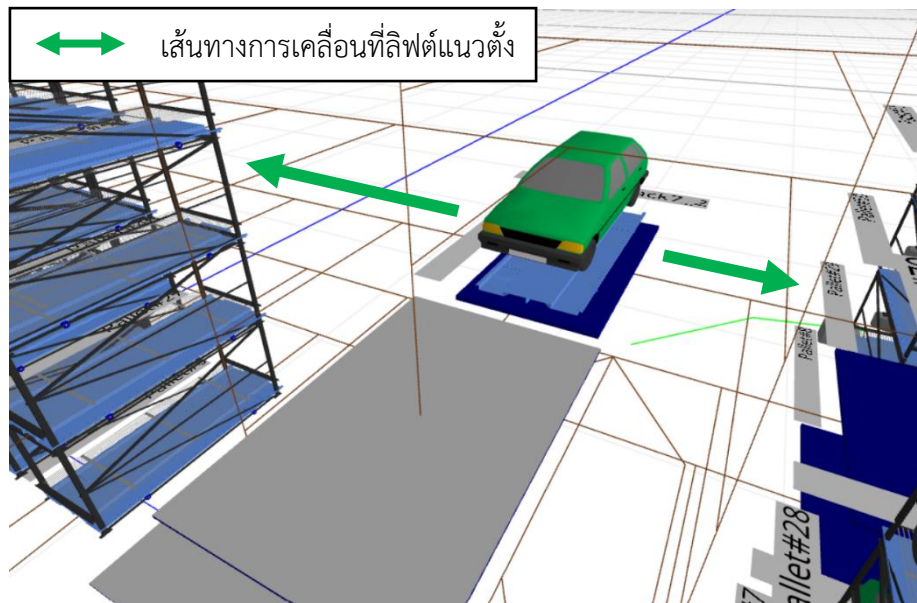
4.1 การออกแบบหลักการทำงานของแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติ

4.1.1 การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายรถภายในระบบจอตลอดอัตโนมัติ

ในการเคลื่อนย้ายรถของระบบจอตลอดอัตโนมัติจะมีการเคลื่อนย้ายโดยลิฟต์แนวตั้งและลิฟต์แนวนอน เพื่อนำรถไปจัดเก็บหรือนำออกจากระบบ ซึ่งในแบบจำลองได้สร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์ทั้งในแนวตั้งและแนวนอนและนำข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์แต่ละตัวรวมไปถึงระยะทางในการเคลื่อนที่มาใช้ในแบบจำลอง ดังรูปที่ 4.1



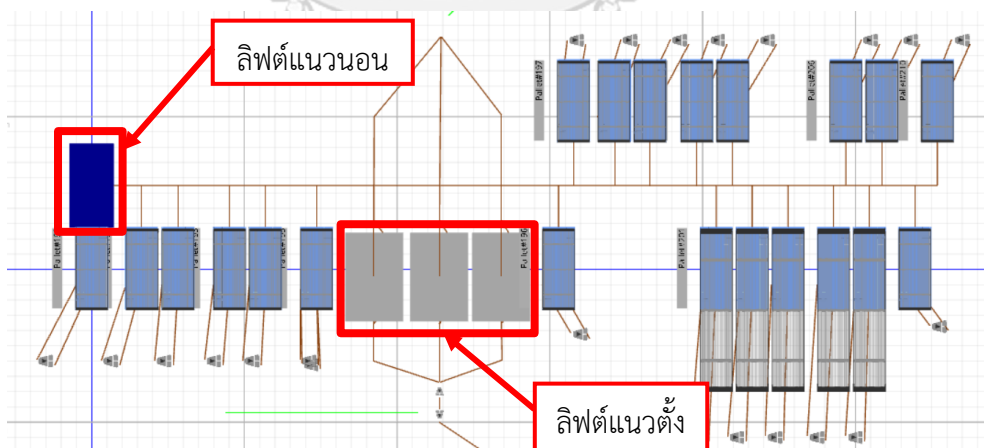
รูปที่ 4.1 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์แนวตั้ง



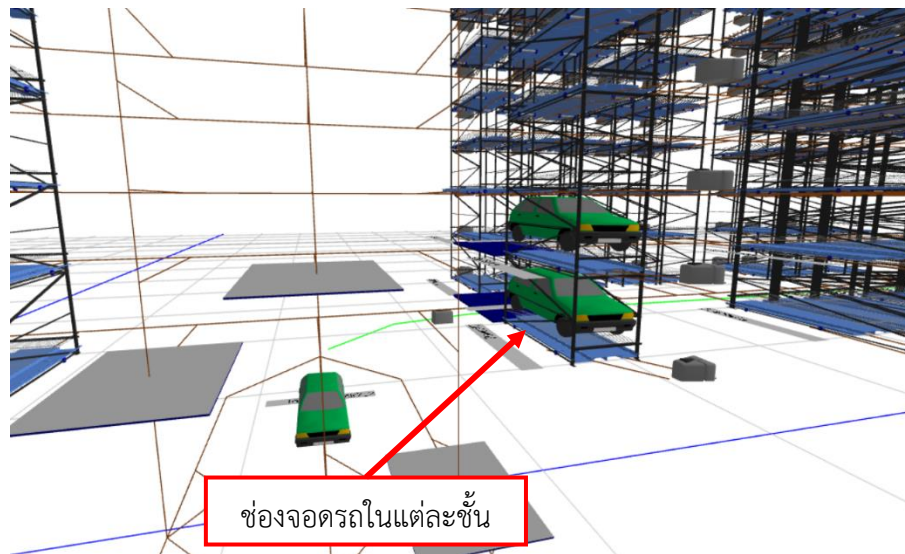
รูปที่ 4.2 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์แนวนอน

4.1.2 การวางตำแหน่งต่างๆภายในระบบจอดรถอัตโนมัติ

ในการกำหนดตำแหน่งของวัตถุต่างๆไม่ว่าจะเป็นลิฟต์แนวตั้ง ลิฟต์แนวนอน และช่องจอดรถ จะสามารถกำหนดได้ตามระยะและความสูงจากแผนผังของบริษัทการศึกษา ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 การวางตำแหน่งลิฟต์แนวตั้งและลิฟต์แนวนอนในแบบจำลอง

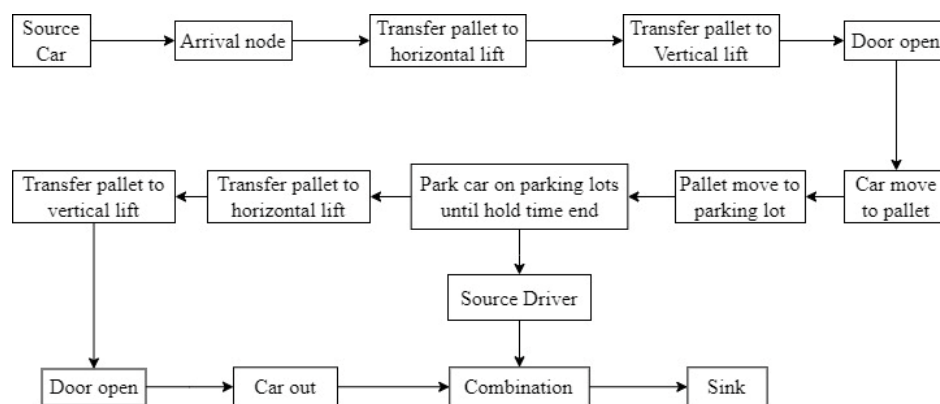


รูปที่ 4.4 การวางตำแหน่งช่องจอดแต่ละชั้นในแบบจำลอง

4.1.3 การทำงานของระบบจอดรถอัตโนมัติภายในแบบจำลอง

1. ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type)

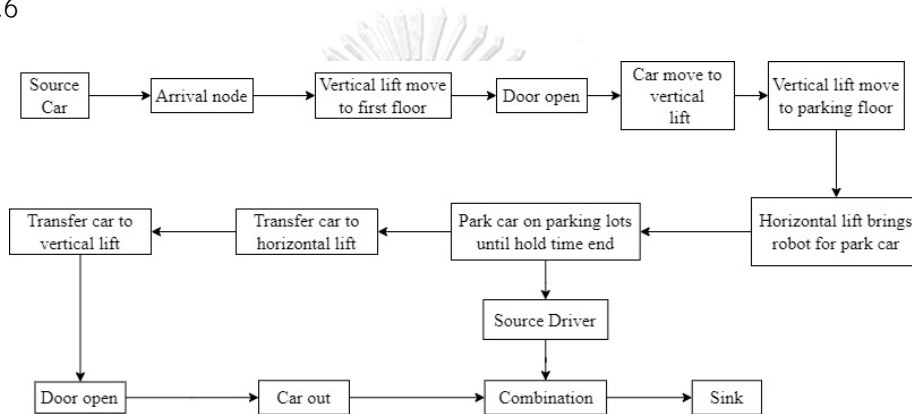
ในการทำงานของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาดนั้นเมื่อรถมาถึงที่ด้านหน้าของห้องลิฟต์ ระบบจะมีการส่งสัญญาณว่ามีรถที่ต้องการที่จะเข้าจอดโดยระบบเรียกถาดจากที่ช่องจอดรถลงมาเพื่อรับรถ ซึ่งลิฟต์แนวนอนจะเคลื่อนที่ไปรับถาดหลังจากนั้นส่งต่อมายังลิฟต์แนวตั้งและประตูเปิด เมื่อเสร็จสิ้นรถจะสามารถเข้าจอดในห้องลิฟต์ได้ ในส่วนของการทำงานเมื่อมีรถออกจากระบบ เมื่อระบบมีรถต้องการออกจากระบบจะมีผู้ขับขีมาออรับรถในขณะเดียวกันระบบจะนำถาดพร้อมกับรถที่ต้องการนำออกจากระบบผ่านลิฟต์แนวนอนและส่งมายังลิฟต์แนวตั้งเมื่อรถออกจากห้องลิฟต์แล้วเรียบร้อยแล้วระบบจะนำถาดไปเก็บที่ตำแหน่งเดิม ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การออกแบบการทำงานระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type)

2. ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type)

ในการทำงานของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์เมื่อรถมาถึงที่ด้านหน้าของห้องลิฟต์ ระบบจะมีการส่งสัญญาณว่ามีรถต้องการที่จะเข้าจอดโดยลิฟต์แนวตั้งจะมารอรับรถ หลังจากนั้นประตูจะเปิด เมื่อรถเคลื่อนที่เข้าไปในลิฟต์แนวตั้งแล้วจะถูกส่งไปยังชั้นจอดรถต่างๆโดยลิฟต์แนวนอน จะนำหุ่นยนต์มารับรถที่ลิฟต์แนวตั้งและนำไปส่งที่ช่องจอดรถ ในส่วนของการทำงานเมื่อมีรถออกจากระบบเมื่อระบบมีรถต้องการออกจากระบบจะมีผู้ขับขี่มารอรับรถ ในขณะเดียวกันลิฟต์แนวนอนจะนำหุ่นยนต์มารับรถและนำไปส่งที่ลิฟต์แนวตั้ง และสุดท้ายรถออกจากห้องลิฟต์จึงเสร็จสิ้นการทำงาน ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การออกแบบการทำงานระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type)

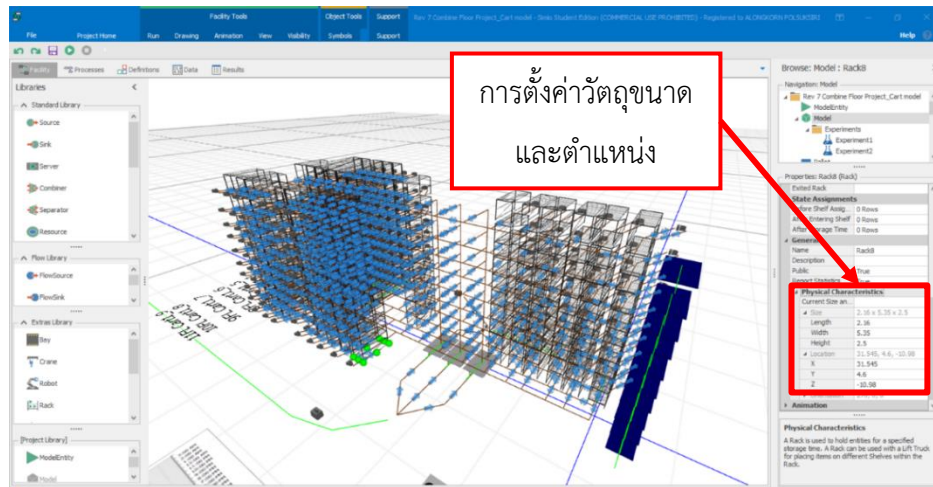
4.1.4 การสร้างแบบจำลองของระบบจอดรถอัตโนมัติ

เมื่อได้ทำการออกแบบระบบจอดรถอัตโนมัติของทั้งระบบภาคและระบบหุ่นยนต์เรียบร้อยแล้ว ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการนำข้อมูลที่ได้รวบรวมไว้มาสร้างแบบจำลองบนโปรแกรม SIMIO สำหรับการทดสอบค่าต่างๆ

1. การสร้างและกำหนดตำแหน่งวัตถุบนแบบจำลอง

สำหรับการสร้างวัตถุจะสร้างให้ขนาดเท่ากับขนาดจริง ไม่ว่าจะเป็น ลิฟต์แนวตั้ง ลิฟต์แนวนอน ช่องจอดรถ ผู้ขับขี่ และ รถยนต์ที่ใช้บริการ ในส่วนการกำหนดตำแหน่งของวัตถุจะกำหนดตามตำแหน่งจริงโดยกำหนดเป็นแกน X Y Z ดังรูปที่

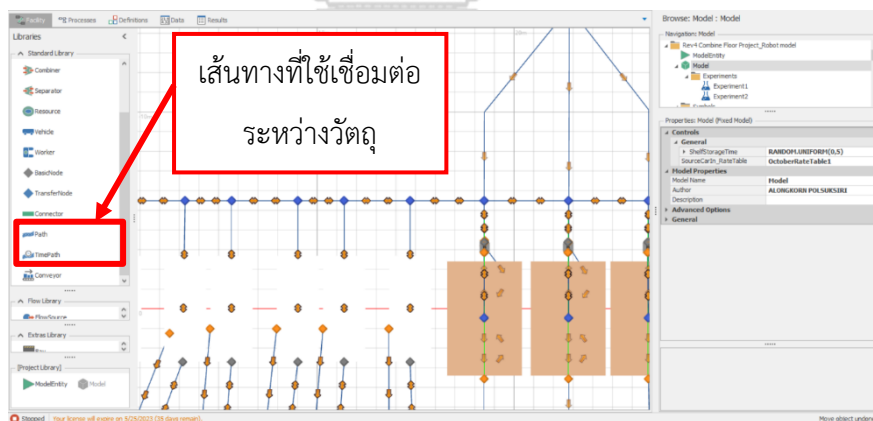
4.7



รูปที่ 4.7 การสร้างและวางตำแหน่งวัสดุแบบจำลอง

2. การเชื่อมและกำหนดเส้นทางภายในระบบจอตลอดอัตโนมัติ

เมื่อสร้างและวางตำแหน่งวัสดุแบบจำลองตามที่ได้ออกแบบไว้เรียบร้อยแล้ว โดยแต่ละเส้นทางจะเชื่อมต่อกันทั้งหมดซึ่งใช้เส้นทางจาก Standard Library ของโปรแกรม SIMIO โดยใช้ Path หรือ TimePath ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การเชื่อมเส้นการเดินทางภายในระบบจอตลอดอัตโนมัติ

3. การตั้งค่าวัสดุต่างๆตามข้อมูลที่ได้รวบรวมไว้

ในส่วนของการตั้งค่าวัสดุในแบบจำลอง จะประกอบด้วย

- อุปกรณ์ลิฟต์แนวตั้ง จะใช้วัสดุจาก Extra library ของโปรแกรม SIMIO โดยใช้ Elevator และตั้งค่าในวัสดุ ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังรูปที่ 4.9

ส่วนที่	รายละเอียด
1	วัตถุที่ใช้สำหรับลิฟต์แนวตั้ง
2	เวลาในการหยิบหรือวางวัตถุต่างๆ
3	ความเร็วของวัตถุ
4	การกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดพักของวัตถุ

Properties: Elevator 1 (Elevator)	
Transport Logic (2)	
Initial Ride Capacity	1
Task Selection Strategy	First In Queue
Load Time	1
Units	Seconds
Unload Time	1
Units	Seconds
Minimum Dwell Time Type	No Requirement
Elevator Node List	Elevator1NodeList
Travel Logic	
Initial Desired Speed	1.02217
Units	Meters per Second
Acceleration	1.02217/3
Units	Meters per Second Squared
Deceleration	1.02217/5
Units	Meters per Second Squared
Routing Logic	
Initial Node (Home)	ElevatorNode1
Idle Action	Remain In Place

รูปที่ 4.9 การตั้งค่าวัตถุของอุปกรณ์ลิฟต์แนวตั้งในแบบจำลองอุปกรณ์ลิฟต์

แนวนอน จะใช้วัตถุจาก Extra library ของโปรแกรม SIMIO โดยใช้ Cart ซึ่งปรับตั้งค่ามาจาก Elevator เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ในแนวนอนได้ สำหรับตั้งค่าในวัตถุ ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังรูปที่ 4.10

ส่วนที่	รายละเอียด
1	วัตถุที่ใช้สำหรับลิฟต์แนวนอน
2	เวลาในการหยิบหรือวางวัตถุต่างๆ
3	ความเร็วของวัตถุ
4	การกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดพักของวัตถุ

Properties: Cart1 (Cart)	
Transport Logic (2)	
Initial Ride Capacity	1
Task Selection Strategy	First In Queue
Load Time	1
Units	Seconds
Unload Time	1
Units	Seconds
Minimum Dwell Time Type	No Requirement
Elevator Node List	Cart1_0NodeList1
Travel Logic	
Initial Desired Speed	1.01167
Acceleration	1.01167/3
Deceleration	1.01167/1.5
Routing Logic	
Initial Node (Home)	CartNode1
Idle Action	Remain In Place

รูปที่ 4.10 การตั้งค่าวัตถุของอุปกรณ์ลิฟต์แนวนอนในแบบจำลอง

- ช่องจอดรถ จะใช้วัตถุจาก Extra library ของโปรแกรม SIMIO โดยใช้ Rack และตั้งค่าในวัตถุ ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังรูปที่ 4.11

ส่วนที่	รายละเอียด
1	วัตถุที่ใช้สำหรับช่องจอดรถ
2	เวลาและตำแหน่งในการเก็บวัตถุ
3	ชนิดของวัตถุที่จะจัดเก็บ

รูปที่ 4.11 การตั้งค่าวัตถุของช่องจอดรถในแบบจำลอง

- ภาตที่ใช้สำหรับระบบชนิดถาด จะใช้วัตถุจาก Project library ของโปรแกรม SIMIO โดยใช้ Pallet และตั้งค่าในวัตถุ ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังรูปที่ 4.12

ส่วนที่	รายละเอียด
1	วัตถุที่ใช้สำหรับถาด
2	เวลาในการหยิบหรือวางวัตถุต่างๆ
3	ความเร็วของวัตถุและเงื่อนไขการเคลื่อนที่
4	การกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดพักของวัตถุ

รูปที่ 4.12 การตั้งค่าวัตถุของถาดที่ใช้สำหรับระบบชนิดถาดในแบบจำลอง

- หุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับระบบชนิดหุ่นยนต์ จะใช้วัตถุจาก Standard library ของโปรแกรม SIMIO โดยใช้ Vehicle และตั้งค่าในวัตถุ ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังรูปที่ 4.13

ส่วนที่	รายละเอียด
1	วัตถุที่ใช้สำหรับหุ่นยนต์
2	เวลาในการหยิบหรือวางวัตถุต่างๆ
3	ความเร็วของวัตถุ
4	การกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดพักของวัตถุ

รูปที่ 4.13 การตั้งค่าวัตถุของหุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับระบบชนิดหุ่นยนต์ในแบบจำลอง

4. การเลือกตำแหน่งช่องจอดรถภายในระบบจอดรถอัตโนมัติ

สำหรับการในการเลือกตำแหน่งช่องจอดรถสำหรับระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดลาดและชนิดหุ่นยนต์จะมีการตั้งค่าที่แตกต่างกัน ดังนี้

- การเลือกตำแหน่งช่องจอดรถของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดลาด

เมื่อมีรถต้องการเข้าจอดรถในระบบและเคลื่อนที่มาถึงจุด Transfer node ก่อนเข้าระบบ จะมีการกำหนด Arrival หรือการเลือกเข้าช่องจอดรถเป็นแบบ Cyclic โดยจะเลือกช่องจอดรถแบบวนรอบตามลำดับของ Node list name ที่ได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 4.14

ส่วนที่	รายละเอียด
1	ชื่อกลุ่มปลายทาง
2	รูปแบบการกำหนดปลายทาง
3	ลำดับรายชื่อกลุ่มปลายทาง

รูปที่ 4.14 การตั้งค่าการเลือกตำแหน่งช่องจอดรถของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดภาค

- การเลือกตำแหน่งช่องจอดรถของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์
เมื่อมีรถต้องการเข้าจอดรถในระบบและเคลื่อนที่มาถึงจุด Transfer node ก่อนเข้าระบบ จะมีการกำหนด Arrival หรือการเลือกตำแหน่งปลายทางเป็นแบบ Cyclic โดยจะเลือกตำแหน่งลิฟต์ที่จะเข้าแบบวนรอบตามลำดับของ Node list name ที่ได้กำหนดไว้ และหลังจากนั้นแต่ละ Transfer node ของลิฟต์จะเลือกช่องจอดรถแบบวนรอบตามลำดับของ Node list name ที่ได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16

ส่วนที่	รายละเอียด
1	ชื่อกลุ่มปลายทาง
2	รูปแบบการกำหนดปลายทาง
3	ลำดับรายชื่อกลุ่มปลายทาง

รูปที่ 4.15 การตั้งค่าการเลือกตำแหน่งลิฟต์ของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

ส่วนที่	รายละเอียด
1	ชื่อกลุ่มปลายทาง
2	รูปแบบการกำหนดปลายทาง
3	ลำดับรายชื่อกลุ่มปลายทาง

รูปที่ 4.16 การตั้งค่าการเลือกตำแหน่งของจุดรถของระบบจุดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

4.2 การกำหนดจำนวนรอบการทดลอง

เพื่อกำหนดจำนวนรอบการทดลองที่เหมาะสมและแบบจำลองนี้สามารถแสดงผลลัพธ์ของระบบปัจจุบันได้หรือไม่ โดยกำหนดจำนวนรอบการทดลองครั้งแรกเป็น 10 รอบ และทำการทดลองโดย ผลสถิติที่ได้พบว่ารถที่เข้าใช้บริการมีค่าเฉลี่ย 3,399.2 คัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 68.75 และค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ (Half width) มีค่า 49.17 คัน ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% จากนั้นนำไปคำนวณในสมการที่ (4.1) เพื่อหาจำนวนรอบ (De Smet, 1993)

$$n \cong z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \frac{S^2}{H^2}$$

$$= (1.96^2) \frac{68.75^2}{49.17^2} = 7.5$$

โดยที่ n = จำนวนรอบการทดลองแบบจำลอง

S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการจำลองแต่ละรอบการทดลองของครั้งแรก (4.1)

H = ค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้

$z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ = ความเชื่อมั่นที่กำหนด

จากผลลัพธ์การคำนวณ 7.5 รอบการทดลองซึ่งมีค่าน้อยกว่าจำนวนรอบที่กำหนดในตอนเริ่มต้น ดังนั้น การกำหนดจำนวนรอบการทดลองเป็น 10 รอบ จึงสามารถสรุปและยืนยันได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำไปใช้เป็นแบบจำลองของระบบจริงได้

4.3 สมมติฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

เนื่องจากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบจอตลอดอัตโนมัติด้วยแบบจำลองปัญหานั้นมีข้อจำกัดด้านต่าง ๆ เพื่อความมีประสิทธิภาพและเพื่อให้การทดสอบนั้นมีราบริน จึงได้กำหนดสมมติฐานขึ้นมาใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

1. แบบจำลองของงานวิจัยนี้ได้ศึกษา จะเป็นแบบจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete event) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจอตลอดอัตโนมัติของระบบชนิดภาคและ ชนิดหุ่นยนต์
2. กำหนดอัตราการเข้าและออกปริมาณจราจร จากโครงการกรณีศึกษาตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2564 (3 เดือน) เพื่อนำมาใช้ในแบบจำลอง
3. ระยะเวลาในการทดสอบของแบบจำลองนั้นได้กำหนดให้ทดสอบครั้งละ 3 เดือน โดยกำหนดให้มีระยะเวลาอุ่นเครื่อง 10 ชั่วโมง และ จำนวนรอบการทดลอง 10 รอบ
4. อุปกรณ์และวัตถุทุกอย่างในแบบจำลองมีสภาพทำงานเป็นปกติ โดยถือว่าไม่มีอุปกรณ์ที่ชำรุดและต้องหยุดซ่อม
5. รถทุกคันที่ถูกสร้างขึ้นในแบบจำลอง จะต้องเข้าใช้บริการระบบจอตลอดอัตโนมัติทุกคนโดยถือว่าไม่มีผู้ขับขี่ที่ต้องการเปลี่ยนใจ และไม่มีรถที่ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้
6. ในแบบจำลองจะคำนึงถึงระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักรเป็นหลักและเปรียบเทียบระหว่าง 2 ระบบ ดังนั้นในแบบจำลองจะไม่คำนึงถึงเวลาในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์อย่างเช่น ระยะเวลาในการเก็บของในรถ ระยะเวลาในการเดินจากห้องพักคอยไปรับรถ ระยะเวลาในการดับเครื่องยนต์หรือสตาร์ทรถ และความเร็วในการขับขี่ของแต่ละบุคคล เป็นต้น

4.4 การพิสูจน์ยืนยันแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติที่สร้างขึ้นนั้นเป็นการตรวจสอบเพื่อพิจารณาว่าแบบจำลองมีลักษณะการทำงาน และพฤติกรรมเช่นเดียวกับระบบจอตลอดอัตโนมัติที่เกิดขึ้นจริงหรือไม่ ทั้งหลักการงานและองค์ประกอบต่างๆ ในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ในระบบจอตลอดอัตโนมัติมาใช้ในแบบจำลองซึ่งทำให้มีความแม่นยำและใกล้เคียงกับระบบจริง นอกจากนี้ในโปรแกรม SIMIO จะมีระบบการตรวจสอบการสร้างแบบจำลองหรือตรวจสอบคำสั่งที่ใช้ หากมีส่วนใดส่วนหนึ่งในแบบจำลองไม่ถูกต้องหรือเขียนผิดพลาด หน้าต่างที่แสดงจากโปรแกรม SIMIO จะแสดงแจ้งเตือนข้อผิดพลาดต่างๆ (Error) ตัวอย่างดังรูปที่ 4.17

Object Type	Object Name	Property Name	Property Value	Error Text
NodeList	EntityDestinationNodeListFL...	Node	Input@Rack6	Unable to resolve identifier 'Input@Rack6' as member of object definition 'M...
NodeList	EntityDestinationNodeListFL2...	Node	Input@Rack6	Unable to resolve identifier 'Input@Rack6' as member of object definition 'M...
Source	SourceDriver_1_6	Triggering Event...	Output@Rack6...	Unable to resolve identifier 'Output@Rack6' as member of object definition '...
NodeList	EntityDestinationNodeListFL...	Node	Input@Rack5	Unable to resolve identifier 'Input@Rack5' as member of object definition 'M...
NodeList	EntityDestinationNodeListFL2...	Node	Input@Rack5	Unable to resolve identifier 'Input@Rack5' as member of object definition 'M...
Source	SourceDriver_1_5	Triggering Event...	Output@Rack5...	Unable to resolve identifier 'Output@Rack5' as member of object definition '...
CartNode	CartNode1	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_1	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_2	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_3	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_4	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_5	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_6	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_7	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_8	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_9	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_10	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_11	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_12	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_13	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_14	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_15	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_16	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_17	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_18	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_19	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	CartNode_1_20	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	Elevator1Cart1Node	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	Elevator2Cart1Node	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.
CartNode	Elevator3Cart1Node	Associated Cart	Cart1	Unable to resolve identifier 'Cart1' as member of object definition 'Model'.

รูปที่ 4.17 ตัวอย่างของหน้าต่างที่แสดงจากโปรแกรม SIMIO เมื่อแบบจำลองมีข้อผิดพลาด

4.5 การรายงานผลจากแบบจำลอง

หลังจากทำการดำเนินการแบบจำลอง ผ่านโปรแกรม SIMIO ในส่วนของโปรแกรมจะมีการรายงานผลในส่วนของการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ตัวอย่างการรายงานผลดังรูปที่ 4.18

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Scenario1			Scenario2			Scenario3					
						Average	Minimum	Maximum	Half Width	Average	Minimum	Maximum	Half Width	Average	Minimum	Maximum	Half Width
ModelEntity	CarIn	Simulation	FlowTime	Throughput	Average	3.532000	0.0000	8.413000	25.3973	3.320000	11.1172	3.294333	0.0000	6.512000	17.9979	6.593211	12.8006
				NumberCreated	Maximum	35.977230	42.1707	11.050830	19.8942	10.956147	25.2377	11.051454	18.3451	10.959187	11.2254	11.011483	12.8181
				NumberDestroyed	Minimum	134.1994	26.0167	146.7209	5.8914	133.0034	19.0460	148.8236	6.0728	135.7767	24.9803	148.5329	4.2327
				Observations	Average	3.332000	0.0000	3.408000	31.7226	2.647200	78.0000	2.734000	34.0660	3.263000	90.0000	3.247000	39.1438
				Total	Minimum	3.332000	0.0000	3.408000	30.8618	2.647200	78.0000	2.734000	34.0660	3.263000	90.0000	3.247000	39.1438
				Maximum	3.332000	0.0000	3.408000	31.7226	2.647200	78.0000	2.734000	34.0660	3.263000	90.0000	3.247000	39.1438	
	CarOut	Simulation	FlowTime	Throughput	Average	0.5205	0.5141	0.5428	0.0053	0.4068	0.4152	0.4410	0.0000	0.5172	0.5032	0.5321	0.6056
				NumberCreated	Minimum	3.4000	3.0000	6.0000	0.2993	4.9000	4.9000	0.0000	0.3200	5.9000	5.0000	7.0000	6.4099
				NumberDestroyed	Average	142.1463	41.3028	142.0000	0.2738	139.3047	18.8327	141.1363	0.2248	141.0941	48.9399	142.0999	0.2911
				Observations	Minimum	320.2489	96.0626	345.6207	12.4388	331.1262	21.2062	349.0629	14.3220	333.6253	70.8260	330.7282	17.1426
				Total	Maximum	64.8316	56.7958	71.1173	3.6209	64.8735	56.7958	74.1568	3.5640	65.4401	66.7942	70.1536	2.2349
				Maximum	3.332000	0.0000	3.408000	31.6826	2.647200	78.0000	2.734000	34.0421	3.264400	90.0000	3.248000	39.4768	
Driver	Simulation	FlowTime	Throughput	Average	3.332000	0.0000	3.408000	31.6826	2.647200	78.0000	2.734000	34.0660	3.263000	90.0000	3.247000	39.1438	
			NumberCreated	Minimum	3.332000	0.0000	3.408000	31.6826	2.647200	78.0000	2.734000	34.0660	3.263000	90.0000	3.247000	39.1438	
			NumberDestroyed	Average	0.6149	0.5964	0.6291	0.0061	0.4960	0.4825	0.5125	0.0069	0.5998	0.5839	0.6168	0.6044	
			Observations	Minimum	3.8000	3.0000	6.0000	0.2444	5.3000	5.0000	0.0000	0.2800	5.9000	5.0000	7.0000	6.4077	
			Total	Average	84.7881	43.9219	85.3011	0.2691	81.8894	41.4201	82.7125	0.2330	80.6560	43.4914	81.5844	0.2666	
			Maximum	112.0772	87.9020	141.8632	9.4183	120.0029	90.1289	120.3399	10.1176	102.0596	81.1278	102.9177	7.9912		
WaitingDriver	Simulation	FlowTime	Throughput	Average	90.9942	79.2858	98.0801	3.7218	88.3305	79.2858	96.6568	3.4348	88.4894	81.2942	93.6173	2.2942	
			NumberCreated	Minimum	3.332000	0.0000	3.408000	31.6826	2.647200	78.0000	2.734000	34.0332	3.264400	90.0000	3.248000	39.4768	
			NumberDestroyed	Average	3.332000	0.0000	3.408000	31.6826	2.647200	78.0000	2.734000	34.0660	3.263000	90.0000	3.247000	39.1438	
			Observations	Minimum	3.332000	0.0000	3.408000	31.6826	2.647200	78.0000	2.734000	34.0332	3.264400	90.0000	3.248000	39.4768	
			Total	Maximum	3.332000	0.0000	3.408000	31.6826	2.647200	78.0000	2.734000	34.0332	3.264400	90.0000	3.248000	39.4768	
			Maximum	0.0844	0.0823	0.0813	0.0008	0.0692	0.0674	0.0715	0.0009	0.0836	0.0808	0.0848	0.0008		

รูปที่ 4.18 ตัวอย่างของการรายงานผลการใช้งานอุปกรณ์ในแบบจำลองจากโปรแกรม SIMIO

4.6 การนำข้อมูลอัตราส่วนความถี่การเข้าจอดรถสู่แบบจำลองระบบจอดรถอัตโนมัติ

ในการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นผ่านโปรแกรม SIMIO นั้น ต้องทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากที่เป็นความถี่ในรูปแบบรายเดือนแปลงเข้าสู่แบบรายชั่วโมง เพื่อให้สามารถกำหนดได้อย่างถูกต้องเพื่อเริ่มการจำลอง โดยในแบบจำลองได้กระจายทั้งหมด 746 ชั่วโมง (10 ชั่วโมงเป็นเวลาอุ่นเครื่อง) และตัวอย่างการนำเข้าสู่ข้อมูล ดังรูปที่ 4.19

Starting Offset	Ending Offset	Rate (events per hour)
Day 1, 00:00:00	Day 1, 01:00:00	12.62
Day 1, 01:00:00	Day 1, 02:00:00	12.62
Day 1, 02:00:00	Day 1, 03:00:00	12.62
Day 1, 03:00:00	Day 1, 04:00:00	12.62
Day 1, 04:00:00	Day 1, 05:00:00	12.62
Day 1, 05:00:00	Day 1, 06:00:00	12.62
Day 1, 06:00:00	Day 1, 07:00:00	12.62
Day 1, 07:00:00	Day 1, 08:00:00	12.62
Day 1, 08:00:00	Day 1, 09:00:00	12.62
Day 1, 09:00:00	Day 1, 10:00:00	12.62
Day 1, 10:00:00	Day 1, 11:00:00	12.62
Day 1, 11:00:00	Day 1, 12:00:00	12.62
Day 1, 12:00:00	Day 1, 13:00:00	12.62
Day 1, 13:00:00	Day 1, 14:00:00	12.62
Day 1, 14:00:00	Day 1, 15:00:00	12.62
Day 1, 15:00:00	Day 1, 16:00:00	12.62
Day 1, 16:00:00	Day 1, 17:00:00	12.62
Day 1, 17:00:00	Day 1, 18:00:00	12.62
Day 1, 18:00:00	Day 1, 19:00:00	12.62
Day 1, 19:00:00	Day 1, 20:00:00	12.62
Day 1, 20:00:00	Day 1, 21:00:00	12.62
Day 1, 21:00:00	Day 1, 22:00:00	12.62
Day 1, 22:00:00	Day 1, 23:00:00	12.62
Day 1, 23:00:00	Day 2, 00:00:00	12.62
Day 2, 00:00:00	Day 2, 01:00:00	12.62
Day 2, 01:00:00	Day 2, 02:00:00	12.62
Day 2, 02:00:00	Day 2, 03:00:00	12.62
Day 2, 03:00:00	Day 2, 04:00:00	12.62
Day 2, 04:00:00	Day 2, 05:00:00	12.62
Day 2, 05:00:00	Day 2, 06:00:00	12.62

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างการนำข้อมูลอัตราส่วนความถี่การเข้าจอดรถสู่แบบจำลองระบบจอดรถอัตโนมัติ

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึง ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิธีการจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ และผลการทดลองของตัวชี้วัดต่างๆจากการทดสอบแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติที่จัดทำขึ้นโดยโปรแกรม SIMIO โดยใช้เวลาการทดสอบ 3 เดือน โดยตัวชี้วัดผลในการประเมินประสิทธิภาพของระบบจอตลอดอัตโนมัติ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนของผู้ใช้บริการ(รถยนต์) ส่วนของผู้ใช้บริการ(คน) และส่วนของระบบจอตลอดอัตโนมัติ อีกทั้งยังวิเคราะห์ต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่จัดทำขึ้นในโปรแกรม SIMIO นั้นว่าสามารถใช้แทนระบบจอตลอดอัตโนมัติจริงได้โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากอัตราการเข้า-ออกจริง โดยการทดสอบทางสถิติสมมติฐาน (Hypothesis test) แบบ T-test ผ่านโปรแกรม SPSS

H_0 = อัตราการเข้า-ออกภายใน 3 เดือน แตกต่างจากระบบจริง

H_1 = อัตราการเข้า-ออกภายใน 3 เดือน ไม่แตกต่างจากระบบจริง

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 หากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 หมายถึงปฏิเสธการยอมรับ H_0 แสดงว่าอัตราการเข้า-ออกภายใน 3 เดือน ไม่แตกต่างจากระบบจริงในส่วนของคุณสมบัติที่นำมาใช้เพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติ นั่นคืออัตราการเข้า-ออกของระบบ ซึ่งใช้ระยะเวลาการทดสอบ 3 เดือน โดยมีเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และเวลาอุ่นเครื่อง 10 ชั่วโมง ซึ่งผลลัพธ์จากซอฟต์แวร์ SPSS แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบระหว่างระบบจริงกับแบบจำลอง ดังตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type) ด้วยวิธีทางสถิติ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากโปรแกรม SPSS

รายละเอียด	อัตราการเข้าจอตในระบบ		อัตราการนำรถออกจากระบบ	
	ข้อมูลจริง	แบบจำลองชนิดถาด (Pallet type)	ข้อมูลจริง	แบบจำลองชนิดถาด (Pallet type)
ตุลาคม	3371.00	3356.00	3560.00	3354.00
พฤศจิกายน	2651.00	2651.00	2818.00	2652.00
ธันวาคม	3278.00	3260.00	3266.00	3258.00
ค่าเฉลี่ย	3100.00	3089.00	3214.67	3088.00
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	391.62	382.34	373.65	380.63
ค่า t-value		1.98		2.10
ค่า p-value		0.19		0.17

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type) ด้วยวิธีทางสถิติ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากโปรแกรม SPSS

รายละเอียด	อัตราการเข้าจอตในระบบ		อัตราการนำรถออกจากระบบ	
	ข้อมูลจริง	แบบจำลองชนิดหุ่นยนต์ (Robot type)	ข้อมูลจริง	แบบจำลองชนิดหุ่นยนต์ (Robot type)
ตุลาคม	3371.00	3334.00	3560.00	3332.00
พฤศจิกายน	2651.00	2650.00	2818.00	2647.00
ธันวาคม	3278.00	3264.00	3266.00	3264.00
ค่าเฉลี่ย	3100.00	3082.67	3214.67	3081.00
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	391.62	376.33	373.65	377.39
ค่า t-value		1.65		1.97
ค่า p-value		0.24		0.19

จากตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าจากวิธีการสร้างแบบจำลองปัญหาที่กล่าวมาจาก บทที่ 4 นั้น แบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้งานเพื่อเป็นตัวแทนระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษาได้

5.2 ผลการทดลองของตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนต่างๆของระบบจอตลอดอัตโนมัติ

สำหรับผลการทดลองจากแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติเพื่อประเมินประสิทธิภาพจากโปรแกรม SIMIO นั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของผู้ใช้บริการ (รถยนต์) ส่วนของผู้ใช้บริการ (คน) และ ส่วนของระบบจอตลอดอัตโนมัติ ซึ่งในแต่ละส่วนจะมีการกระจายตัวของผลลัพธ์อยู่ในรายงานที่ได้จาก SIMIO ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกข้อมูลที่ต้องการนำมาแสดงผลให้ถูกต้องเพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัดผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนของผู้ใช้บริการ (รถยนต์)

1) เวลาในการรอเข้าจอตลอดโดยเฉลี่ย (Average Waiting Time to Entry)

สำหรับเวลาในการรอเข้าจอตลอดจะมีขอบเขตในการวัดผลคือเมื่อรถยนต์ขับรถมาถึงหน้าห้องลิฟต์และรถยนต์จะใช้เวลารอเข้าจอตลอดเท่าไรหรือนสิ้นสุดการชี้วัดเมื่อระบบจอตลอดอัตโนมัติสามารถเข้าใช้งานได้ โดยใน SIMIO ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ Timepath และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น FlowTime ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นเวลาที่อยู่บนเส้นทางนั้นๆ ผู้วิจัยจึงสามารถชี้วัดเวลาในการรอเข้าจอตลอดและได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 เวลาในการรอเข้าจอตลอดของระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดถาด (Pallet type) จากแบบจำลอง

ลิฟต์	เวลาในการรอเข้าจอตลอดของระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดถาด		
	เวลามากที่สุด (วินาที)	เวลาน้อยที่สุด (วินาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
ลิฟต์ตัวที่ 1	223	65	109
ลิฟต์ตัวที่ 2	236	64	108
ลิฟต์ตัวที่ 3	232	62	106
รวมทั้งระบบ	236	62	108

ตารางที่ 5.4 เวลาในการรอเข้าจอดรถของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ (Robot type) จากแบบจำลอง

ลิฟต์	เวลาในการรอเข้าจอดรถของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์		
	เวลามากที่สุด (วินาที)	เวลาน้อยที่สุด (วินาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
ลิฟต์ตัวที่ 1	121	18	26
ลิฟต์ตัวที่ 2	124	18	26
ลิฟต์ตัวที่ 3	116	18	27
รวมทั้งระบบ	124	18	26

2) จำนวนแถวคอยของรถในการรอเข้าจอดสูงสุด (Maximum Queue Length to Entry)

สำหรับจำนวนแถวคอยของรถที่เกิดขึ้นนั้นจะวัดผลจากรถยนต์ที่ยังไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ และมีรถยนต์เท่าไรที่กำลังรอคิว โดยใน SIMIO ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ Source และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น Content ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นจำนวนของวัตถุที่เกิดขึ้นในคิว ผู้วิจัยจึงได้แสดงจำนวนรถในการรอเข้าจอดสูงสุดไว้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบจำนวนรถในการรอเข้าจอดสูงสุดของแต่ละระบบ

ระบบจอดรถอัตโนมัติ	ชนิดถาด	ชนิดหุ่นยนต์
จำนวนรถในการรอเข้าจอดสูงสุด (คัน)	4	2

5.2.2 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนของผู้ใช้บริการ (คน)

1) เวลาในการรอนำรถออกโดยเฉลี่ย (Average Waiting Time to Retrieve)

สำหรับเวลาในการรอนำรถออกจะมีขอบเขตในการวัดผลคือจะเริ่มวัดผลเมื่อมีผู้ใช้ซึ่งดำเนินการเรียกรถออกจากระบบและจะสิ้นสุดเมื่อระบบนำรถออกมายังห้องลิฟต์รับรถและประตูเปิดเสร็จสิ้น โดยใน SIMIO ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ ModelEntity และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น Flowtime ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นเวลาที่อยู่ในระบบ ผู้วิจัยจึงสามารถชี้วัดเวลาเวลาในการรอนำรถออกและได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบเวลาในการรอนำรถออกของแต่ละระบบ

ระบบจอตรถ อัตโนมัติ	เวลาในการรอนำรถออก		
	เวลามากที่สุด (วินาที)	เวลาน้อยที่สุด (วินาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
ชนิดถาด	269	56	107
ชนิดหุ่นยนต์	320	63	141

2) จำนวนแถวคอยของลูกค้ำที่รอนำรถออกสูงสุด (Maximum Queue Length to Retrieve)

สำหรับจำนวนแถวคอยของลูกค้ำที่ต้องการนำรถออกจากระบบที่เกิดขึ้นนั้นจะวัดผลจากจำนวนคนที่กำลังรอคิวเพื่อนำรถออกจากระบบจากระบบที่ยังดำเนินการนำรถออกไม่เสร็จสิ้น โดยใน SIMIO ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ Combiner และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น Content ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นจำนวนของวัตถุที่เกิดขึ้นในคิว ผู้วิจัยจึงได้แสดงจำนวนผู้ขับขี่ที่รอนำรถออกสูงสุดไว้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบจำนวนผู้ขับขี่ที่รอนำรถออกสูงสุดของแต่ละระบบ

ระบบจอตรถอัตโนมัติ	จำนวนผู้ขับขี่ที่รอนำรถออกสูงสุด (คน)
ชนิดถาด	5
ชนิดหุ่นยนต์	6

5.2.3 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนของระบบจัดรถอัตโนมัติ

1) อัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมง (Average Throughput to Storage Operation in 1 Hour)

สำหรับอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมงจะมีขอบเขตในการวัดผลที่ได้จากระยะเวลาในการจัดเก็บรถไปยังช่องจอดรถโดยทำการวัดผลเมื่อระบบเริ่มดำเนินการนำรถเข้าจอดจนกระทั่งรถถึงช่องจอดโดยใน SIMIO ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ ModelEntity และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น FlowTime ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นเวลาที่อยู่ในระบบ หลังจากนั้นนำเวลาเฉลี่ยไปคำนวณหาอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมง ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมงของแต่ละระบบ

ชนิดระบบจัดรถอัตโนมัติ	ระยะเวลาในการจัดเก็บรถไปยังช่องจอดรถ			อัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมง (คันต่อชั่วโมง)
	เวลามากที่สุด (วินาที)	เวลาน้อยที่สุด (วินาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	
ระบบจัดรถอัตโนมัติชนิด ถาด	403	117	189	57
ระบบจัดรถอัตโนมัติชนิด หุ่นยนต์	305	96	143	75

2) อัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ออกจากระบบต่อหนึ่งชั่วโมง (Average Throughput to Retrieve Operation in 1 Hour)

สำหรับอัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ออกจากระบบต่อหนึ่งชั่วโมงจะมีขอบเขตในการวัดผลที่ได้จากระยะเวลาในการนำรถยนต์ออกจากระบบโดยทำการวัดผลเมื่อระบบเริ่มดำเนินการนำรถยนต์ออกจากระบบจนกระทั่งรถถึงผู้ขับขี่โดยใน SIMIO ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ ModelEntity และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น FlowTime ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นเวลาที่อยู่ในระบบ หลังจากนั้นนำเวลาเฉลี่ยไปคำนวณหาอัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ออกจากระบบต่อหนึ่งชั่วโมง ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบอัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ออกจากระบบต่อหนึ่งชั่วโมงของแต่ละระบบ

ชนิดระบบจอดรถ อัตโนมัติ	ระยะเวลาในการนำรถยนต์ออกจากระบบ			อัตราเฉลี่ยใน การนำรถยนต์ ออกจากระบบ ต่อหนึ่งชั่วโมง (คั่นต่อชั่วโมง)
	เวลามากที่สุด (วินาที)	เวลาน้อยที่สุด (วินาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	
ระบบจอดรถ อัตโนมัติชนิดถาด	269	56	107	101
ระบบจอดรถ อัตโนมัติชนิด หุ่นยนต์	320	63	141	76

5.3. ผลการประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ

5.3.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ หน่วย)

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้งสองระบบ จะเป็นการนำข้อมูลจากแบบจำลองมาใช้ในการวิเคราะห์โดยสามารถใช้ระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยหรือรอบการเคลื่อนที่และนำมาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (หน่วย หรือ กิโลวัตต์ชั่วโมง) รายละเอียดตามด้านล่าง

1) ระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด

สำหรับค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาดจะสามารถหาได้จากระยะเวลาในการทำงานหรือรอบการเคลื่อนที่ของแต่ละอุปกรณ์หลักๆในแบบจำลองระบบจอดรถอัตโนมัติ ดังนี้

- ลิฟต์แนวตั้ง ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ Elevator และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น TimeTransporting ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นเวลาในการเคลื่อนที่ หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดลิฟต์แนวตั้งในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดลาด

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	ตัวที่	กำลังไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า ต่อ 1 รอบการเคลื่อนที่ (หน่วย/รอบ)	ระยะเวลาในการทำงาน (วินาที)	รอบการเคลื่อนที่ (รอบ)	ค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (หน่วยหรือ กิโลวัตต์ ชั่วโมง)
ลิฟต์แนวตั้ง	เคลื่อนที่แนวตั้ง	ตัวที่ 1	22.0	-	338,452.15	-	2,068.32
		ตัวที่ 2		-	339,193.80	-	2,072.85
		ตัวที่ 3		-	336,413.36	-	2,055.86
	กลไกเลื่อนลาดไปที่ลิฟต์แนวนอน	รวม	1.5	18.51/3600	-	9,290.70	47.77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ลิฟต์แนวนอน ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ Cart และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น TimeTransporting ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นเวลาในการเคลื่อนที่ หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดลิฟต์แนวนอนในระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดลาด

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	ตัวที่	กำลังไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อ 1 รอบการเคลื่อนที่ (หน่วย/รอบ)	ระยะเวลาในการทำงาน (วินาที)	รอบการเคลื่อนที่ (รอบ)	ค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (หน่วยหรือกิโลวัตต์ ชั่วโมง)
ลิฟต์แนวนอน	เคลื่อนที่แนวนอน	ตัวที่ 1	3.0	-	209,915.73	-	174.93
		ตัวที่ 2		-	209,884.97	-	174.90
		ตัวที่ 3		-	209,258.10	-	174.38
		ตัวที่ 4		-	209,964.78	-	174.97
		ตัวที่ 5		-	209,961.75	-	174.97
		ตัวที่ 6		-	210,023.35	-	175.02
		ตัวที่ 7		-	210,218.31	-	175.18
		ตัวที่ 8		-	210,178.40	-	175.15
		ตัวที่ 9		-	210,307.08	-	175.26
		ตัวที่ 10		-	210,207.73	-	175.17
				กลไกเลื่อนลาดไปที่ลิฟต์แนวตั้งหรือช่องจอด	รวม	2.2	25.56/3600
	กลไกการดึงลาด	รวม	1.5	4.5/3600	-	18,581.40	23.23

- ประตู่ ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ TimePath และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น NumberEntered ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นจำนวนวัตถุที่เข้าสู่ระบบ หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดประตู่ในระบบจอตระอ์ตโนมิติชนิดภาค

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	ตัวที่	กำลังไฟฟ้า รวม (กิโลวัตต์)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้า ต่อ 1 รอบการ เคลื่อนที่ (หน่วย/รอบ)	รอบการ เคลื่อนที่ (รอบ)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้ารวม (หน่วย หรือ กิโลวัตต์ ชั่วโมง)
ประตู่ ทางเข้า	เปิด	ตัวที่ 1	0.2	1.6/3600	3,096.80	1.38
		ตัวที่ 2			3,109.30	1.38
		ตัวที่ 3			3,084.80	1.37
	ปิด	ตัวที่ 1			3,096.80	1.38
		ตัวที่ 2			3,109.30	1.38
		ตัวที่ 3			3,084.80	1.37
ประตู่ ทางออก	เปิด	ตัวที่ 1	0.2	1.6/3600	3,104.40	1.38
		ตัวที่ 2			3,105.60	1.38
		ตัวที่ 3			3,081.00	1.37
	ปิด	ตัวที่ 1			3,104.40	1.38
		ตัวที่ 2			3,105.60	1.38
		ตัวที่ 3			3,081.00	1.37

2) ระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

สำหรับค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์จะสามารถหาได้จากระยะเวลาในการทำงานหรือรอบการเคลื่อนที่ของแต่ละอุปกรณ์หลักๆในแบบจำลองระบบจอตกรถอัตโนมัติ ดังนี้

- ลิฟต์แนวตั้ง ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ Elevator และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น TimeTransporting ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นเวลาในการเคลื่อนที่ หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดลิฟต์แนวตั้งในระบบจอตกรถอัตโนมัติหุ่นยนต์

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	ตัวที่	กำลังไฟฟ้ รวม (กิโลวัตต์)	ระยะเวลาใน การทำงาน (วินาที)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้ารวม (หน่วย หรือ กิโลวัตต์ ชั่วโมง)
ลิฟต์ แนวตั้ง	เคลื่อนที่ แนวตั้ง	ตัวที่ 1	22.0	216,773.59	1,324.73
		ตัวที่ 2		215,135.54	1,314.72
		ตัวที่ 3		215,914.81	1,319.48

- ลิฟต์แนวนอน ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ Cart และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น TimeTransporting ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นเวลาในการเคลื่อนที่ หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดลิฟต์แนวนอนในระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิด
หุ่นยนต์

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	ตัวที่	กำลังไฟฟ้ รวม (กิโลวัตต์)	ระยะเวลา ในการ ทำงาน (วินาที)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้ารวม (หน่วย หรือ กิโลวัตต์ ชั่วโมง)
ลิฟต์ แนวนอน	เคลื่อนที่ แนวนอน	ตัวที่ 1	3.0	44,791.66	37.33
		ตัวที่ 2		44,779.67	37.32
		ตัวที่ 3		45,011.98	37.51
		ตัวที่ 4		44,769.20	37.31
		ตัวที่ 5		44,962.44	37.47
		ตัวที่ 6		44,857.97	37.38
		ตัวที่ 7		44,964.82	37.47
		ตัวที่ 8		44,803.25	37.34
		ตัวที่ 9		44,863.26	37.39
		ตัวที่ 10		77,156.81	64.30

- หุ่นยนต์ ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ Vehicle และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น NumberEntered ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นจำนวนวัตถุที่เข้าสู่ระบบ หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดหุ่นยนต์ในระบบจรวดอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	ตัวที่	กำลังไฟฟ้ รวม (กิโลวัตต์)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้า ต่อ 1 รอบการ เคลื่อนที่ (หน่วย/ รอบ)	รอบการ เคลื่อนที่ (รอบ)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้ารวม (หน่วย หรือ กิโลวัตต์ ชั่วโมง)
หุ่นยนต์	เคลื่อนที่ ไปลิฟต์ แนวตั้ง	รวม	1.5	17.88/3600	27,911	138.63
	เคลื่อนที่ ไปที่ลิฟต์ ช่องจอด			16.94/3600	27,911	131.34
	ยกรถและ วางรถ	ตัวที่ 1	3.0	12/3600	3,721	12.40
		ตัวที่ 2			3,721	12.40
		ตัวที่ 3			3,723	12.40
		ตัวที่ 4			3,721	12.40
		ตัวที่ 5			3,720	12.40
		ตัวที่ 6			3,722	12.40
		ตัวที่ 7			3,720	12.40
		ตัวที่ 8			3,722	12.40
		ตัวที่ 9			3,721	12.40
		ตัวที่ 10			3,721	12.40

- ประตุ ประเภทของผลลัพธ์ที่ใช้วัดผลคือ TimePath และหมวดหมู่ข้อมูลเป็น NumberEntered ซึ่งข้อมูลที่รายงานออกมาจะเป็นจำนวนวัตถุที่เข้าสู่ระบบ หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ดังตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ชนิดประตุในระบบจอตระอ์ตโนมิติชนิดภาค

อุปกรณ์	การเคลื่อนที่	ตัวที่	กำลังไฟฟ้ รวม (กิโลวัตต์)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้า ต่อ 1 รอบการเคลื่อนที่ (หน่วย/รอบ)	รอบการ เคลื่อนที่ (รอบ)	ค่า พลังงาน ไฟฟ้ารวม (หน่วย หรือ กิโลวัตต์ ชั่วโมง)
ประตุ ทางเข้า	เปิด	ตัวที่ 1	0.2	1.6/3600	3,082.20	1.37
		ตัวที่ 2			3,099.60	1.38
		ตัวที่ 3			3,121.60	1.39
	ปิด	ตัวที่ 1			3,082.20	1.37
		ตัวที่ 2			3,099.60	1.38
		ตัวที่ 3			3,121.60	1.39
ประตุ ทางออก	เปิด	ตัวที่ 1	0.2	1.6/3600	3,116.10	1.38
		ตัวที่ 2			3,089.60	1.37
		ตัวที่ 3			3,097.10	1.38
	ปิด	ตัวที่ 1			3,116.10	1.38
		ตัวที่ 2			3,089.60	1.37
		ตัวที่ 3			3,097.10	1.38

5.3.2 ต้นทุนของระบบจอตรถอัตโนมัติและการก่อสร้าง (บาท)

ในการวิเคราะห์ต้นทุนของระบบจอตรถอัตโนมัติจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆคือ ต้นทุนระบบจอตรถอัตโนมัติ และต้นทุนการก่อสร้าง ในส่วนของต้นทุนระบบจอตรถอัตโนมัติผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษาเพื่อมาวิเคราะห์ ในส่วนของต้นทุนด้านการก่อสร้าง เนื่องจากผู้วิจัยมีข้อจำกัดในการนำข้อมูลเกี่ยวกับการก่อสร้างของบริษัทกรณีศึกษามาวิเคราะห์และจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญพบว่าสามารถใช้ข้อมูลอ้างอิงจาก มูลนิธิประเมินค่า-นายหน้าแห่งประเทศไทย ปี 2565 เพื่อมาประเมินต้นทุนการก่อสร้างเบื้องต้นได้ จากผลการวิเคราะห์ด้านต้นทุนพบว่า ระบบจอตรถอัตโนมัติชนิดถาดมีต้นทุนสูงกว่าระบบจอตรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ประมาณ 4% ดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 เปรียบเทียบต้นทุนของระบบจอตรถอัตโนมัติและการก่อสร้าง

ระบบจอตรถอัตโนมัติ	ต้นทุนด้านระบบจอตรถอัตโนมัติ (บาท)	ต้นทุนด้านการก่อสร้าง (บาท)	ต้นทุนรวมของโครงการ (บาท)	ต้นทุนต่อช่องจอต (บาท)
ชนิดถาด	87,084,000	72,921,312	160,005,312	615,405
ชนิดหุ่นยนต์	84,900,000	69,347,816	154,247,816	593,261

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัย โดยเริ่มจากที่มา วัตถุประสงค์ ลักษณะปัญหาที่พบในปัจจุบัน แนวคิด และการนำผลลัพธ์จากแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติมาวิเคราะห์ และท้ายที่สุด ข้อเสนอแนะของงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 บทสรุปงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบจอตลอดอัตโนมัติ เพื่อแก้ไขและปรับปรุงจากเดิมที่การคำนวณประสิทธิภาพของระบบจอตลอดอัตโนมัติ เป็นเพียงการคำนวณหาระยะเวลาการทำงานของระบบในตำแหน่งช่องจอดที่ใกล้ที่สุดและไกลที่สุดเพียง 2 ตำแหน่ง หลังจากนั้นนำค่าเฉลี่ยของ 2 ตำแหน่งมาหาอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์และนำรถยนต์ออกจากระบบต่อหนึ่งชั่วโมง ให้มีความละเอียดและความน่าเชื่อถือมากขึ้นในการนำเสนอสินค้า โดยใช้แบบจำลองปัญหา (Simulation model) ผ่านโปรแกรม SIMIO เพื่อมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบต่างๆ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้พัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ แห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเภทคอนโดมิเนียม อาคารสูง 35 ชั้น และที่จอดรถยนต์อัตโนมัติ จำนวน 260 ซึ่งเป็นระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดถาดรูปแบบดั้งเดิมเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองปัญหา อีกทั้งยังนำระบบจอตลอดอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ซึ่งเป็นระบบจอตลอดอัตโนมัติรูปแบบใหม่มาสร้างแบบจำลองปัญหา ด้วยเงื่อนไขเดียวกัน สำหรับเปรียบเทียบกับระบบชนิดถาด อีกทั้งยังวิเคราะห์ข้อมูลในด้านต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ เพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการเลือกลงทุนระบบจอตลอดอัตโนมัติระหว่างสองระบบ โดยเริ่มจากการศึกษารายละเอียดของระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา ทั้งกระบวนการทำงานภายในระบบจอตลอดอัตโนมัติ การเข้าใช้บริการ และกฎการทำงานของระบบ ถัดมาในการรวบรวมข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ในส่วนแรกข้อมูลระยะเวลาการทำงานของระบบ ข้อมูลส่วนนี้สามารถหาได้จากข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ต่างๆในระบบจอตลอดอัตโนมัติ ส่วนที่สองข้อมูลปริมาณการใช้ระบบจอตลอดอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะนำมาป้อนเข้าแบบจำลองเพื่อทำการทดลองและทดสอบแบบจำลองโดยจะเป็นข้อมูลจริงจากบริษัทกรณีศึกษาซึ่งเป็นระยะเวลา 3 เดือน

ในการทดสอบแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองระบบจอตลอดอัตโนมัติเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากอัตราการเข้า-ออกจริง โดยการทดสอบทางสถิติสมมติฐานแบบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งใช้ระยะเวลาการทดสอบ 3 เดือน ผู้วิจัยพบว่าผลการทดสอบ

แบบจำลองระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดภาคและระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ อัตราการเข้า-ออก ภายใน 3 เดือน ไม่แตกต่างจากระบบจริงดังนั้นแบบจำลองระบบจอตกรออัตโนมัติที่สร้างขึ้นมีความ น่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้งานเพื่อเป็นตัวแทนระบบจอตกรออัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษาได้

ผลการจำลองเพื่อใช้วัดประสิทธิภาพของระบบจอตกรออัตโนมัติ ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งตัวชี้วัด ประสิทธิภาพออกเป็น 3 ส่วนเพื่อให้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพนั้นมีความครอบคลุมมากยิ่งขึ้น ส่วน แรกตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนของผู้ใช้บริการ (รถยนต์) ซึ่งจะมีเวลาในการรอเข้าจอตกรโดยเฉลี่ยและ จำนวนแถวคอยของรถในการรอเข้าจอตกรสูงสุด จากผลการทดลองผู้วิจัยพบว่าสำหรับเวลาเฉลี่ยของ ระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดภาค 108 วินาที และระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ 26 วินาที จะเห็น ได้ว่าระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดภาคในด้าน เวลาในการรอเข้าจอตกรโดยเฉลี่ย 82 วินาที สำหรับจำนวนแถวคอยของรถในการรอเข้าจอตกรสูงสุด ผู้วิจัยพบว่าระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดภาคมีจำนวนแถวคอยสูงสุด 4 คัน และระบบจอตกรออัตโนมัติ ชนิดหุ่นยนต์มีจำนวนแถวคอยสูงสุด 2 คัน จะเห็นได้ว่าระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์มี ประสิทธิภาพมากกว่าระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดภาคในด้านการจัดการแถวคอยการรอเข้าจอตกร ที่เกิดขึ้น ส่วนที่สองตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนของผู้ใช้บริการ (คน) ซึ่งจะมีเวลาในการรอนำรถออกโดย เฉลี่ยและจำนวนแถวคอยของลูกค้าที่รอนำรถออกสูงสุด จากผลการทดลองผู้วิจัยพบว่าสำหรับเวลา ในการรอนำรถออกโดยเฉลี่ยของระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดภาค 107 วินาที และระบบจอตกร อออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ 141 วินาที จะเห็นได้ว่าระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดภาคมีประสิทธิภาพมากกว่า ระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ในด้านเวลาในการรอนำรถออกโดยเฉลี่ย 34 วินาที สำหรับจำนวน แถวคอยของลูกค้าที่รอนำรถออกสูงสุด ผู้วิจัยพบว่าระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดภาคมีจำนวนแถวคอย สูงสุด 5 คน และระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์มีจำนวนแถวคอยสูงสุด 6 คน จะเห็นได้ว่าระบบ จอตกรออัตโนมัติชนิดภาคมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ในด้านการจัดการ แถวคอยของลูกค้าที่รอนำรถที่เกิดขึ้น ส่วนที่สามตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนของระบบจอตกรออัตโนมัติ ซึ่งจะมีอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมงและอัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ออก จากระบบต่อหนึ่งชั่วโมง จากผลการทดลองผู้วิจัยพบว่าสำหรับอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ ระบบ จอตกรออัตโนมัติชนิดภาคมีอัตราเฉลี่ย 57 คันต่อชั่วโมง และระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์มีอัตรา เฉลี่ย 75 คันต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าระบบจอตกรออัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบ จอตกรออัตโนมัติชนิดภาคในด้านอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ สำหรับอัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ ออกจากระบบ จากผลการทดลองผู้วิจัยพบว่าสำหรับอัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ออกจากระบบ

ระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาดมีอัตราเฉลี่ย 101 คันต่อชั่วโมง และระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์มีอัตราเฉลี่ย 76 คันต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาดมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ในด้านอัตราเฉลี่ยในการนำรถยนต์ออกจากระบบ

สำหรับผลการประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะเป็นการนำข้อมูลจากแบบจำลองมาใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้ระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยหรือรอบการเคลื่อนที่นำมาหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวม จากผลการวิเคราะห์ผู้วิจัยพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้ารวมของระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาดคือ 8,430.26 หน่วย และระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ 4,770.25 หน่วย จะเห็นได้ว่าระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมน้อยกว่าระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาดประมาณ 43% ในส่วนที่สองต้นทุนของระบบจอตกรถอัตโนมัติและการก่อสร้าง จากผลการวิเคราะห์ผู้วิจัยพบว่าต้นทุนต่อช่องจอดของระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาดคือ 615,405 บาท และระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์คือ 593,261 บาท จะเห็นได้ว่าระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์จะต้นทุนน้อยกว่าระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาดประมาณ 4%

6.2 อภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่ตัวชี้วัดในส่วนของ เวลาในการรอนำรถเข้าจอดและเวลาในการนำรถออกเนื่องจากเป็นตัวชี้วัดที่มีผลกระทบโดยตรงต่อผู้ใช้บริการมากที่สุด ในส่วนของจำนวนคิวสูงสุดจะแสดงให้เห็นเพื่อนำข้อมูลไปช่วยในการออกแบบห้องพักคอยและจัดการจราจรภายใน สำหรับตัวชี้วัดส่วนของระบบจอตกรถอัตโนมัติจะแสดงให้เห็นเพื่อให้ภาพรวมของระบบ

จากผลการประเมินประสิทธิภาพระบบจอตกรถอัตโนมัติแสดงให้เห็นว่าระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์นั้นจะมีประสิทธิภาพในการนำรถเข้าจอดมากชนิดถาด แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการนำรถออกแล้วระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดถาดนั้นก็กลับมีประสิทธิภาพมากกว่าชนิดหุ่นยนต์จึงยังไม่สามารถเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อประเมินในเรื่องต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆรวมด้วยกับประสิทธิภาพระบบจะเห็นได้ว่า ข้อดีของระบบจอตกรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์นั้นมีมากกว่าชนิดถาด

6.3 สรุปข้อจำกัด

1. เนื่องจากไม่สามารถทราบข้อมูลปริมาณรถที่เข้า-ออกระบบจอตกรถอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษาอย่างละเอียดในแต่ละช่วงเวลาได้ ข้อมูลที่นำเข้ามาแบบจำลองจึงได้กำหนดให้

การกระจายตัวแบบ Uniform และกำหนดให้เวลาการทำงานในแต่ละวัน อยู่ในช่วง 8 ชั่วโมงต่อวัน

2. เนื่องจากไม่สามารถทราบข้อมูลปริมาณรถที่เข้า-ออกระบบจอดรถอัตโนมัติของบริษัท กรณีศึกษาในช่วงเวลาที่ยาวกว่านี้ได้ อีกทั้งงานวิจัยนี้เป็นเพียงการเปรียบเทียบระหว่าง 2 ระบบและข้อมูลที่น่าเข้าเท่ากัน ดังนั้นข้อมูลเพียง 3 เดือนจึงเพียงพอสำหรับการประเมินประสิทธิภาพ
3. จากเหตุผลด้านเวลา และทรัพยากรที่มี ผู้วิจัยจึงสามารถสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบได้อย่างจำกัด

6.4 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบจอดรถอัตโนมัติระหว่างระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดภาคและชนิดหุ่นยนต์ เพียงเพื่อประเมินประสิทธิภาพและเปรียบเทียบระหว่างสองระบบ โดยยังมีปัจจัยและปัญหาอื่นๆที่น่าสนใจเกี่ยวกับระบบจอดรถอัตโนมัติแต่ไม่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ อย่างเช่น

- การออกแบบระบบจอดรถอัตโนมัติโดยวิเคราะห์จากข้อมูลต่างๆเพื่อจำนวนลิฟต์ที่เหมาะสมทั้งในด้านของเวลาและต้นทุน
- การพิจารณาการบริหารจัดการการจราจรภายในสถานที่ที่มีระบบจอดรถอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด
- การวิเคราะห์การบำรุงรักษาของระบบจอดรถอัตโนมัติเพื่อให้โอกาสการเกิดเครื่องจักรชำรุดและหยุดโดยฉุกเฉินน้อยลง
- วิเคราะห์แบบจำลองโดยนำเข้าข้อมูลที่มีละเอียดยิ่งขึ้น อย่างเช่น เวลาเร่งด่วน หรือวันหยุดราชการ เพื่อให้การวิเคราะห์นั้นมีความน่าเชื่อถือและแม่นยำยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- Cassandras, C. G., & Lafortune, S. (2008). *Introduction to discrete event systems*. Springer.
- De Smet, R. (1993). *Simulation modeling and analysis: Averill M. Law and W. David Kelton McGraw-Hill, Inc., New York, 1991, xxii+ 759 pages, £ 31.05, ISBN 0 07 036698 5*. In: North-Holland.
- Hamelink, I. L. J. (2011). *The Mechanical Parking Guide*. In: CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Houck, D., & Whitehead, C. (2019). *Introduction To Simio*. 2019 Winter Simulation Conference (WSC),
- Kendall, D. G. (1953). Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of the imbedded Markov chain. *The Annals of Mathematical Statistics*, 338-354.
- Li, Z., & Miao, L. (2020). Automated stereo-garage with multiple cache parking spaces—Structure, system and scheduling performance. *Automation in Construction*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103377>
- Sundarapandian, V. (2009). *Probability, statistics and queuing theory*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Wu, G., Xu, X., De Koster, R., & Zou, B. (2019). Optimal design and planning for compact automated parking systems. *European Journal of Operational Research*, 273(3), 948-967.
- Wu, G., Xu, X., & Lu, X. (2020). Considering the influence of queue length on performance improvement for a new compact robotic automated parking system. *International Journal of Information Management*, 50, 487-497. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.04.002>
- Zaerpour, N., Yu, Y., & de Koster, R. (2017). Small is beautiful: A framework for evaluating and optimizing live-cube compact storage systems. *Transportation Science*, 51(1), 34-51.
- มูลนิธิประเมินค่า-นายหน้าแห่งประเทศไทย. (2565). *ราคาประเมินค่าก่อสร้างอาคาร พ.ศ.2562-2565 กำหนดโดย*

มูลนิธิประเมินค่า-นายหน้าแห่งประเทศไทย.

<https://soponpornchokchai.files.wordpress.com/2022/08/june-cost-thai.jpg>

สภากรุงเทพมหานคร. (2544). ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544.

<https://bmc.go.th/wp-content/uploads/2020/05/169.pdf>



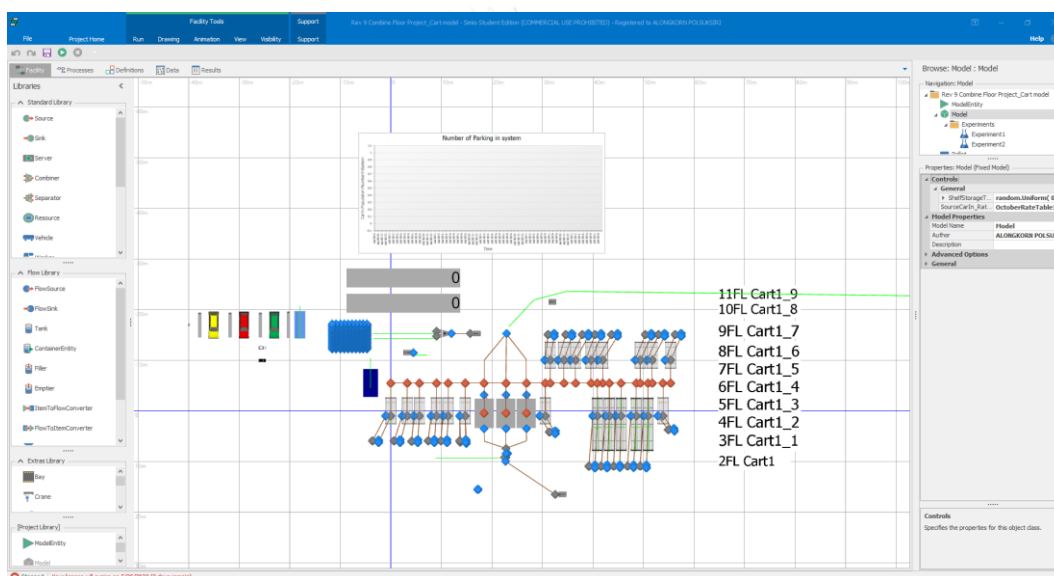
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

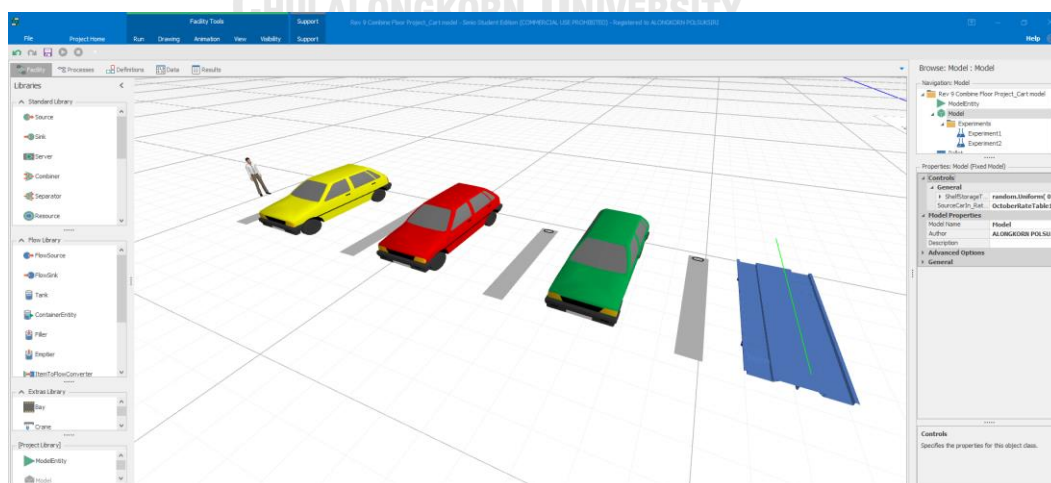
การสร้างแบบจำลอง

กระบวนการสร้างแบบจำลองเพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพของระบบจอดรถอัตโนมัติสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบจำลองหลัก ประกอบด้วย แบบจำลองระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด และแบบจำลองระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์ ดังนี้

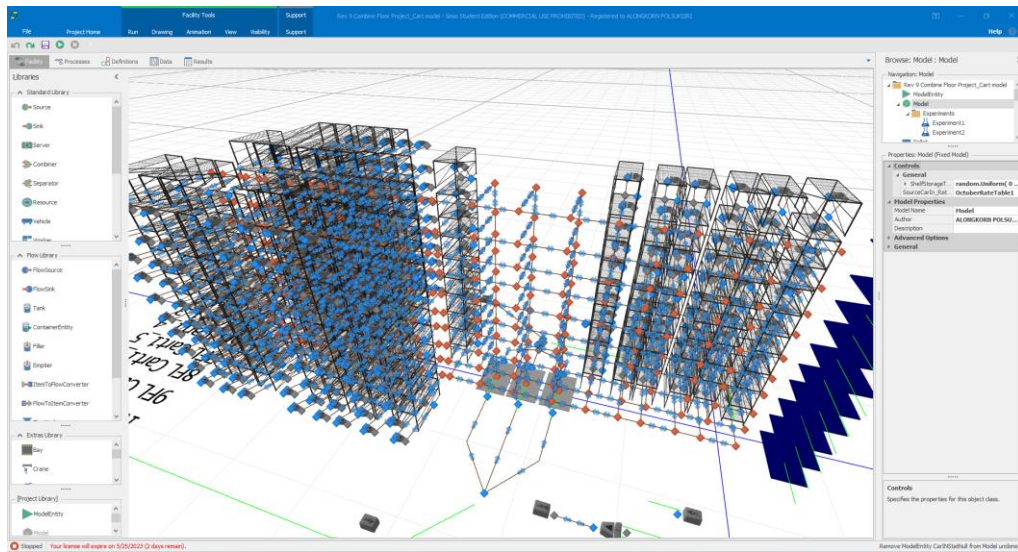
การสร้างแบบจำลองแบบจำลองระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด



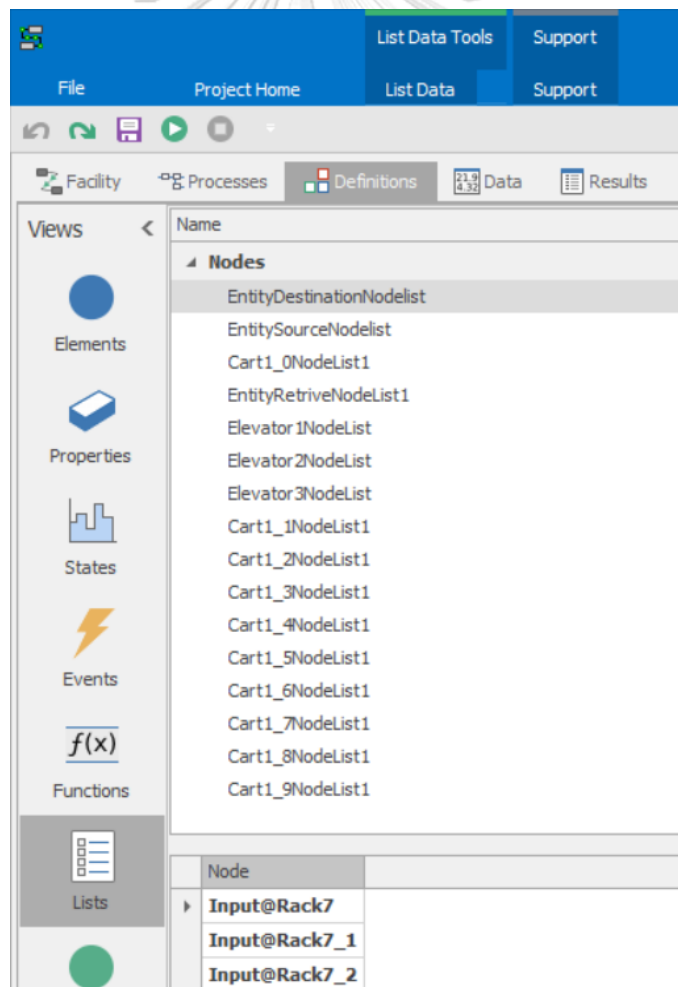
รูปที่ ก.1 แผนผังของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด



รูปที่ ก.2 ตัวอย่างการสร้างวัตถุพื้นฐานต่างๆ

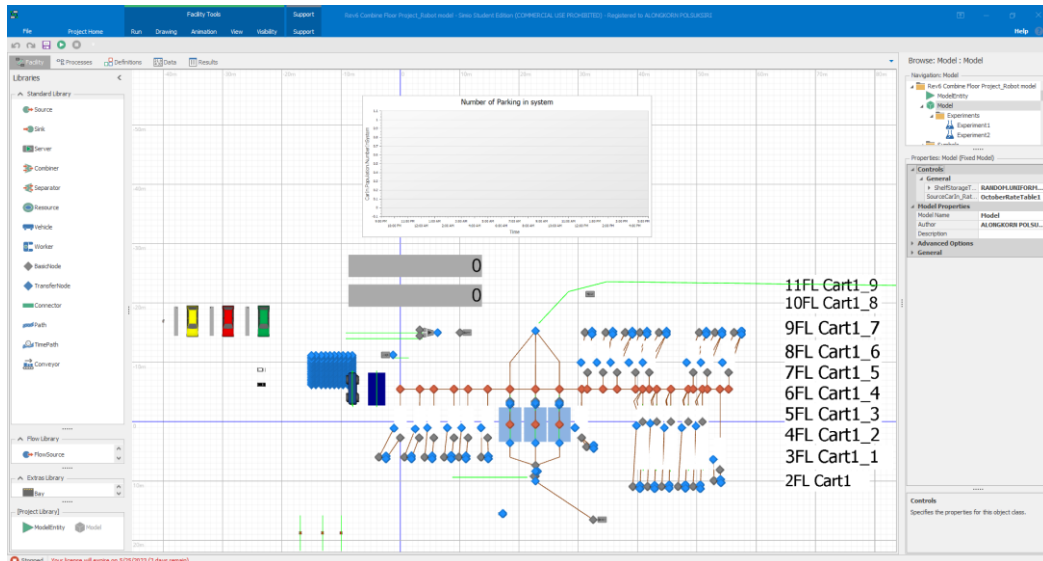


รูปที่ ก.3 การเชื่อมต่อจุดและเส้นทางต่างๆ

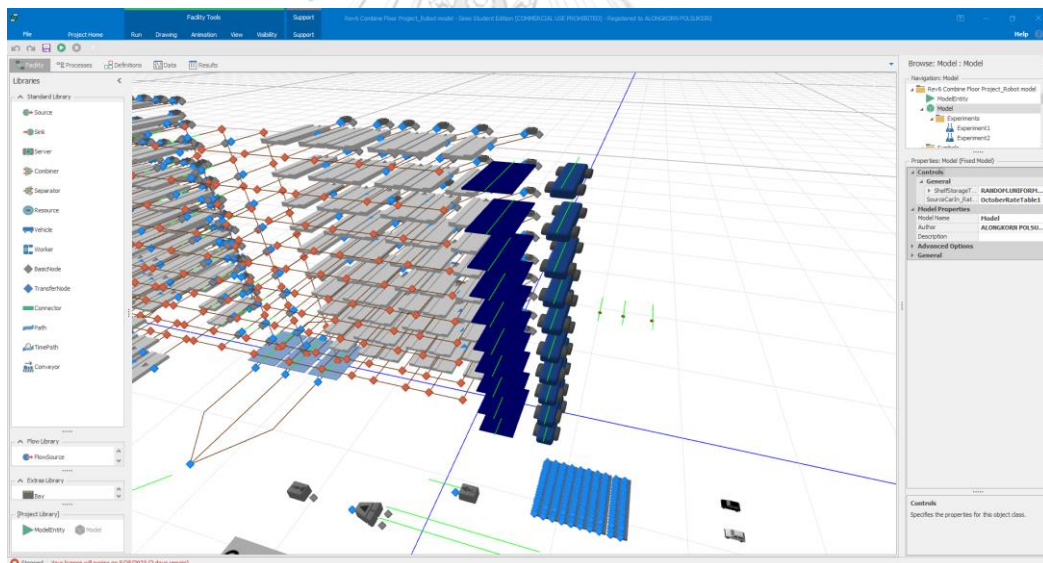


รูปที่ ก.4 การแบ่งกลุ่มของวัตถุสำหรับงานต่าง ๆ

การสร้างแบบจำลองแบบจำลองระบบจอร์รถัดโนมิติชนิดหุ่นยนต์

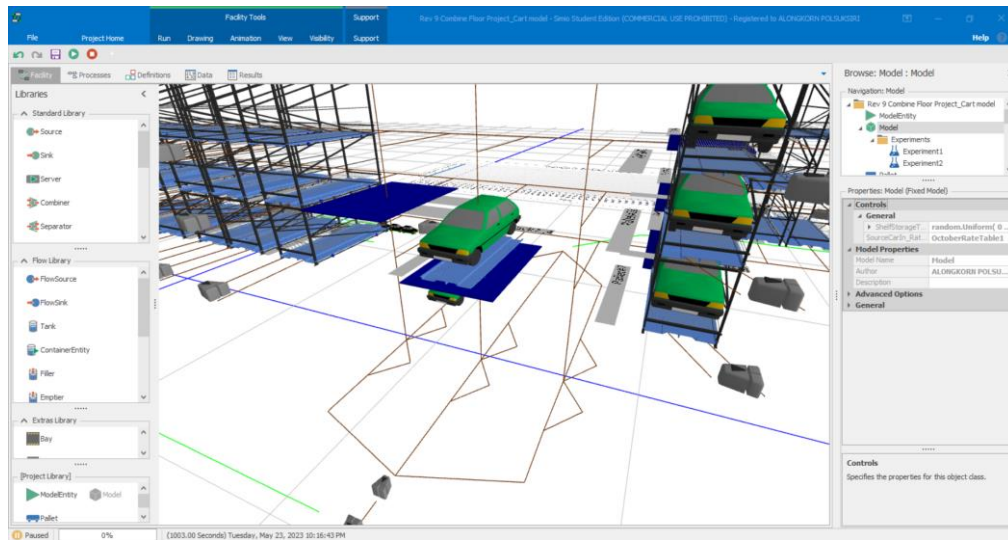


รูปที่ ก.5 แผนผังของระบบจอร์รถัดโนมิติชนิดหุ่นยนต์

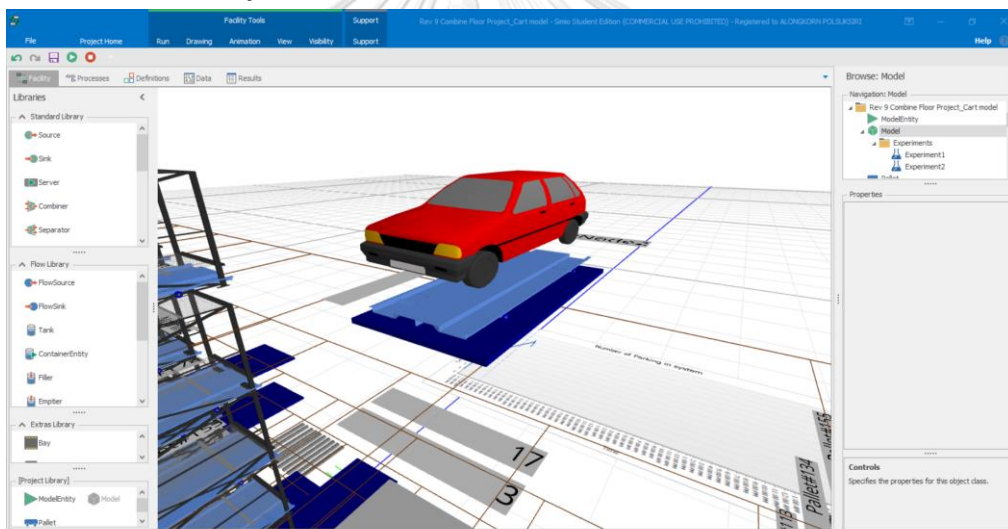


รูปที่ ก.6 ตัวอย่างการวางวัตถุหุ่นยนต์

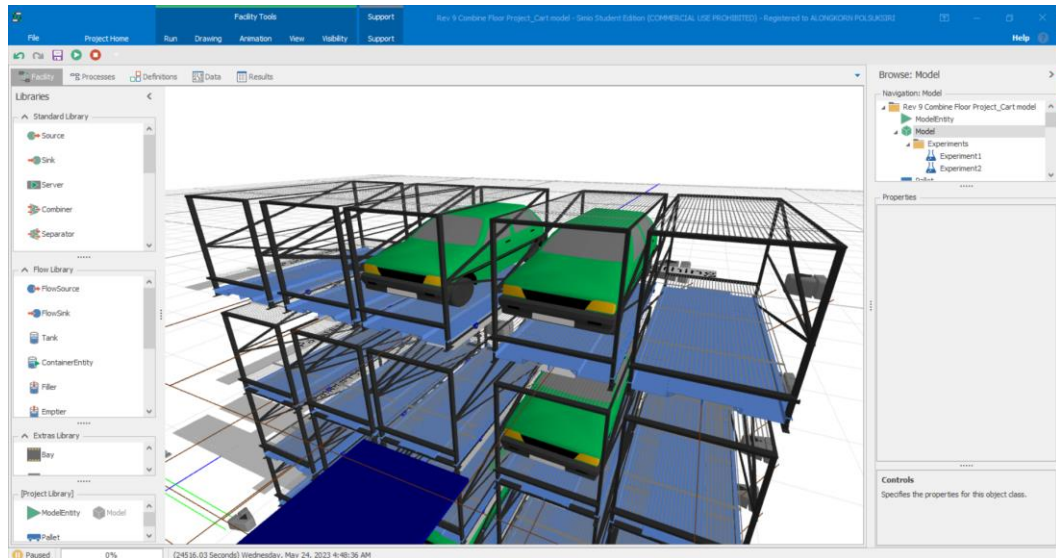
ตัวอย่างกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในระบบจอตลอดอัตโนมัติ



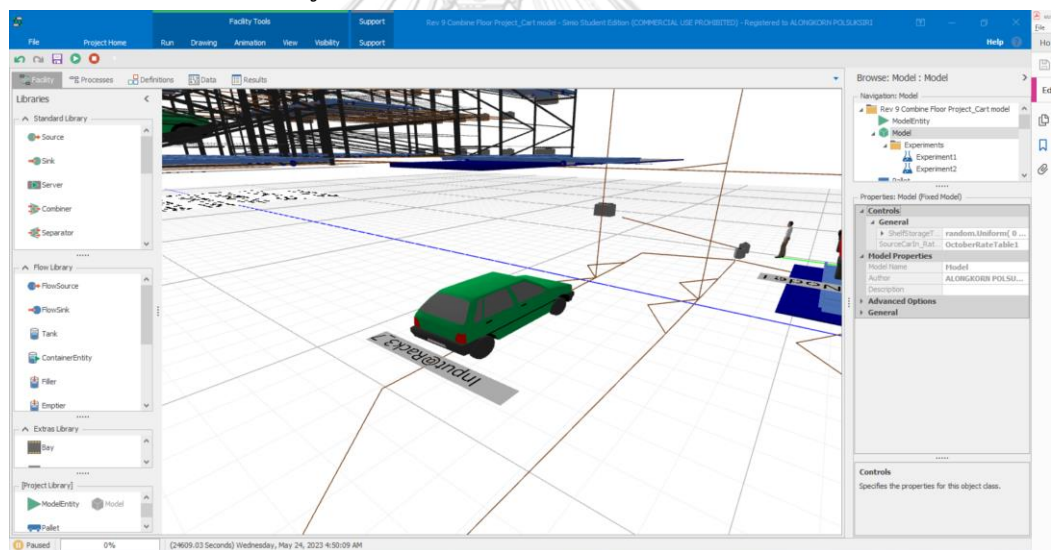
รูปที่ ก.7 การเคลื่อนย้ายรถยนต์โดยลิฟต์แนวตั้ง



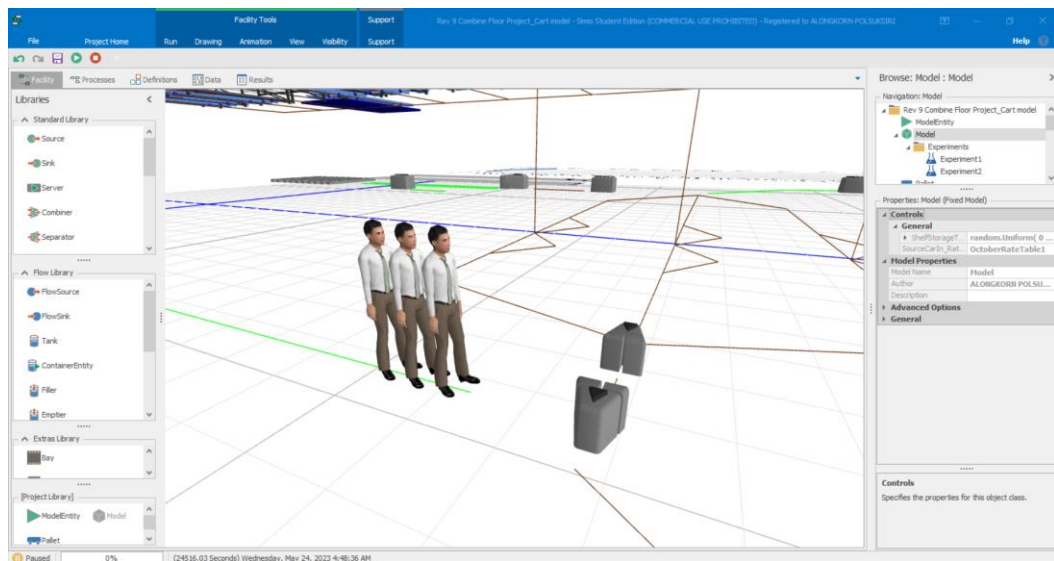
รูปที่ ก.8 การเคลื่อนย้ายรถยนต์โดยลิฟต์แนวนอน



รูปที่ ก.9 การจอดรถยนต์ในช่องจอดรถ



รูปที่ ก.10 รถยนต์ขณะรอเข้าจอดในระบบ



รูปที่ ก.11 คิวที่เกิดขึ้นขณะรอนำรถยนต์ออกจากระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

การทดลองแบบจำลองระบบจรวดอัตโนมัติ

ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)

Output1 Rev1.sps [Document1] - IBM SPSS Statistics Viewer

File Edit View Data Transform Insert Format Analyze Graphs Utilities Extensions Window Help

Search application

Output

- T-Test
- T-Test
- Title
- Notes
- Paired Samples St
- Paired Samples C
- Paired Samples Tr
- Paired Samples Et

T-Test

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 park	3100.0000	3	391.61588	226.09954
palletpark	3089.0000	3	382.34409	220.74646
Pair 2 park	3100.0000	3	391.61588	226.09954
robotpark	3082.6667	3	376.33141	217.27504
Pair 3 retriive	3214.6667	3	373.65403	215.72925
palletretriive	3088.0000	3	380.62580	219.75441
Pair 4 retriive	3214.6667	3	373.65403	215.72925
robotretriive	3081.0000	3	377.38972	217.88606

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Significance	
			One-Sided p	Two-Sided p
Pair 1 park & palletpark	3	1.000	.002	.004
Pair 2 park & robotpark	3	1.000	.008	.016
Pair 3 retriive & palletretriive	3	.962	.088	.177
Pair 4 retriive & robotretriive	3	.951	.100	.200

Paired Samples Test

		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Paired Differences		t	df	Significance	
					Lower	Upper			One-Sided p	Two-Sided p
Pair 1	park - palletpark	11.00000	9.64365	5.56776	-12.95616	34.95616	1.976	2	.093	.187
Pair 2	park - robotpark	17.33333	18.23001	10.52510	-27.95253	62.61919	1.647	2	.121	.241
Pair 3	retriive - palletretriive	126.66667	104.69639	60.44649	-133.41358	386.74691	2.096	2	.086	.171
Pair 4	retriive - robotretriive	133.66667	117.53439	67.85951	-158.30495	425.63828	1.970	2	.094	.188

Paired Samples Effect Sizes

		Standardizer ^a	Point Estimate	95% Confidence Interval		
				Lower	Upper	
Pair 1	park - palletpark	Cohen's d	9.64365	1.141	-.448	2.618
		Hedges' correction	17.09293	.644	-.253	1.477
Pair 2	park - robotpark	Cohen's d	18.23001	.951	-.531	2.315
		Hedges' correction	32.31185	.536	-.300	1.306
Pair 3	retriive - palletretriive	Cohen's d	104.69639	1.210	-.420	2.731
		Hedges' correction	185.56951	.683	-.237	1.541
Pair 4	retriive - robotretriive	Cohen's d	117.53439	1.137	-.450	2.612
		Hedges' correction	208.32429	.642	-.254	1.474

a. The denominator used in estimating the effect sizes.

รูปที่ ข.1 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากโปรแกรม SPSS

ผลการทดลองของตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนต่างๆของระบบจอตลอดโนมิติจากโปรแกรม SIMIO

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
TimePath	WaitingElevator3	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Average (Seconds)	106.2608	05.9606	106.2006	0.1363
					Maximum (Seconds)	232.0411	12.8470	272.4744	10.8665
					Minimum (Seconds)	62.0477	58.4592	64.3831	1.2962
	WaitingElevator2	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Average (Seconds)	107.6448	07.2585	108.3058	0.1651
					Maximum (Seconds)	235.7376	06.1044	333.3468	21.1664
					Minimum (Seconds)	63.8309	59.6197	68.0348	1.9509
WaitingElevator1	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Average (Seconds)	109.1427	08.7769	109.8214	0.1836	
				Maximum (Seconds)	223.0553	03.5141	257.4351	9.8363	
				Minimum (Seconds)	65.4394	60.5706	69.2942	1.4170	

รูปที่ ข.2 การแสดงผลของเวลาในการรอเข้าจอตลอดของระบบจอตลอดโนมิติชนิดภาค

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
TimePath	WaitingElevator3	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Average (Seconds)	26.5236	26.0549	26.9464	0.1490
					Maximum (Seconds)	116.1284	95.7587	154.4174	10.6952
					Minimum (Seconds)	18.0000	18.0000	18.0000	0.0000
	WaitingElevator2	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Average (Seconds)	26.3935	26.0555	26.7909	0.1383
					Maximum (Seconds)	124.3263	96.9228	168.6363	12.4465
					Minimum (Seconds)	18.0000	18.0000	18.0000	0.0000
WaitingElevator1	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Average (Seconds)	26.4353	26.1404	26.7078	0.0577	
				Maximum (Seconds)	120.7891	96.9228	147.5341	9.9946	
				Minimum (Seconds)	18.0000	18.0000	18.0000	0.0000	

รูปที่ ข.3 การแสดงผลของเวลาในการรอเข้าจอตลอดของระบบจอตลอดโนมิติชนิดหุ่นยนต์

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Source	SourceCarIn	OutputBuffer	Content	NumberInStation	Average	0.0288	0.0274	0.0303	0.0006
					Maximum	3.5000	3.0000	5.0000	0.4099
					Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
					Half Width	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

รูปที่ ข.4 การแสดงผลของจำนวนรถในการรอเข้าจอตลอดสูงสุดของระบบจอตลอดโนมิติชนิดภาค

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Source	SourceCarIn	OutputBuffer	Content	NumberInStation	Average	0.0131	0.0116	0.0021	0.0001
					Maximum	2.1000	2.0000	3.0000	0.1833
					Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
					Half Width	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

รูปที่ ข.5 การแสดงผลของจำนวนรถในการรอเข้าจอตลอดสูงสุดของระบบจอตลอดโนมิติชนิดหุ่นยนต์

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
ModelEntity	CarOut	[Population]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Sec.)	107.2507	06.9476	107.5330	0.1240
					Maximum (Sec.)	268.6715	41.0781	304.4004	12.2887
					Minimum (Sec.)	55.8305	54.7895	57.9277	0.6370
					Observations	9,281.0000	23.0000	9,450.0000	77.6042

รูปที่ ข.6 การแสดงผลของเวลาในการรอนำรถออกโดยเฉลี่ยของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดภาค

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half width
ModelEntity	CarOut	[Population]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Seconds)	141.2455	40.9728	141.7533	0.1301
					Maximum (Seconds)	320.3099	91.4218	389.4624	16.2661
					Minimum (Seconds)	62.5767	57.7447	70.1585	2.1216
					Observations	9,302.8000	18.0000	9,530.0000	63.8030

รูปที่ ข.7 การแสดงผลของเวลาในการรอนำรถออกโดยเฉลี่ยของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Combiner	RetrieveCarProcess	MemberInputBuffer	Content	NumberInStation	Average	0.3604	0.3490	0.3673	0.0033
					Maximum	5.0000	4.0000	6.0000	0.3664
					Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

รูปที่ ข.8 การแสดงผลของจำนวนแถวคอยของลูกค้ำที่รอนำรถออกสูงสุดของระบบจอดรถอัตโนมัติ

ชนิดภาค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Combiner	RetrieveCarProcess	MemberInputBuffer	Content	NumberInStation	Average	0.4803	0.4703	0.4927	0.0035
					Maximum	5.8000	5.0000	7.0000	0.3666
					Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

รูปที่ ข.9 การแสดงผลของจำนวนแถวคอยของลูกค้ำที่รอนำรถออกสูงสุดของระบบจอดรถอัตโนมัติ

ชนิดหุ่นยนต์

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
ModelEntity	Car@Stat	Population	FlowTime	Time@System	Average (Sec)	189.1087	88.6379	189.4070	0.1523
					Maximum (Sec)	402.6686	65.1566	470.5374	18.1967
					Minimum (Sec)	117.3226	14.1192	123.5130	1.7851
					Observations	9,290,7000	19,0000	9,453,0000	78,3835

รูปที่ ข.10 การแสดงผลของอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมงของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
ModelEntity	Car@Stat	Population	FlowTime	Time@System	Average (Seconds)	143.1078	42.8917	143.9611	0.1197
					Maximum (Seconds)	304.7045	77.1030	355.6312	14.2340
					Minimum (Seconds)	96.4964	93.6365	98.6209	1.1131
					Observations	9,303,0000	23,0000	9,531,0000	63,7080

รูปที่ ข.11 การแสดงผลของอัตราเฉลี่ยในการจัดเก็บรถยนต์ในระบบต่อหนึ่งชั่วโมงของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Resource@Stat	Resource@Stat	Resource@Date	Time@Transporting	Average (Sec)	30.8479	30.4156	31.2070	0.1044	
				Occurrences	10,985,3000	20,0000	11,147,0000	138,8611	
				Percent	12.0568	12.2847	12.0966	0.3039	
				Total (Seconds)	336,413,1663	76,8870	146,275,2239	1,342,8751	
				Average (Sec)	30.8307	30.5117	31.3789	0.2359	
				Occurrences	11,070,0000	43,0000	11,300,0000	93,9462	
				Percent	12.8017	12.3942	13.0917	0.1389	
				Total (Seconds)	339,193,7096	87,4792	146,876,4636	1,147,3983	
				Average (Sec)	30.8320	30.4931	30.9887	0.2964	
				Occurrences	10,981,6000	64,0000	11,167,0000	76,3463	
				Percent	12.7737	12.4070	12.9983	0.2942	
				Total (Seconds)	336,450,1044	40,8817	145,295,6006	1,490,8608	

รูปที่ ข.12 การแสดงผลของเวลาในการทำงานลิฟต์แนวตั้งของระบบจอดรถอัตโนมัติชนิดถาด

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Cart	CartEQ	Resource	ResourceState	TimeTranspiling	Average (Sec)	65.3108	59.9448	65.6521	0.1464
					Occurrences	3,465,300	77,000	3,139,000	28,112
					Percent	7.9222	7.9222	8.0000	0.0000
					Total (Sec)	228,815,7124	14,4693	14,469,300	1,849,8327
CartEQ	Resource	ResourceState	TimeTranspiling	Average (Sec)	62.2136	58.7128	63.0451	0.2028	
				Occurrences	3,465,000	13,000	3,147,000	28,200	
				Percent	7.8214	7.8999	8.0711	0.0488	
				Total (Sec)	215,844,8474	19,2726	14,451,452	1,775,465	

รูปที่ ข.13 การแสดงผลของเวลาในการทำงานลิฟต์แนวนอนของระบบจอร์รถัดโนมิติชนิดภาค

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
TimePath	OpenExitDoor3	Travelers	Throughput	NumberEntered	Total	3,080,9000	64,0000	3,203,0000	44,9892
					Occurrences	3,105,6000	39,0000	3,222,0000	36,9159
	OpenExitDoor2	Travelers	Throughput	NumberEntered	Total	3,104,3000	19,0000	3,133,0000	24,8776
					Occurrences	3,138,0000	39,0000	3,204,0000	36,9159
	OpenEntranceDoor3	Travelers	Throughput	NumberEntered	Total	3,104,4000	20,0000	3,153,0000	24,7920
					Occurrences	3,108,3000	93,0000	3,181,0000	31,2973
	OpenEntranceDoor2	Travelers	Throughput	NumberEntered	Total	3,096,8000	23,0000	3,170,0000	28,0379
					Occurrences	3,081,0000	64,0000	3,203,0000	45,0477
	CloseExitDoor3	Travelers	Throughput	NumberEntered	Total	3,105,6000	36,0000	3,222,0000	36,9159
					Occurrences	3,104,4000	20,0000	3,153,0000	24,7920
	CloseExitDoor2	Travelers	Throughput	NumberEntered	Total	3,094,4000	69,0000	3,168,0000	38,1156
					Occurrences	3,109,3000	93,0000	3,181,0000	31,2973
	CloseEntranceDoor3	Travelers	Throughput	NumberEntered	Total	3,096,8000	23,0000	3,170,0000	28,0379
					Occurrences	3,081,0000	64,0000	3,203,0000	45,0477
	CloseEntranceDoor2	Travelers	Throughput	NumberEntered	Total	3,104,4000	20,0000	3,153,0000	24,7920
					Occurrences	3,108,3000	93,0000	3,181,0000	31,2973
CloseEntranceDoor1	Travelers	Throughput	NumberEntered	Total	3,096,8000	23,0000	3,170,0000	28,0379	
				Occurrences	3,081,0000	64,0000	3,203,0000	45,0477	

รูปที่ ข.14 การแสดงผลของรอบการทำงานของประตูระบบจอร์รถัดโนมิติชนิดภาค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Elevator	Stayer [2]	Resource	ResourceState	TimeTranspiling	Average (Sec)	24.2281	24.0304	24.4175	0.1936
					Occurrences	8,936,2000	19,0000	9,227,0000	76,1798
					Percent	8.9361	7.9400	9.4607	0.8660
					Total (Sec)	216,775,9941	81,6278	235,207,8129	1,346,0526
Stayer [3]	Resource	ResourceState	TimeTranspiling	Average (Sec)	24.1093	23.0306	24.1394	0.1747	
				Occurrences	8,513,3000	46,0000	8,601,0000	75,7964	
				Percent	8.1951	7.9661	8.3830	0.6418	
				Total (Sec)	205,125,2161	46,0000	138,988,7764	1,038,6344	
Stayer [2]	Resource	ResourceState	TimeTranspiling	Average (Sec)	24.2441	24.1368	24.4126	0.1674	
				Occurrences	8,903,8000	84,0000	9,136,0000	76,6192	
				Percent	8.9491	7.9460	9.3961	0.9721	
				Total (Sec)	215,914,8118	92,0029	221,746,2363	1,611,2979	

รูปที่ ข.15 การแสดงผลของเวลาในการทำงานลิฟต์แนวตั้งของระบบจอร์รถัดโนมิติชนิดหุ่นยนต์

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Car	Car1_M[0]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	52.4051	12.4112	123.1341	0.5221
					Percent	1.6502	1.6537	1.7442	0.2144
					Total (Demand)	46,761.6207	15.4943	46,214.7839	361.2027
	Car1_M[1]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	52.4068	12.3039	123.9143	0.4989
					Percent	1.6503	1.6524	1.7487	0.2126
					Total (Demand)	44,776.6889	19.1264	46,274.2281	412.5881
	Car1_M[2]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	52.5181	12.1962	123.6232	0.5082
					Percent	1.6508	1.6524	1.7463	0.2161
					Total (Demand)	45,613.9789	16.9411	46,276.7462	424.8552
	Car1_M[3]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	52.4068	12.3622	123.8387	0.5065
					Percent	1.6507	1.6517	1.7377	0.2142
					Total (Demand)	44,765.4777	16.2141	46,474.9371	378.7624
Car1_M[4]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	52.5271	12.4488	123.7799	0.5263	
				Percent	1.6499	1.6482	1.7399	0.2139	
				Total (Demand)	44,862.4362	20.5005	46,022.0378	367.0405	
Car1_M[5]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	52.4079	12.3373	123.9194	0.5089	
				Percent	1.6503	1.6515	1.7333	0.2133	
				Total (Demand)	44,857.9717	27.6734	45,887.0956	355.1887	
Car1_M[6]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	52.5143	12.3947	123.9909	0.5122	
				Percent	1.6499	1.6479	1.7324	0.2146	
				Total (Demand)	44,844.8207	18.2024	46,458.0227	387.4767	
Car1_M[7]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	52.4122	12.4816	123.8861	0.5177	
				Percent	1.6505	1.6506	1.7477	0.2148	
				Total (Demand)	44,821.2491	19.1136	46,266.9379	393.2269	
Car1_M[8]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	52.4072	12.4616	123.6466	0.5207	
				Percent	1.6502	1.6472	1.7393	0.2129	
				Total (Demand)	44,851.2636	14.2375	46,104.1122	346.9162	
Car1_M[9]	Resource	ResourceDate	TimeTransp	Average (Demand)	51.9022	21.0956	52.8922	0.1181	
				Percent	0.9120	2.8144	2.8712	0.1082	
				Total (Demand)	71,048.6077	16.2114	76,723.9377	741.9541	

รูปที่ ข.16 การแสดงผลของเวลาในการทำงานลิปต์แวนอนของระบบจอตารถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Vehicle	Robot1_M[0]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	23,000	1,900,000	13.3487
	Robot1_M[1]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	23,000	1,900,000	13.3481
	Robot1_M[2]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	23,000	1,900,000	13.3115
	Robot1_M[3]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	26,000	1,900,000	13.1393
	Robot1_M[4]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	23,000	1,900,000	13.2442
	Robot1_M[5]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	24,000	1,900,000	13.1837
	Robot1_M[6]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	26,000	1,900,000	13.0448
	Robot1_M[7]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	24,000	1,900,000	13.2824
	Robot1_M[8]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	24,000	1,900,000	13.1919
	Robot1_M[9]	RobotStation	Throughput	HandledEntered	Total	1,860,000	24,000	1,900,000	13.1791

รูปที่ ข.17 การแสดงผลของรอบการทำงานของหุ่นยนต์ระบบจอตารถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Queue	Queue#1Scenario1	Throughput	HandledEntered	Total	3,188,000	20,000	3,150,000	26,000	
	Queue#1Scenario2	Throughput	HandledEntered	Total	3,188,000	20,000	3,170,000	23,287	
	Queue#1Scenario3	Throughput	HandledEntered	Total	3,123,000	19,000	3,202,000	24,914	
	Queue#1Scenario4	Throughput	HandledEntered	Total	3,118,000	20,000	3,228,000	24,929	
	Queue#1Scenario5	Throughput	HandledEntered	Total	3,189,000	17,000	3,142,000	17,4819	
	Queue#1Scenario6	Throughput	HandledEntered	Total	3,187,000	20,000	3,226,000	26,027	
	Queue#1Scenario7	Throughput	HandledEntered	Total	3,182,000	20,000	3,155,000	25,009	
	Queue#1Scenario8	Throughput	HandledEntered	Total	3,189,000	20,000	3,170,000	23,287	
	Queue#1Scenario9	Throughput	HandledEntered	Total	3,118,000	19,000	3,202,000	24,914	
	Queue#1Scenario10	Throughput	HandledEntered	Total	3,118,000	20,000	3,210,000	24,575	
	Queue#1Scenario11	Throughput	HandledEntered	Total	3,188,000	18,000	3,142,000	13,148	
	Queue#1Scenario12	Throughput	HandledEntered	Total	3,187,000	20,000	3,226,000	26,027	

รูปที่ ข.18 การแสดงผลของรอบการทำงานของประตูละบบจอตารถอัตโนมัติชนิดหุ่นยนต์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อลงกรณ์ พรสุขศิริ
วัน เดือน ปี เกิด	10 กุมภาพันธ์ 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ที่อยู่ปัจจุบัน	705 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY