



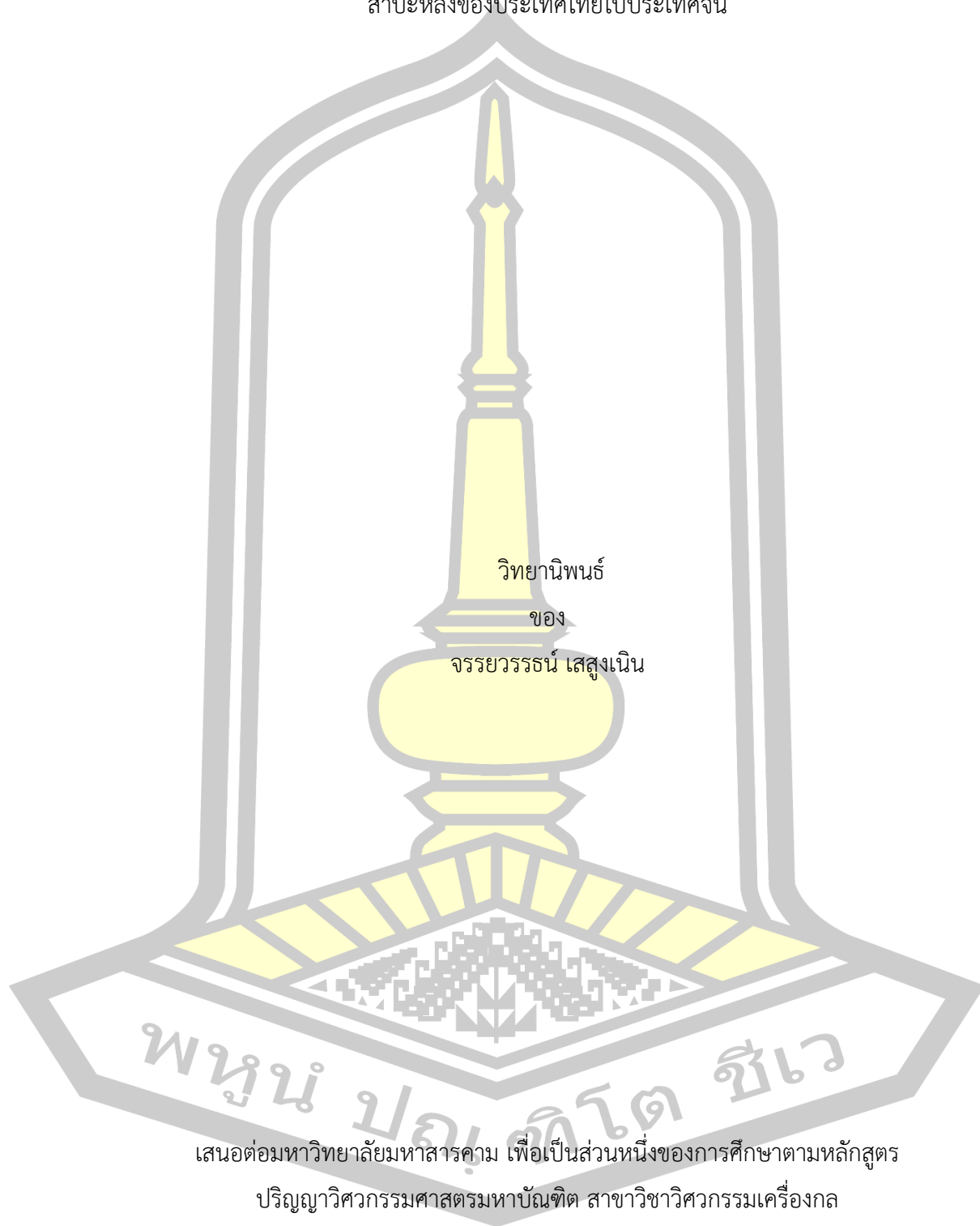
การศึกษาพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกและเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มัน
สำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีน

วิทยานิพนธ์
ของ
จรรยาวรรณ เสสูงเนิน

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
พฤศจิกายน 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การศึกษาพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกและเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มัน
สำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีน



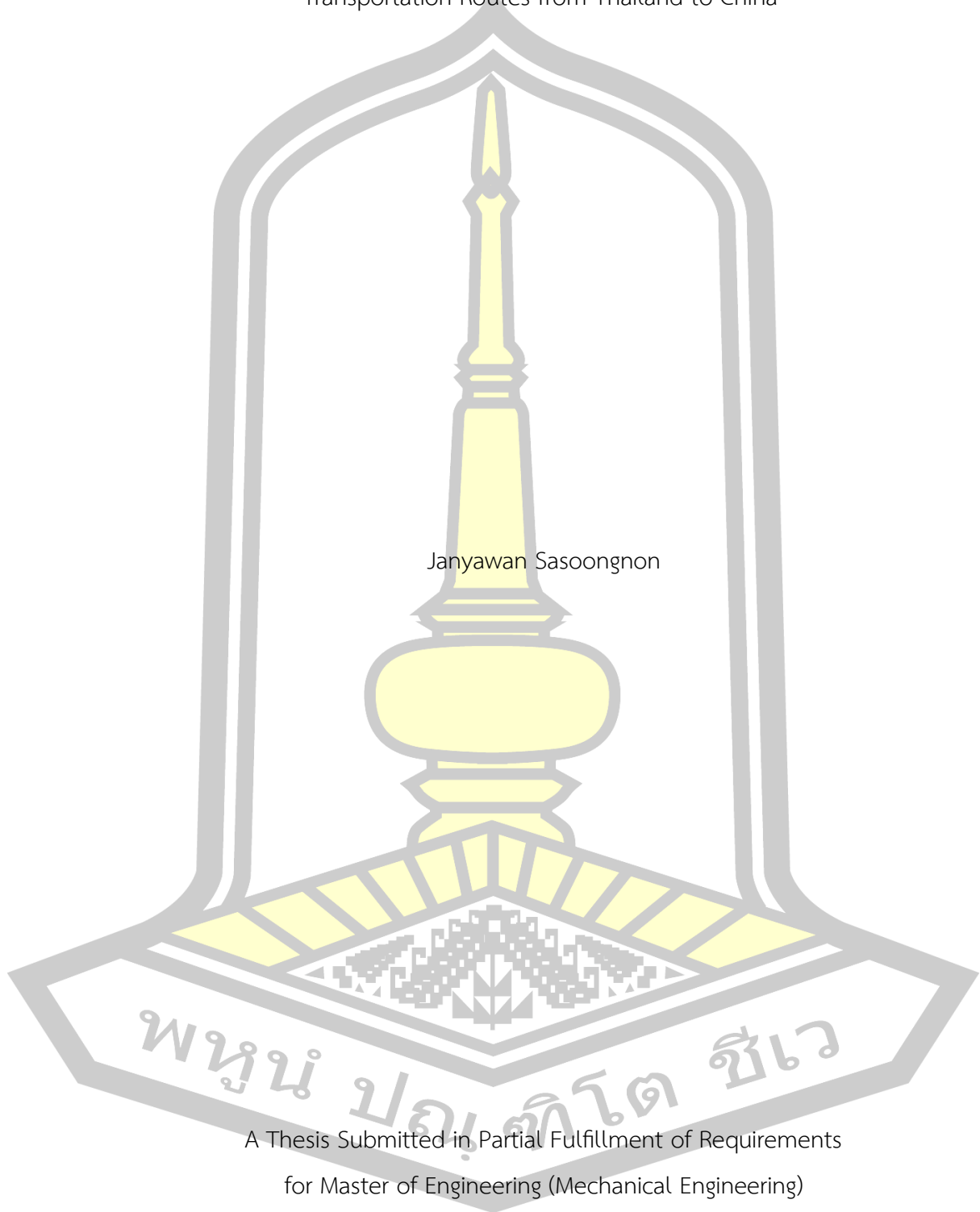
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

A Study to Develop a Predictive Modeling for cassava Product Exports and Optimal
Transportation Routes from Thailand to China



Janyawan Sasoongnon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

November 2024

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวจรรยาวรรณ เสสูงเนิน แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. กสิณ รังสิกรรพุม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. สริญญา ศาลางาม)

กรรมการ

(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

กรรมการ

(ผศ. ดร. อีรพัฒน์ ชมภูคำ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. จักรมาส เลหาวนิช)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

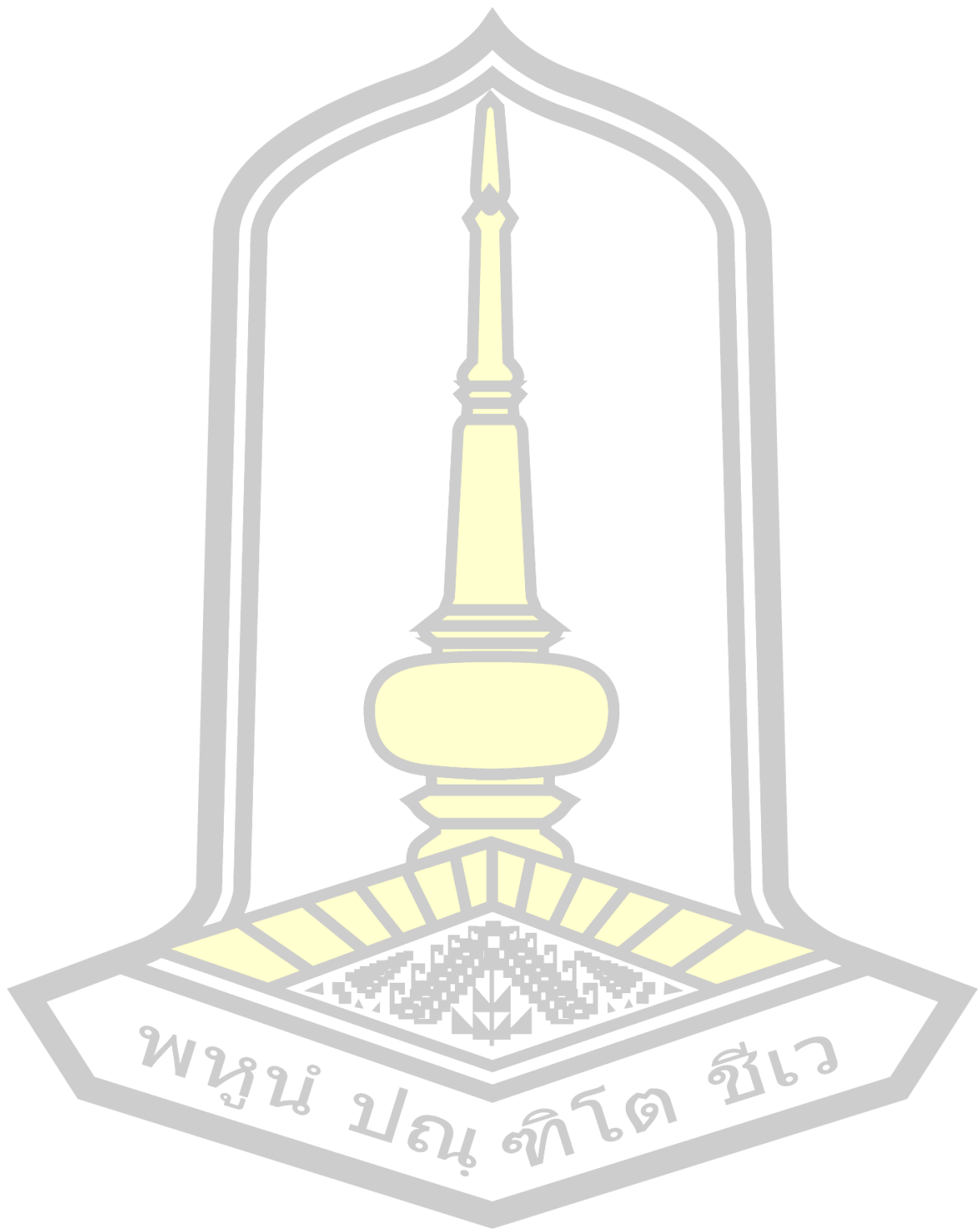
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การศึกษาพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกและเส้นทางการขนส่ง ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีน		
ผู้วิจัย	จรรยาวรรณ เสสูงเนิน		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สริญญา ศาลางาม		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์และจัดเส้นทางการส่งออก
ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยไปยังประเทศจีน โดยใช้การ
วิเคราะห์การถดถอยและโครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ผลผลิตมันสำปะหลัง
อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศจีน และการนำเข้มันสำปะหลังจากประเทศ
เวียดนาม ในปี พ.ศ. 2556 ถึง 2565 ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมี
ประสิทธิภาพเหนือกว่าแบบจำลองการถดถอย โดยมีค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง เท่ากับ
 1.45×10^{-16} เมื่อเทียบกับ 1.5×10^6 ในแบบจำลองการถดถอย ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาท
เทียมที่ได้มานี้ไปพยากรณ์ปริมาณการส่งออกมันสำปะหลังจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย
เพื่อแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังโดยรถไฟความเร็วสูงจากภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือไปยังประเทศจีน โดยประยุกต์ใช้วิธีอำนวยการพัฒนาภาษา Python
ในการประมวลผลโดยกำหนดความจุของรถบรรทุกที่ 50.5 ตัน ใช้มัดจำนวน 10 ตั้ว และทำการ
ทดลองด้วยการวนซ้ำ 100 และ 200 ครั้ง ค่าน้ำหนักพีโรโมนคือ 1 และ 2 ค่าน้ำหนักสำหรับการใช้
ระยะทาง คือ 1 และ 4 ค่าเริ่มต้นของพีโรโมนคือ 1.0 ระยะทางการขนส่งจากบริษัทต่าง ๆ ไปยัง
สถานีรถไฟถูกคำนวณได้คือ สถานีรถไฟบัวใหญ่ 3,915.5 กิโลเมตร สถานีรถไฟบ้านไผ่ 2,589.5
กิโลเมตร สถานีรถไฟขอนแก่น 1,049.8 กิโลเมตร และสถานีรถไฟอุดรธานี 2,468.2 กิโลเมตร
การศึกษานี้เสนอแนะการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการวางแผนการส่งออกในอนาคต
และช่วยพัฒนาระบบการขนส่งมันสำปะหลังผ่านเส้นทางรถไฟความเร็วสูง ไทย-ลาว-จีน ซึ่งจะสร้าง
โอกาสใหม่ให้กับเกษตรกรและผู้ส่งออกของไทยในการเข้าถึงตลาดจีนอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียม, การวิเคราะห์การถดถอย, การพยากรณ์, ปัญหาเส้นทางการขนส่ง
, ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

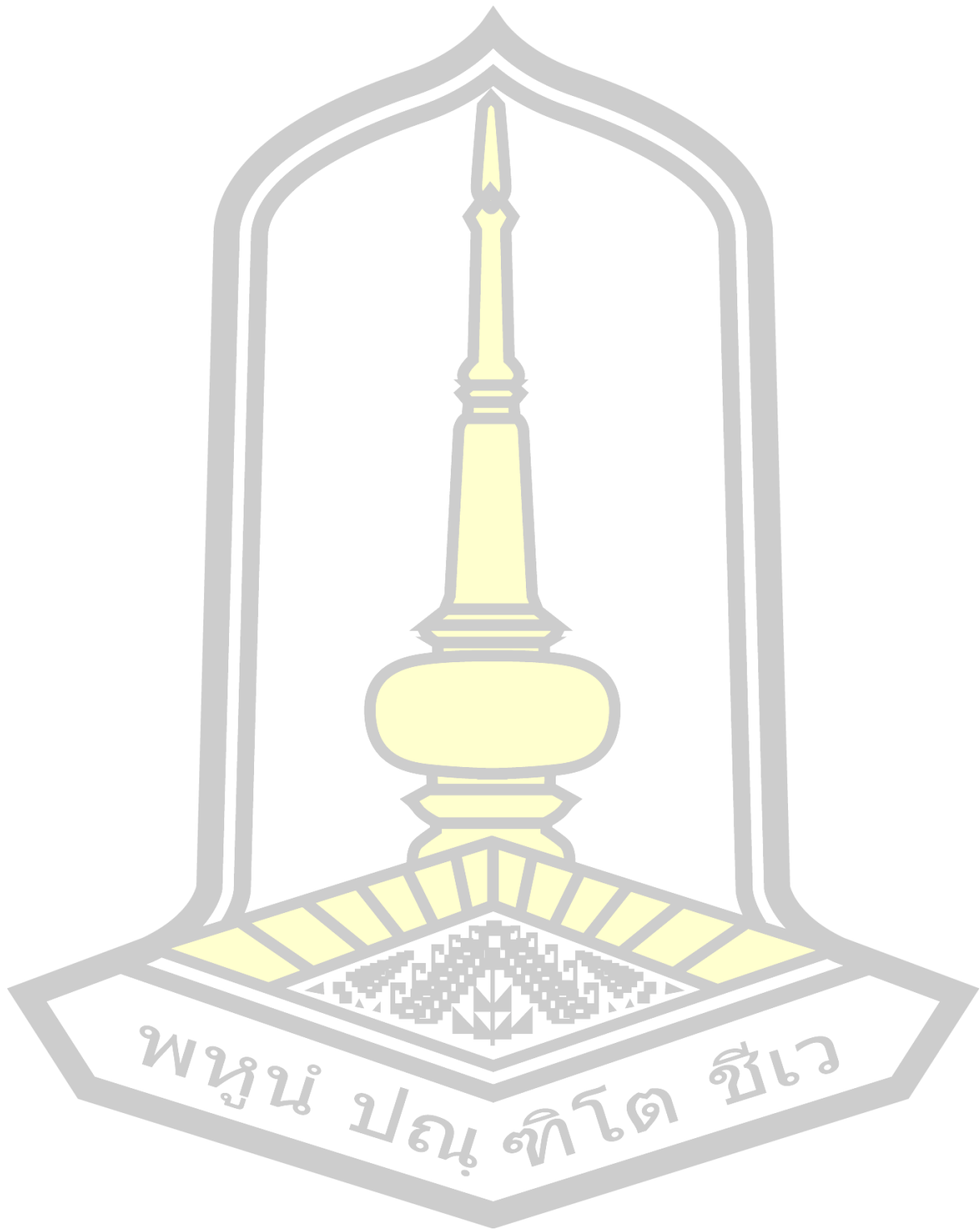


TITLE	A Study to Develop a Predictive Modeling for cassava Product Exports and Optimal Transportation Routes from Thailand to China		
AUTHOR	Janyawan Sasoongnon		
ADVISORS	Assistant Professor Sarinya Sala-ngam , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Mechanical Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

This research to develop a forecasting and optimize the export routes for cassava products from Northeast Thailand to China, utilizing regression analysis and Artificial Neural Networks (ANN). The data used includes Cassava production in Thailand, Exchange rates, China's GDP, and Cassava imports from Vietnam between 2013 and 2022. The results show that the ANN model performed better than the regression model, with A Mean Squared Error (MSE) of 1.45×10^{-16} , compared to 1.5×10^6 in the regression model. The ANN model was applied to forecast cassava export volumes and optimize high-speed rail transport routes using Ant Colony Optimization in Python. Experiments with a truck capacity of 50.5 tons used 10 ants, with 100 and 200 iterations, pheromone weights of 1 and 2, and distance weights of 1 and 4. Distances to railway stations were calculated as follows: Buayai Railway Station at 3,915.5 kilomet, Ban Phai Railway Station at 2,589.5 kilometers, Khon Kaen Railway Station at 1,049.8 kilometers, and Udon Thani Railway Station at 2,468.2 kilometers. The study recommends adopting ANN for export planning and improving cassava transportation via the Thailand-Laos-China high-speed rail to enhance market access in China

Keyword : Artificial Neural Networks, regression analysis, forecasting model, Transportation route problems, Cassava products



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณอย่างยิ่งต่อ ผศ.ดร.สรินญา ศาลางาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำที่เปี่ยมด้วยความเชี่ยวชาญ ความคิดเห็นเชิงลึกที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และการสนับสนุนที่มั่นคงตลอดระยะเวลาของกระบวนการวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ การชี้แนะอย่างรอบคอบและการให้กำลังใจอย่างต่อเนื่องของท่านเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ช่วยให้ข้าพเจ้าสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ รศ.ดร.กสิณ รังสิกรรพุม ประธานกรรมการสอบ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำอย่างละเอียดถี่ถ้วน ทั้งในแง่ของการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการและการประเมินคุณภาพของงานวิจัยอย่างเข้มงวด ความตั้งใจจริงและความมุ่งมั่นของท่านในการยกระดับคุณภาพของวิทยานิพนธ์นี้ ทำให้ผลงานวิจัยฉบับนี้มีมาตรฐานที่เหมาะสมและครบถ้วนสมบูรณ์ตามหลักวิชาการ

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการอ่าน พิจารณา และให้คำแนะนำเชิงสร้างสรรค์อันทรงคุณค่า ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของวิทยานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ความกรุณาและข้อเสนอแนะของท่านเป็นที่นับถือและชื่นชมอย่างแท้จริง

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณต่อ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้มอบทรัพยากรที่จำเป็นต่อการดำเนินงานวิจัย รวมถึงการจัดเตรียมสิ่งอำนวยความสะดวก สภาพแวดล้อมทางการศึกษา และโอกาสในการเข้าถึงแหล่งข้อมูลและอุปกรณ์ที่ช่วยสนับสนุนการเรียนรู้และการวิจัยของข้าพเจ้าได้อย่างเต็มที่

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ครอบครัว เพื่อนร่วมงาน เพื่อนร่วมรุ่น และบุคคลที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้มอบกำลังใจ การสนับสนุนด้านต่าง ๆ และความช่วยเหลือที่มีคุณค่าในทุกช่วงเวลาของกระบวนการวิจัย การสนับสนุนจากทุกฝ่ายไม่เพียงแต่ช่วยให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจดำเนินการจนสำเร็จ แต่ยังทำให้การศึกษานี้เป็นประสบการณ์ที่น่าจดจำและเปี่ยมไปด้วยคุณค่า

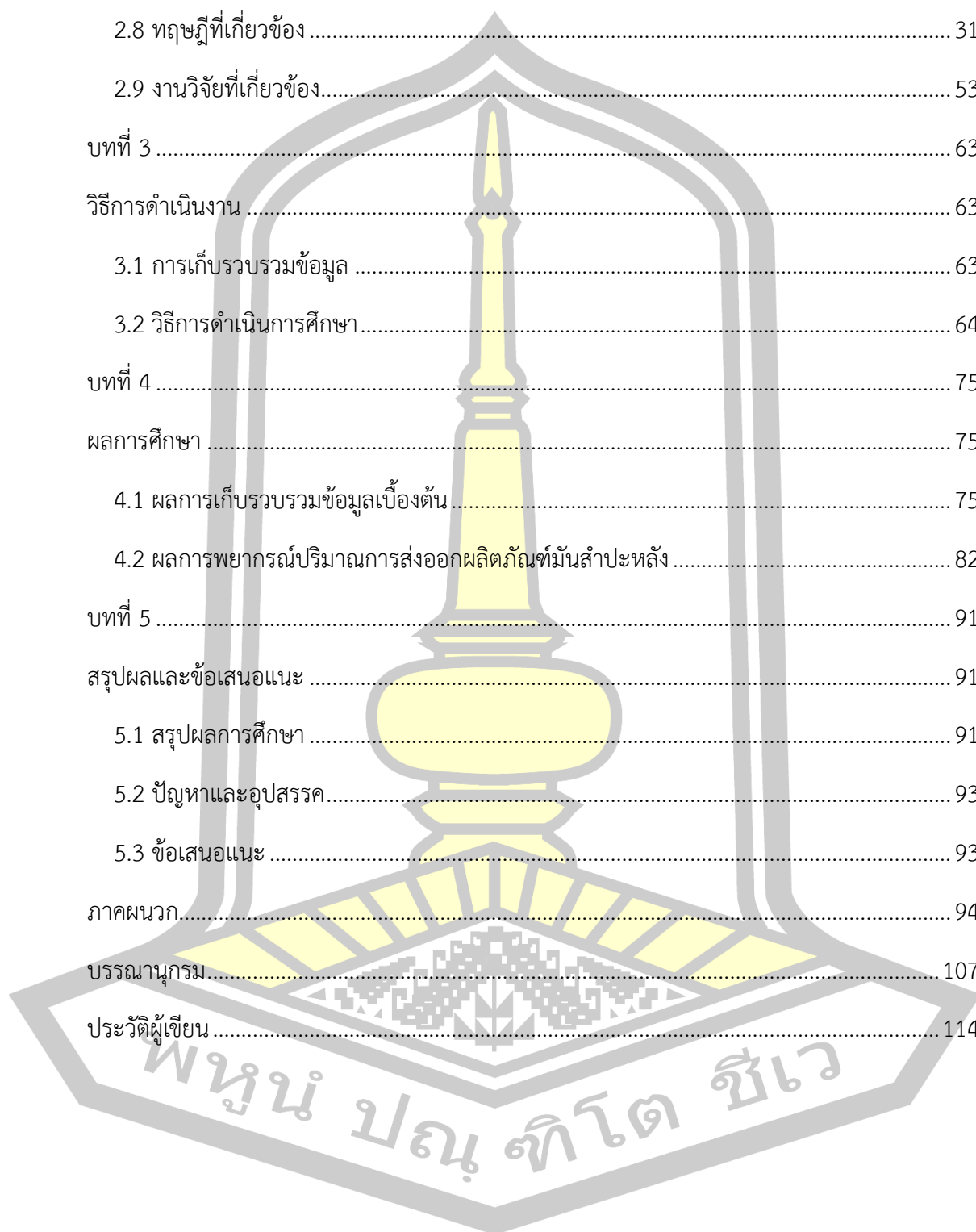
ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยและความพยายามที่ได้ทุ่มเทในครั้งนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการและการประยุกต์ใช้ในด้านที่เกี่ยวข้อง ทั้งในระดับส่วนบุคคลและระดับสังคมในอนาคตต่อไป

จรรยาบรรณ เสสูงเนิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้า.....	6
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2	9
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ความสำคัญของมันสำปะหลังที่มีต่อประเทศไทย.....	9
2.2 การปลูกมันสำปะหลัง.....	10
2.3 สถานการณ์มันสำปะหลังในประเทศไทย.....	14
2.4 การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทย.....	16
2.5 เส้นทาง การขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีน.....	19
2.6 สารสำคัญของร่างพระราชบัญญัติ ระเบียบและหลักเกณฑ์การขนส่งผลิตภัณฑ์ของระบบราง.....	24

2.7 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	29
2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	31
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	53
บทที่ 3.....	63
วิธีการดำเนินงาน.....	63
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	63
3.2 วิธีการดำเนินการศึกษา.....	64
บทที่ 4.....	75
ผลการศึกษา.....	75
4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น.....	75
4.2 ผลการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง.....	82
บทที่ 5.....	91
สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	91
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	93
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	93
ภาคผนวก.....	94
บรรณานุกรม.....	107
ประวัติผู้เขียน.....	114

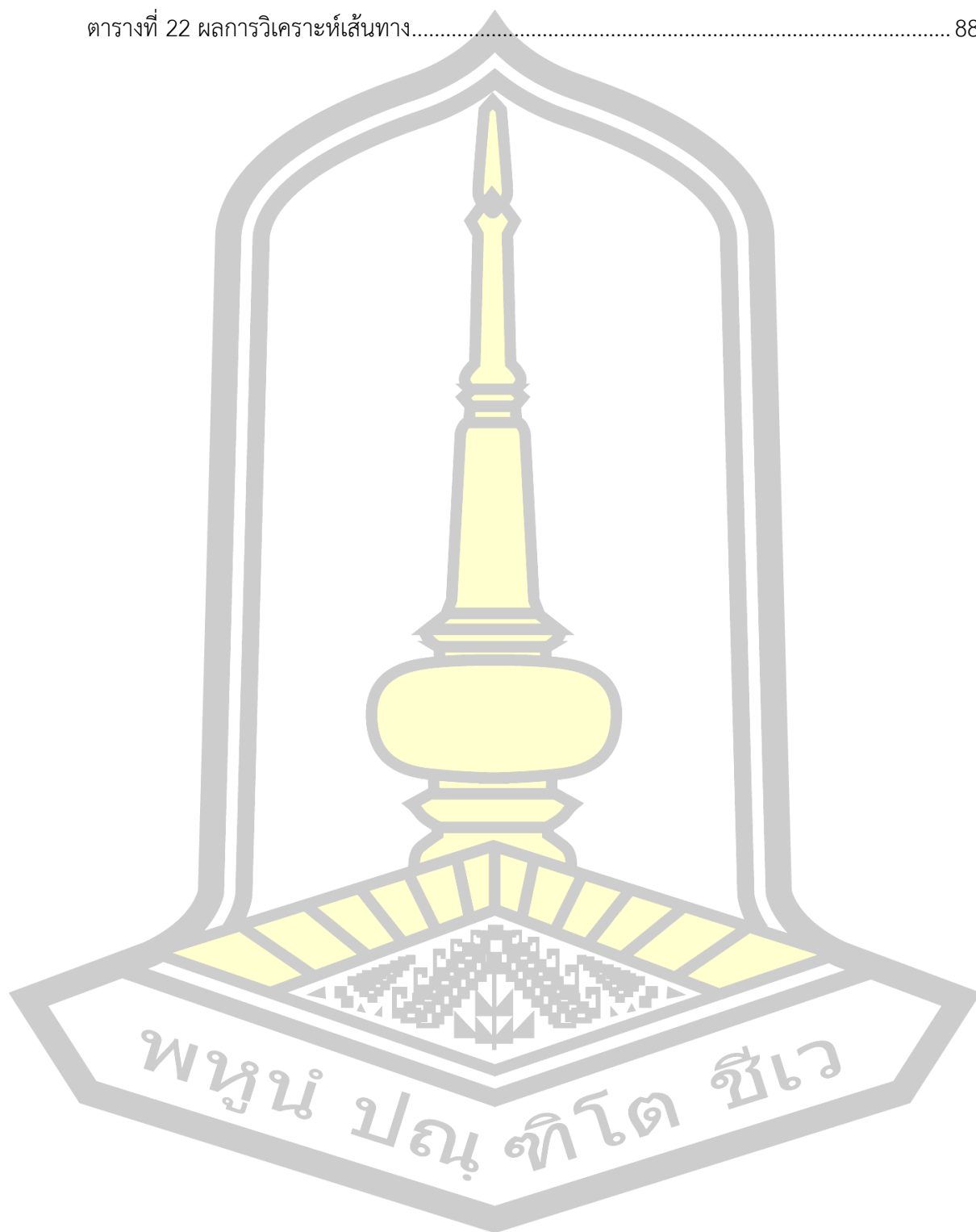


สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยไปประเทศจีน ปี พ.ศ.2556-2565.....	3
ตารางที่ 2 พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมเฉพาะพื้นที่.....	11
ตารางที่ 3 พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมเฉพาะพื้นที่ (ต่อ).....	12
ตารางที่ 4 พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมเฉพาะพื้นที่ (ต่อ).....	13
ตารางที่ 5 เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลังในไทย ปี 2560-2565.....	14
ตารางที่ 6 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้พลังงานของประเทศไทย.....	30
ตารางที่ 7 สรุปผลสิ่งที่ได้จากการค้นพบจากการทบทวนงานวิจัย.....	58
ตารางที่ 8 สรุปผลสิ่งที่ได้จากการค้นพบจากการทบทวนงานวิจัย (ต่อ).....	58
ตารางที่ 9 สรุปผลสิ่งที่ได้จากการค้นพบจากการทบทวนงานวิจัย (ต่อ).....	59
ตารางที่ 10 สรุปผลสิ่งที่ได้จากการค้นพบจากการทบทวนงานวิจัย (ต่อ).....	60
ตารางที่ 11 พารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีโครมเข้ายประสาทเทียม.....	68
ตารางที่ 12 การเก็บรวบรวมข้อมูลการพยากรณ์.....	76
ตารางที่ 13 ผลผลิตรายจังหวัดของบริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง.....	77
ตารางที่ 14 ระยะเวลาของสถานีรถไฟและบริษัทส่งออก.....	79
ตารางที่ 15 เมทริกซ์ระยะทางของสถานีรถไฟบัวใหญ่ (A) และบริษัทส่งออก.....	81
ตารางที่ 16 เมทริกซ์ระยะทางของสถานีรถไฟบ้านไผ่ (B) และบริษัทส่งออก.....	81
ตารางที่ 17 เมทริกซ์ระยะทางของสถานีรถไฟขอนแก่น (C) และบริษัทส่งออก.....	81
ตารางที่ 18 เมทริกซ์ระยะทางของสถานีรถไฟอุดรธานี (D) และบริษัทส่งออก.....	81
ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์การถดถอย.....	82
ตารางที่ 20 ค่าน้ำหนักและไบแอส.....	87

ตารางที่ 21 ผลพารามิเตอร์เส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ด้วยภาษา Python 88

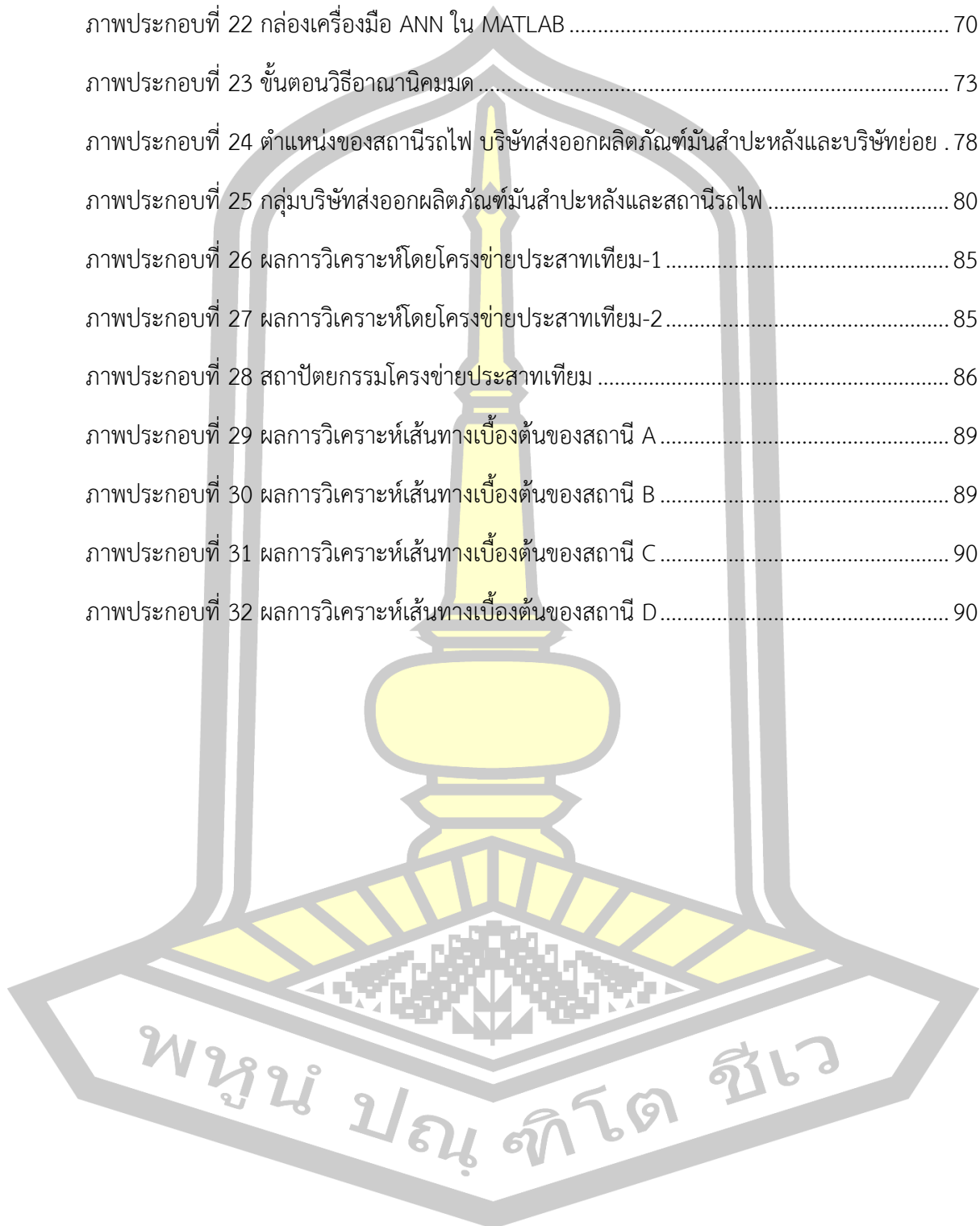
ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์เส้นทาง..... 88



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 1 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกตามภาคเศรษฐกิจสำคัญปี พ.ศ. 2565..	4
ภาพประกอบที่ 2 โครงการรถไฟลาว-จีน	5
ภาพประกอบที่ 3 การปลูกมันสำปะหลัง.....	10
ภาพประกอบที่ 4 เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่มันสำปะหลังระดับภูมิภาคปี พ.ศ. 2564.....	15
ภาพประกอบที่ 5 ผลิตภัณ์มันสำปะหลังไทยและโรงงานแปรรูป.....	16
ภาพประกอบที่ 6 การส่งออกมันสำปะหลังของไทย	17
ภาพประกอบที่ 7 การส่งออกผลิตภัณ์มันสำปะหลังของไทย.....	19
ภาพประกอบที่ 8 เส้นทางขนส่งผลิตภัณ์มันสำปะหลังไปประเทศจีน	20
ภาพประกอบที่ 9 เส้นทาง ด่านส่งออกและนำเข้าสำคัญจากไทย-จีน	23
ภาพประกอบที่ 10 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2566.....	30
ภาพประกอบที่ 11 จำแนกเทคนิคการพยากรณ์.....	34
ภาพประกอบที่ 12 โครงสร้างระบบประสาท	42
ภาพประกอบที่ 13 โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม.....	43
ภาพประกอบที่ 14 Traveling Salesman Problem.....	47
ภาพประกอบที่ 15 การเดินทางหาอาหารของมด.....	50
ภาพประกอบที่ 16 ขั้นตอนกระบวนการพัฒนาวิธีอาณานิคมมด.....	51
ภาพประกอบที่ 17 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	64
ภาพประกอบที่ 18 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าตอบในการพยากรณ์ผลิตภัณ์มันสำปะหลัง	66
ภาพประกอบที่ 19 การพยากรณ์ผลิตภัณ์มันสำปะหลังด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม	68
ภาพประกอบที่ 20 การประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์แบบถดถอยใน MS Excel -1	69

ภาพประกอบที่ 21 การประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์แบบถดถอยใน MS Excel -2	69
ภาพประกอบที่ 22 กล่องเครื่องมือ ANN ใน MATLAB	70
ภาพประกอบที่ 23 ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด	73
ภาพประกอบที่ 24 ตำแหน่งของสถานีรถไฟ บริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและบริษัทย่อย .	78
ภาพประกอบที่ 25 กลุ่มบริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและสถานีรถไฟ	80
ภาพประกอบที่ 26 ผลการวิเคราะห์โดยโครงข่ายประสาทเทียม-1	85
ภาพประกอบที่ 27 ผลการวิเคราะห์โดยโครงข่ายประสาทเทียม-2	85
ภาพประกอบที่ 28 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม	86
ภาพประกอบที่ 29 ผลการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นของสถานี A	89
ภาพประกอบที่ 30 ผลการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นของสถานี B	89
ภาพประกอบที่ 31 ผลการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นของสถานี C	90
ภาพประกอบที่ 32 ผลการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นของสถานี D	90



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมเนื่องจากเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักของคนไทยมาช้านาน แม้ว่าในปัจจุบัน ประเทศไทยจะหันไปมุ่งเน้นทางอุตสาหกรรมมากขึ้น แต่ภาคการเกษตรก็มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อเศรษฐกิจของประเทศ ในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีจำนวนประชากรในภาคเกษตรมากถึง 25 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 40 ของประชากรทั้งหมด นอกจากนี้ภาคเกษตรยังสามารถสร้างรายได้ต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศประมาณร้อยละ 9 ของ GDP โดยมีผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญ อาทิ ข้าว ยางพารา อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์มน้ำมัน ที่เป็นสินค้าเกษตรและมีมูลค่าการส่งออกรวมกันคิดเป็นร้อยละ 80 ของ GDP ภาคเกษตร (สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล, 2561) โดยประเทศไทยมีพื้นที่เขตเกษตรกรรม 153,184,527 ไร่ หรือร้อยละ 47.77 ของพื้นที่ประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562)จากที่กล่าวมาภาคการเกษตรมีความสำคัญต่อประเทศไทยอย่างมาก อีกทั้งพืชถือเป็นปัจจัยสำคัญในการหล่อเลี้ยงชีวิตให้กับคนไทยมาอย่างยาวนาน ซึ่งไม่ใช่แค่การบริโภคเท่านั้น แต่เมื่อปลูกในปริมาณมากขึ้นก็ย่อมสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรมากตามไปด้วย ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันมีพืชเศรษฐกิจที่ส่งเสริมอาชีพ ทำเงินให้กับคนในประเทศเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ไม่ใช่หมายถึงการส่งออกพืชเหล่านั้นแบบสด ๆ เพียงอย่างเดียว แต่หลายชนิดยังถูกนำมาแปรรูปเพื่อสร้างประโยชน์และเม็ดเงินได้อีกมากมายรายได้ที่ช่วยสร้างเศรษฐกิจของประเทศไทยให้ดีขึ้นมาจาก “พืชเศรษฐกิจ” ดังนั้นบรรดาพืช เช่น ข้าว ยางพารา อ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ยังคงถูกขนานนามให้เป็นพืชเศรษฐกิจในปัจจุบันเหมือนเดิม พร้อมทั้งยังทำเงินให้กับเกษตรกรและประเทศอย่างต่อเนื่อง

พืชเศรษฐกิจของประเทศไทยมีบทบาทสำคัญในการเสริมสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและเศรษฐกิจของประเทศ พืชเหล่านี้ไม่เพียงแต่เป็นแหล่งอาหารและวัตถุดิบสำคัญในการบริโภคและการเลี้ยงสัตว์ แต่ยังสามารถแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและสร้างรายได้เพิ่มเติมจากการส่งออก ประเทศไทยมีความได้เปรียบในด้านภูมิประเทศและสภาพอากาศที่เหมาะสม จึงสามารถปลูกพืชเศรษฐกิจได้หลากหลายชนิดซึ่งได้รับความนิยมและมีความต้องการสูงในตลาดโลก (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), 2565)

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกกันทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา (Cassava) หรือ ทาปิโอก้า (Tapioca) ประเทศแถบแอฟริกา เรียกชื่อภาษาฝรั่งเศสว่า แมนิออค (Manioc) มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้นมีอายุอยู่ได้หลายปี การปลูกมันสำปะหลังจะใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อนปักไปในดินตรงบริเวณรอยตัดที่ปักอยู่ในดินจะแตกเป็นราก ฝอย หลังจากปลูกได้ประมาณ 2 เดือน รากจะค่อยๆสะสมแป้ง และมีขนาดโตขึ้น เรียกว่า หัวมันสำปะหลัง และสามารถเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังหลังจาก 6 เดือน ผ่านไปแล้วโดยจะยี่อายุเก็บเกี่ยวไปได้ถึง 16 เดือน สำหรับประเทศไทยนั้นไม่มีหลักฐานที่แน่ชัดว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใดแต่คาดว่ามีการนำมันสำปะหลังมาจากประเทศมาเลเซียเมื่อปี 2329 โดยมีชื่อเรียกในระยะต่อมาว่า “มันไม้ และมันสำโรง” คำว่า “สำปะหลัง” นั้นภาษามาเลเซียและอินโดนีเซียเรียกว่า Ubikayu แปลว่า พืชที่มีรากขยายใหญ่ และคล้ายกับภาษาชวาตะวันตกว่า "ซัมเปอ (Sampeu)" (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560)

การแปรรูปมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์หลักแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด มันเส้น (Tapioca chips) ผลิตจากการตัดหัวมันสำปะหลังเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปตากแห้ง เหมาะสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และอุตสาหกรรมมันอัดเม็ด โดยมันสด 2.5 กิโลกรัม จะผลิตมันเส้นได้ 1 กิโลกรัม มันอัดเม็ด (Tapioca pellets): ได้จากการอัดมันเส้นภายใต้สภาวะความร้อนและความดัน ผลิตภัณฑ์นี้มักส่งออกไปต่างประเทศเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์ โดยมันเส้น 1 กิโลกรัม จะผลิตมันอัดเม็ดได้ประมาณ 0.89-0.93 กิโลกรัมและแป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch): ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดในโลก ผลิตจากหัวมันสดที่ถูกขูดและบด ก่อนจะนำไปแยกน้ำแป้งและกากมันสำปะหลังออกจากกัน โดยหัวมันสด 1 กิโลกรัม จะผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ประมาณ 0.20 กิโลกรัม แป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2543)

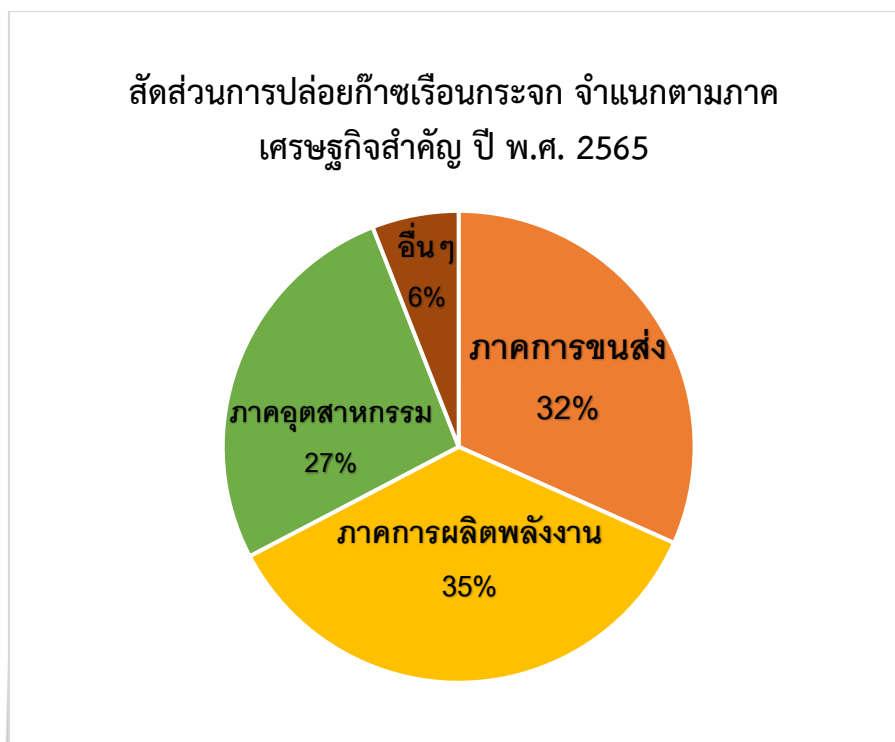
มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยมาก โดยประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของโลก และเป็นประเทศที่มีผลผลิตมันสำปะหลังเป็นลำดับที่ 3 ของโลก รองจากประเทศไนจีเรียและประเทศคองโก (สายงานเศรษฐกิจและวิชาการสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2566) โดยในปี 2564 ไทยส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังปริมาณสูงถึง 10.38 ล้านตัน มูลค่า 123,209 ล้านบาท ปริมาณและมูลค่าเพิ่มขึ้น 45% และ 48% เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนหน้า ตลาดส่งออกหลักที่ไทยส่งออกมากที่สุดคือ จีน (69%) รองลงมาได้แก่ ญี่ปุ่น (8%) อินโดนีเซีย (3%) เกาหลีใต้ (2%) และอื่นๆ (18%) ซึ่งปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยไปประเทศจีนแสดงดัง **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง** ดังนั้นประเทศจีนถือได้ว่าเป็นตลาดหลักของการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่สำคัญของประเทศไทย

ตารางที่ 1 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยไปประเทศจีน ปี พ.ศ.2556-2565

ปี	ปริมาณการส่งออก (ตัน)
2556	4,393,640
2557	4,550,335
2558	4,913,158
2559	6,300,794
2560	6,027,677
2561	6,971,755
2562	8,881,792
2563	12,036,670
2564	14,298,899
2565	10,744,507

ที่มา : (กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2566)

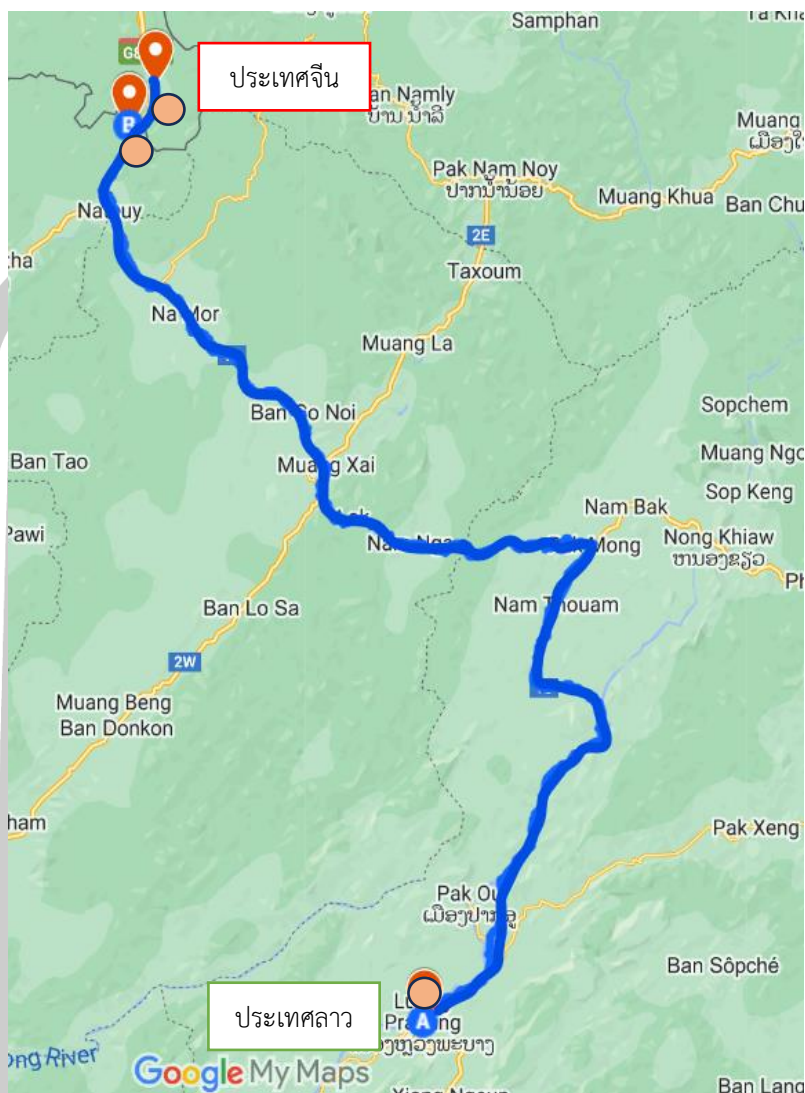
ปัจจุบันประเทศไทยได้ใช้เส้นทางในการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังด้วยรถบรรทุกเป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 80) รถบรรทุกนั้นถูกจำกัดด้วยความยาวและความสูง อีกทั้งน้ำหนักบรรทุกตามที่กฎหมายระบุ รถบรรทุกจึงสามารถขนส่งสินค้าได้จำกัด เมื่อเปรียบเทียบกับบริการขนส่งอื่นๆ และยังส่งผลกระทบต่อต้นทุนเชื้อเพลิงและต้นทุนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสูงขึ้น ประกอบกับเกิดการปล่อยก๊าซพิษที่เกิดจากกิจกรรมการขนส่งสู่ชั้นบรรยากาศเป็นจำนวนมากจาก**ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง** จากปริมาณการปล่อย ก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2565 จะเห็นได้ว่า ภาคการขนส่ง มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็น 32% ของทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนรองลงมาจากภาคการผลิตพลังงานที่ปล่อยสูงสุดอยู่ที่ 36% ดังนั้นภาคการขนส่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกรองจากภาคการผลิตพลังงานอยู่ 4% และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ถึงปี พ.ศ. 2565 เพิ่มขึ้นถึง 6% อีกทั้งยังใช้เวลาในการขนส่งจากต้นทาง (ประเทศไทย) ไปยังปลายทางคือประเทศจีนนานเกินความจำเป็น



ภาพประกอบที่ 1 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกตามภาคเศรษฐกิจสำคัญปี พ.ศ. 2565
ที่มา : (รายงานเศรษฐกิจและวิชาการสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2566)

ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไม่เหมาะสมและไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อปลายปี 2564 ที่ผ่านมา โครงการก่อสร้างรถไฟลาว-จีน ได้ทำการก่อสร้างเสร็จ ซึ่งโครงการรถไฟลาว-จีน เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางสายไหมแห่งศตวรรษที่ 21 (Belt and road initiative: BRI) ซึ่งเป็นแผนยุทธศาสตร์หลักของจีน โดยมีระยะทาง 414 กิโลเมตร **ติดพลาต!** ไม่พบแหล่งการอ้างอิง ที่เชื่อมต่อระหว่างด่านบ่อหาน เขตปกครองตนเองชนชาติไท สิบสองปันนา ประเทศจีน กับประเทศลาวที่บ่อเต็น ผ่านเมืองหลวงพระบาง และสิ้นสุดที่นครหลวงเวียงจันทน์ โดยปลายทางทิศเหนือเชื่อมต่อกับทางรถไฟสายคุนหมิง-บ่อหาน ส่วนปลายทางทิศใต้เชื่อมกับทางรถไฟสายหนองคาย - ท่านาแล้ง

พูน ปณ ทิโต ชีเว



ภาพประกอบที่ 2 โครงการรถไฟลาว-จีน

โดยเป็นส่วนหนึ่งของทางรถไฟสายคุนหมิง-สิงคโปร์ เริ่มโครงการก่อสร้างเมื่อ พ.ศ. 2559 เปิดให้บริการในวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2564 (บริษัท มติชน จำกัด (มหาชน), 2564) ปัจจุบันได้เปิดให้บริการเพื่อการคมนาคมและการขนส่ง พร้อมกันนั้นประเทศไทยก็มีแผนในการก่อสร้างรถไฟไทย-จีน เพื่อการขนส่งเชื่อมเขตเศรษฐกิจตะวันออกของจังหวัดชลบุรี กรุงเทพมหานคร ผ่านมาทางจังหวัด นครราชสีมา (ไทย-จีน ระยะที่ 1) และจังหวัดขอนแก่น เพื่อเชื่อมเส้นทางรถไฟลาว-จีนที่จังหวัดหนองคาย (ไทย-จีน ระยะที่ 2) โดยโครงการดังกล่าวคาดว่าจะแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2572 ซึ่งมีโอกาสในการใช้ประโยชน์ในเส้นทางสายนี้ทั้งในด้านการบริการและการขนส่งสินค้า

ดังนั้นเพื่อสร้างโอกาสในการเป็นผู้ส่งออกอันดับ 1 ของโลก และอันดับ 1 ของตลาดหลักอย่างประเทศจีนในการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทย การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังและพัฒนาเส้นทางการส่งออกของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อเป็นแนวทางในการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังให้มีประสิทธิภาพและลดระยะเวลาในการขนส่ง โดยเน้นรูปแบบการส่งออกในรูปแบบของรางเพื่อรองรับการก่อสร้างรถไฟ ไทย-จีน-ลาวที่กำลังจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2572

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้า

- 1.2.1 เสนอแบบการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง (มันเส้น มันอัดเม็ดและแป้งมันสำปะหลัง) ของประเทศไทยไปประเทศจีนโดยเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมด้วยโปรแกรม MITLAB
- 1.2.2 พัฒนาเส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทย (มันเส้น มันอัดเม็ดและแป้งมันสำปะหลัง) ไปประเทศจีนด้วยวิธีอณานิคมมดโดยพัฒนาภาษา Python เพื่อการขนส่งทางรถไฟให้มีประสิทธิภาพ สามารถลดต้นทุน และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการขนส่งเทียบกับการขนส่งทางถนน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาตัวแบบการพยากรณ์การส่งออกปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีน โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยย้อนหลัง 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึง ปี พ.ศ. 2565
- 1.3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการส่งปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มัน ของประเทศไทยไปประเทศจีน ได้แก่ ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย(ต้น) อัตราการแลกเปลี่ยนเงินตรา (บาทต่อดอลลาร์สหรัฐ) ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศจีน (ล้านล้านบาท) และการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศเวียดนามไปประเทศจีน (ต้น) และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยดังกล่าวเป็นเวลา 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 ถึงปี พ.ศ.2565
- 1.3.3 วิเคราะห์เพื่อนำเสนอตัวแบบการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีนโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ใน Microsoft Excel และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์และประมวลผล

1.3.4 วิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ใน Microsoft Excel ผู้วิจัยได้เลือกช่วงความเชื่อมั่นของแบบจำลอง (ระยะข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้) คือ 95%

1.3.5 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม ผู้วิจัยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นดังต่อไปนี้

- ฟังก์ชันการฝึกสอนและการทดสอบโมเดล (Training Function) : trainlm
- ฟังก์ชันการถ่ายโอนข้อมูล (Transfer Function) : thansig
- อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) : 0 ถึง 1
- ค่าวนซ้ำ (Iteration): 200, 400, 600, 800 และ 1,000
- ค่าเป้าหมายต่ำสุด: 1×10^{-8}

1.3.6 ระยะทาง และระยะเวลาการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีนโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือของการขนส่งทางรถไฟ โดยเทียบกับการขนส่งทางถนน

1.3.7 ศึกษาที่ตั้งของบริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.3.8 ศึกษาและนำเสนอเส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังประเทศจีน ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) และเลือกพัฒนาภาษา Python ในการวิเคราะห์และประมวลผลของการจัดเส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือไปประเทศจีน

1.3.9 ข้อมูลการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ได้จากตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์เส้นทางขนส่งจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยไปยังประเทศจีน โดยปริมาณการส่งออกที่ใช้ในการวิเคราะห์คิดเป็น 80% ของข้อมูลทั้งหมด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถวิเคราะห์สถานการณ์ปริมาณผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในปัจจุบันของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.4.2 สามารถวิเคราะห์สภาพปัญหาปัจจุบันและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปยังประเทศจีน

1.4.3 สามารถนำเสนอตัวแบบในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ของประเทศไทยไปยังประเทศจีนได้

1.4.4 สามารถกำหนดช่วงความเชื่อมั่นของแบบจำลอง (ระยะข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้) ในการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทย

1.4.5 สามารถกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการฝึกรวมตัวแบบในการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทย

1.4.6 สามารถนำเสนอระยะเวลาทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีนโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือของการขนส่งทางรถไฟ เมื่อเทียบกับการขนส่งทางเรือและทางถนน

1.4.7 สามารถนำเสนอที่ตั้งของบริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ตั้งอยู่ในเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.4.8 สามารถนำเสนอเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปยังประเทศจีน

1.4.9 สามารถนำเสนอข้อมูลในการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยที่ได้จากตัวแบบการพยากรณ์



บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของมันสำปะหลังที่มีต่อประเทศไทย

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประเทศไทย โดยมีบทบาททั้งในด้านการบริโภคและการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ประเทศไทยได้ขยายพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับการเติบโตของตลาดที่มีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งต้องการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าหลากหลายประเภท สะท้อนถึงบทบาทสำคัญของมันสำปะหลังในการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศ

อุตสาหกรรมมันสำปะหลังของประเทศไทยมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยมาเป็นเวลากว่า 30 ปี โดยมีเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 500,000 ครัวเรือน อุตสาหกรรมนี้มีการจ้างงานในภาคการแปรรูป เช่น มันเส้น มันอัดเม็ด แป้งดิบ และแป้งตัดแปร และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น สารให้ความหวาน แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน กระดาษ และสิ่งทอ มากกว่า 1 ล้านคน ทั้งนี้ ร้อยละ 67 ของผลผลิตมันสำปะหลังถูกนำไปใช้ในการแปรรูปเพื่อการส่งออก ส่วนที่เหลือถูกใช้ในภาคการบริโภคและเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องภายในประเทศ

ประเทศไทยเป็นผู้นำในการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของโลกมากกว่า 20 ปี โดยมีมูลค่าการส่งออกประมาณ 93,000 ล้านบาท ซึ่งมูลค่ารวมของการใช้มันสำปะหลังภายในประเทศและการส่งออกทั้งหมดอยู่ที่ไม่ต่ำกว่า 190,000 ล้านบาท นอกจากนี้ มูลค่าในอุตสาหกรรมต่อเนื่องยังเพิ่มขึ้นอีกมากกว่า 300,000 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์แป้งและฟลาวมันสำปะหลังของไทยมีคุณสมบัติเด่นคือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และปราศจากสารก่อภูมิแพ้ เช่น กลูเตน ทำให้มีศักยภาพในการใช้ทดแทนแป้งสาลีที่มีกลูเตน จากคุณสมบัติและการใช้งานที่หลากหลายของมันสำปะหลัง รวมถึงแนวโน้มของโลกที่เน้นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้อุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบจากการเกษตร (Bio-based Industry) หรือ Bio-economy มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง เช่น พลังงานชีวภาพและไบโอพลาสติก ซึ่งส่งผลให้ความต้องการมันสำปะหลังในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้น (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2564)

2.2 การปลูกมันสำปะหลัง

การปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยถือเป็นกิจกรรมทางการเกษตรที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้และมีบทบาทสำคัญในการส่งออกผลิตภัณฑ์ไปยังต่างประเทศ กระบวนการปลูกมันสำปะหลังสามารถดำเนินการได้ตลอดปี อย่างไรก็ตาม เกษตรกรส่วนใหญ่มักปลูกในช่วงต้นฤดูฝนซึ่งเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม การปลูกในช่วงนี้ให้ผลผลิตหัวสดสูงกว่าช่วงอื่นๆ แต่การปลูกในช่วงปลายฤดูฝนหรือต้นฤดูแล้งจะให้ผลผลิตหัวแห้งสูงกว่าในกรณีที่ดินเป็นดินทราย การเลือกฤดูปลูกของเกษตรกรจึงพิจารณาจากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณน้ำฝน ชนิดของดิน และพันธุ์ของมันสำปะหลัง



ภาพประกอบที่ 3 การปลูกมันสำปะหลัง

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565)

2.2.1 ปัจจัยในการเลือกฤดูปลูก

2.2.1.1 ปริมาณน้ำฝน

การปลูกในช่วงต้นฤดูฝนมีความได้เปรียบเรื่องปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสม ส่งผลให้ดินมีความพร้อมและเหมาะสมกับการลงหัวของมันสำปะหลัง แต่ถ้าปลูกในช่วงปลายฤดูฝนหรือฤดูแล้ง อาจเกิดฝนทิ้งช่วง ทำให้การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังชะงักงัน แต่ข้อดีคือมีวัชพืชน้อย

2.2.1.2 ชนิดดิน

ดินทรายสามารถปลูกได้ตลอดปี เช่น ในจังหวัดระยองและชลบุรีซึ่งนิยมปลูกในปลายฤดูฝน ขณะที่ดินเหนียวจะเหมาะกับการปลูกต้นฤดูฝน เพราะในฤดูแล้ง การไถพรวนดินเหนียวอาจทำให้เกิดก้อนใหญ่ ทำให้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังแห้งตายก่อนที่จะงอก

2.2.1.3 พันธุ์มันสำปะหลัง

พันธุ์พื้นเมืองเมื่อเก็บเกี่ยวในฤดูฝนจะมีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำและการขนส่งยากลำบาก ดังนั้น เกษตรกรนิยมปลูกปลายฤดูฝนเพื่อเก็บเกี่ยวและขนส่งในฤดูแล้ง ซึ่งให้คุณภาพและราคาดี อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีพันธุ์ใหม่ๆ ดังตารางที่ 2 ที่ให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งสูงทุกฤดู ทำให้สามารถปลูกได้ทั้งปี (กรมวิชาการเกษตร, 2557)

ตารางที่ 2 พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมเฉพาะพื้นที่

พันธุ์	ลักษณะพันธุ์	ข้อจำกัด	พื้นที่ที่เหมาะสม
พันธุ์ของกรมวิชาการเกษตร			
ระยอง 60	สะสมน้ำหนักเร็ว เหมาะกับเกษตรกรที่ต้องการเก็บเกี่ยวอายุต่ำกว่า 12 เดือน	เก็บเกี่ยวในฤดูฝน %แป้งต่ำ เนื้อมีสีครีม ให้ผลผลิตไม่สูงนัก	การปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้ผลผลิตสูงกว่าภาคอื่น
ระยอง 90	ลำต้นโค้ง สีน้ำตาลอ่อน %แป้งยังสูง เมื่อเก็บเกี่ยวในฤดูฝน	ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีแมลงหวี่ขาวระบาด ต้นพันธุ์เสื่อมคุณภาพเร็วให้ผลผลิตไม่สูงนัก	การปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้ผลผลิตสูงกว่าภาคอื่น
ระยอง 5	ยอดอ่อนสีม่วงอมน้ำตาล ก้านใบสีแดงเข้ม แตกกิ่งมาก	เป็นโรคใบไหม้ได้ง่ายกว่าพันธุ์อื่นๆ	มีเสถียรภาพและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี
ระยอง 72	ก้านใบสีแดงเข้ม ลำต้นสีเขียวเงิน แตกกิ่งบ้าง เล็กน้อย ท่อนพันธุ์มีความอยู่รอดถึงเก็บเกี่ยวสูง	ไม่ควรเก็บเกี่ยวในฤดูฝน เพราะอาจทำให้มีแป้งต่ำ	ปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก

ตารางที่ 3 พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมเฉพาะพื้นที่ (ต่อ)

พันธุ์	ลักษณะพันธุ์	ข้อจำกัด	พื้นที่ที่เหมาะสม
ระยอง 7	ลำต้นสีน้ำตาลอ่อน โคนเล็กน้อยไม่แตกกิ่ง พื้นตัวหลังผ่านฤดูแล้ง ได้เร็วกว่าพันธุ์อื่นๆ	หากดินอุดมสมบูรณ์ต่ำและ กระทั่งแล้งยาวนาน หลังจาก ได้รับน้ำฝน จะเกิดการแตกต่า มาก ทำให้ได้ท่อนพันธุ์สำหรับ ปลูกลดลง	เหมาะสมกับการปลูก ปลายฤดูฝน เดือน กันยายนถึงตุลาคม
ระยอง 9	ลำต้นสีน้ำตาลอม เหลือง ไม่ค่อยแตกกิ่ง	สะสมน้ำหนักช้าถ้าเก็บเกี่ยว เร็วจะให้ผลผลิตต่ำควรเก็บ เกียวเมื่ออายุ 12 เดือน	เหมาะสมกับการปลูก ปลายฤดูฝน มีศักยภาพ ในการให้ผลผลิตสูง
ระยอง 11	ยอดอ่อนสีน้ำตาลอม เขียว ไม่ค่อยแตกกิ่ง เปลือกหัวสีน้ำตาล มี ปริมาณแป้งสูง	ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 12 เดือนเนื่องจากการสะสม น้ำหนักช้า	ผลผลิตมีความผันแปร ในแต่ละภาค
พันธุ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
เกษตรศาสตร์ 50	ลำต้นโคนเล็กน้อย สี เขียวเงิน ยอดอ่อนสี ม่วงและไม่มีขนอ่อน มีปริมาณแป้งสูง	ท่อนพันธุ์มีความงอกดีและเก็บ รักษาได้นาน ผลผลิตไม่สูงนัก ในบางท้องที่จะแตกกิ่ง	มีเสถียรภาพและ ปรับตัวเข้ากับ สภาพแวดล้อมได้ดี
ห้วยบง 60	แตกกิ่งมาก ลำต้นสี เขียวเงิน ก้านใบสี เขียวอมม่วง ยอดมีสี ม่วงอ่อน	ต้านทานโรคใบจุดปานกลาง เก็บเกี่ยวเมื่ออายุไม่น้อยกว่า 10 เดือน	

ตารางที่ 4 พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมเฉพาะพื้นที่ (ต่อ)

พันธุ์	ลักษณะพันธุ์	ข้อจำกัด	พื้นที่ที่เหมาะสม
ห้วยบง 80	ยอดอ่อนสีเขียวอ่อน ทรงต้นสูงแตกกิ่งน้อย	ควรเก็บเกี่ยว เมื่ออายุไม่น้อย กว่า 10 เดือน	

ที่มา : (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560)

2.2.2 การเตรียมดิน

2.2.2.1 ดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลัง

ดินที่เหมาะสมคือดินเนื้อปานกลาง เช่น ดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทราย ซึ่งมีสมบัติเหมาะสมทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ การจัดการดินที่ดีจะช่วยให้มันสำปะหลังเจริญเติบโตได้ดี

2.2.2.2 การไถพรวนดิน

การเตรียมดินโดยการไถพรวนเป็นขั้นตอนสำคัญ เพราะมันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บเกี่ยวส่วนหัว การไถพรวนลึกและทำให้ดินร่วนซุยจะช่วยให้มันสำปะหลังลงหัวได้ดีและให้ผลผลิตสูงขึ้น

2.2.2.3 การยกร่อง

ในพื้นที่ที่มีการไถพรวนดินละเอียดหรือปลูกในต้นฤดูฝน การยกร่องจะช่วยระบายน้ำและลดการพังทลายของดิน แม้ว่าจะเพิ่มต้นทุนการผลิต แต่ก็อาจลดค่าใช้จ่ายในส่วนอื่นๆ เช่น ค่าแรงในการปลูกและเก็บเกี่ยว

2.2.3 การปรับปรุงบำรุงดิน

2.2.3.1 การใช้ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีที่มีสมบัติเหมาะสมจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน ควรวิเคราะห์ดินก่อนเพื่อปรับใช้ปุ๋ยให้ตรงกับความต้องการของพืช

2.2.3.2 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน และยังเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทำให้ดินมีคุณภาพดีขึ้น

2.2.3.3 การใช้สารปรับปรุงดิน

ในกรณีที่ดินมีปัญหาทางกายภาพ เช่น ไม้อู่มน้ำหรือเกิดการชะล้างง่าย ควรใช้สารปรับปรุงดินควบคู่กับการใช้ปุ๋ย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูก(2565f)(2565f)

2.3 สถานการณ์มันสำปะหลังในประเทศไทย

จากตารางที่ 5 สถานการณ์การผลิตของประเทศไทย ปี 2564 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง 9.80 ล้านไร่ ผลผลิต 32.50 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3,318 กิโลกรัม เทียบกับปี 2563 ที่มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 8.92 ล้านไร่ ผลผลิต 29.00 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3,252 กิโลกรัม พบว่า เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.87 ร้อยละ 12.07 และ ร้อยละ 2.02 ตามลำดับ เนื้อที่เก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น เนื่องจากรัฐบาลมีโครงการประกันรายได้เกษตรกรผู้ปลูก มันสำปะหลังโรงงาน ซึ่งเป็นโครงการต่อเนื่องปีที่ 2 จึงจูงใจให้เกษตรกรขยายเนื้อที่ปลูกแทนอ้อยโรงงานที่ ราคาตกต่ำอย่างต่อเนื่อง บางส่วนปลูกแทนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ประสบปัญหาการระบาดของหนอนกระทู้และ ได้รับความเสียหายจากภัยแล้งในปีที่แล้ว สำหรับผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพอากาศเอื้ออำนวย ปริมาณน้ำฝนเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ประกอบกับเกษตรกรสามารถควบคุมการแพร่ระบาดของโรค ใบด่างมันสำปะหลังได้ดี จึงส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่และผลผลิตในภาพรวมทั้งประเทศเพิ่มขึ้น

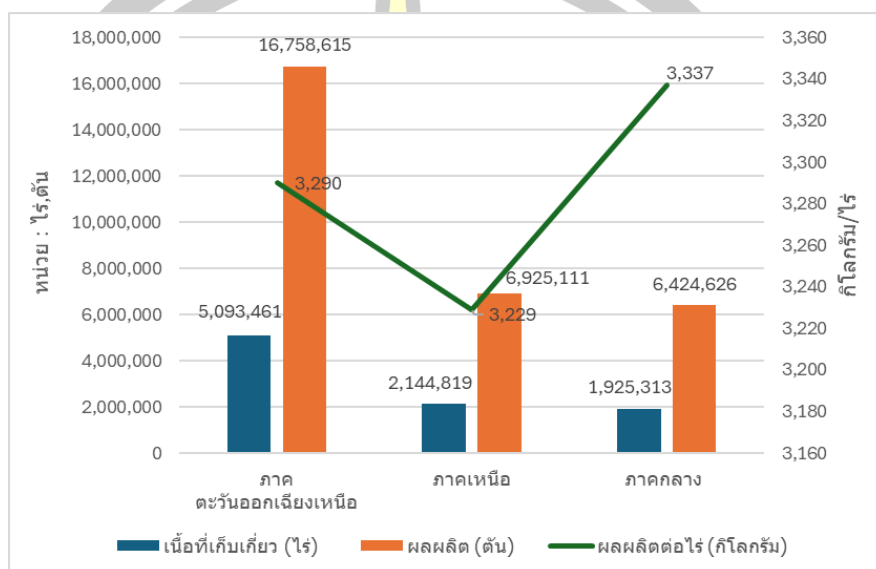
ตารางที่ 5 เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลังในไทย ปี 2560-2565

รายการ	2560	2561	2562	2563	2564	อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	2565*
เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ล้านไร่)	8.714	8.327	8.667	8.918	9.796	3.07	9.664
ผลผลิต (ล้าน ตัน)	30.495	29.368	31.080	28.999	32.499	1.15	32.730
ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)	3,499	3,527	3,586	3,252	3,318	-1.86	3,387

หมายเหตุ:* ประมาณการ ณ พฤศจิกายน 2565

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตมันสำปะหลังมากที่สุด โดยจาก **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง** มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 5,093,461 ไร่ ผลผลิต 16,758,615 ตัน รองลงมาได้แก่ ภาคเหนือ มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 2,144,819 ไร่ ผลผลิต 6,925,111 ตัน และภาคกลาง มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 1,925,313 ไร่ ผลผลิต 6,424,626 ตัน

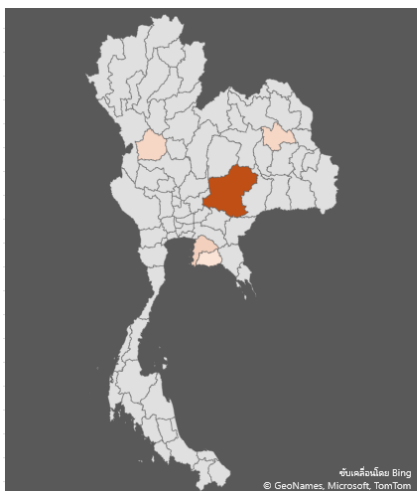


ภาพประกอบที่ 4 เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่มันสำปะหลังระดับภูมิภาคปี พ.ศ.

2564

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565)

ในปี 2565 โรงงานแปรรูปมันสำปะหลังในไทยมีจำนวนทั้งสิ้น 1,205 โรงงาน (กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2565) ซึ่งมักตั้งอยู่ใกล้แหล่งเพาะปลูกเพื่อความสะดวกและประหยัดต้นทุนการขนส่ง โดยจังหวัดนครราชสีมามีจำนวนโรงงานแปรรูปมากที่สุด 162 โรงงาน รองลงมาเป็น กำแพงเพชร (151 โรงงาน) นครสวรรค์ (88 โรงงาน) ชัยภูมิ (59 โรงงาน) ขณะที่ผู้ประกอบการบางกลุ่มเลือกที่ตั้งโรงงานใกล้เคียงแหล่งวัตถุดิบจากประเทศเพื่อนบ้านโดยเฉพาะกัมพูชา ลาว และเมียนมา ซึ่งผู้ประกอบการไทยได้เข้าไปลงทุนตั้งโรงงานแปรรูปขึ้นต้นในประเทศเหล่านี้เพื่อสร้างความมั่นคงด้านวัตถุดิบ อาทิ อุบลราชธานี (76 โรงงาน) กาญจนบุรี (62 โรงงาน) และศรีสะเกษ (33 โรงงาน) รวมถึงการตั้งโรงงานใกล้ท่าเรือขนส่งเพื่อการส่งออกได้แก่ ชลบุรี (26 โรงงาน) ระยอง (14 โรงงาน) ฉะเชิงเทรา (14 โรงงาน) แสดงดัง**ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง**



5 Provinces with the largest cassava production			
Province	Production(Tonnes)	Cassava Pellet,Casava Chip	Starch Factory
Nakhon Ratchasima	4,908,505	131	31
Kamphaeng Phet	2,536,527	141	10
Kanchanaburi	2,011,705	59	3
Chaiyaphum	1,920,715	54	5
Ubon Ratchathani	1,818,897	73	3

5 Provinces with the largest number cassava production			
Province	Starch Factory	Cassava Pellet,Casava Chip	Production(Tonnes)
Nakhon Ratchasima	31	131	4,908,505
Chonburi	11	15	606,153
Kamphaeng Phet	10	141	2,536,527
Kalasin	10	20	1,039,972
Rayong	8	6	149,952

ภาพประกอบที่ 5 ผลผลิตน้ำมันสำปะหลังไทยและโรงงานแปรรูป

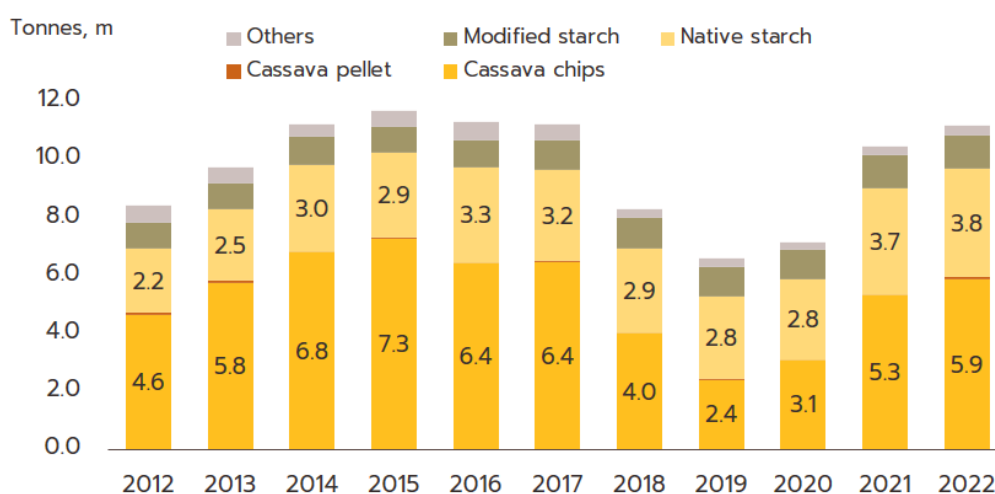
ที่มา : (Chaiwat Sowcharoensuk, 2023)

2.4 การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทย

ในปี 2565 ปริมาณส่งออกมันสำปะหลังอยู่ที่ 11.2 ล้านตัน ขยายตัว 6.9% มูลค่า 4,411.7 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพิ่มขึ้น 11.2% ผลจาก (1) ความต้องการของตลาดจีนที่ขยายตัวสูง เนื่องจาก (1.1) ความต้องการใช้ผลิตแอลกอฮอล์ และเอทานอลเพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของ COVID-19 ตามมาตรการ Zero-COVID (1.2) อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ (สุกร) ที่ทยอยฟื้นตัวจากโรคระบาด African Swine Fever (ASF) และ (1.3) ใช้เป็นสินค้าทดแทนหรือชดเชยสต็อกข้าวโพดในจีนที่ลดลง และ (2) ความกังวลด้านความมั่นคงทางอาหารและพลังงานจากสงครามรัสเซีย-ยูเครนที่ยืดเยื้อ ทำให้หลายประเทศนำเข้ามันสำปะหลังเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องดังผลิตพลาสติก ไม่พบแหล่งการอ้างอิงซึ่งประเภทสินค้าที่ส่งออกสำคัญแบ่งได้ดังนี้

แป้งมันสำปะหลังดิบ: ปี 2565 ปริมาณส่งออกอยู่ที่ 3.8 ล้านตัน มูลค่า 1,836.6 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ขยายตัว 2.0% ในเชิงปริมาณและ 8.2% ในเชิงมูลค่าตามลำดับ เนื่องจากราคาแป้งธัญพืชอื่น ๆ ที่เป็นสินค้าทดแทนมันสำปะหลังปรับตัวสูงขึ้นตามราคาต้นทุนวัตถุดิบ อาทิ ราคาข้าวบาร์เลย์ (+30.1%) ข้าวโพด (+22.8%) และข้าวสาลี (+36.4%) ขณะที่ราคามันสำปะหลังเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าเฉลี่ยที่ 4.6% ทำให้ผู้นำเข้าหลัก อาทิ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ หันมานำเข้าแป้งมันสำปะหลังดิบมากขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมที่ขึ้นตอนการผลิตไม่ซับซ้อน อาทิ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม กระจดาช กาว สิ่งทอ และไม้อัด เป็นต้น ส่งผลให้ราคาส่งออกแป้งมันสำปะหลังดิบของไทยปรับตัวเพิ่มขึ้น 6.2% อยู่ที่ 490 ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน

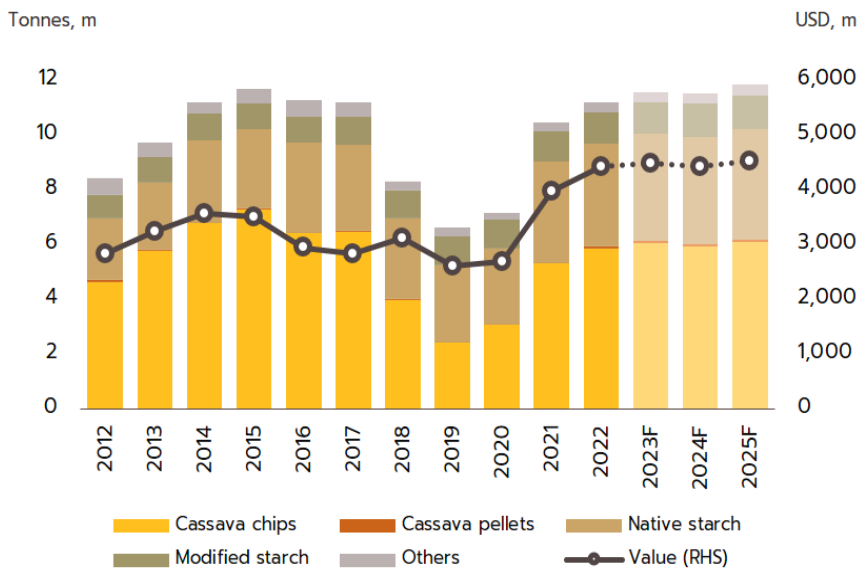
มันเส้น: ปี 2565 ปริมาณส่งออกอยู่ที่ 5.9 ล้านตัน มูลค่า 1,501.6 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ขยายตัว 10.3% ในเชิงปริมาณและ 13.6% ในเชิงมูลค่าตามลำดับ ปัจจัยหนุนมาจาก (1) การระบอบของ COVID-19 ทำให้ความต้องการใช้มันเส้นผลิตเป็นแอลกอฮอล์ และเอทานอลในจีนเพิ่มขึ้น และ (2) การฟื้นตัวของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และ (3) สต็อกข้าวโพดซึ่งเป็นพืชที่จีนใช้ทดแทนมันสำปะหลังลดลงในช่วงปี 2561-2562 ส่งผลให้ราคาส่งออกมันเส้นเพิ่มขึ้น 4.4% อยู่ที่ 260 ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน



ภาพประกอบที่ 6 การส่งออกมันสำปะหลังของไทย
ที่มา : (Chaiwat Sowcharoensuk, 2023)

แป้งมันสำปะหลังดัดแปร: ปี 2565 ปริมาณส่งออกอยู่ที่ 1.14 ล้านตัน มูลค่า 956.4 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ขยายตัว 1.4% ในเชิงปริมาณและ 11.9% ในเชิงมูลค่า ตามการขยายตัวของความต้องการในตลาดญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และสหรัฐฯ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร สารให้ความหวาน กระดาษ ยาและเครื่องสำอางที่ยังคงเติบโตแต่ในอัตราไม่สูงนักตามภาวะเศรษฐกิจประเทศคู่ค้าดังกล่าว รวมทั้งแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเผชิญการแข่งขันด้านราคากับแป้ง (Starch) จากธัญพืชอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมากขึ้น แต่ราคาส่งออกยังขยายตัว 10.4% เฉลี่ยที่ 839 ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน

มันอัดเม็ด: ปี 2565 ปริมาณส่งออกอยู่ที่ 7.8 หมื่นตัน มูลค่า 22.1 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ขยายตัว 251.0% ในเชิงปริมาณและ 243.0% ในเชิงมูลค่า อานิสงส์จากตลาดเนเธอร์แลนด์ จีน และ ญี่ปุ่น ที่ต้องการนำเข้าเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และพลังงานเพิ่มขึ้นท่ามกลางความเสี่ยงของสงครามรัสเซีย-ยูเครน ด้านราคาส่งออกเพิ่มขึ้น 10.0% เฉลี่ยที่ 346 ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน

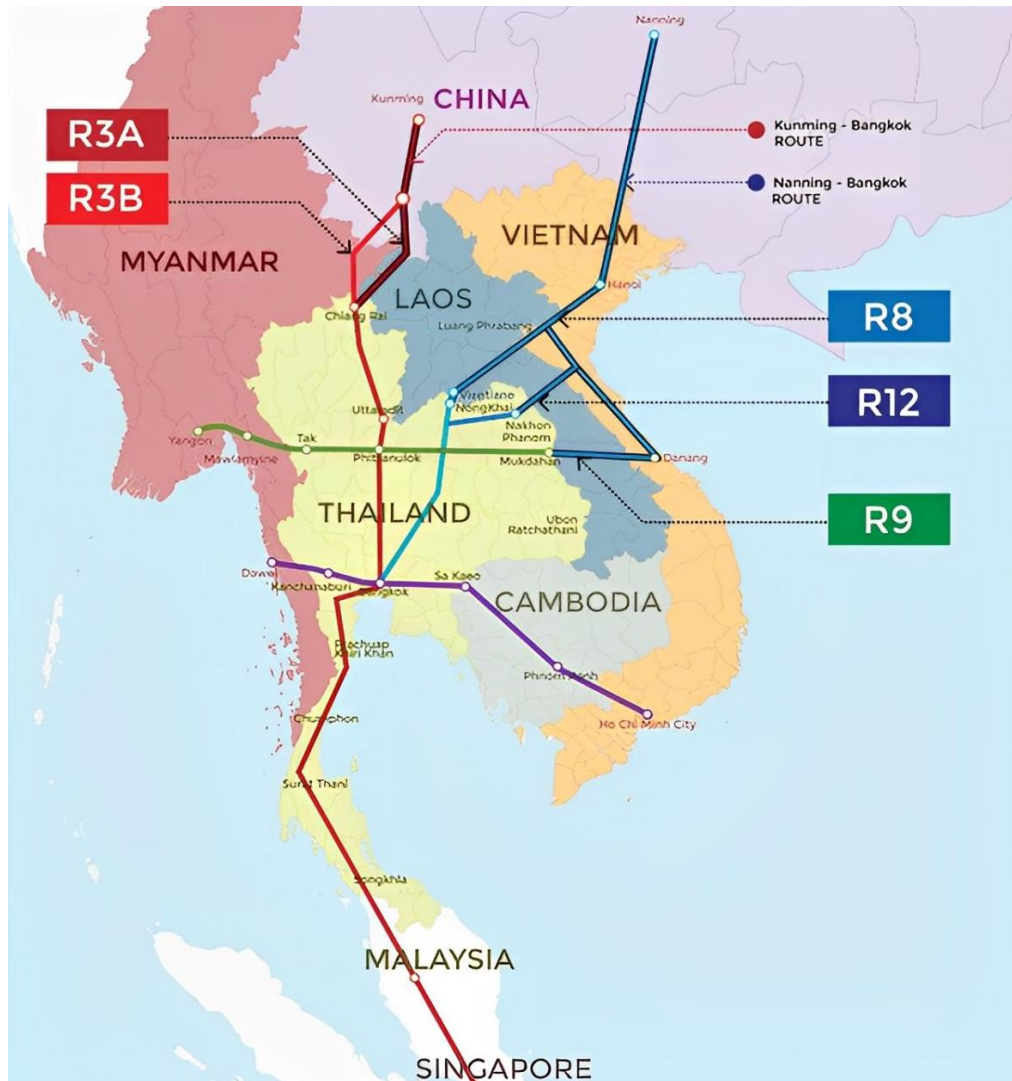


ภาพประกอบที่ 7 การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของไทย
ที่มา : (Chaiwat Sowcharoensuk, 2023)

การคาดการณ์ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเกษตรกรและภาครัฐของประเทศไทย เนื่องจากการพยากรณ์ช่วยให้สามารถวางแผนการผลิตและการตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถส่งผลดีต่อการกำหนดนโยบายด้านการเกษตรและการส่งออก รวมถึงการจัดการทรัพยากรและการพัฒนาอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่เกี่ยวข้อง การคาดการณ์ปริมาณการส่งออกช่วยให้สามารถประเมินความต้องการในตลาดต่างประเทศและปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของเศรษฐกิจโลกและสถานการณ์ปัจจุบัน การพยากรณ์ที่แม่นยำจึงมีบทบาทในการเสริมสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจและการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศไทย

2.5 เส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีน

เส้นทางในการขนส่งสินค้าทางการเกษตรจากประเทศไทยไปยังประเทศจีน ปัจจุบันมีการใช้เส้นทางขนส่งทางบกโดยรถบรรทุกมีทั้งหมด 5 เส้นทางดัง**ผิตพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง**



ภาพประกอบที่ 8 เส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปประเทศจีน

ที่มา : (Boonsub & Jessada, 2023)

1.) เส้นทาง R3A เป็นเส้นทางที่เชื่อมกันระหว่าง ไทย-ลาว-จีน เข้าด้วยกันโดยมีระยะทาง 1,858 กิโลเมตร เส้นทาง R3A ถือเป็นเส้นทางที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อภาคการส่งออกของประเทศ ไทย โดยเฉพาะในด้านการขนส่งสินค้าทางการเกษตร ทั้งยังมีบทบาทในการส่งเสริมการลงทุน การท่องเที่ยว และการแลกเปลี่ยนวัฒนธรรมระหว่างประเทศตลอดแนวเส้นทาง นับตั้งแต่การเปิดให้บริการอย่างเป็นทางการในปี พ.ศ. 2551 เส้นทาง R3A ได้มีส่วนช่วยพัฒนาระบบจราจรของประเทศต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่ตามเส้นทางอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ระยะเวลาในการเดินทางจากนครคุนหมิงไปยังกรุงเทพมหานครลดลงจากกว่า 40 ชั่วโมง เหลือเพียงประมาณ 20 ชั่วโมง ในปี พ.ศ. 2565 มูลค่าการขนส่งสินค้าผ่านเส้นทาง R3A มีมากกว่า 52 พันล้านหยวน และในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายน พ.ศ. 2566 มูลค่าการขนส่งสินค้าผ่านเส้นทางดังกล่าวมีมูลค่าเกินกว่า 2 หมื่น

ล้านหยวน สินค้าที่ขนส่งสำคัญประกอบด้วย ผัก ผลไม้สด ผลไม้แช่เย็น ผลไม้แปรรูป เครื่องปรุงรส สมุนไพร และสินค้าอุปโภคบริโภค

2.) เส้นทาง R3B โดยเส้นทางหลักจะผ่านไทย - พม่า - จีน มีระยะทางรวม 1,383 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลาในการขนส่งประมาณ 3-5 วันเส้นทางนี้จะเชื่อมต่อกับเส้นทาง R3A ที่เมืองเชียงราย และต่อไปยังนครคุนหมิง มณฑลยูนนาน จากนั้นจะมีการกระจายสินค้าสู่เมืองต่าง ๆ ทั่วประเทศจีน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการขนส่งสินค้าส่วนใหญ่ยังคงนิยมใช้เส้นทาง R3A เป็นหลัก เนื่องจากเส้นทาง R3B ไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากมีต้นทุนการขนส่งที่สูง

3.) เส้นทาง R8 เป็นเส้นทางที่เชื่อม 4 ประเทศไว้ด้วยกันเริ่มต้นจากประเทศไทย-สปป.ลาว - ประเทศเวียดนาม-ประเทศจีน มีระยะทางรวม 1,797 กิโลเมตร การขนส่งผ่านเส้นทางนี้ใช้เวลาประมาณ 32 ชั่วโมง โดยสินค้าที่ขนส่งมีความหลากหลาย เช่น รถยนต์และชิ้นส่วนประกอบ ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร และสินค้าเวชภัณฑ์ เป็นต้น

4.) เส้นทาง R9 เป็นเส้นทางนี้จะผ่านด่านไทย - ลาว - เวียดนาม - จีน มีระยะทางรวม 1,959 กิโลเมตรโดยแบ่งเป็น 2 เส้นทาง

เส้นทางที่ 1 มีระยะทางรวมประมาณ 1,500 กิโลเมตร การพัฒนาเส้นทางนี้ช่วยลดระยะเวลาการขนส่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การขนส่งสินค้าทางเรือของไทย ตัวอย่างเช่น การขนส่งผลไม้จากประเทศไทยไปยังประเทศจีนซึ่งก่อนหน้านี้ใช้เวลาประมาณ 7-8 วัน แต่เมื่อใช้เส้นทาง R9 ระยะเวลาการขนส่งลดลงเหลือเพียง 2-3 วัน ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อธุรกิจการส่งออกผลไม้ เนื่องจากระยะเวลาขนส่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและความสดของผลไม้

เส้นทางที่ 2 เป็นเส้นทางใหม่ในการขนส่งผลไม้ไทยสู่จีน หลังจากนั้น จะไปสิ้นสุดที่นครหนานหนิงเพื่อกระจายสินค้าไปยังมณฑลฝูเจี้ยน มณฑลกวางตุ้ง มณฑลหูหนาน กรุงปักกิ่ง และนครเซี่ยงไฮ้

5.) เส้นทาง R12 เป็นหนึ่งในเส้นทางขนส่งจากไทยสู่เวียดนาม และจีนโดยมีระยะทาง 1,694 กิโลเมตรจากข้อมูลในช่วงปี 2561-2563 ของด่านตรวจพืชนครพนม ระบุว่า ปริมาณการส่งออกผลไม้สดจากไทยไปยังประเทศจีนผ่านเส้นทาง R12 ในปี 2561 อยู่ที่ 134,191.71 ตัน ปี 2562 ที่ 517,778.71 ตัน คิดเป็นอัตราการขยายตัวร้อยละ 1,414.34 สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทความสำคัญของเส้นทางขนส่ง R12 สำหรับการส่งออกผลไม้ไทยเข้าสู่ตลาดจีนที่เพิ่มขึ้น

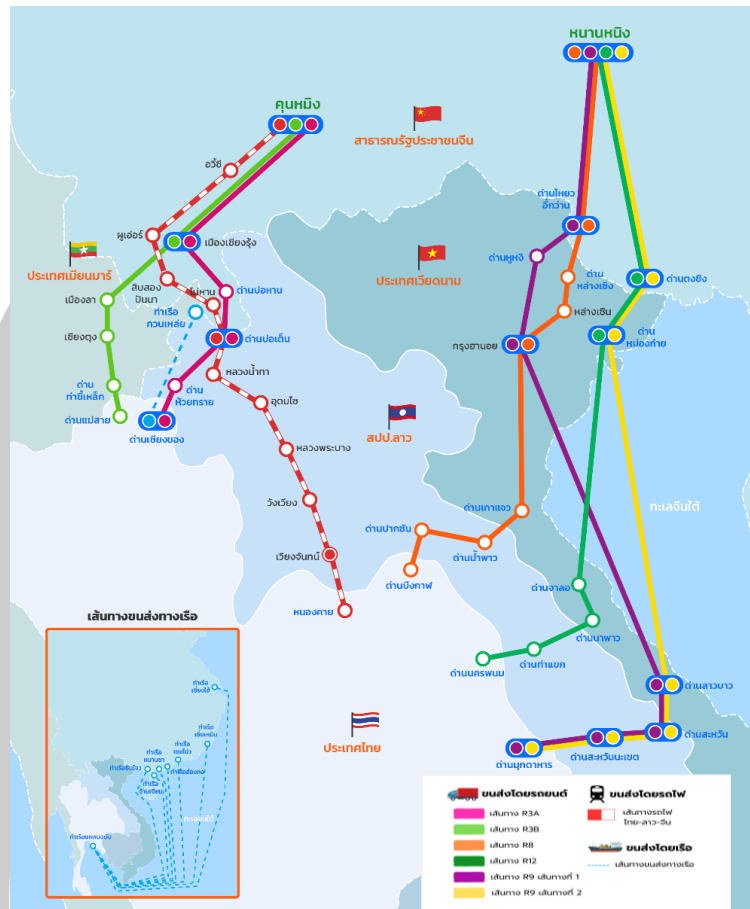
เส้นทางขนส่งโดยรถไฟทางรถไฟสายเวียงจันทน์-คุนหมิง หรือ ทางรถไฟสายจีน-ลาว สามารถลำเลียงสินค้าและผู้โดยสารจากจีนตอนใต้ ผ่านลาว โดยเส้นทางนี้จะเชื่อมจากนครคุนหมิง มณฑลยูนนาน มาที่บ่อเต็น สปป.ลาว และมีปลายทางที่นครหลวงเวียงจันทน์ ซึ่งสามารถเชื่อมต่อประเทศไทยได้ที่สถานีรถไฟหนองคาย ที่อยู่ห่างจากนครหลวงเวียงจันทน์เพียง 24 กิโลเมตร นอกจากนี้ ยังมีศักยภาพในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ โดยสามารถลำเลียงสินค้าจากทั่ว

ประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นจากกรุงเทพฯ แหลมฉบั๋ง หรือจังหวัดหนองคาย ผ่านสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 1 ไปยังท่าบกท่านาแล้ง จากนั้นเปลี่ยนรางรถไฟจากรางขนาด 1 เมตรเป็นรางมาตรฐาน 1.435 เมตร เพื่อลำเลียงสินค้าผ่านเส้นทางลาว-จีน ไปยังจุดหมายปลายทางในนครคุนหมิงและเมืองสำคัญอื่น ๆ เช่น นครเฉิงตู นครอู่ฮั่น นครซีอาน และยังเชื่อมโยงกับการขนส่งสินค้าสู่ยุโรปผ่านเส้นทางรถไฟจีน-ยุโรป

เส้นทางนี้มีบทบาทสำคัญในการขนส่งผลไม้จากไทยไปยังจีน ซึ่งก่อนหน้านี้ใช้วิธีขนส่งทางเรือและทางบก แม้การขนส่งทางเรือจะใช้เวลาประมาณ 10 วัน แต่ระยะเวลาที่ส่งผลกระทบต่อความสดใหม่ของผลไม้ ขณะที่การขนส่งทางบกแม้จะใช้เวลานานกว่า แต่ก็มีต้นทุนที่สูงขึ้น ปัจจุบันการขนส่งผลไม้ไทยผ่านเส้นทางลาว-จีนใช้เวลาเพียง 4 วัน และสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตลอดเส้นทางด้วยระบบ Cold Chain Logistics เพื่อรักษาคุณภาพของผลไม้ ผู้ประกอบการยังสามารถติดตามสถานะการขนส่งแบบเรียลไทม์ได้

เส้นทางการขนส่งโดยเรือ เส้นทางการขนส่งโดยเรือจากไทย-จีน เริ่มต้นจากท่าเรือแหลมฉบัง ประเทศไทย ไปยังท่าเรือปลายทาง ณ ประเทศจีน โดยท่าเรือที่ได้รับความนิยมในการส่งออกผลไม้ไทยมีจำนวน 7 แห่ง ได้แก่ ท่าเรือเซอโซ่ว (มณฑลเซินเจิ้น) ท่าเรือหนานซา (มณฑลกวางตุ้ง) ท่าเรือจ้านเจียน (มณฑลกวางตุ้ง) ท่าเรือซินโจว (เมืองซินโจว) ท่าเรือเซี่ยเหมิน (มณฑลฝูเจี้ยน) ท่าเรือเซียงไฮ้ (นครเซี่ยงไฮ้) และท่าเรือฮ่องกง **ดังผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง**





ภาพประกอบที่ 9 เส้นทาง ด้านส่งออกและนำเข้าสำคัญจากไทย-จีน
ที่มา : (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2565)

เนื่องจากเส้นทางการขนส่งโดยทางรางเป็นเส้นทางที่เปิดให้บริการเมื่อไม่นานมานี้เนื่องจากรถไฟลาว-จีน เพิ่งสร้างและเปิดให้บริการเมื่อปลายปี พ.ศ. 2564 ทำให้ยังไม่เป็นที่นิยมในการขนส่งแต่เมื่อมีการเปิดให้บริการมีการขนส่งฝักจากรถไฟจีน - ลาว เข้าประเทศไทยและระยะเวลาในการขนส่งทางรางใช้เวลา 24 ชั่วโมงมีระยะเวลาน้อยกว่าการขนส่งทางเรือซึ่งใช้เวลา 2-3 วัน สามารถลดระยะเวลาได้ 33.33% เมื่อเทียบกับการขนส่งทางเรือ (PPTV, 2021) และการขนส่งทางถนนใช้เวลาในการขนส่ง 2-3 วันหรืออาจใช้เวลาในการขนส่งประมาณ 1 สัปดาห์ (Paper shipping, 2022)

ดังนั้นหากการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังผ่านทางรถไฟลาว-จีนที่กำลังจะเปิดใหม่มีทั้งข้อดีและข้อจำกัดที่สำคัญ หนึ่งในข้อดีหลักคือการลดระยะเวลาในการขนส่ง เมื่อเทียบกับการขนส่งทางเรือที่ใช้เวลานาน การขนส่งทางรถไฟสามารถส่งสินค้าถึงจุดหมายได้ภายในระยะเวลาเพียง 4 วัน ซึ่งช่วยรักษาคุณภาพของมันสำปะหลัง นอกจากนี้ การขนส่งทางรถไฟยังช่วยลดต้นทุนเมื่อเปรียบเทียบกับ การขนส่งทางบกที่มีต้นทุนสูง อีกทั้งระบบรถไฟยังให้ความมั่นคง

ในการขนส่ง ลดความเสี่ยงที่สินค้าจะเสียหายจากการกระแทก และมีความสามารถในการเชื่อมโยงตลาดทั้งในจีนและยุโรป ทำให้มันสำปะหลังจากไทยมีโอกาสเข้าถึงตลาดที่กว้างขึ้น

อย่างไรก็ตามการขนส่งผ่านเส้นทางนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ข้อกำหนดในการเปลี่ยนรางรถไฟจากราง ซึ่งอาจทำให้เกิดความล่าช้าในขั้นตอนการขนถ่ายสินค้า นอกจากนี้ โครงสร้างพื้นฐานที่เชื่อมต่อระหว่างไทยและลาวยังคงต้องการการพัฒนาเพิ่มเติม ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคในช่วงแรกของการใช้งานเส้นทางนี้ อีกทั้งต้นทุนการขนส่งในช่วงแรกอาจยังค่อนข้างสูง เนื่องจากข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานที่ยังไม่สมบูรณ์

2.6 สารสำคัญของร่างพระราชบัญญัติ ระเบียบและหลักเกณฑ์การขนส่งผลิตภัณฑ์ของระบบราง

การบริหารจัดการการขนส่งทางรางอย่างเป็นระบบสอดคล้องกับการพัฒนาการขนส่งรูปแบบอื่น ให้เป็นโครงข่ายเดียวกันอย่างสมบูรณ์จึงจำเป็น ต้องตราพระราชบัญญัติ

2.6.1 บทนิยาม

“การขนส่งทางราง” หมายความว่า การขนส่งผู้โดยสารหรือสินค้าโดยรถขนส่งทางราง

“รถขนส่งทางราง” หมายความว่า รถที่ใช้ในการขนส่งผู้โดยสารหรือสินค้าโดยขับเคลื่อนไปบนทางซึ่งมีรางเช่น รถไฟ รถไฟฟ้ารางและให้หมายความรวมถึงรถที่ใช้วิ่งบนรางหรือทางเฉพาะตามที่กำหนดในกฎกระทรวงด้วย

“รางเพื่อการขนส่ง” หมายความว่า โครงสร้างพื้นฐานทางราง ระบบราง โครงสร้างทางวิ่ง ระบบอาณัติสัญญาณ ระบบการสื่อสาร ระบบแหล่งจ่ายไฟ สถานีขนส่งสินค้าทางราง ศูนย์ควบคุมการเดินรถ อาคารสำนักงาน โรงซ่อมบำรุง และเขตระบบการขนส่งทางราง และรวมถึงโครงสร้างพื้นฐานและทรัพย์สินที่จำเป็นในการประกอบกิจการขนส่งทางราง

“กิจการขนส่งทางราง” หมายความว่า การประกอบกิจการรางเพื่อการขนส่ง การประกอบกิจการเดินรถขนส่งทางราง และการประกอบกิจการรางเพื่อการขนส่งและการเดินรถขนส่งทางราง

“กิจการรางเพื่อการขนส่ง” หมายความว่า กิจการบริหารจัดการ และบำรุงรักษารางเพื่อการขนส่ง

“กิจการเดินรถขนส่งทางราง” หมายความว่า กิจการเดินรถขนส่งทางรางสำหรับขนส่งผู้โดยสารหรือสินค้า

“กิจการขนส่งทางรางเพื่อกิจการของตน” หมายความว่า การขนส่งทางรางซึ่งไม่ใช่ เพื่อการพาณิชย์หรือการขนส่งทางรางเพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับกิจการนั้น โดยไม่มีการเรียกเก็บ ค่าโดยสาร ค่าขนส่ง หรือค่าบริการอื่น

“ค่าโดยสาร” หมายความว่า บำเหน็จที่ต้องจ่ายเพื่อการโดยสารที่ผู้ได้รับใบอนุญาตเรียกเก็บจากผู้ใช้บริการ

“ค่าขนส่ง” หมายความว่า ค่าระวางหรือบำเหน็จที่ต้องจ่ายเพื่อการรับขนส่งสินค้าที่ผู้ได้รับใบอนุญาตเรียกเก็บจากผู้ให้บริการ

“ค่าใช้จ่ายจากรางและทรัพย์สินที่จำ เป็นในการประกอบกิจการขนส่งทางราง” หมายความว่า ค่าตอบแทนการใช้ประโยชน์จากรางเพื่อการขนส่ง หรือโครงสร้างพื้นฐานอื่นในการขนส่งทางราง (สายใจ เกษสุวรรณ, 2565)

สาระสำคัญของร่างพระราชบัญญัติการขนส่งทางราง ประกอบไปด้วย 10 หมวด ปรากฎ สาระสำคัญดังนี้

หมวด 1 ว่าด้วยการให้มีคณะกรรมการนโยบายการขนส่งทางราง (นายกรัฐมนตรีเป็นประธานกรรมการ) มีหน้าที่และอำนาจ เช่น กำหนดแผนพัฒนาการขนส่งทางราง แนวทางการพัฒนา อสังหาริมทรัพย์หรือทรัพย์สินอื่นที่ได้รับประโยชน์ แนวทางการเชื่อมต่อการขนส่งรูปแบบอื่น รวมทั้ง ให้ความเห็นชอบโครงการในการประกอบกิจการขนส่งทางรางและมาตรฐานการขนส่งทางรางด้าน ต่าง ๆ ตลอดจนกำหนดอัตราขั้นสูงของค่าโดยสาร ค่าขนส่ง และกำหนดประเภทของบุคคลที่ได้รับการยกเว้นหรือลดหย่อนค่าโดยสาร เป็นต้น

หมวด 2 ว่าด้วยการจัดทำโครงการขนส่งทางราง โดยกำหนดให้เจ้าของโครงการต้อง จัดทำรายงานผลการศึกษาความเหมาะสมและรายงานผลการศึกษาวิเคราะห์โครงการเสนอต่อ คณะกรรมการนโยบายการขนส่งทางราง แล้วเสนอรัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยและ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงคมนาคมเห็นชอบก่อนเสนอคณะกรรมการนโยบายขนส่งทางราง ส่วนการ ดำเนินกิจการขนส่งทางรางเป็นได้ทั้งหน่วยงานของรัฐดำเนินการเอง และการร่วมลงทุนระหว่างรัฐ และเอกชน ซึ่งจะต้องมีรายละเอียดในการเสนอโครงการขนส่งทางรางที่แสดงถึงความคุ้มค่า ความ เหมาะสม และประโยชน์ที่ประชาชนจะได้รับ

หมวด 3 ว่าด้วยเขตระบบรถขนส่งทางรางและเขตปลอดภัยระบบรถขนส่งทางราง ให้ เจ้าของโครงการเป็นผู้กำหนด พร้อมทั้งจัดทำและแสดงเครื่องหมายแสดงแนวเขตฯ โดยห้ามไม่ให้ ผู้ใดจะกระทำการ ที่อาจเป็นอันตรายหรือกระทบกระเทือนต่อระบบรถขนส่งทางรางในเขตที่กำหนด

หมวด 4 ว่าด้วยการประกอบกิจการขนส่งทางราง โดยกำหนดให้รัฐมนตรีว่าการ กระทรวงคมนาคม เป็นผู้ออกใบอนุญาตประกอบกิจการรางเพื่อการขนส่ง ใบอนุญาตประกอบกิจการ

การเดินรถขนส่งทางราง และใบอนุญาตประกอบกิจการรางเพื่อการขนส่งและการเดินรถขนส่งทางราง ทั้งนี้ ผู้ที่ได้รับใบอนุญาตต้องปฏิบัติตามที่พระราชบัญญัติฯ กำหนด รวมทั้งต้องกำหนดอัตราค่าโดยสารและค่าบริการไม่เกินกว่าอัตรา ขั้นสูงที่คณะกรรมการนโยบายการขนส่งทางรางกำหนด นอกจากนี้ เจ้าของโครงการหรือเอกชนเจ้าของรางหรือทางเฉพาะ มีหน้าที่ต้องยินยอมให้มีการเชื่อมต่อรางเมื่อมีการร้องขอและได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมการขนส่งทางราง ซึ่งเจ้าของโครงการหรือเจ้าของรางหรือทางเฉพาะ มีสิทธิได้รับค่าตอบแทน โดยหมวดนี้ยังกำหนดให้มีคณะกรรมการจัดสรรเวลาการเดินรถขนส่งทางราง มีหน้าที่และอำนาจกำหนดหลักเกณฑ์ การจัดสรรเวลาการเดินรถขนส่งทางหรือปรับเปลี่ยนเวลาการเดินรถขนส่งทางรางหรือปรับขีดความสามารถของ ความจุทาง ซึ่งจะกระทบต่อการจัดสรรเวลาเดินรถขนส่งทางราง

หมวด 5 ว่าด้วยการสอบสวนอุบัติเหตุและอุบัติการณ์ กำหนดให้มีคณะกรรมการสอบสวนอุบัติเหตุและอุบัติการณ์ มีหน้าที่และอำนาจกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการสอบสวนอุบัติเหตุ อุบัติเหตุร้ายแรง และอุบัติการณ์ ดำเนินการสอบสวนเพื่อประโยชน์ในการใช้ข้อมูลสำหรับความปลอดภัยในการขนส่งทางราง เพื่อป้องกันมิให้เกิดเหตุทำนองเดียวกันขึ้นอีก รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูล และเสนอแนะมาตรการเชิงป้องกันให้แก่หน่วยงานที่มีอำนาจเกี่ยวกับการขนส่งทางราง ติดตามการ ดำเนินการ และจัดทำรายงานผลการดำเนินการประจำปีเสนอต่อคณะรัฐมนตรีและ คณะกรรมการนโยบายการขนส่งทางราง

หมวด 6 ว่าด้วยผู้ตรวจการขนส่งทางราง โดยกำหนดให้ข้าราชการสังกัดกรมการขนส่งทางราง ซึ่งรัฐมนตรีแต่งตั้งให้เป็นผู้ตรวจการขนส่งทางราง มีหน้าที่และอำนาจตรวจสอบและ ดำเนินการใดๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งหลักฐานเกี่ยวกับการประกอบกิจการขนส่งทางรางที่เข้าข่ายว่าจะเป็น ความผิด

หมวด 7 ว่าด้วยผู้ประจำหน้าที่ โดยกำหนดให้ผู้ประจำหน้าที่ต้องได้รับใบอนุญาตจาก อธิบดี กรมการขนส่งทางราง หรือออกให้โดยรัฐภาคีแห่งอนุสัญญาหรือรัฐที่ได้ทำความตกลงกับ ประเทศไทย ผู้ประจำหน้าที่ซึ่งต้องได้รับใบอนุญาต ได้แก่ พนักงานขับรถขนส่งทางรางและพนักงาน ควบคุมรถขนส่งทางราง

หมวด 8 ว่าด้วยการจดทะเบียนรถขนส่งทางราง โดยกำหนดให้รถขนส่งทางรางต้อง เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด มีความมั่นคงแข็งแรง และมีส่วนควบอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการเดินรถ ขนส่งทางราง จากนั้น จะต้องนำรถขนส่งมาดำเนินการจดทะเบียนก่อนนำไปใช้ในการประกอบ กิจการ

หมวด 9 ว่าด้วยการคุ้มครองผู้โดยสารและผู้ใช้บริการ โดยกำหนดให้ผู้ได้รับใบอนุญาต ต้องรับผิดชอบชดใช้ค่าเสียหายให้กับผู้โดยสารเมื่อมีเหตุล่าช้าหรือถูกยกเลิก ต้องจัดให้มีการประกัน ความเสียหายที่เกิดขึ้นแก่ชีวิตและร่างกายของผู้โดยสารและผู้ให้บริการจัดให้มีสิ่งอำนวยความสะดวก

แก่ผู้โดยสารและผู้ให้บริการโดยเฉพาะผู้ทุพพลภาพ ผู้สูงอายุ สตรีมีครรภ์ และเด็ก ให้มีความเหมาะสม ผู้โดยสารและผู้ให้บริการมีสิทธิร้องเรียนต่ออธิบดีกรมการขนส่งทางรางเมื่อได้รับความเดือดร้อนจากการประกอบกิจการขนส่งทางรางได้

หมวด 10 ว่าด้วยบทกำหนดโทษ กำหนดมาตรการบังคับทางปกครองในกรณีเป็นการกระทำความผิดใดที่มีโทษทางอาญาตามพระราชบัญญัติการขนส่งทางราง และเป็นการกระทำของผู้ประจำหน้าที่ ผู้ได้รับใบอนุญาต และกรรมการหรือผู้มีอำนาจจัดการแทนผู้ได้รับใบอนุญาต อาจถูกดำเนินมาตรการลงโทษปรับทางปกครองได้ (กรมการขนส่งทางราง, 2565)

2.6.2 การอนุญาตให้ส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกไปนอกราชอาณาจักร พ.ศ. 2560

ตามที่ได้มีประกาศกระทรวงพาณิชย์ ว่าด้วยการส่งสินค้าออกไปนอกราชอาณาจักร (ฉบับที่ 50) พ.ศ. 2532 ลงวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532 กำหนดให้ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นสินค้าที่ต้องขออนุญาตในการส่งออกไปนอกราชอาณาจักร และเพื่อให้การอนุญาตให้ส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกไปนอกราชอาณาจักรเป็นไปด้วยความเรียบร้อย สมควรกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไข ในการพิจารณาอนุญาตให้ส่งสินค้าดังกล่าวออกไปนอกราชอาณาจักร อาศัยอำนาจตามความในข้อ 5 ข้อ 6 และข้อ 8 ของกฎกระทรวงการขออนุญาตและการอนุญาตให้ส่งออกไปนอกและนำเข้ามาในราชอาณาจักรซึ่งสินค้า พ.ศ. 2555 ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งออกไปนอกและการนำเข้ามาในราชอาณาจักรซึ่งสินค้า พ.ศ. 2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพาณิชย์ออกระเบียบไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ระเบียบนี้เรียกว่า “ระเบียบกระทรวงพาณิชย์ว่าด้วยการอนุญาตให้ส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกไปนอกราชอาณาจักร พ.ศ. 2560”

ข้อ 2 ระเบียบนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2561 เป็นต้นไป

ข้อ 3 การส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกไปนอกราชอาณาจักร จะพิจารณาอนุญาตให้ส่งออกได้โดยไม่จำกัดปริมาณ

ข้อ 4 ให้ผู้ที่ประสงค์จะขอรับใบอนุญาตส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกไปนอกราชอาณาจักรยื่นคำขอพร้อมแนบหลักฐานแสดงการซื้อขายได้เฉพาะที่สำนักบริการการค้าต่างประเทศ กรมการค้าต่างประเทศเลขที่ 563 ถนนนนทบุรี ตำบลบางกระสอ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี เท่านั้น

ข้อ 5 ให้อธิบดีกรมการค้าต่างประเทศรักษาการตามระเบียบนี้ และมีอำนาจวินิจฉัยสั่งการกรณีที่มีปัญหาได้ตามความจำเป็นและเหมาะสม (กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2560)

2.6.3 ขั้นตอนการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง (มันเส้น มันอัดเม็ด มันป่น) ไม่รวมกากมันสำปะหลัง

โดยขั้นตอนการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกนอกราชอาณาจักรมีขั้นตอนดังนี้

- 1.จดทะเบียนเป็นผู้ทำการค้าขาออกซึ่งสินค้ามาตรฐาน สามารถยื่นผ่านระบบบริการมาตรฐานสินค้าทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยหน่วยงานที่สามารถติดต่อคือ สำนักงานมาตรฐานสินค้ากรมการค้าต่างประเทศ
- 2.ยื่นขอใบอนุญาตส่งออก (ตามแบบ อ.2) โดยติดต่อสำนักบริการการค้าต่างประเทศ กรมการค้าต่างประเทศ
- 3.ยื่นคำร้องขอให้ออกใบรับรองมาตรฐานสินค้าที่สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย
- 4.ติดต่อผู้ตรวจสอบ (Surveyor) เพื่อตรวจสอบมาตรฐานสินค้า โดยบริษัทตรวจสอบ (Surveyor) ที่ขึ้นทะเบียนกับกรมการค้าต่างประเทศที่เว็บไซต์
- 5.ขอใบรับรองมาตรฐานสินค้า (ตามแบบ มส.24) ที่สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย
- 6.กรณีประเทศที่มีข้อตกลงทางการค้ายื่นขอใบรับรองแหล่งกำเนิดสินค้าเพื่อส่งออกภายใต้สิทธิประโยชน์ที่ได้รับ สามารถติดต่อที่สำนักการบริการการค้าต่างประเทศ กรมการค้าต่างประเทศ
- 7.ดำเนินการตามขั้นตอนศุลกากร โดยติดต่อที่กรมศุลกากร ศูนย์บริการศุลกากร
- 8.รายงานการส่งออก (มส.25) ภายใน 15 วัน นับแต่วันส่งออก (ยื่นผ่านบริการมาตรฐานสินค้าทางอิเล็กทรอนิกส์) ที่หน่วยงานสำนักงานมาตรฐานสินค้า กรมการค้าต่างประเทศ

โดยแนบเอกสารหลักฐานดังนี้

1. สำเนาหนังสือรับรองบริษัท/ห้างหุ้นส่วน และวัตถุประสงค์หรือสำเนาหนังสือรับรองรายงานการประชุมสหกรณ์/องค์การหรือหน่วยงานของรัฐ
2. สำเนาใบสำคัญรับการจดทะเบียนสหกรณ์ (กรณีเป็นสหกรณ์)
3. สำเนาหนังสือบริคณห์สนธิและข้อบังคับของบริษัท
4. สำเนาบัญชีรายชื่อผู้ถือหุ้น (แบบ บอจ.5)

5. หนังสือรับรองการครอบครองสำนักงาน (แบบ มส.9)พร้อมหลักฐานการครอบครองสำนักงาน อาทิ สำเนาสัญญาซื้อขาย/สำเนาโฉนดที่ดินเจ้าของกรรมสิทธิ์และหนังสือสัญญาเช่า หรือ หนังสือยินยอมให้อาศัยสำนักงาน

6. สำเนาหนังสือรับรองการเป็นสมาชิกสมาคมการค้าชนิดที่ขอจดทะเบียนเป็นผู้ทำการค้าขาออก

7. สำเนารายงานผู้สอบบัญชีรับอนุญาตและงบการเงินของรอบระยะเวลาบัญชีครั้งล่าสุด

8. สำเนาทะเบียนบ้านและสำเนาบัตรประจำตัวประชาชนของกรรมการ (ทุกท่าน)

9. ตัวอย่างตราแผ่นป้าย สลาก หรือเครื่องหมายที่ใช้เกี่ยวกับการส่งออกสินค้าขาออก
เงื่อนไขยื่นคำขอ : ในการยื่นคำขอสำเนาเอกสารทุกแผ่นต้องรับรองสำเนาถูกต้อง โดยผู้มีอำนาจลงนามผูกพันบริษัท/ห้างหุ้นส่วนจำกัด/สหกรณ์/องค์การหรือหน่วยงานของรัฐพร้อมประทับตรา (กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2565)

2.6.4 ระเบียบและหลักเกณฑ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและแป้งสตาร์ชไปประเทศจีนสำหรับการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

ผู้ส่งออกต้องเป็นผู้ที่ได้จดทะเบียนเป็นผู้ทำการค้าขาออกซึ่งสินค้ามาตรฐาน ต้องมีใบรับรองมาตรฐานสินค้ากำกับการส่งออกทุกครั้ง และต้องขออนุญาตส่งออกทุกครั้ง

การส่งออกไปยังประเทศจีน ภายใต้กรอบความตกลง ASEAN-China FTA ต้องยื่นขอหนังสือรับรองแหล่งกำเนิดสินค้าที่เรียกว่า Form E ให้ผู้นำเข้าจีนใช้เป็นเอกสารประกอบพิธีการศุลกากรนำเข้า

ผู้ส่งออกจะต้องติดตามและศึกษาระเบียบกระทรวงพาณิชย์ที่กำหนดไว้แต่ละปีเกี่ยวกับการพิจารณาอนุญาตให้ส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกไปนอกราชอาณาจักร (THAIBIZCHINA, 2022)

2.7 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นปัญหาสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อน โดย CO₂ เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีบทบาทสำคัญในการดักจับความร้อนในชั้นบรรยากาศ

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงานของประเทศไทยในปี 2566 ดัง ตารางที่ 6 พบว่ามีการปล่อยก๊าซ CO₂ รวมอยู่ที่ 243.6 ล้านตัน ซึ่งลดลงร้อยละ 2.4 เมื่อ

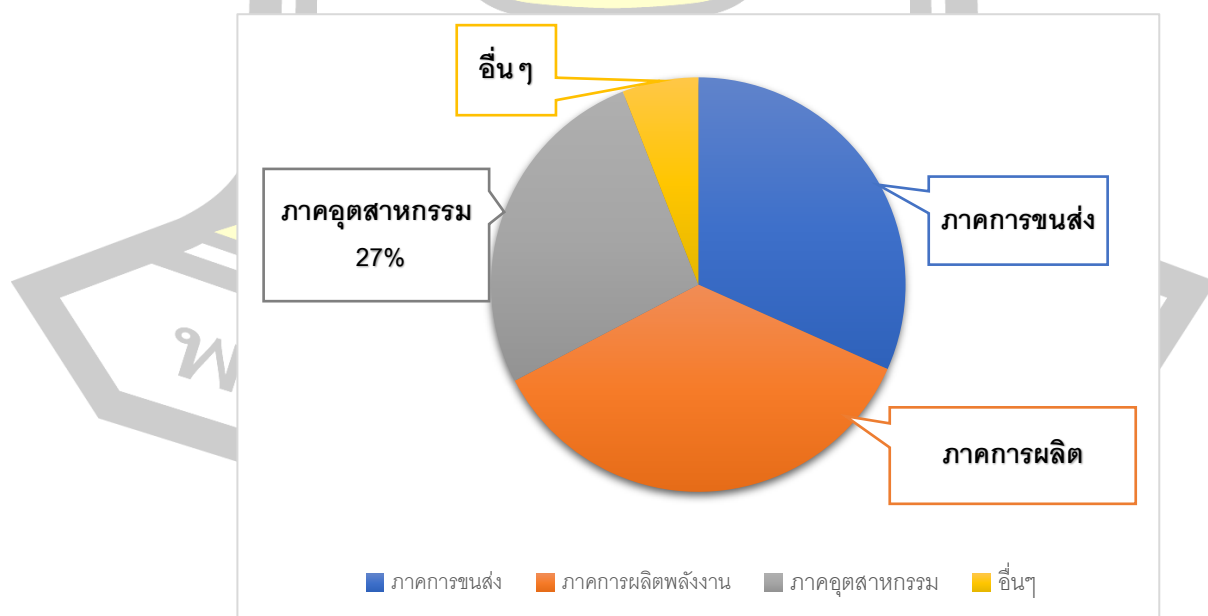
เปรียบเทียบกับปีที่ผ่านมา การลดลงนี้สอดคล้องกับการใช้พลังงานของประเทศไทยที่มีการลดลงเล็กน้อย โดยในภาคอุตสาหกรรมและภาคเศรษฐกิจอื่นๆ (ซึ่งรวมถึงภาคครัวเรือน, เกษตรกรรม, พาณิชยกรรม, และกิจกรรมอื่นๆ) มีการปล่อยก๊าซ CO₂ ลดลงร้อยละ 9.7 และ 3.5 ตามลำดับ ขณะที่ในภาคการผลิตไฟฟ้าและภาคการขนส่งมีการปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ร้อยละ 0.8 และ 0.1 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้พลังงานของประเทศไทย

	2562	2563	2564	2565	2566
การใช้พลังงานของ ไทย (KTOE)	131,636	121,814	120,490	121,815	121,733
การปล่อยก๊าซ CO ₂ (ล้านตัน CO ₂)	257.3	249.9	246.8	249.7	243.6

ที่มา : (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2567)

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงานในปี 2566 แยกรายภาคเศรษฐกิจ พบว่าโดยรวมมีการลดลงร้อยละ 2.4 เมื่อเปรียบเทียบกับปีก่อน ในรายละเอียดของแต่ละภาคเศรษฐกิจ ดังผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง



ภาพประกอบที่ 10 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2566

ที่มา : (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2567)

โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 24 มีการลดลงร้อยละ 9.7 เมื่อเปรียบเทียบกับปีที่ผ่านมา
- ภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ (รวมถึงภาคครัวเรือน, เกษตรกรรม, พาณิชยกรรม และกิจกรรมอื่น ๆ) ซึ่งมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 5 มีการลดลงร้อยละ 3.5
- ภาคการขนส่ง ซึ่งมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 33 มีการเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1
- ภาคการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 37 มีการเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8

การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนถึงแนวโน้มที่แตกต่างกันในแต่ละภาคเศรษฐกิจในการจัดการกับการปล่อยก๊าซ CO₂

จากสถิติการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) พบว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพภูมิอากาศ การลดการปล่อย CO₂ ในภาคการขนส่ง ทั้งนี้สามารถส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งทางรางที่มีประสิทธิภาพ ต้นทุนต่ำกว่าการขนส่งทางบกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถช่วยลดการปล่อย CO₂ ได้อย่างมาก เนื่องจากระบบขนส่งทางรางมีการปล่อย CO₂ ต่อหน่วยการขนส่งที่ต่ำกว่าการขนส่งทางถนน การสนับสนุนและลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานของระบบขนส่งทางรางจึงเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญในการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและส่งเสริมความยั่งยืนในระบบขนส่ง (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2567)

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การพยากรณ์

การพยากรณ์ (forecasting) หมายถึง การทำนายหรือประมาณค่าเหตุการณ์หรือสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา หรือข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่มีอยู่ โดยทั่วไป การพยากรณ์ใช้เพื่อคาดการณ์เหตุการณ์ที่ไม่สามารถทราบล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ การพยากรณ์จึงเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลและวิธีการคำนวณเพื่อประมาณค่าจากสถานการณ์ที่ไม่แน่นอน (J.Scott, 2014)

การพยากรณ์ หมายถึง การคาดคะเนหรือทำนายการเกิดเหตุการณ์หรือสภาพการณ์ต่างๆ ในอนาคต โดยการพยากรณ์จะทำการศึกษาแนวโน้มและรูปแบบการเกิดเหตุการณ์ตามข้อมูลในอดีตหรือใช้ความรู้ความสามารถประสบการณ์และดุลยพินิจของผู้พยากรณ์ในปัจจุบันการพยากรณ์มักจะนำไปใช้เกี่ยวกับการวางแผนอุปสงค์ (demand planning) หรือการพยากรณ์ห่วงโซ่อุปทาน (supply chain forecasting) ซึ่งจะใช้ทั้งวิธีพยากรณ์ทางสถิติและวิธีการสำรวจความคิดเห็น และการพยากรณ์มักใช้กับข้อมูลอนุกรมเวลา เห็นได้ว่าการพยากรณ์มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการวางแผนและการตัดสินใจเกี่ยวกับการดำเนินงานในทุกสาขาอาชีพ (นิภา นิรุตติกุล, 2558)

การพยากรณ์เป็นการประมาณค่าของตัวแปร (หรือกลุ่มตัวแปร) ในอนาคต การพยากรณ์ มักจะสร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ประกอบการตัดสินใจและวางแผนในอนาคต หากกิจการสามารถพยากรณ์ว่าจะเกิดอะไรขึ้นในอนาคต กิจการสามารถเปลี่ยนแปลงการกระทำในปัจจุบัน เพื่อให้ในอนาคตมีสภาพที่ดีขึ้นกว่าที่ควรจะเป็น (Beasley & Johnson, 1984)

ดังนั้นการพยากรณ์ คือ การคาดคะเน หรือทำนายเหตุการณ์ในอนาคตจากข้อมูลในอดีต ปัจจุบัน หรือประสบการณ์ การพยากรณ์เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ ตั้งแต่สมัยโบราณมนุษย์รู้จักการพยากรณ์เพื่อการดำรงชีวิต เช่น การพยากรณ์ดินฟ้าอากาศ เพื่อการล่าสัตว์และเพาะปลูก ปัจจุบันการพยากรณ์ได้ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันสำหรับแต่ละคนจนถึงการดำเนินกิจกรรมในองค์กรการต่างๆ การพยากรณ์จะให้ค่าพยากรณ์ คือ จำนวนหรือปริมาณที่ต้องการทราบในอนาคต ในธุรกิจค่าพยากรณ์ที่สำคัญ คือ ปริมาณความต้องการสินค้าหรือบริการในอนาคตที่ฝ่ายการตลาดจะทำการพยากรณ์ออกมาและฝ่ายผลิตจะนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตต่อไป

2.8.1.1 ความสำคัญของการพยากรณ์

ความสำคัญของการพยากรณ์ที่มีต่อการดำเนินงานของธุรกิจและการตัดสินใจ โดยการพยากรณ์มีความสำคัญดังนี้

การพยากรณ์ทำให้สามารถคาดคะเนปริมาณความต้องการสินค้าและบริการ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนดำเนินงานขององค์กร

การพยากรณ์ช่วยในการวางแผนดำเนินงานทางการผลิต ได้แก่ การเลือกทำเลที่ตั้งและวางแผนกำลังการผลิต การวางแผนการผลิต การวางแผนด้านการจ้างแรงงาน การวางแผนด้านวัสดุ การลำเลียงและการขนส่ง ซึ่งข้อมูลของการพยากรณ์ทำให้ผู้บริหารสามารถวางแผนการผลิตและดำเนินการผลิตให้ได้สินค้าและบริการพอดีกับความต้องการของตลาด ลดความเสียหายของการดำเนินการผลิตให้ได้สินค้าและบริการพอดีกับความต้องการของตลาด ลดความเสียหายของการดำเนินธุรกิจจากการผลิตสินค้ามากเกินไปความต้องการทำให้สูญเสียทรัพยากร และเกิดต้นทุนสูงและ

ถ้าผลิตสินค้าน้อยกว่าความต้องการ ทำให้เสียโอกาสทางธุรกิจและไม่สามารถสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้าได้

การพยากรณ์ช่วยในการตัดสินใจด้านการวางแผนทางการตลาด โดยใช้ในการวิเคราะห์ส่วนครองตลาด (market share) การกำหนดนโยบายด้านราคาและการส่งเสริมการตลาด

การพยากรณ์ช่วยในการวางแผนด้านการเงินเช่น การคาดคะเนอัตราดอกเบี้ย การตัดสินใจด้านการลงทุน และการวิเคราะห์กำไร

การพยากรณ์ช่วยในการวางแผนด้านทรัพยากรมนุษย์การพยากรณ์ทำให้ทราบจำนวนแรงงานที่ต้องการในอนาคต และเตรียมการจ้างการฝึกอบรมไว้ให้พร้อมต่อการปฏิบัติงาน

สรุปได้ว่า การพยากรณ์มีความสำคัญต่อการดำเนินงานในทุกๆ ด้านขององค์การ ผลที่ได้จากการพยากรณ์เป็นปัจจัยนำเข้าส่วนหนึ่ง (input) ของการวางแผนทุกประเภท จึงเป็นความจำเป็นที่ผู้บริหารจะต้องตระหนักถึงความสำคัญของการพยากรณ์ และสามารถเลือกใช้ประเภทของการพยากรณ์ที่เหมาะสม เพื่อนำผลของการพยากรณ์ไปใช้ในการวางแผนได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่อไป (อนุสรณ์ บุญสง่า, 2559) ซึ่งการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง นั้นมีบทบาทสำคัญในการวางแผนการส่งออกของประเทศ โดยเฉพาะการสร้างโอกาสทางการค้าใหม่ๆ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลก การพยากรณ์ที่แม่นยำช่วยในการจัดการทรัพยากรและลดความเสี่ยงทางเศรษฐกิจ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งผลิตมันสำปะหลังหลักของประเทศ จะได้รับประโยชน์โดยตรงจากการพยากรณ์ที่ดี เนื่องจากจะช่วยให้เกษตรกรและผู้ส่งออกสามารถวางแผนการผลิต การขนส่ง และการตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมเศรษฐกิจในภูมิภาค สร้างรายได้ที่มั่นคงยิ่งขึ้นให้กับชุมชนและส่งผลดีอย่างมากต่อประเทศ

2.8.1.2 ประเภทของการพยากรณ์

การพยากรณ์แบ่งตามช่วงเวลาของการพยากรณ์ จะแบ่งได้ 3 ประเภท (สิริกุลตา และ อัครีวงศ์, 2546) คือ

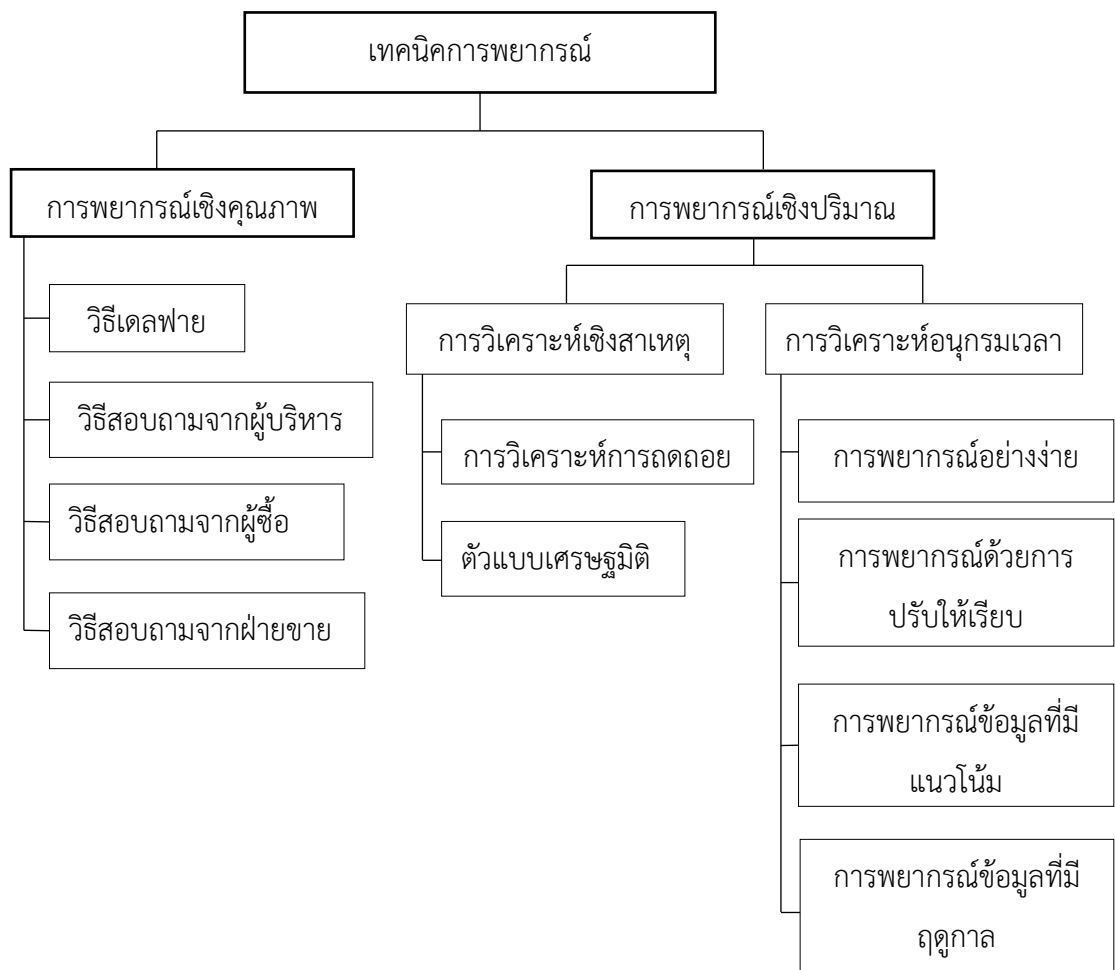
1. การพยากรณ์ระยะสั้น (short range forecasting) เป็นการคาดคะเนเหตุการณ์ข้างหน้าที่มีขอบเขตในระยะเวลาไม่เกินกว่า 1 ปี สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนปฏิบัติงานหรือดำเนินการได้

2. การพยากรณ์ระยะปานกลาง (medium range forecasting) เป็นการคาดการณ์ล่วงหน้าในระยะเวลา 1-3 ปี สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนการขยายโครงการ เช่น ซื้อเครื่องมือ เครื่องจักร เป็นต้น

3. การพยากรณ์ระยะยาว (long range forecasting) เป็นการคาดการณ์ล่วงหน้ามากกว่า 3 ปีขึ้นไป จะนิยมใช้มากเกี่ยวกับการวางแผนงานขององค์กรในอนาคต เช่น แผนการขยายกิจการ การขยายโรงงานแผนนโยบาย เป็นต้น

2.8.1.3 การจำแนกเทคนิคการพยากรณ์

โดยทั่วไปแล้วสามารถจำแนกเทคนิคการพยากรณ์ออกเป็น 2 เทคนิคใหญ่ดังภาพประกอบที่ 11 ซึ่งได้แก่ 1. เทคนิคการพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative Forecasting Technique) 2. เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecasting Technique)



ภาพประกอบที่ 11 จำแนกเทคนิคการพยากรณ์

ตัวแบบอนุกรมเวลาเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุดเกือบร้อยละ 60 ของ ผู้ตอบแบบสอบถาม วิธีที่นิยมใช้สำหรับตัวแบบอนุกรมเวลา คือ การหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ และการพยากรณ์แนวโน้ม

และร้อยละ 24 ของผู้ตอบแบบสอบถาม ระบุว่าใช้ตัวแบบหรือการวิเคราะห์เชิงสาเหตุ วิธีที่นิยมใช้คือ การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย โดยพบว่ามีเพียงร้อยละ 8 เท่านั้นที่มีการนำเอาเทคนิคการพยากรณ์เชิงคุณภาพ เช่น วิธีเดลฟาย หรือ การวิจัยตลาด เข้ามาใช้ โดยนำมาใช้เพื่อพยากรณ์ข้อมูลที่มีอยู่จำนวนน้อย หรือใช้เมื่อบริษัทไม่มีข้อมูลในอดีต เก็บหรือบันทึกไว้สำหรับการวิเคราะห์ รายละเอียดของเทคนิคการพยากรณ์แต่ละแบบที่นิยมนำมาใช้ในทางปฏิบัติ (ลักษณะกร, 2556) มีดังนี้

1. การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (ยูทอ ไทยวรรณ, 2549) ได้กล่าวไว้ว่าเป็นการพยากรณ์ที่อาศัยข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้เกี่ยวข้องกับสินค้า ประสบการณ์ ความรู้ความสามารถ หรือวิจรรย์ญาณของพยากรณ์ได้แก่ 1) วิธีเดลฟาย (Delphi Method) เป็นวิธีที่อาศัยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในการมองอนาคตจากประสบการณ์ ความรู้ ความสามารถในเรื่องนั้นๆ 2) วิธีสอบถามผู้บริหาร (Jury of Executive Opinion) เป็นการใช่วิธีสอบถามความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้อง แต่อยู่ในตำแหน่งบริหารว่ามองทิศทางของสินค้าชิ้นนี้ในอนาคต อย่างไร 3) วิธีสอบถามจากผู้ซื้อ (User's expectation) วิธีนี้อาจจะใช้วิธีการวิจัยการตลาดเข้าช่วยโดยการส่งแบบสอบถามไปยังผู้ซื้อหรือผู้ใช้สินค้าว่าเป็นอย่างไร 4) วิธีสอบถามจากฝ่ายขาย (Field sales force) ใช้ความรู้ด้านการตลาดของพนักงาน ฝ่ายขาย เพื่อที่จะประมาณความต้องการที่เกิดขึ้น

2. การพยากรณ์เชิงปริมาณ จะใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของข้อมูลที่เก็บ รวบรวมไว้ในอดีต (Historical Data) โดยแบ่งเป็นวิธีการพยากรณ์ได้ 2 วิธีใหญ่ๆ ได้แก่ 1) การวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา (time series analysis) อยู่ภายใต้ข้อสมมุติฐานที่ว่ารูปแบบของข้อมูลในอดีตยังคงเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต หรืออาจกล่าวได้ว่าลักษณะของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลหรือตัวแปรที่เราสนใจศึกษา เช่น ปริมาณความต้องการ หรืออุปสงค์ในช่วงเวลาที่ผ่านไป เรียกว่าตัวแปรตาม จะทำให้คาดการณ์หรือทำนายได้ว่าในอนาคตลักษณะของข้อมูลก็ควรจะอยู่ในรูปแบบเช่นนั้นต่อไป โดยในทีนี้เวลาจะเป็นตัวแปรอิสระ รูปแบบของอนุกรมเวลาที่พบบ่อย เช่น ราคาน้ำมัน รายได้ ประชาชาติ ดัชนีอุตสาหกรรม เป็นต้น 2) การวิเคราะห์เชิงสาเหตุ (Causal or Associative Models) เป็นวิธีพยากรณ์เชิงปริมาณที่มีข้อสมมุติที่แตกต่างจากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา กล่าวคือ จะสมมุติว่าปัจจัยอื่นๆ ตั้งแต่ 1 ตัวแปรขึ้นไปมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการที่จะ พยากรณ์เช่น การพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่อ ราคาน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป หรือว่าขึ้นอยู่กับการตั้งราคา การโฆษณาประชาสัมพันธ์และราคา สินค้าที่ทดแทนกันได้หรือไม่ เป็นต้น โดยจะเรียกตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ว่า ตัวแปรตาม (Dependent Variable) และ ข้อมูลหรือตัวแปรอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการ พยากรณ์จะเรียกว่า ตัวแปรอิสระ

(Independent Variable) โดยตัวแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis Model) ตัวแบบสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ (1) ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายซึ่งเป็นตัวแบบที่กำหนดว่าตัวแปรตามมีความสัมพันธ์หรือขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว และ (2) ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน เป็นตัวแบบที่กำหนดว่าตัวแปรตามมีความสัมพันธ์หรือขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปรขึ้นไป (David A., 2009) การวิเคราะห์เชิงสาเหตุ เป็นการพยากรณ์ที่เน้นการหาความสัมพันธ์และสาเหตุระหว่างตัวแปร เพื่อเข้าใจว่าปัจจัยใดมีผลกระทบต่อผลลัพธ์อย่างไร

การวิเคราะห์อนุกรมเวลา เป็นการพยากรณ์ที่มุ่งเน้นในการศึกษาข้อมูลที่จัดเก็บตามลำดับเวลาเพื่อตรวจสอบแนวโน้มและคาดการณ์เหตุการณ์ในอนาคต โดยงานวิจัยนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการพยากรณ์คือการวิเคราะห์แบบถดถอยและโครงข่ายประสาทเทียม

2.5.2 การวิเคราะห์แบบถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นวิธีการทางสถิติใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ประกอบด้วย ตัวแปรที่เราทราบค่า เรียกว่าตัวประมาณการหรือตัวแปรต้น (Predictor, Independent variable, X) และตัวแปรที่เราต้องการทราบค่า เรียกว่าตัวตอบสนองหรือตัวแปรตาม (Response , Dependent variable , Y) ว่าเป็นตัวแปรที่เป็นปัจจัยหรือเป็นเหตุผลของกันและกันหรือไม่ โดยความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Regression แทนด้วยสมการหรือฟังก์ชันคณิตศาสตร์ดังสมการ (1)

$$y = ax + b \quad (1)$$

โดยที่

x แทนข้อมูลนำเข้า (input)

y แทนข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ (output)

a แทนค่าคงที่ของสมการถดถอย ซึ่งเป็นค่าจุดตัด (Intercept) แกน y ของสมการ

b ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวตอบสนอง x

2.5.2.1 ประเภทของการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) การวิเคราะห์การถดถอยพหุนาม (Polynomial regression) และการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ (Logistic regression) ดังนี้

1. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Xin, 2009) โดยถ้าเป็นการศึกษาตัวแปรต้น (X) หนึ่งตัวกับตัวแปรตาม (Y) หนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียว หรือการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) แต่ถ้าเป็นการศึกษาตัวแปรต้น (X) สองตัวขึ้นไปกับตัวแปรตาม (Y) หนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

1.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเดียว (Simple Linear Regression) เป็นวิธีการวิเคราะห์การถดถอยที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรเป็นเชิงเส้นตรง และมีตัวแปรประมาณการ (X) หนึ่งตัวและตัวแปรตอบสนอง (Y) หนึ่งตัว ซึ่งความสัมพันธ์แทนด้วยสมการ (2)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2)$$

โดยที่

y แทนข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ (output)

β_0 แทนค่าคงที่ของสมการถดถอย ซึ่งเป็นค่าจุดตัด (Intercept) แกน y ของสมการ

β_x ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวตอบสนอง x

โดยมีการศึกษาวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์และคัดเลือกตัวแปรในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นกรณีที่มีข้อมูลมิติสูงโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และนำผลของวิธีที่เสนอไปเปรียบเทียบกับวิธีที่รู้จักกัน อย่างแพร่หลาย 3 วิธี ได้แก่วิธีลาสโซ่ วิธีอีลาสติกเน็ต และวิธีการถดถอยแบบขั้นตอนโดยผลการศึกษาสรุบได้ว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์และคัดเลือกตัวแปรอิสระได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับ 3 วิธีดังกล่าวเกือบทุกกรณี

1.2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (X) และตัวแปรตาม (Y) ที่มีลักษณะเหมือนกันกับวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามเป็นแบบเชิงเส้นตรง แต่ที่แตกต่าง คือ การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรต้นมากกว่า 1 ตัว โดยความสัมพันธ์แทนด้วยสมการ (3)

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (3)$$

โดยที่

y แทนข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ (output)

β_0 แทนค่าคงที่ของสมการถดถอย ซึ่งเป็นค่าจุดตัด (Intercept) แกน y ของสมการ 1 2 , ...

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวแปรต้น 1 2 , ..., k

ทั้งนี้จากการศึกษาของ (สุรพงศ์ บางพาน, พีรพันธ์ บางพาน, และ ธิติ กานต์ บุญแข็ง, 2556) ได้ทำการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X_1 : อุณหภูมิ, X_2 : ความชื้นของข้าวเปลือก, และ X_3 : ช่องว่างระหว่างลูกยาง) ต่อผลลัพธ์ที่สนใจ (Y) ซึ่งในที่นี้คือเปอร์เซ็นต์ของข้าวดีที่ได้จากกระบวนการกะเทาะเปลือกข้าว

ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณนี้มีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยที่ตัวแปรต้นทั้งสามตัวมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวแปรผลลัพธ์ (เปอร์เซ็นต์ของข้าวดี) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard Error Coefficient) สำหรับตัวแปรอุณหภูมิเท่ากับ 0.1752, ความชื้นเท่ากับ 0.418, และช่องว่างระหว่างลูกยางเท่ากับ 0.0334 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามอย่างชัดเจน โดยมีตัวแบบดังนี้ (4)

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (4)$$

$$\text{สมการที่ 1} \quad 2,962.9 = \beta_0(40) + \beta_1(1,200) + \beta_2(480) + \beta_3(3,000) \quad (5)$$

$$\text{สมการที่ 2} \quad 87,703.5 = \beta_0(1,200) + \beta_1(3,700) + \beta_2(3,000) + \beta_3(1,080,000) \quad (6)$$

$$\text{สมการที่ 3} \quad 35,702.25 = \beta_0(480) + \beta_1(3,000) + \beta_2(1,800,000) + \beta_3(9,920) \quad (7)$$

$$\text{สมการที่ 4} \quad 217,615 = \beta_0(3,000) + \beta_1(1,800,000) + \beta_2(250,000) + \beta_3(222,859.45) \quad (8)$$

จากสมการทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่าตัวแปรอิสระมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าผลลัพธ์ y ซึ่งในที่นี้ ค่าเฉลี่ยของ y จากสมการทั้งหมดเท่ากับ $\bar{y} = 74.0725$ โดยค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของตัวแปรตามที่ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรต้น นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละค่ามีความสำคัญต่อการคาดการณ์ค่าผลลัพธ์ตามที่ได้แสดงในแต่ละสมการ

ตัวแบบที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการทำนายเปอร์เซ็นต์ข้าวดีภายใต้เงื่อนไขการควบคุมของตัวแปรอุณหภูมิ ความชื้น และช่องว่างระหว่างลูกยางในกระบวนการผลิต

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อสร้างตัวแบบสมการถดถอย คือการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Regression) และตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ ผลการวิจัยพบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อมูลค่าการส่งออกยางรถยนต์ของประเทศไทยมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราเงินเฟ้อของประเทศไทย, ราคาน้ำมันเตา, อัตราผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP), และดัชนีความเชื่อมั่นทางธุรกิจของประเทศไทย

2. การวิเคราะห์การถดถอยพหุนาม (Polynomial regression) การวิเคราะห์การถดถอยพหุนาม (Fan, 1996) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง (ความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นโค้ง) ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์จะมีความยากและ ซับซ้อนยิ่งขึ้น โดยรูปแบบความสัมพันธ์เขียนแสดงในรูปแบบสมการ (9)

$$y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_n X^n \quad (9)$$

3. การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ (Logistic regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยที่ตัวแปรตอบสนอง (Y) มีค่าได้ 2 สถานะ เช่น ใช่หรือไม่ใช่ เป็นต้น และตัวแปรตาม (X) มีค่าเป็นแบบต่อเนื่องปกติ (Continuous value) โดยส่วนมาก Logistic Regression Analysis จะถูกนำมาใช้เพื่อทำนายว่า จะมีเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้นหรือไม่ หรือมีโอกาสเกิดขึ้นมาก น้อยเพียงใด โดยตัวแปรต้น (X) ที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดเหตุการณ์อาจมีได้มากกว่า 1 ตัว และสามารถเป็นได้ทั้งค่าต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น การคาดการณ์เกี่ยวกับการอนุมัติหรือไม่อนุมัติสินเชื่อให้กับลูกค้าแต่ละคนภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เช่น เพศ อายุ เงินเดือน หรืออื่นๆ เป็นต้น ซึ่งเหล่านี้ถือเป็นตัวแปรต้นที่อาจส่งผลต่อการพิจารณาอนุมัติหรือไม่อนุมัติสินเชื่อ

2.5.2.2 การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์เป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อประเมินความแม่นยำและความเชื่อถือได้ของแบบจำลองในการคาดการณ์เหตุการณ์ในอนาคต กระบวนการนี้ช่วยในการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริงที่เกิดขึ้น ช่วยในการปรับปรุงแบบจำลองด้วยการระบุจุดอ่อนและข้อบกพร่อง และช่วยในการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสถานการณ์หรือข้อมูลที่เฉพาะ นอกจากนี้ยังช่วยในการประเมินความเชื่อถือได้ของผลลัพธ์ที่แบบจำลองแสดงผลให้

ในเทคนิคของการทำ Machine Learning มี Metrics ที่ใช้วัดความถูกต้องของแบบจำลองหลายตัว สำหรับ Metrics ที่ใช้ในแบบจำลอง regression มีดังนี้

1. Mean Squared Error (MSE) หรือค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง เป็นการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยจะยิ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก โดยค่า MSE คำนวณได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนมายกกำลัง แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย ดังสมการ (10)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad (10)$$

โดยที่

n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้

y_t คือ ค่าจริงที่ t ไต ๆ

\hat{y}_t คือ ค่าที่ได้จากการทำนายที่ t ไต ๆ

2. Root Mean Square Error (RMSE) หรือค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง เฉลี่ย เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยจะยิ่ง แสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก วิธีการคำนวณคือจะเป็นการนำค่า MSE ที่คำนวณได้มาหารากที่สองดังสมการ (11)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (11)$$

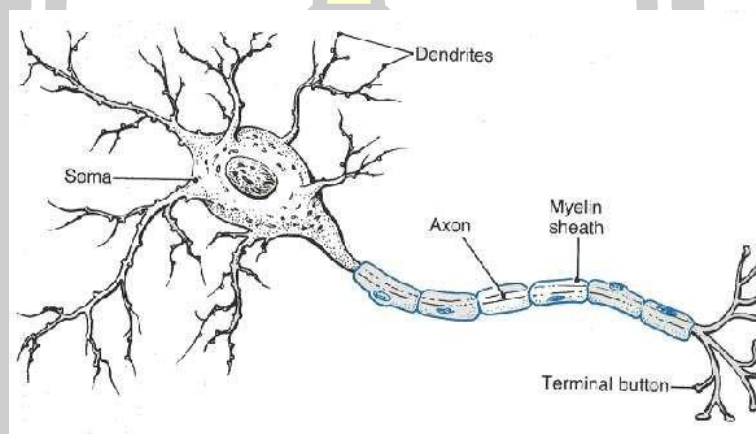
3. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Squared (R^2) เป็นค่าที่ใช้ประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งค่า R-Squared ที่สูงใกล้เคียง 1 แสดงว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความผันแปรในตัวแปรตอบสนองได้ดี ค่า R-Squared ถูกใช้ในวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) และมีความหมายที่ว่า 0% หมายความว่าแบบจำลองไม่สามารถอธิบายความผันแปรได้เลย ขณะที่ 100% หมายความว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความผันแปรได้อย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปแล้ว ค่า R-Squared ที่มากกว่า 0.6 ถือว่าแบบจำลองนั้นมีความเหมาะสมดี (Minitab, 2021)

2.5.3 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์โดยโครงข่ายประสาทของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) และจุดประสานประสาทหรือไซแนปส์ (Synapses) โดยโครงสร้างของการส่งสัญญาณ ประสาทประกอบจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทหลายพันล้านเซลล์ เซลล์ประสาทแต่ละ เซลล์ประกอบด้วยแขนงรับส่งสัญญาณประสาทซึ่งเป็นเสมือนหน่วยรับข้อมูลป้อนเข้า เรียกว่า “เดนไดรต์” (dendrites) และส่วนปลายของเซลล์ประสาทในการส่งสัญญาณประสาทซึ่งเป็นเสมือน

หน่วยส่งข้อมูลออกของเซลล์ เรียกว่า “แอกซอน” (axon) โดยการส่งสัญญาณประสาทดังกล่าว อาจทำให้เกิดได้ทั้งการกระตุ้นและยับยั้ง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะดังกล่าวแล้ว วิธีการประมวลผลภายใน เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ยังมีการขยายหรือลดขนาดของสัญญาณอีกด้วย โดยสัญญาณจากเดนไดรต์ ต่าง ๆ จะรวมกันเข้าสู่เซลล์ประสาทก็จะส่งสัญญาณออกทางแอกซอนต่อไป

ซึ่งกระบวนการเรียนรู้ในสิ่งมีชีวิตจะมีผลให้เกิดการสร้างไซแนปส์ระหว่างเซลล์ประสาท ขึ้นมาใหม่หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของไซแนปส์ต่าง ๆ ในโครงข่ายของเซลล์ประสาท โครงข่ายประสาทของสิ่งมีชีวิตจึงไม่ได้ทำงานแบบเป็นลำดับขั้นตอน (sequential) แต่เพียงอย่างเดียวแสดงดัง ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง



ภาพประกอบที่ 12 โครงสร้างระบบประสาท

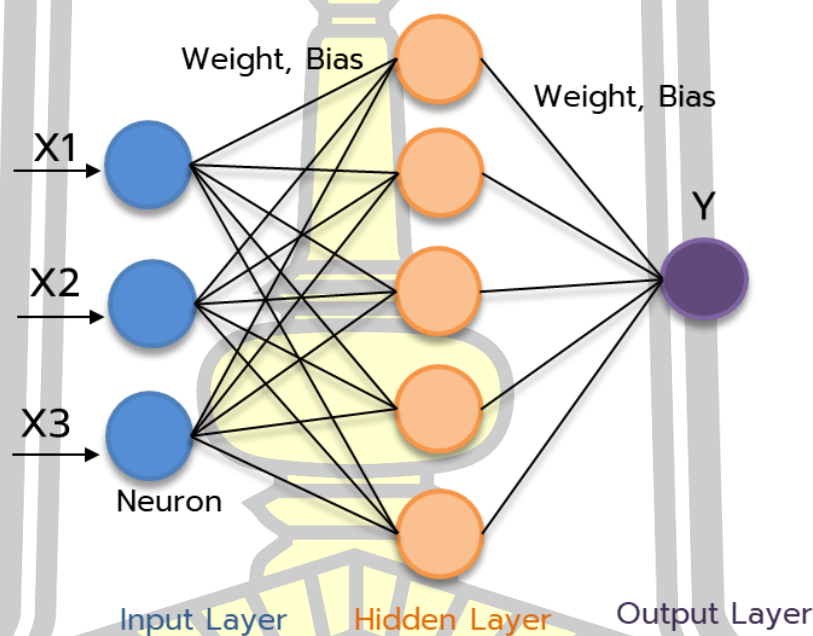
ที่มา : (Antonio Giuliano, 2011)

โครงข่ายประสาทเทียมมีคุณลักษณะคล้ายกับการส่งผ่านสัญญาณประสาทในสมองมนุษย์ กล่าวคือ มีความสามารถในการรวบรวมความรู้ (knowledge) โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ (learning process) และความรู้เหล่านี้จะจัดเก็บอยู่ในโครงข่ายในรูปแบบค่าน้ำหนัก (weight) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เมื่อมีการเรียนรู้สิ่งใหม่ๆ เข้าไปค่าน้ำหนักทำหน้าที่เปรียบเสมือนความรู้ที่รวบรวมไว้เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะอย่างของมนุษย์

ระบบประสาทในสมองมนุษย์นี้ได้ถูกนำไปต่อยอดและพัฒนาเป็นแนวคิดสำหรับการสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์และวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีความสามารถในการเรียนรู้และปรับตัวได้ ระบบดังกล่าวสามารถช่วยในการพยากรณ์แนวโน้มต่างๆ เช่น การคาดการณ์ผลผลิตทางการเกษตร การประเมินความต้องการ

สินค้า หรือแม้กระทั่งการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและตลาด โครงข่ายประสาทเทียม จึงเป็นวิธีสำคัญในการพัฒนางานวิจัยที่ต้องการความแม่นยำในการพยากรณ์

ในการประมวลผลต่าง ๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นเกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อย เรียกว่า “โหนด (node)” ซึ่งโหนดเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากเซลล์การส่งสัญญาณ (signal) ระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกัน (connection) จำลองมาจากการเชื่อมต่อของเดนไดรต์และแอกซอนในระบบประสาทของมนุษย์ ภายในโหนดจะมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณส่งออกที่เรียกว่า ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) หรือฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลง (transfer function) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์ (ธนาวุฒิ ประกอบผล, 2552) ดังผลิตภัณฑ์! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง



ภาพประกอบที่ 13 โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

องค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบ ดังนี้

1. ชั้นข้อมูลเข้า (Input Layer) ที่ชั้นนี้จะเป็นข้อมูลเข้า จำนวนโหนดในชั้นนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูลเข้าว่ามีข้อมูลอะไรบ้างที่จะนำเข้ามาคิดในแบบจำลอง เช่น ถ้าข้อมูลของลูกค้าเป็นข้อมูลเข้าที่ประกอบด้วย อายุ เพศ จังหวัดที่อาศัย รวมทั้งสิ้น 4 อย่าง ดังนั้นชั้นข้อมูลเข้าก็จะมี 4 โหนด ซึ่งอาจจะเรียกปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์เหล่านี้ว่าคุณลักษณะ (Feature)

2. ชั้นซ่อน (Hidden Layer) เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างกลาง ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการ เรียนรู้ของแบบจำลอง ซึ่งในชั้นซ่อนนั้นจะมีกี่ชั้นก็ได้ และแต่ละชั้นจะมีจำนวน

ของนิเวรอนจำนวนเท่าไรก็ได้ เช่นกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นและจำนวนนิเวรอนจะส่งผลต่อการทำงานของโมเดล ในส่วนของชั้นซ่อนมีการทำงาน เปรียบเสมือนส่วนที่เรียนรู้ข้อมูลเชิงลึก หรือ deep learning นั้นเอง โดยสิ่งสำคัญในชั้นซ่อนอีกประการหนึ่งคือ ทุก ๆ โหนด ต้องประกอบด้วยฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้น

3. ชั้นข้อมูลออก (Output Layer) ชั้นที่จะนำเอาข้อมูลจากการคำนวณไปใช้ และจำนวนของโหนดในชั้น นี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของข้อมูลออกที่จะเอาไปใช้ ตัวอย่างเช่น ถ้างานที่ทำเป็นสมการถดถอย (Regression) ก็กำหนดให้ชั้นข้อมูลออกเป็นแบบ 1 โหนด เพราะต้องการคำตอบเพียงค่าเดียวถ้าเป็นหลายค่าก็เพิ่มไปตามที่ต้องการ เช่น ในบางงานอาจจะทำนายหาตำแหน่งของภาพในแกนและพร้อม ๆ กัน ในกรณีนี้ก็ต้องกำหนดชั้นข้อมูลออกเป็น 2 โหนด เป็นต้น (Zou, Yi, & Sung-Sau, 2009)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) จะทำการนำข้อมูลเข้าที่ได้รับจากตัวแปรต่าง ๆ มาประมวลผล โดยเริ่มต้นจากการคูณค่าข้อมูลเข้ากับค่าน้ำหนัก (weights) ของแต่ละปลายประสาท (neuron) ซึ่งค่าน้ำหนักเหล่านี้จะถูกปรับเปลี่ยนในระหว่างกระบวนการเรียนรู้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น หลังจากที่ได้ผลลัพธ์จากการคูณแล้ว จะทำการรวมค่าทั้งหมดเพื่อสร้างผลรวมที่เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด จากนั้น ผลรวมนี้จะถูกส่งต่อไปยังฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) ซึ่งมีหน้าที่ในการตัดสินใจว่าผลลัพธ์ที่ได้ควรถูกนำไปใช้งานต่อไปหรือไม่ โดยฟังก์ชันกระตุ้นจะประเมินค่าผลรวมและกำหนดให้เกิดการกระตุ้นในนิเวรอนนั้น ๆ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งกระบวนการนี้เป็นพื้นฐานของการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายผลลัพธ์จากข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพดังสมการ (12)

$$y = f[(b + \sum_{i=1}^n(x_i w_i))] \quad (12)$$

ฟังก์ชันกระตุ้นหรือเรียกอีกชื่อว่า “ ฟังก์ชันการส่งต่อ (Transfer function) ” เป็นฟังก์ชันในการคำนวณ เพื่อทำนายค่าของข้อมูลออก รูปแบบที่นิยมมากที่สุดและมีประโยชน์คือแบบที่ไม่เป็นฟังก์ชันสมการเส้นตรง (Non-linear function) เนื่องจากปัญหาในโลกความเป็นจริงมีลักษณะเป็นแบบสมการเส้นตรงน้อยมาก (Marvin, Seymour, & Léon, 2017) ฟังก์ชันกระตุ้นทำหน้าที่ในการตัดสินใจว่านิเวรอนควรจะถูกกระตุ้น หรือไม่ โดยดูค่าผลรวมของข้อมูลเข้าและค่าน้ำหนัก ฟังก์ชันกระตุ้นจะถูกนำไปใช้ทั้งโหนดซ่อน (Hidden node) และโหนดข้อมูลออก (Output node) ซึ่งทั้ง

สองโหนดอาจใช้ฟังก์ชันกระตุ้นที่เหมือนหรือต่างกันก็ได้ แต่ส่วนมากจะใช้ฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากโหนดซ่อนจะมีการคำนวณแบบการรวมเชิงเส้น (Linear combination) ถ้าฟังก์ชันกระตุ้นของโหนดซ่อนจะมีการคำนวณแบบเชิงเส้นอีก จะเป็นการทำงานซ้ำซ้อนกับ การคำนวณแบบการรวมเชิงเส้นในชั้นข้อมูลออก และจะทำให้ผลลัพธ์เทียบเท่ากับสมการถดถอยลจิสติก ฟังก์ชันกระตุ้นจะมีหลากหลายรูปแบบ ดังต่อไปนี้

1) ฟังก์ชันกระตุ้นค่าแบ่ง (Threshold Activation Function) ฟังก์ชันนี้เรียกอีกชื่อว่าฟังก์ชันไบนารีสเตป (Binary step function) ซึ่งจะพิจารณาค่าข้อมูลเข้าว่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าแบ่งที่กำหนดไว้ (threshold) หรือไม่ เพื่อส่งค่าต่อไปยังชั้นถัดไป

2) ฟังก์ชันกระตุ้นซิกมอยด์ (Sigmoid Activation Function) เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มี ลักษณะเป็นตัวเอส “S-curve” หรือเรียกว่า “Sigmoid curve” จะมีค่าระหว่าง 0 และ 1 ฟังก์ชันนี้จะใช้เมื่อ ต้องการหานายความน่าจะเป็น (Probability) ของข้อมูลออก

3) ฟังก์ชันไฮเปอร์โบลิกแทนก์เจนท์ (Hyperbolic Tangent Function: tanh) มีการทำงาน คล้ายฟังก์ชันกระตุ้นซิกมอยด์ แต่มีประสิทธิภาพดีกว่า จะมีค่าระหว่าง $[-1, 1]$ ข้อดีของฟังก์ชันไฮเปอร์โบลิกแทนก์เจนท์คือ สามารถแปลงค่าข้อมูลเข้าที่มีค่าเป็นลบมาก ๆ ให้เป็นข้อมูลออกที่ติดลบได้ และข้อมูลที่ค่าเป็น ศูนย์จะถูกแปลงเป็นข้อมูลออกที่มีค่าใกล้ศูนย์ (near-zero output)

ฟังก์ชันกระตุ้นที่กล่าวมาเป็นเพียงตัวอย่างของฟังก์ชันกระตุ้น ซึ่งฟังก์ชันกระตุ้นนั้นสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของปัญหา

2.5.3.1 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะ

โครงข่ายประสาทเทียมใช้กระบวนการเรียนรู้ข้อมูลโดยการปรับค่าน้ำหนักเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด โครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะมีการเรียนรู้ 2 แบบ คือ

1) การเรียนแบบมีการสอน (Supervised Learning) เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้ โครงข่ายประสาทเทียมปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไว้คอยตรวจดูว่าโครงข่าย ประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ถ้าตอบไม่ถูกโครงข่ายประสาทเทียมก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

2) การเรียนแบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning) เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำไม่มีการ ตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด โครงข่ายประสาทเทียมจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้

กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะถูกพัฒนาขึ้นหลากหลายวิธี เพื่อรองรับจุดประสงค์ในการใช้งานต่าง ๆ วิธีการที่นิยมใช้มากที่สุดคือวิธีการแก้ไขข้อผิดพลาด (Error correction) และวิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด (Nearest neighbor)

วิธีการแก้ไขข้อผิดพลาดจะเป็นวิธีการแก้ไขข้อผิดพลาดจะเป็นวิธีการแพร่กลับ (Back propagation) ซึ่งมีการทำงาน (Zou, Yi, & Sung-Sau, 2009) ในกระบวนการนี้ การเรียนรู้ของโมเดลจะเกิดขึ้นเมื่อค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนการแพร่ไปข้างหน้า (forward propagation) ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าข้อมูลออกที่เกิดขึ้นจริง (Ground Truth) ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างสองค่าเหล่านี้จะถูกเรียกว่า ค่าต้นทุน (Cost) ค่าสูญเสีย (Loss) ค่าผิดพลาด (Error) หรือ ค่าเหลือ (Residual)

ในการคำนวณข้อผิดพลาดของโหนด k (error: e_k) สามารถคำนวณได้จากค่าความต่างของผลลัพธ์ (y) ของโหนด k ในรอบ n แทนด้วยสัญลักษณ์ $y_{k,n}$ และข้อมูลออกที่เกิดขึ้นจริงของโหนด k แทนด้วยสัญลักษณ์ y_k^* ดังนั้นค่าความผิดพลาดสามารถคำนวณได้จากสมการ (13)

$$e_k = y_{k,n} - y_k^* \quad (13)$$

เมื่อทราบค่าความผิดพลาดของแต่ละโหนดแล้ว ค่าความผิดพลาดเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าน้ำหนักใหม่ในรอบถัดไป โดยจะมีการปรับค่าน้ำหนักจนกว่าค่าที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งกระบวนการนี้มีผลอย่างมีนัยสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำของการพยากรณ์และช่วยให้โมเดลสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานการณ์ต่าง ๆ

ซึ่งการพัฒนาการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับปัญหาของงานวิจัยนี้โดยเริ่มต้นด้วยการกำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน จากนั้นรวบรวมและเตรียมข้อมูลอย่างเหมาะสม รวมถึงการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมด้วยสถาปัตยกรรมที่เหมาะสม จากนั้นทำการฝึกอบรมแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลที่เตรียมไว้ การประเมินผลและปรับแต่งแบบจำลองตามผลการทดสอบก็เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพื่อให้แน่ใจว่าแบบจำลองสามารถทำงานได้ดีและมีความแม่นยำในการใช้งานจริง (ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์, คมกฤต เลกสกุล, และ อภิชาติ โสภาแดง, 2555) ได้ทำการประยุกต์ใช้ตัวแบบการพยากรณ์โดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม กรณีศึกษาการพยากรณ์ผลผลิตลำไยนอกฤดู ตัวแบบพัฒนาขึ้นโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบเต็ม (Full Artificial Neural Network, FANN) สามารถพยากรณ์ปริมาณผลผลิตของเกษตรกรโดยพิจารณาจากปัจจัยเข้า 40 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของสายพันธ์นอกฤดู ตัวแบบนี้ช่วยให้

เกษตรกรสามารถทราบค่าคาดการณ์ผลผลิตล่วงหน้า ซึ่งจะช่วยในการวางแผนการเพาะปลูกและการขายผลผลิตได้อย่างเหมาะสม หากมีการปรับปรุงข้อมูลที่เป็นปัจจุบันอย่างต่อเนื่อง ค่าพยากรณ์จะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2.5.4 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

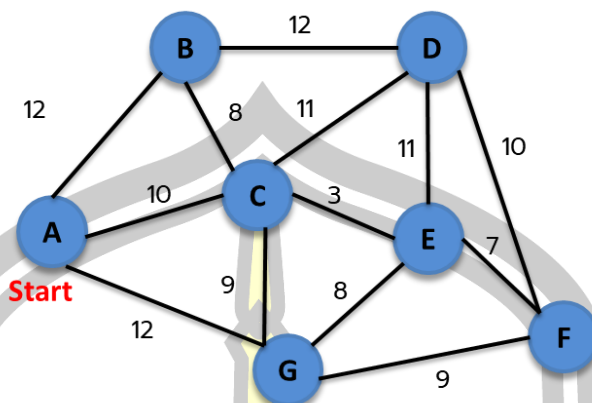
ปัญหาเส้นทางเดินรถปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถมีพื้นฐานเริ่มมาจากความต้องการที่จุดต่างๆและถูกบริการด้วยรถขนส่ง โดยไม่มีข้อจำกัดด้านระยะทางและปริมาณปัญหาดังกล่าวจะถูกแก้ปัญหโดยให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำสุดและมีเส้นทางเดินรถที่เหมาะสม วิธีการแก้ปัญหได้มีผลงานด้าน Operation Research ไว้มากมาย ดังนี้

1. The Traveling Salesman Problem (TSP) เป็นรูปแบบปัญหาการเดินทางของพนักงาน 1 คน โดยมีเงื่อนไขว่าพนักงานจะต้องเดินผ่านทุกเมืองและเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นดัง **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง** โดยมีระยะทางสั้นที่สุด วัตถุประสงค์ของปัญหาการเดินทางของพนักงาน คือ การหาขอบของการเดินทางผ่านแต่ละจุดเพื่อให้มีต้นทุนต่ำสุด ถ้าต้นทุนของการเดินทางระหว่าง 2 ตำแหน่งไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางในการเดินทางจะเรียกว่า TSP แบบสมมาตรและถ้าไม่เท่ากันจะเรียกว่า TSP แบบไม่สมมาตรของ (Bell, et al., 1983) กล่าวถึงการจำแนกวิธีฮิวริสติกส์ของ TSP มี 3 ระดับดังนี้

1. วิธีสร้างการเดินทาง (Tour Construction Procedures) จะสร้างเส้นทางที่เหมาะสมจากเมตริกซ์ระยะทางซึ่งประกอบไปด้วยวิธี Nearest Neighbor ของ (Rosenkrantz, Stearns, & Lewis, 1977) วิธีอัลกอริทึมประหยัดของ (Clarke & Wright, 1964) วิธี Insertion Procedures ของ Rosenkrantz, Stearns Lewis วิธี Minimal Spanning Tree และวิธีฮิวริสติกส์

2. วิธีปรับปรุงการเดินทาง (Tour Improvement Procedures) พยายามที่จะหาเส้นทางที่ดีกว่าเดิมจากการเดินทางเริ่มต้นนิยมใช้วิธี Branch Exchange ที่ได้เสนอเป็นวิธีฮิวริสติกส์

3. วิธีแบบผสมผสาน(Composite Procedures) คือทำการสร้างเส้นทางเริ่มต้นจากเส้นทางหนึ่งโดยวิธีสร้างการเดินทางจากนั้นพยายามหาเส้นทางที่ดีกว่าเดิมด้วยวิธีปรับปรุงการเดินทาง ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณเร็วและได้ผลลัพธ์เป็นที่พอใจ



ภาพประกอบที่ 14 Traveling Salesman Problem

2. The Chinese Postman Problem (การหาระยะทางที่สั้นที่สุด) การหาระยะทางที่สั้นที่สุดซึ่งจะตัดผ่านเส้นเชื่อม ระหว่างเมืองต่างๆ อย่างน้อย 1 ครั้งสามารถแก้ปัญหาได้โดยวิธี Polynomially-Bounded Algorithm

3. The M-Traveling Salesman Problem (TSP-M) เป็นรูปแบบปัญหาที่พัฒนามาจากปัญหาการเดินทางของพนักงาน 1 คน เป็นปัญหาการเดินทางของพนักงาน X คน ซึ่งจะเหมาะกับปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงมากกว่า โดยเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหา MTSP มีหลายแนวทาง เช่นเดียวกับปัญหาประเภท TSP นอกจากนี้ยังมีเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหาอีกแบบหนึ่ง คือการเปลี่ยนปัญหาให้เสมือนปัญหา TSP โดยการเพิ่มจุดส่ง (Nodes) ใหม่จำนวน X จุดส่ง คือ D_1, D_2, \dots, D_m และให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากจุดส่งใหม่ไปจุดส่งต่างๆ มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากศูนย์ไปยังตำแหน่งต่างๆ และกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างตำแหน่งที่เพิ่ม ขึ้นมาใหม่มีค่าสูงมากเพื่อให้ไม่มีการเชื่อมกันระหว่างศูนย์ เช่น $D_1 - D_2$ เป็นต้น แล้วจึงวิเคราะห์ปัญหาแบบ TSP แทนโดยภายหลังจากการวิเคราะห์จะต้องแปลงเส้นทาง วิธีการดังกล่าวอาจพบข้อบกพร่องได้แก่วิธีการนี้มักไม่หาคำตอบที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุดและเส้นทางในการเดินทางของแต่ละเส้นทาง อาจมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่แตกต่างกันมากทำให้เกิดการจัดสรรงานที่ไม่เท่ากัน

4. The Single Depot, Multiple Vehicle, Node Routing Problem (Classical Vehicle Problem, VRP) ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีคลังสินค้ากลาง 1 จุดเป็นรูปแบบปัญหาที่กล่าวถึงชุดเส้นทางของยานพาหนะที่ใช้ขนส่งจากคลังสินค้า 1 แห่งไปยังจุดต่างๆที่มีความต้องการที่แน่นอน (Deterministic) โดยมีระยะทางทั้งหมดสั้นที่สุด ปัญหาการจัดเส้นทางของยานพาหนะจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าหลายจุดซึ่งมีปริมาณความต้องการแตกต่างกันเพื่อให้ครอบคลุมลูกค้าทุกจุด โดยให้มีระยะทางต่ำที่สุดโดยให้มีข้อจำกัดในความสามารถของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและระยะเวลาสูงสุดในการขนส่ง 1 รอบของเส้นทาง การจัดส่ง เมื่อทุกยานพาหนะจะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่จุดเดียวกัน

คือ คลังสินค้ากลางถ้าไม่คำนึงถึงข้อจำกัดในระยะเวลาสูงสุดในการขนส่งจะเป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะมาตรฐานโดยแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์โดย (Gem & Cheng, 1997) ดังนี้

Minimize

Subject to

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^n X_{ij}^v = 1 \quad (j = 2, \dots, n) \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^n X_{ij}^v = 1 \quad (j = 2, \dots, n) \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ip}^v - \sum_{i=1}^n x_{pj}^v = 0 \quad (v = 1, \dots, NV \quad p = 1, \dots, n) \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^n di[X_{ij}^v] \leq k_v \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (17)$$

$$\sum_{t=1}^n t_i^v \sum_{i=1}^n X_{ij}^v + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij}^v x_{ij} \leq T_v \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (18)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{ij} \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (19)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{ij} \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (20)$$

$$x \in s \quad (21)$$

$$X_{ij}^v = 0 \quad (j, i, v) \quad (22)$$

โดยที่

n = จำนวนของจุดส่ง (Node)

NV = จำนวนยานพาหนะ

K_v = ความจุยานพาหนะ (v)

T_v = ข้อกำหนดเวลาในการเดินทางของรถคันที่ v

di = ความต้องการสินค้าของจุดส่งที่ i

T_i^v = เวลาที่รถคันที่ v ใช้ในการส่งหรือบรรทุกสินค้าที่จุดส่ง i

t_{ij}^v = เวลาที่ใช้ในการเดินทางของรถคันที่ v จากจุดส่ง i ไปยังจุดส่ง j

C_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของรถคันที่ v จากจุดส่ง i ไปยังจุดส่ง j

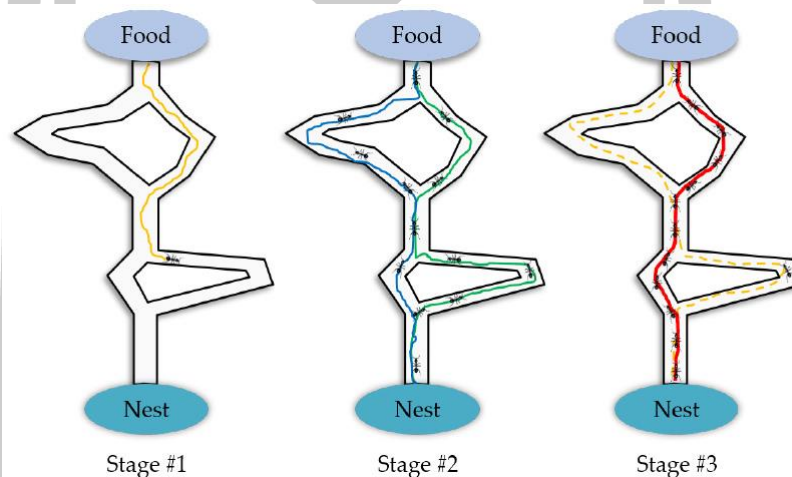
$X_{ij}^v = 1$ ถ้าเส้นทาง $i-j$ ถูกเชื่อมเส้นทางโดยพาหนะ v (ยานพาหนะ v เดินทางจากจุดส่ง i ไปจุดส่ง j) ถ้าไม่เช่นนั้น $X_{ij}^v = 0$

X = เมตริกซ์ของ $X_{ij}^v = \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v$ แสดงการเชื่อมโยงของจุด

s = เป็นเส้นทางของยานพาหนะแต่ละคันซึ่งไม่รวมจุดเริ่มต้น คือคลังสินค้ากลาง

2.5.5 ทฤษฎีอาณานิคมมด

วิธีการอาณานิคมมด (ACO) ได้ถูกนำมาเผยแพร่ครั้งแรกโดย Macro Dorico ในวิทยานิพนธ์ของเขาในปี ค.ศ. 1992 ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ ACO ถูกเรียกว่า ระบบมด (Ant System : AS) โดย Dorico ประยุกต์ใช้ AS ในปัญหาการเดินทาง ของบุรุษไปรษณีย์และปัญหาการมอบหมายงานแบบควอดราติกส์ (Quadratic Assignment Problem) การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย ACO เป็นวิธีการที่มีแนวคิดมาจากพฤติกรรมการออกหา อาหารของมด การจำลองแบบการเดินทางของมด (ทิพวิมล ชมภูคำ, 2560) แสดงดัง**มิตफलत!** ไม่พบแหล่งการอ้างอิง แสดงให้เห็นถึงการเดินทางจากรังของมดไปสู่แหล่งอาหาร

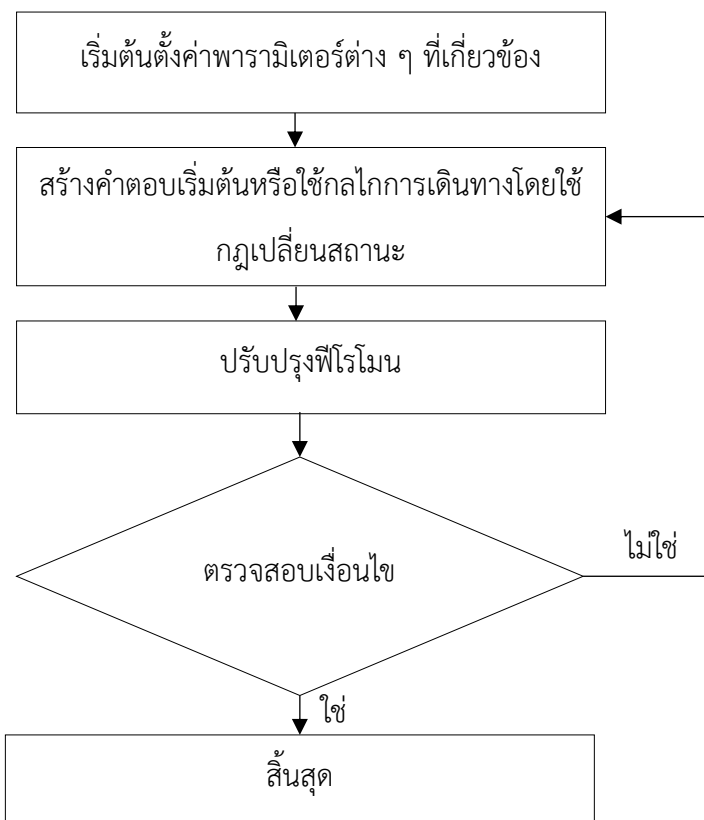


ภาพประกอบที่ 15 การเดินทางหาอาหารของมด

ที่มา : (Yuting, Yanfei, Ailong, & Liangpei, 2022)

จาก**มิตफलत!** ไม่พบแหล่งการอ้างอิง จะเห็นได้ว่ามี 2 เส้นทางให้เลือก คือ เส้นทางที่ 1 และ 2 ซึ่งมดตัวแรกๆ จะเดินทางแบบสุ่มไปทั้ง 2 เส้นทาง เส้นทางที่ 1 เป็นเส้นทางที่สั้นกว่า จะมีระดับฟีโรโมนที่สูงกว่า มดตัวต่อๆ มาที่ต้องเดินทางจากรังไปสู่แหล่งอาหารก็จะเดินทางตามกลิ่นฟีโรโมนไป เวลาผ่านไปฟีโรโมนในเส้นทางที่มีการระเหยมากขึ้น ทำให้ระดับความเข้มข้นของฟีโรโมนลดลงแต่ใน เส้นทางที่มดเดินซ้ำหลาย ๆ ครั้งจะมีระดับฟีโรโมนที่เข้มข้นขึ้น เนื่องจากมดเดินผ่านมามาก ดังภาพแสดงรังมด (2, 3) ซึ่งมดเหล่านี้ในขณะนี้ออกหาอาหารจะปล่อยฟีโรโมนไว้ตามทางที่เดินผ่าน โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นการบอกมดตัวอื่นๆว่าเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางไปหาอาหารระหว่างอาณาจักรของมันและแหล่งอาหาร ซึ่งมดตัวอื่นที่อยู่ในอาณาจักร

เดียวกันก็จะเดินตามเส้นทางที่มีฟีโรโมนอยู่ และก็จะปล่อยฟีโรโมนในเส้นทางนั้นด้วย ทำให้เส้นทางนั้นมีการสะสมของฟีโรโมนมากยิ่งขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่ง กระบวนการเหล่านี้จะดำเนินซ้ำ จนกระทั่งได้เส้นทางที่เหมาะสมหรือจนกว่าจะเป็นไปตาม เงื่อนไขในการหยุดทำงาน เช่น ครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้ เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 16 ขั้นตอนกระบวนการพัฒนาวิธีอาณานิคมมด

โดยวิธีการพัฒนาเทคนิคอาณานิคมมดมีวิธีการขั้นพื้นฐานโดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนข้างต้นดังมีผลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง ดังนี้

1. เริ่มต้นตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. มดงานสร้างคำตอบเริ่มต้นหรือใช้กลไกการเดินทางโดยใช้กฎเปลี่ยนสถานะ
3. ทำการปรับปรุงฟีโรโมน

พารามิเตอร์ที่ตั้งค่าไว้ก่อนการเริ่มกระบวนการโดยเบื้องต้นจะมีการกำหนดพารามิเตอร์ตามปัญหาที่ต้องการแก้ไข โดยเบื้องต้นมีดังต่อไปนี้ (สุพรรณ สุตสนธิ, วิธียานานิคมมตสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง, 2558)

1. กำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในกลไกการเดินทางตามวิธีการยานานิคมมต ซึ่งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

- จำนวนมตงาน
- พารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิธียานานิคมมตเช่น
 1. ค่าความเข้มข้นสารพีโรโมนเริ่มต้น (τ_0)
 2. ค่าน้ำหนักความสำคัญสารพีโรโมน (α)
 3. ค่าน้ำหนักความสำคัญระยะทาง (β)
 4. อัตราการระเหยสารพีโรโมน (ρ)

2. มตงานสร้างค่าตอบเริ่มต้นหรือมตงานใช้กลไกการเดินทาง ดังนี้

2.1 กำหนดจุดเริ่มต้นให้มตงานหรือตำแหน่งที่มตงานอยู่ในครั้งแรก เมื่อเมืองที่ 1 เป็นการเริ่มต้นในการดำเนินการตามขั้นตอนวิธียานานิคมมตและเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของมตงานจำนวน m ตัว และคำนวณหาระยะทางเชื่อมระหว่างเมืองถึงเมืองเป็นระยะทางรวม

2.2 มตสร้างค่าตอบหรือสร้างเส้นทางเดินโดยใช้กฎเปลี่ยนสถานะในกรณีมตงานอยู่ที่เมืองที่ 1 และกำลังพิจารณาว่าจะเลือกเดินทางต่อไปยังเมืองใดนั้นให้พิจารณาจากค่าความเหมาะสมซึ่งค่าความสัมพันธ์ความเข้มข้นสารพีโรโมนกับส่วนกลับระยะทางในวิธียานานิคมมตแทนด้วย $\tau_{ij} \cdot \eta_{ij}$ ดังสมการ (23)

$$\text{ค่าความน่าจะเป็นสะสม} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in jk} [\tau_{iu}]^\alpha \cdot [\eta_{iu}]^\beta} \quad (23)$$

2.3. ให้ตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของมตงานเป็นเมืองที่มตงานเลือกครั้งล่าสุดและให้ตัดตำแหน่งเมืองนั้นออกแล้วทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นสะสมใหม่อีกครั้ง กรณีมตงานเลือกเดินทางครบทุกเมืองในข่ายงานโดยไม่ซ้ำกันแล้วให้มตงานกลับมายังจุดเริ่มต้นที่เมืองที่ 1 ทันที

3. การปรับปรุงความเข้มข้นสารพีโรโมน

เมื่อมตงานทำงานครบทุกตัวแล้วนำเส้นทางของมตงานที่ให้ระยะที่สั้นที่สุดมาทำการปรับปรุงความเข้มข้นสารพีโรโมน ดังสมการ (24)

$$\tau_{t+n}(i,j) = (1 - \rho) \tau_0(i,j) + \rho \Delta\tau(i,j) \quad 0 < \rho < 1 \quad (24)$$

จากสมการ (24)

ρ คือ อัตราการระเหยของสารฟีโรโมนมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1.0

$\Delta\tau(i,j)$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารฟีโรโมนด้านเชื่อม

$$i,j \text{ เมื่อ } \Delta\tau(i,j) = \sum_{k=1}^m \tau^k(i,j)$$

ทั้งนี้มีการประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดในการหาเส้นทางการขนส่ง (ฐิติวรดา ศรีสุวรรณดี และ สมบัติ สีนุชเชาวน์, 2562) ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม โดยกรณีศึกษาคือห้างหุ้นส่วนจำกัดบานแพ้วกรุ๊ป ซึ่งมีการขนส่งสินค้าหลายชนิดที่มีขนาดและน้ำหนักแตกต่างกันและมีความต้องการที่ไม่แน่นอน การขนส่งต้องดำเนินการภายในเวลาที่กำหนดตามกฎหมายแรงงาน ตัวแบบอาณานิคมมดที่นำเสนอได้มีการปรับปรุงคำตอบโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบ 3 วิธี ได้แก่ การย้ายตำแหน่ง, การสลับตำแหน่ง และการสลับสองตำแหน่ง ผลการวิจัยพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทางการขนส่งปัจจุบัน สามารถลดต้นทุนรวมได้ 5,398.26 บาท หรือ คิดเป็น 66.95% แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดและเหมาะสมได้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์

(นรวัฒน์ เหลืองทอง และ นันทชัย กานตานันทะ, 2559) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรของพืช 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง และ สับปะรด ในจังหวัดที่มีผลผลิตสูงสุด 3 อันดับแรกของประเทศ และเลือกวิธีการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ 3 วิธี คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ระบบผสมของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยความแม่นยำของการพยากรณ์จะถูกเปรียบเทียบโดยใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย จากการทดลองพบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดในพืชทุกชนิด โดยข้าวนาปีมีค่าร้อยละความ

คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.07 ถึง 8.56 เปอร์เซ็นต์ ข้าวนาปรังมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.51 ถึง 9.30 เปอร์เซ็นต์ มันสำปะหลังมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.46 ถึง 9.57 เปอร์เซ็นต์ และสับปะรดมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.91 ถึง 8.67 เปอร์เซ็นต์

(ปิยพร ช่างสาร และ กนกพร ชัยประสิทธิ์, 2559) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยภายในและภายนอกประเทศที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปสาธารณรัฐจีน และเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยภายในและภายนอกประเทศที่มีผลต่อการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยใช้ข้อมูลประเภททุติยภูมิเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์ไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลแบบอนุกรมเวลาเป็นแบบข้อมูลรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2549-2558 การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปของการสมการถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Linear Regression) ในรูปกำลังสองน้อยที่สุดแบบธรรมดา (Ordinary Least Square: OLS) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าความสัมพันธ์ของปัจจัยภายในประเทศและปัจจัยภายนอกประเทศที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปสาธารณรัฐประชาชนจีนมีค่าร้อยละ 91.81 โดยปัจจัยที่มีผลมากที่สุด ได้แก่ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ หากอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศที่ใช้ซื้อขายเป็นสกุลเหรียญสหรัฐเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีนเพิ่มขึ้น 1649.839 ตัน ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการส่งออกรองลงมา คือ ปริมาณการผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศของสาธารณรัฐประชาชนจีน และปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศเวียดนามไปสาธารณรัฐประชาชนจีน

(ผุสดี บุญรอด และ กรวิวัฒน์ พลเยี่ยม, 2560) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยจึงได้นำเสนอแบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลัง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลาย ซึ่งแบบจำลองการพยากรณ์ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ และต่อยอดในการพัฒนาเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ คาดการณ์ราคามันสำปะหลัง และช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในอนาคตจากการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองการพยากรณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยหาค่าร้อยละเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error, MAPE) โดยนำไปเปรียบเทียบกับเคเนียร์เสนเบอร์

และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์น้อยกว่าวิธีกับเคเนียร์เสนเบอร์ และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

(Sunday & Unyime, 2023) ได้ทำการพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไนจีเรียโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งกำหนดพารามิเตอร์ ได้แก่ ฟังก์ชันการถ่ายโอนคือ Sigmoid มีชุดข้อมูลมันสำปะหลังจำนวน 2,500 ตัวอย่าง ข้อผิดพลาดในการฝึกอบรมและการทดสอบน้อยที่สุดที่ 0.0013 และ 0.0259 ตามลำดับ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำในการพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังอยู่ที่ 94.80% และ 96.10% ตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยนี้แนะนำให้ใช้รูปแบบพารามิเตอร์การฝึกฝนที่เหมาะสมกับปัญหาเพื่อการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงการพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลัง

(Matsumura, Gaitan, Sugimoto, Cannon, & Hsieh, 2015) งานวิจัยนี้ได้ทำการพยากรณ์ผลผลิตข้าวโพดของมณฑลจี๋หลินของจีนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2505 ถึง พ.ศ. 2547 แบ่งข้อมูลออกเป็น 4 ชุดข้อมูล โดยมีสภาพภูมิอากาศและปุ๋ยเป็นตัวแปรตามในการพยากรณ์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าเมื่อนำแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในปีก่อนหน้านั้นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพดีกว่าและแม่นยำกว่าการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางขนส่ง

(ฐิตีวรดา ศรีสุวรรณดี และ สมบัติ สิ้นธุเชาวน์, 2562) งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีอานานิคมมดที่สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมกรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัดบ้านแพ้วกรุ๊ปซึ่งทำการขนส่งสินค้าหลายชนิดให้กับลูกค้าที่มีความต้องการไม่แน่นอนสินค้าแต่ละชนิดมีขนาดและน้ำหนักที่แตกต่างกันรถขนส่งสินค้ามีความจุที่จำกัดเวลารวมในการขนส่งสินค้าและให้บริการลูกค้าของแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินจำนวนชั่วโมงการทำงานของพนักงานตามกฎหมายแรงงาน โดยปรับปรุงคำตอบโดยประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบ 3 วิธีได้แก่การย้ายตำแหน่ง, การสลับเปลี่ยนตำแหน่งและการสลับสองตำแหน่งดังนั้นผู้วิจัยจัดการความไม่แน่นอนของสินค้าโดยใช้ค่าความต้องการสินค้าเฉลี่ยพบว่าต้องขนส่งสินค้า 7 เที่ยวจึงจะให้บริการลูกค้าครบทุกราย เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กับเส้นทางขนส่งปัจจุบันสามารถลดต้นทุน

รวมได้ 5,398.26 บาทหรือคิดเป็น 66.95% แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่ดีได้อย่างเหมาะสม

(กัญจน์ณิศา โภคอุดม, นิกร โภคอุดม, ชลาธิป ทุมกานนท์, และ ทศนีย์ ปล้องแก้ว, 2558) งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบอณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง การขนส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ระยะทางในการขนส่งสินค้าที่สั้น ใช้จำนวนรถในการขนส่งแต่ละครั้งน้อย โดยระบบต้องสามารถรองรับบรรจุภัณฑ์ของสินค้าได้หลากหลายขนาด ผลของการทดลองที่ได้พบว่า วิธีอณานิคมมดสามารถค้นหาเส้นทางขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(ฐิติวรดา คำแหน และ สมบัติ สินธุเชาวน์, 2556) งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีฮิวริสติกที่เรียกว่าอณานิคมมด และปรับปรุงคำตอบโดยประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบ 3 วิธีได้แก่ การย้ายตำแหน่ง, การสลับเปลี่ยนตำแหน่งและการสลับสองตำแหน่งสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลังที่เหมาะสมพร้อมทั้งจัดเส้นทางขนส่งสินค้าและวัตถุดิบ ขั้นตอนของวิธีอณานิคมมดแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งซึ่งก็คือตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลัง และส่วนที่สองเป็นการหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง โดยผู้วิจัยได้ทำการหาตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลังที่เหมาะสมพร้อมจัดเส้นทางขนส่งสินค้าและวัตถุดิบ 6 กรณีด้วยกันสรุปได้ว่า (1) หากจะทำการสร้างโรงงานแ่งมันสำปะหลังที่ทำการผลิตเต็มกำลังการผลิตของโรงงานคือ 300 ตันต่อวัน ควรเลือกเปิดโรงงานแ่งมันสำปะหลังที่ ตำบลเมืองเดช อำเภอดงขุดม จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งมีระยะทางรวมในการขนส่งเป็น 21,265.4 กิโลเมตร (2) หากจะทำการสร้างโรงงานแ่งมันสำปะหลังที่ทำการผลิตเต็มกำลังการผลิตของโรงงานคือ 80 เพอร์เซ็นต์ของกำลังการผลิตของโรงงาน ผู้ประกอบการควรเลือกเปิดโรงงานแ่งมันสำปะหลังที่ ตำบลบุเปือย อำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี และระยะทางรวมในการขนส่งเป็น 17,168.9 กิโลเมตร (3) หากจะทำการสร้างโรงงานแ่งมันสำปะหลังที่ทำการผลิต 50 เพอร์เซ็นต์ของการผลิตของโรงงานคือ 150 ตันต่อวัน ผู้ประกอบการควรเลือกเปิดโรงงานแ่งมันสำปะหลังที่ ตำบลบุเปือย อำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี โดยมีระยะทางรวมในการขนส่งเป็น 8,832.26 กิโลเมตร

(สุพรรณ สุตสนธิ์, อติศักดิ์ สิงห์สังข์, ชราวุฒิ น้อยทะรงค์, และ ยงยุทธ จันรอง, 2558) งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีระบบอณานิคมมดร่วมกับขั้นตอนการปรับคุณภาพคำตอบในการ

แก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาดและการขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด ผู้วิจัยวิธีอาณานิคมมดในการแก้ปัญหาและใช้ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบวิธีการ 2-Opt และ Move-Exchange กำหนดรอบกระทำซ้ำสูงสุดเท่ากับ 100 รอบ น้ำหนักความสำคัญระยะทาง (β) อยู่ระหว่าง 1-5 น้ำหนักความสำคัญฟีโรโมน(α) 1-5 และอัตราการระเหยฟีโรโมนอยู่ระหว่าง 0-1.0 ผลการวิจัยพบว่าวิธีระบบอาณานิคมมดร่วมกับขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบนี้สามารถให้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่าการวิธีใช้โปรแกรมลินโกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาและมีคุณภาพคำตอบที่ดีในภาพรวมสูงถึง 1.47 เปอร์เซนต์

(Zhe, De, & Robert, 2013) ได้ทำการกำหนดเส้นทางจราจรแบบไดนามิกสามารถกำหนดเส้นทางที่ต้องการสำหรับผู้ขับขีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งปัญหามีขนาดใหญ่ ผู้วิจัยจึงเลือกวิธี อาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) พบว่าสามารถกระจายยานพาหนะผ่านเครือข่ายการจราจรที่มีความแออัดรวมลดลง ซึ่งแนวทางที่นำเสนอนี้ถูกนำไปใช้ในการจำลองในพื้นที่ Walcheren ประเทศเนเธอร์แลนด์

(Chinda, 2022) การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังหลายรูปแบบ โดยสร้างแบบจำลองไดนามิกของระบบะ ประกอบด้วยองค์ประกอบการประหยัด 6 ประการได้แก่ 1.) การประหยัดค่าแรง 2.) การประหยัดค่าเชื้อเพลิง 3.) การประหยัดภาษีคาร์บอนไดออกไซด์ 4.) การประหยัดค่าเช่ารถบรรทุก 5.) การประหยัดค่าชดเชย และ 6.) การประหยัดค่าอุบัติเหตุ และองค์ประกอบต้นทุน 4 องค์ประกอบได้แก่ 1.) ต้นทุนการจัดการ 2.) ต้นทุนภาษี 3.) ต้นทุนการส่งคืนผลิตภัณฑ์ และ 4.) ต้นทุนความเสียหายของผลิตภัณฑ์ พบว่าโครงการมีความเป็นไปได้เมื่อดำเนินการต่อเนื่องครบ 10 ปี โดยมีอัตราการตอบแทนภายใน 13.69%

(Caprio, Edrahimnejak, Alrezaamiri, & Santos-Arteaga, 2022) การศึกษานี้ได้นำเสนออัลกอริทึมแบบอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) ในการแก้ปัญหาเส้นทางที่สั้นที่สุด เมื่อได้ผลลัพธ์จะนำไปเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ได้มาจากอัลกอริทึมทางพันธุกรรม (GA) อัลกอริทึมการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับฝูงอนุภาค (PSO) และอัลกอริทึมอาณานิคมผึ้งเทียม (ABC) พบว่าอัลกอริทึมแบบ ACO สามารถบรรจบกันในเวลาน้อยกว่าประมาณ 50% เมื่อเทียบกับอัลกอริทึมเมทาฮิวริสติกทางเลือกอื่น

(Haroun, Jamal, & Hicham, 2015) งานวิจัยนี้นำเสนอผลงานในการเปรียบเทียบเมตาดาอิวิริสติกที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ 2 วิธี ในการแก้ปัญหา TSP คือวิธีอาณานิคมมด (ACO) และวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) สรุปได้ว่า วิธีอาณานิคมมดให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งวิธีทั้ง 2 มีข้อดีดังนี้ วิธีเชิงพันธุกรรมใช้งานง่าย รวดเร็ว เหมาะกับปัญหาขนาดเล็กถึงปานกลาง และวิธีอาณานิคมมดสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซับซ้อน ค้นหาโซลูชันคุณภาพสูง งานวิจัยนี้สรุปการวิเคราะห์ของทั้ง 2 วิธีที่มีข้อดีต่างกันในการแก้ปัญหา สามารถเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาตามความเหมาะสม

ตารางที่ 7 สรุปผลสิ่งที่ได้จากการค้นพบจากการทบทวนงานวิจัย

ชื่อผู้แต่ง	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	วิธีการวิจัย	สรุปข้อค้นพบจากงานวิจัย
ฐิติวรดา คำแหน และสมบัติ สิ้นธุเชาวน์	การเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยวิธีอาณานิคมมด	แก้ปัญหาค่าการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานและจัดเส้นทางการขนส่ง	วิธีอาณานิคมมด	ได้ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานและระยะทางรวมที่เหมาะสม
Zhe Cong, Bart De Schutter and Robert Babuška	Ant Colony Routing algorithm for freeway networks	กำหนดเส้นทางการที่ต้องการสำหรับผู้ขับขี่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ	วิธีอาณานิคมมด	สามารถจัดเส้นทางเพื่อกระจายยานพาหนะผ่านเครือข่ายการจราจรที่มีความแออัดรวมลดลง
Thanwadee Chinda	Feasibility Study of Multimodal Transportation of	ตรวจสอบความเป็นไปได้ในการส่งออก	สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	โครงการมีความเป็นไปได้เมื่อดำเนินการต่อเนื่อง

	Cassava Products in Thailand: System Dynamics Modeling	ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังหลายรูปแบบ		ครบ 10 ปี มีอัตราผลตอบแทนภายใน 13.69%
--	--	--------------------------------	--	---------------------------------------

ตารางที่ 8 สรุปผลสิ่งที่ได้จากการค้นพบจากการทบทวนงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	วิธีการวิจัย	สรุปข้อค้นพบจากงานวิจัย
ปิยพร ช่างสาร และ กนกพร ชัยประสิทธิ์	ความสัมพันธ์ของปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกประเทศที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปประชาชนจีน	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปประชาชนจีน	แบบจำลองทางเศรษฐมิติในรูปแบบของสมการถดถอยเชิงซ้อนในรูปแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบธรรมดา	ปัจจัยที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากที่สุดคือ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ
Matsumura K., Gaitan C.F., Sugimoto K., Cannon A.J., and Hsieh W.W.	Maize yield forecasting by linear regression and artificial neural networks in Jilin, China	พยากรณ์ผลผลิตข้าวโพดของมณฑลจี๋หลินของจีน	วิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม	แบบจำลองการพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพดีกว่าและแม่นยำกว่าการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ
ฐิติวราดา ศรีสุวรรณดี และสมบัติสินธุเชาวน์	การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยวิธีอานานิคมมต กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด บ้านแพ้วกรู๊ป	แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า	วิธีอานานิคมมต	สามารถลดต้นทุนรวมคิดเป็น 66.95% แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

				อย่างเหมาะสม
--	--	--	--	--------------

ตารางที่ 9 สรุปผลสิ่งที่ได้จากการค้นพบจากการทบทวนงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	วิธีการวิจัย	สรุปข้อค้นพบจากงานวิจัย
Debora Di Caprio, Ali Ebrahimnejad, Hamidreza Alrezaamiri, And Francisco J. Santos-Arteaga	A novel ant colony algorithm for solving shortest path problems with fuzzy arc weights	นำเสนออัลกอริทึมในการแก้ปัญหาเส้นทาง	วิธีอาณานิคมมด วิธีเชิงพันธุกรรม วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับฝูงอนุภาค และวิธีอาณานิคมผึ้งเทียม	อัลกอริทึมแบบ ACO สามารถบรรจบกันในเวลาน้อยกว่าประมาณ 50% เมื่อเทียบกับวิธีอื่น
Sabry Ahmed Haroun, Benhra Jamal and El Hassani Hicham	A Performance Comparison of GA and ACO Applied to TSP	เปรียบเทียบเมตาดิวริสติกในการแก้ปัญหา TSP	วิธีอาณานิคมมด และวิธีเชิงพันธุกรรม	วิธีอาณานิคมมดให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีเชิงพันธุกรรม
สุพรรณ สุตสนธิ และคณะ	อัลกอริทึมระบบอาณานิคมมดสำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาดภายใต้การขนส่งที่มีกรอบเวลาจำกัด	หาจำนวนพาหนะขนส่งในการใช้งานที่เหมาะสมที่สุดและหาระยะทางเดินทางที่ใช้งานโดยรวมที่สั้นที่สุด	วิธีอาณานิคมมด ปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการ 2-Opt และ Move-Exchange	คุณภาพคำตอบที่ดีในภาพรวมสูงถึง 1.47 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 10 สรุปผลสิ่งที่ได้จากการค้นพบจากการทบทวนงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	วิธีการวิจัย	สรุปข้อค้นพบจากงานวิจัย
นรวัฒน์ เหลืองทองและนันท์ชัย กานตานั้นทะ	การเลือกตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสม	ศึกษาวิธีการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรของพืช 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง และสับปะรด	การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ระบบผสมของขั้นตอนทางพันธุกรรมและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และโครงข่ายประสาทเทียม	วิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดในพืชทุกชนิด
ผุสดี บุญรอดและกรวิวัฒน์ พลเยี่ยม	แบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	นำเสนอแบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลัง	วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น เคเนียร์เสนเบอร์และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น	แบบจำลองการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด
Udoh S.S., George U. D. and Etuk U. R.	Cassava Yield Forecasting Using Artificial Neural Network	พยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไนจีเรีย	วิธีโครงข่ายประสาทเทียม	แบบจำลองการพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพและความแม่นยำ 94.80% และ 96.10%

				ตามลำดับ
--	--	--	--	----------

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ทฤษฎีการพยากรณ์นั้นมีหลายรูปแบบ มีวิธีการและการทำงานที่แตกต่างตามความเหมาะสมของปัญหาที่ต้องการศึกษา การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นหนึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการพยากรณ์หลากหลายสาขาเนื่องจากใช้พยากรณ์ข้อมูลที่ไม่ซับซ้อนมาก เช่นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร การวิเคราะห์ทางธุรกิจการพยากรณ์ยอดขาย เป็นต้น อีกทั้งมีวิธีการพยากรณ์ที่มีความยืดหยุ่นและมีความซับซ้อนในการวิเคราะห์คือ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เป็นการเรียนรู้คล้ายกับสมองของมนุษย์ ทำให้มีกระบวนการการเรียนรู้ การจำ และการปรับให้เหมาะสมกับข้อมูล ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ทั้ง 2 วิธีนี้สำหรับศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ทั้งนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาต่อยอดจากการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ศึกษาการจัดเส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังโดยรถไฟที่กำลังจะสร้างและมีกำหนดการแล้วโครงการใน ปี พ.ศ. 2572 ขนส่งจากประเทศไทยไปยังประเทศจีน เมื่อได้ศึกษาทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า วิธีที่นิยมใช้ในการจัดเส้นทางมีหลากหลายวิธี โดยวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) เป็นหนึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมเนื่องจาก จำลองจากพฤติกรรมการเดินทางหาอาหารของมดจริง มีการปรับปรุงตำแหน่ง และสามารถจัดเส้นทางที่มีข้อจำกัดต่าง ๆ ได้อย่างยืดหยุ่นและง่ายต่อการปรับใช้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีอาณานิคมมดในการจัดเส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยไปยังประเทศจีน

พูน ปณ ทัต ชีเว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะนำเสนอขั้นตอนการดำเนินการศึกษา เพื่อพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง (มันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง) ของประเทศไทยโดยการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบถดถอย โดยโปรแกรม Microsoft excel และ วิถีโครงข่ายประสาทเทียมโดยโปรแกรม MATLAB เพื่อพัฒนาเส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีนด้วยวิธีอานานิคมมดโดยพัฒนาภาษา Python ซึ่งรายละเอียดของการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมการ

3.1.1.1 กำหนดขอบเขตของการศึกษา

3.1.1.2 กำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษา

3.1.1.3 ออกแบบการดำเนินการศึกษาตลอดจนศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังสำปะหลังของประเทศไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือและความรู้อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.1.1.4 ศึกษาบริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

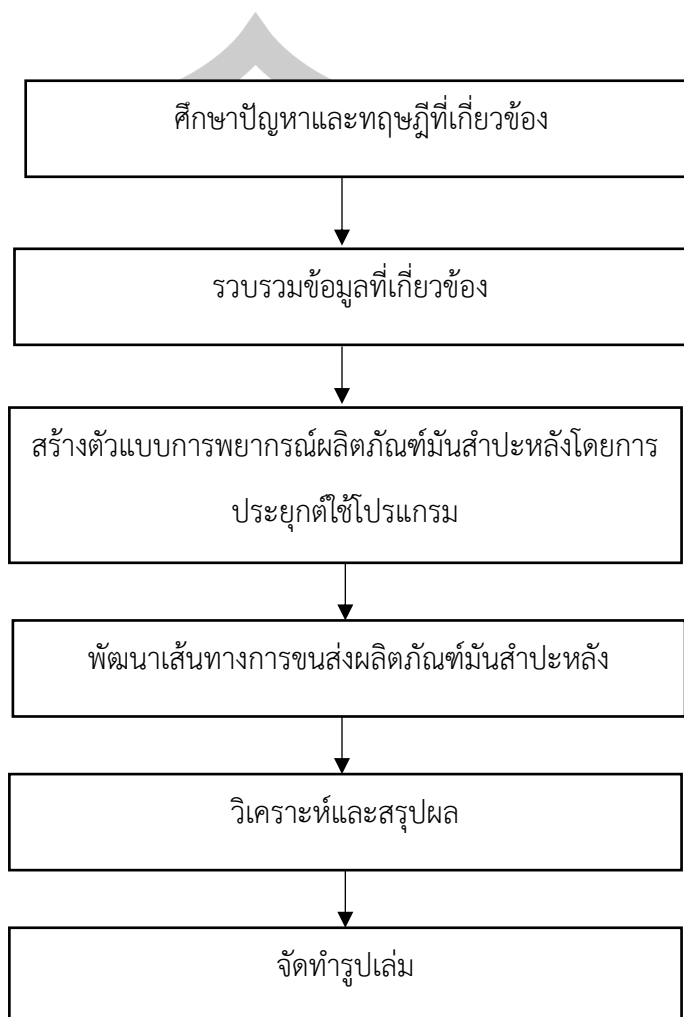
3.1.1.5 ศึกษาเส้นทางการขนส่ง ระยะทาง ในการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังสถานีรถไฟความเร็วสูง

3.1.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

3.1.2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยไปประเทศจีนโดยศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา

3.1.2.2 รวบรวมข้อมูลของปัจจัยที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลเป็นระยะเวลา 10 ปี คือปี พ.ศ. 2556 ถึงปี พ.ศ.2565 และข้อมูลระยะทางเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง เช่น ระยะทางจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังจุดรวบรวมผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง เพื่อนำส่งออกไปยังประเทศจีนเป็นต้น

3.2 วิธีการดำเนินการศึกษา



ภาพประกอบที่ 17 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การศึกษานี้ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการดำเนินการศึกษาโดยแสดงดังผิวดปลา! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ศึกษาปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

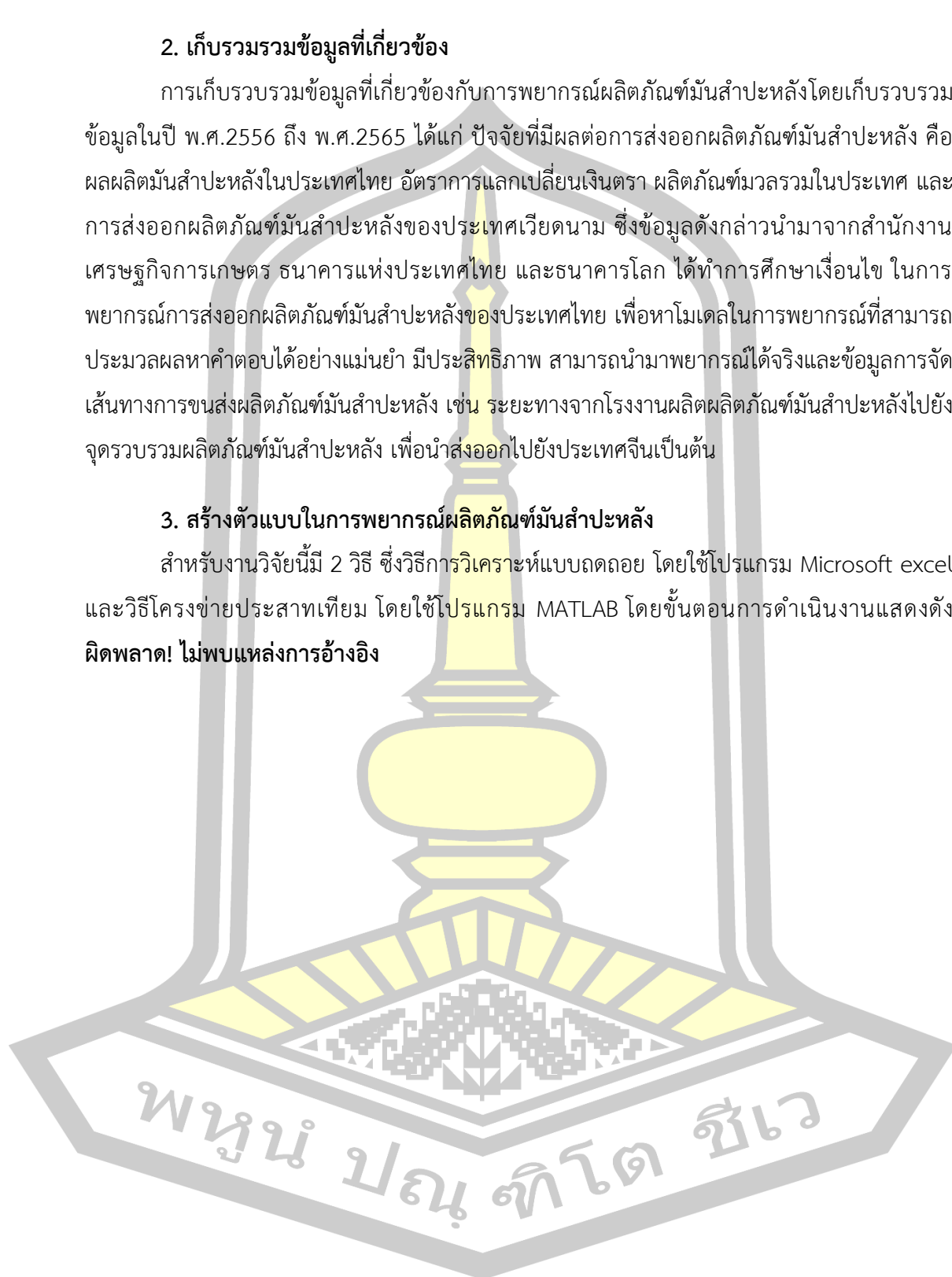
ศึกษาปัญหาผลิตภัณฑ์น้ำมันสำปะหลังในปัจจุบัน ศึกษาเส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์น้ำมันสำปะหลังในปัจจุบันอีกทั้งศึกษาการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์น้ำมันสำปะหลัง ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาและศึกษาวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม

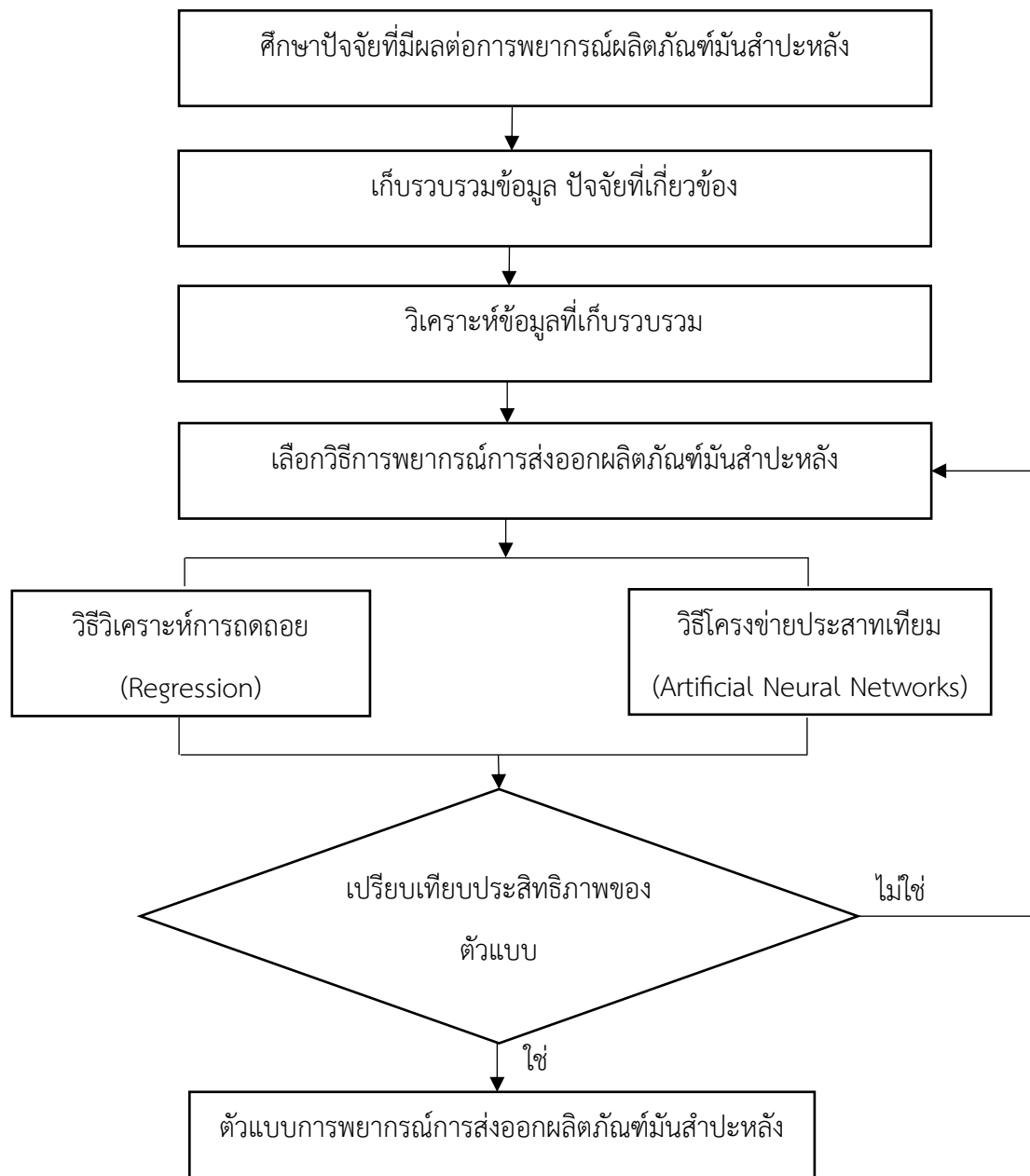
2. เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังโดยเก็บรวบรวมข้อมูลในปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2565 ได้แก่ ปัจจัยที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง คือ ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย อัตราการแลกเปลี่ยนเงินตรา ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ และการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศเวียดนาม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนำมาจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ธนาคารแห่งประเทศไทย และธนาคารโลก ได้ทำการศึกษาเงื่อนไข ในการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทย เพื่อหาโมเดลในการพยากรณ์ที่สามารถประมวลผลหาคำตอบได้อย่างแม่นยำ มีประสิทธิภาพ สามารถนำมาพยากรณ์ได้จริงและข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง เช่น ระยะทางจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังจุดรวบรวมผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง เพื่อนำส่งออกไปยังประเทศจีน เป็นต้น

3. สร้างตัวแบบในการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

สำหรับงานวิจัยนี้มี 2 วิธี ซึ่งวิธีการวิเคราะห์แบบถดถอย โดยใช้โปรแกรม Microsoft excel และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยขั้นตอนการดำเนินงานแสดงดัง ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง





ภาพประกอบที่ 18 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าตอบในการพยากรณ์ผลิตภัณ์น้ำมันสำปะหลัง

3.1 วิธีการวิเคราะห์การถดถอยในการพยากรณ์

กำหนดค่าปริมาณการผลิตน้ำมันสำปะหลังทั่วประเทศ อัตราแลกเปลี่ยน (บาทต่อดอลลาร์สหรัฐ) ผลิตภัณ์มวลรวมในประเทศ และปริมาณการนำเข้าผลิตภัณ์น้ำมันสำปะหลังจากเวียดนามไปยังประเทศจีนเป็น X_1, X_2, X_3, X_4 ของตัวแปรอิสระ (ตามลำดับ) เพื่อคาดการณ์ค่าที่ขึ้นอยู่กับตัวแปร (Y : ปริมาณการส่งออกผลิตภัณ์น้ำมันสำปะหลังของไทยไปจีน) และช่วงความเชื่อมั่น

ของแบบจำลองนี้ (ระยะข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้) ที่ 95% จากสมการ (4) จะได้สมการในการศึกษา
นี้ดังสมการ (25)

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (25)$$

โดยที่

y แทนปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

β_0 แทนค่าคงที่ของสมการถดถอย ซึ่งเป็นค่าจุดตัด (Intercept) แกน y
ของสมการ 1 2 3 และ 4

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient)
ของตัวแปรต้น 1 2 3 และ 4

X_1 แทน ผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทย (ตัน)

X_2 แทน อัตราการแลกเปลี่ยนเงินตรา (บาทต่อดอลลาร์สหรัฐ)

X_3 แทน ผลผลิตมันสำปะหลังรวมของประเทศจีน (ล้านตัน)

X_4 แทน ปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศจีนจาก
ประเทศเวียดนาม (ตัน)

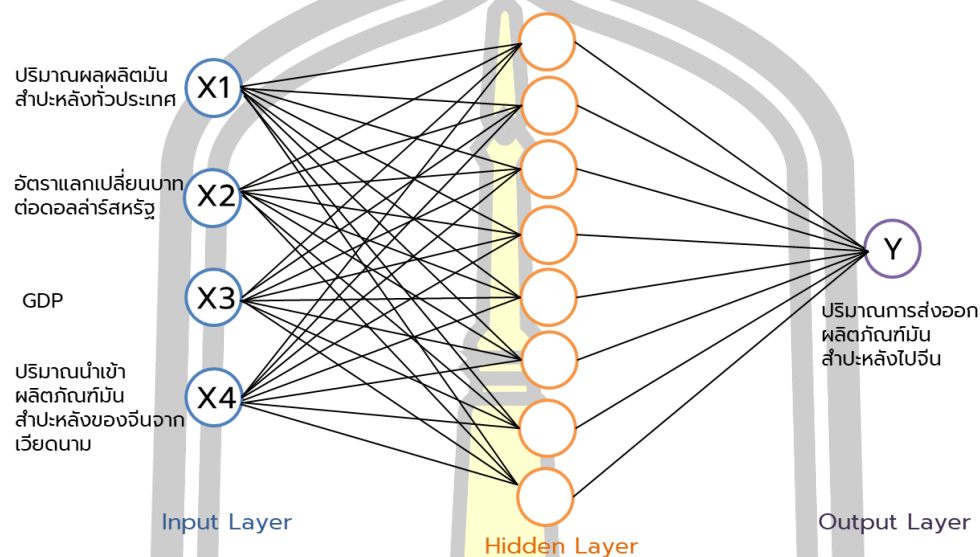
3.2 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ที่ประกอบด้วยสามชั้นหลัก ได้แก่ ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer), ชั้นซ่อน (Hidden Layer), และชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ **ไม่พบแหล่งอ้างอิง**

ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) : ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 4 ตัว (X_1, X_2, X_3, X_4) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับพยากรณ์ปริมาณการส่งออกมันสำปะหลังของประเทศไทยไปยังประเทศจีน คือ ผลผลิตมันสำปะหลังทั่วประเทศ อัตราแลกเปลี่ยน (บาทต่อดอลลาร์สหรัฐ) ผลผลิตมันสำปะหลังรวมในประเทศ และปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากเวียดนามไปยังประเทศจีน

ชั้นซ่อน (Hidden Layer) : ประกอบด้วยนิวรอนหลายตัว (แสดงด้วยวงกลมในชั้นกลาง) ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลจากชั้นนำเข้า โดยผ่านฟังก์ชัน Activation Function ที่จะช่วยในการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนส่งต่อไปยังชั้นถัดไป

ชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) : ประกอบด้วยตัวแปรผลลัพธ์เพียงตัวเดียว (Y) ซึ่งในที่นี้หมายถึงปริมาณการส่งออกมันสำปะหลังของประเทศไทยไปยังประเทศจีน โครงข่ายประสาทเทียมจะใช้ข้อมูลจากชั้นซ่อนมาคำนวณและพยากรณ์ผลลัพธ์สุดท้ายในชั้นนี้



ภาพประกอบที่ 19 การพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างนี้ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยเพื่อพัฒนาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกมันสำปะหลัง โดยใช้ตัวแปรอิสระที่มีผลต่อการพยากรณ์โดยใช้พารามิเตอร์ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 พารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

สถาปัตยกรรม	4 - 8 - 1
สัดส่วนของข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการฝึกอบรม	0.7
สัดส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบและปรับแต่งโมเดล	0.15
สัดส่วนของข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการทดสอบโมเดล	0.15
ฟังก์ชันที่ใช้ในกระบวนการฝึกอบรมโมเดล	LM
ฟังก์ชันที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์จากโหนด	Tansig
อัตราการเรียนรู้	0 ถึง 1
อัตราค่าปรับการเรียนรู้	0 ถึง 1
ค่าวนรอบซ้ำ	200 400 600 800 และ 1,000
กำหนดค่าที่ต้องการให้โมเดลถึงในการฝึกอบรม	1×10^{-8}

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการหาตัวแบบพยากรณ์

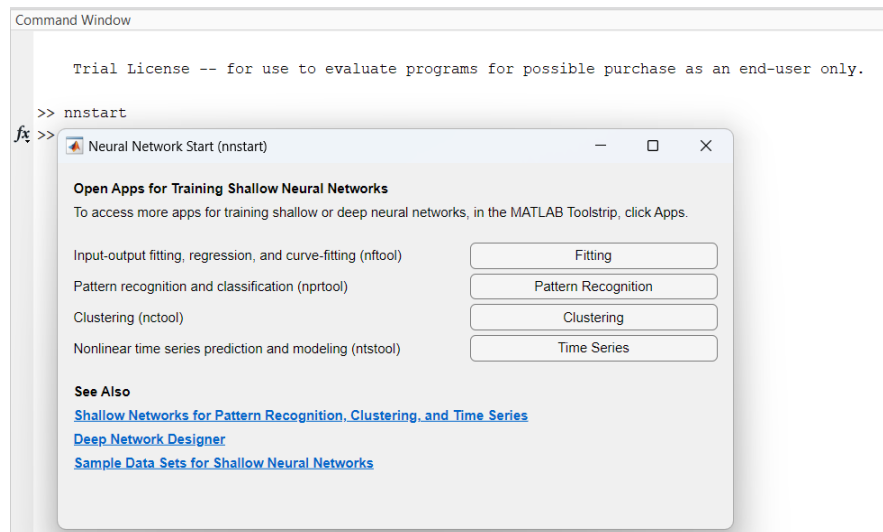
การศึกษานี้ประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลใน Microsoft Excel ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอย **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง** และ **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง** อีกทั้งได้ใช้กล่องเครื่องมือใน MATLAB เพื่อสร้างแบบจำลอง ANN โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ที่แม่นยำสำหรับการส่งออกมันสำปะหลังของประเทศไทยโดยกล่องเครื่องมือที่ผู้วิจัยใช้แสดงดัง **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง** เพื่อพัฒนาแบบจำลองการคาดการณ์สำหรับผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของไทยที่ส่งออกไปยังประเทศจีน

ปี	Y	X1	X2	X3	X4
2556	4,393,640.000	30,227,542	30.7260	58.8000	1,334,290.00
2557	4,550,335.000	30,022,052	32.4798	63.5910	1,278,500.00
2558	4,913,158.000	32,357,741	34.2477	68.6000	1,761,060.00
2559	6,300,794.000	31,161,103	35.2964	74.0100	1,439,790.00
2560	6,027,677.000	30,495,190	33.9380	82.0800	551,578.00
2561	6,971,755.000	29,368,185	32.3107	90.0300	448,571.00
2562	8,881,792.000	31,079,966	31.0476	99.0900	1,956,390.00
2563	12,036,670.000	28,999,122	31.2937	101.5986	2,019,390.00
2564	14,298,899.000	35,094,485	31.9771	114.3700	2,630,060.00
2565	10,744,507.000	34,068,005	35.0614	121.0270	2,890,000.00

ภาพประกอบที่ 20 การประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์แบบถดถอยใน MS Excel -1

ปี	Y	X1	X2	X3	X4
2556	4,393,640.000	30,227,542	30.7260	58.8000	1,334,290.00
2557	4,550,335.000	30,022,052	32.4798	63.5910	1,278,500.00
2558	4,913,158.000	32,357,741	34.2477	68.6000	1,761,060.00
2559	6,300,794.000	31,161,103	35.2964	74.0100	1,439,790.00
2560	6,027,677.000	30,495,190	33.9380	82.0800	551,578.00
2561	6,971,755.000	29,368,185	32.3107	90.0300	448,571.00
2562	8,881,792.000	31,079,966	31.0476	99.0900	1,956,390.00
2563	12,036,670.000	28,999,122	31.2937	101.5986	2,019,390.00
2564	14,298,899.000	35,094,485	31.9771	114.3700	2,630,060.00
2565	10,744,507.000	34,068,005	35.0614	121.0270	2,890,000.00

ภาพประกอบที่ 21 การประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์แบบถดถอยใน MS Excel -2



ภาพประกอบที่ 22 กล้องเครื่องมือ ANN ใน MATLAB

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโค้ดเพื่อใช้งานในกระบวนการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) พร้อมทั้งได้จัดเตรียมโค้ดตัวอย่างในโปรแกรม MATLAB สำหรับการพยากรณ์ โดยใช้วิธีการฝึกอบรวมแบบ Levenberg-Marquardt (trainlm) ซึ่งเป็นวิธีการฝึกที่มีประสิทธิภาพสูงในการหาค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียม นอกจากนี้ ยังได้กำหนดให้โครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนหน่วยในชั้นซ่อน (hidden layer) เท่ากับ 8 หน่วย เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง โดยจะนำผลลัพธ์จากการพยากรณ์มาใช้ในการวางแผนการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังอย่างมีประสิทธิภาพโดยตัวอย่างโค้ดมีดังนี้

```
inputs = [30227542 30022052 32357741 31161103 30495190
29368185 31079966 28999122 35094485 34068005; 30.7260
32.4798 34.2477 35.2964 33.9380 32.3107 31.0476 31.2937
31.9771 35.0614; 58.8000 63.5910 68.6000 74.0100 82.0800
90.0300 99.0900 101.5986 114.3700 121.0270; 1334290
1278500 1761060 1439790 551578 448571 1956390 2019390
2630060 2890000];
targets = [4393640 4550335 4913158 6300794 6027677
6971755 888172 12036670 14298899 10744507];
x = inputs;
t = targets;
trainFcn='trainlm';%Levenberg-Marquardt backpropagation.
transferFcn = 'tansig';
hiddenLayerSize = 8;
net = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn);
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;
```

```

net.trainParam.epochs = 600;
net.trainParam.lr = 0.5;
net.trainParam.goal = 1e-8;
net.trainParam.mu = 0.02;
[net,tr] = train(net,x,t);

y = net(x);
e = gsubtract(t,y);
performance = perform(net,t,y)

inputWeights = net.IW;
layerWeights = net.LW;
biases = net.b;
disp('Input Weights:');
disp(net.IW);
disp('Layer Weights:');

```

เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจะดำเนินการประมวลผลเพื่อค้นหาคำตอบ พร้อมทั้งทดสอบประสิทธิภาพของการทำงานของโปรแกรมโดยใช้การประเมินความเหมาะสมของผลลัพธ์ผ่านการคำนวณค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง (Mean Squared Error หรือ MSE) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ หากคำตอบใดมีค่าเฉลี่ยผลต่างยกกำลังสองที่ต่ำกว่าก็จะถือว่ามี ความแม่นยำและเหมาะสมยิ่งขึ้น หลังจากประเมินผลลัพธ์จากวิธีการต่างๆ แล้วจะสรุปผลคำตอบที่ ได้และหยุดการทำงานของโปรแกรมเมื่อได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ ในกรณีที่ยังไม่มีความ เหมาะสมหรือประสิทธิภาพเพียงพอ ผู้วิจัยจะทำการปรับพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการ ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังใหม่อีกครั้ง เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพและให้ได้คำตอบที่มีความแม่นยำ ที่สุด

4. การพยากรณ์ปริมาณผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการส่งออก ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยแล้ว ขั้นตอนถัดไปจะเป็นการเปรียบเทียบวิธีการทั้งสองวิธี ที่สามารถใช้ในการพัฒนาโมเดลจำลองเพื่อพยากรณ์ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง โดย จะพิจารณาถึงความเหมาะสมและประสิทธิภาพของแต่ละวิธี ซึ่งจะต้องคำนึงถึงความแม่นยำของ ผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ โดยจะทำการเลือกวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด และสามารถใช้งาน ได้จริงในการวางแผนการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยไปยังตลาดต่างประเทศได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

5. แก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีอาณานิคมมด

งานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) ในการพัฒนารูปแบบการจัดเส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง โดยใช้การพัฒนาด้วยภาษา Python เพื่อประมวลผลและหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทาง ทั้งนี้ได้กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อให้เกิดความแม่นยำและประสิทธิภาพในการวางแผนเส้นทางในการเลือกใช้ความจุของรถบรรทุกในการวิจัยนี้ได้พิจารณาจากข้อกำหนดทางกฎหมาย (กรมทางหลวง, 2558) ที่กำหนดน้ำหนักบรรทุกสูงสุดไม่เกิน 50.5 ตัน ทั้งนี้ การเลือกความจุสูงสุดดังกล่าวยังเป็นการคำนึงถึงการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยในอนาคต หากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขนส่งหรือความต้องการใช้งาน การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ยังสามารถทำได้เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทใหม่ โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 5.1 ค่าจำนวนมดที่ใช้ในการแก้ปัญหา คือ 10 ตัว
- 5.2 ค่าจำนวนทำซ้ำในการหาคำตอบที่ดีที่สุด คือ 100 และ 200
- 5.3 ค่า Alpha (α) น้ำหนักสำหรับการใช้ฟีโรโมน คือ 1 และ 2
- 5.4 ค่า Beta (β) ค่าน้ำหนักสำหรับการใช้ระยะทาง คือ 1 ถึง 4
- 5.5 ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน คือ 0.5
- 5.6 ค่าเริ่มต้นของฟีโรโมน คือ 1.0
- 5.7 ความจุของรถบรรทุก คือ 50.5

ตัวอย่างการพัฒนา Code ในการใช้งาน ACO ใน Python ดังนี้

```
import numpy as np
import random

# Distance matrix between nodes
distance_matrix = np.array([
    [0, 47.2, 237, 123, 115, 148, 89.9],
    [47.2, 0, 257, 166, 158, 203, 153],
    [237, 257, 0, 497, 442, 472, 322],
    [123, 166, 491, 0, 45.6, 33.3, 144],
    [115, 158, 442, 45.6, 0, 33, 137],
    [148, 203, 472, 33.3, 33, 0, 157],
    [89.9, 153, 322, 144, 137, 157, 0]])

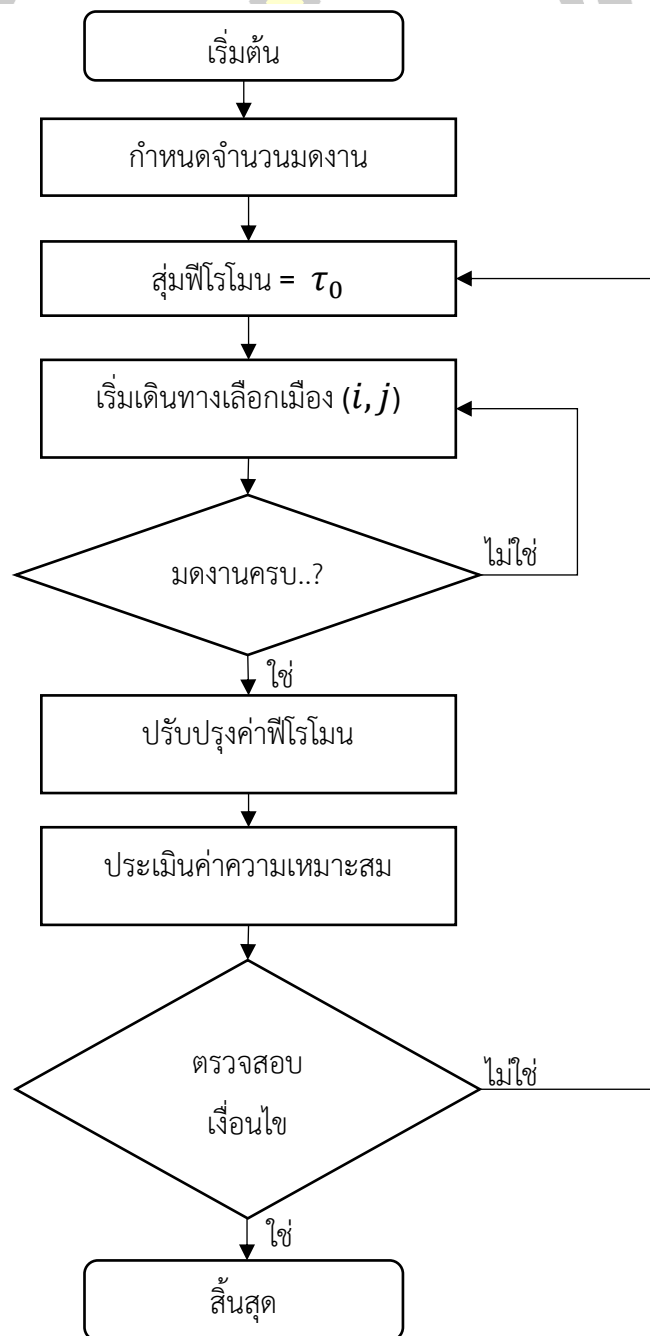
# Export quantities at each node
export_quantities = [0, 51.52, 41.49, 23.94, 338.22,
11.24, 327.59]

# Truck capacity
truck_capacity = 50.5

# Number of ants
num_ants = 10

# Number of iterations
num_iterations = 100
```

ขั้นตอนการหาคำตอบโดยวิธีอาณานิคมมด ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง โดยเลียนแบบพฤติกรรมเคลื่อนย้ายสินค้า (อาหาร) จากจุดที่ตั้งของลูกค้ารายหนึ่งไปยังที่ตั้งของลูกค้าอีกรายหนึ่ง ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือประมวลผลคือพัฒนาภาษา Python โดยขั้นตอนการดำเนินการมีดังผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง



ภาพประกอบที่ 23 ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด

ในระหว่างการเดินทางให้มตงานวางสารพีโรโมน (τ) เมื่อมตงานเดินทางจากจุดที่ตั้งลูกค้าที่ i ไปยังที่ตั้งลูกค้าที่ j ให้วางสารพีโรโมนลงบนพื้นเป็น τ_{ij} ซึ่งจะกำหนดจำนวนมตงาน และให้มตงานแต่ละตัวทำการสุ่มเลือกเมืองไปยังลูกค้าเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทาง จากนั้นก็ให้มตงานทำการย้ายตำแหน่งลูกค้าหรือเดินทางไปยังเมืองที่ตั้งลูกค้าให้ครบทุกราย ซึ่งเรียกว่า กลไกการเดินทางของมตงาน ในระหว่างการเลือกเดินทางจากลูกค้ารายหนึ่งไปยังอีกรายหนึ่งนั้นให้มีการปรับเปลี่ยนสารพีโรโมนบนด้านเชื่อมเป็นลำดับเรียกว่าการปรับปรุงสารพีโรโมนเฉพาะที่ หลังจากนั้นเมื่อมตงานทุกตัวสร้างเส้นทางเชื่อมกับลูกค้าทุกเมืองเสร็จสมบูรณ์แล้ว มตงานตัวใดที่ให้เส้นทางเชื่อมที่สั้นที่สุดจะนำเอาเส้นทางนั้นมาทำการปรับปรุงความเข้มข้นสารพีโรโมนอีกครั้ง ซึ่งเรียกว่า การปรับปรุงความเข้มข้นสารพีโรโมนวงกว้าง (สุพรรณ สุตสนธิ, วิชิตานานิคมมตสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง, 2558)

6. สรุปผลการพยากรณ์การส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและการจัดเส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยไปประเทศจีน

เมื่อได้ดำเนินการตามกระบวนการต่างๆ ในกรอบการดำเนินการวิจัยทั้งหมดและได้ทำการศึกษาผลลัพธ์จนได้ข้อสรุปมีประสิทธิภาพ รวมถึงคำตอบที่ได้จากการนำวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยไปยังประเทศจีนจนมีประสิทธิภาพเพียงพอแล้ว ผู้วิจัยจะทำการสรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปแบบการวิจัยในบทถัดไป

พูน ปณ ทิโต ชีเว

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

4.1.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

จากการศึกษาและวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้ พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยไปยังประเทศจีนมีอยู่ 4 ปัจจัยหลัก ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแปรในการพยากรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังทั่วประเทศ (ตัน) ซึ่งแสดงถึงปริมาณผลผลิตที่สามารถผลิตได้ในระดับประเทศ, อัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างสกุลเงินบาทและดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งส่งผลต่อราคาสินค้าในตลาดระหว่างประเทศ และการตัดสินใจนำเข้าของประเทศจีน, ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศของประเทศจีน (ล้านล้านบาท) ซึ่งสะท้อนถึงภาวะเศรษฐกิจและกำลังซื้อของจีน และสุดท้ายคือ ปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศจีนจากประเทศเวียดนาม (ตัน) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้การแข่งขันในตลาดการนำเข้า ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลของปัจจัยทั้ง 4 นี้ในช่วงระยะเวลา 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปี พ.ศ. 2565 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และพยากรณ์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจทางการค้าระหว่างประเทศได้ แสดงตารางที่ 12

พหุ ประถมศึกษา

ตารางที่ 12 การเก็บรวบรวมข้อมูลการพยากรณ์

ปี	ปริมาณผลผลิต มันสำปะหลังทั่ว ประเทศ/(ตัน)	อัตราการ แลกเปลี่ยนเฉลี่ย ต่อปี (บาท ต่อดอลลาร์สหรัฐ)	ผลิตภัณฑ์มวล รวมของประเทศ จีน/(ล้านล้าน หยวน)	ปริมาณการ นำเข้าผลิตภัณฑ์ มันสำปะหลังของ ประเทศจีนจาก ประเทศ เวียดนาม/(ตัน)
2556	30,227,542	30.7260	58.8000	1,334,290
2557	30,022,052	32.4798	63.5910	1,278,500
2558	32,357,741	34.2477	68.6000	1,761,060
2559	31,161,103	35.2964	74.0100	1,439,790
2560	30,495,190	33.9380	82.0800	551,578
2561	29,368,185	32.3107	90.0300	448,571
2562	31,079,966	31.0476	99.0900	1,956,390
2563	28,999,122	31.2937	101.5986	2,019,390
2564	35,094,485	31.9771	114.3700	2,630,060
2565	34,068,005	35.0614	121.0270	2,890,000

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565), (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2565) , (World Integrated Trade Solution, 2023)

เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้เป็นการพยากรณ์การส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของบริษัทส่งออกภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งข้อมูลที่จัดหามานั้นยังไม่เพียงพอเนื่องจากบางบริษัทยังไม่มีเปิดเผยแพร่ข้อมูลดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ข้อมูลของการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยเพื่อทดสอบหาตัวแบบการพยากรณ์จากนั้นจึงจะเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศเป็นผลผลิตมันสำปะหลังของจังหวัดที่บริษัทส่งออกตั้งอยู่ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลผลผลิตรายจังหวัดที่บริษัทตั้งอยู่ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลผลิตรายจังหวัดของบริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

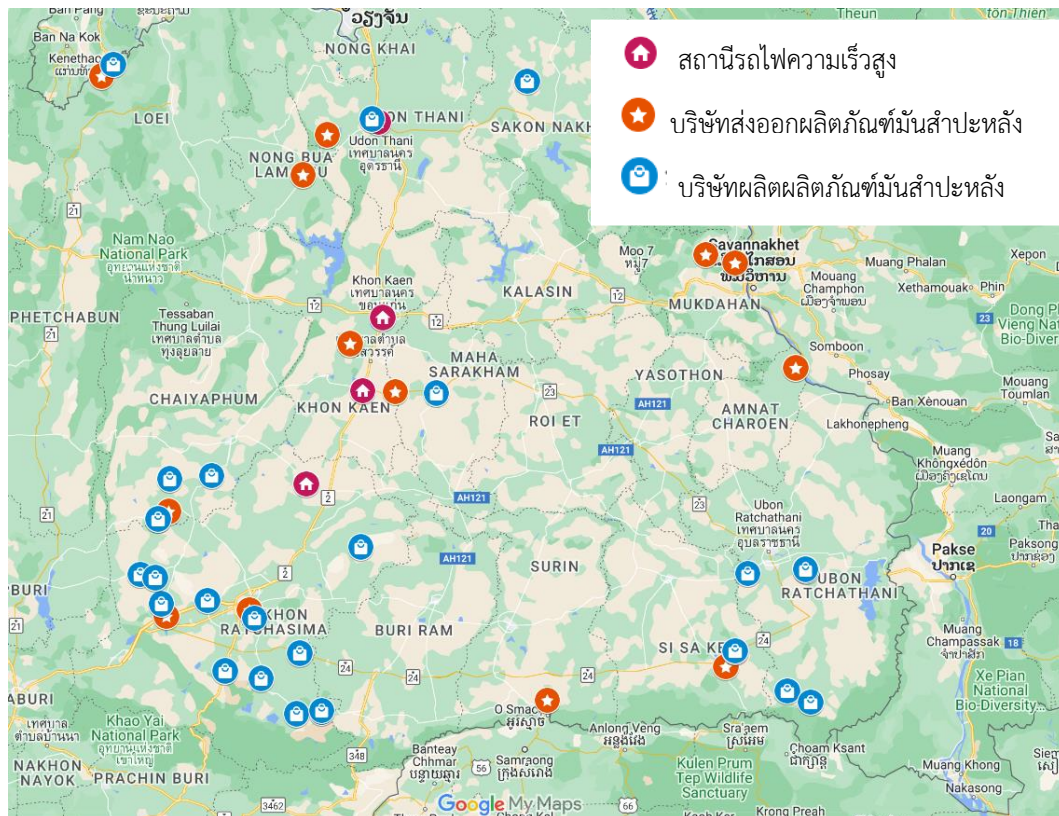
ลำดับ	จังหวัด	ผลผลิตมันสำปะหลังเฉลี่ย
1	มหาสารคาม	506,528.75
2	ศรีสะเกษ	636,729.50
3	อุดรธานี	1,275,670.25
4	อุบลราชธานี	1,721,770.50
5	หนองบัวลำภู	277,882.75
6	ขอนแก่น	828,165.50
7	สุรินทร์	512,642.00
8	สกลนคร	436,360.75
9	มุกดาหาร	462,284.50
10	อำนาจเจริญ	393,068.25
11	เลย	998,234.25
12	ชัยภูมิ	2,086,478.75
13	นครราชสีมา	5,097,683.75

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565)

4.1.2 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเส้นทางสถานีรถไฟและบริษัทส่งออก

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่ามีสถานีรถไฟ (Center) 4 แห่ง ซึ่งเป็นจุดที่บริษัทออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งสิ้น 15 แห่ง โดยมีบริษัทส่งออกย่อยที่ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปให้บริษัทส่งออก รวมทั้งสิ้น 26 แห่ง ซึ่งตำแหน่งของสถานีรถไฟบริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและบริษัทย่อย แสดงผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง

พูน ปณ ทิโต ชีเว



ภาพประกอบที่ 24 ตำแหน่งของสถานีรถไฟ บริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและบริษัทย่อย

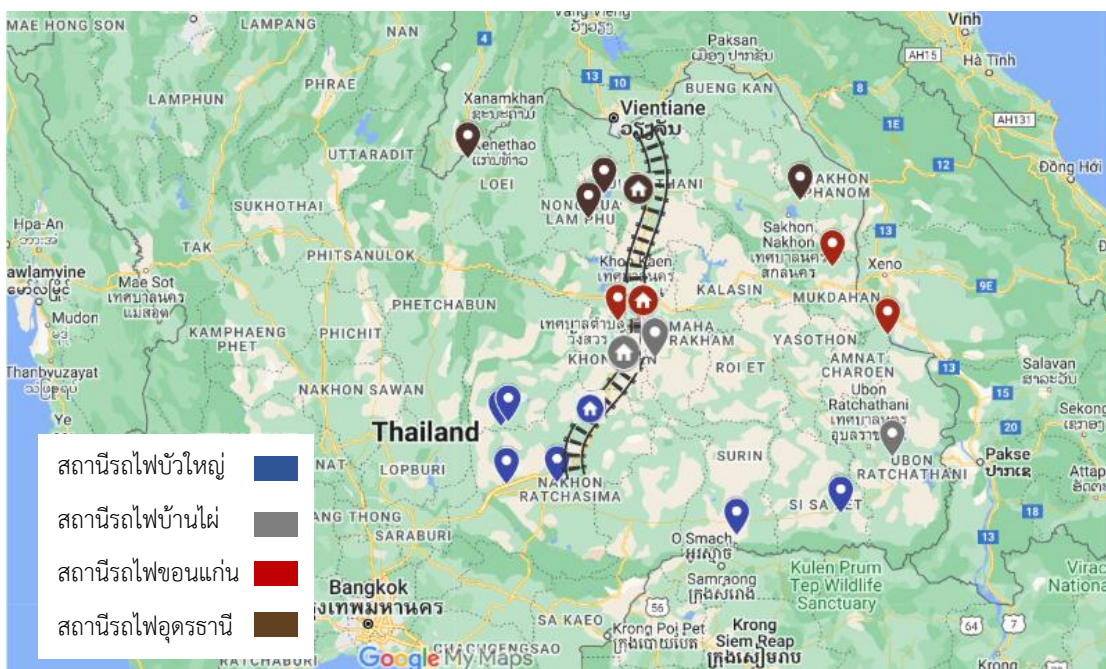
ผู้วิจัยได้เลือกจัดให้บริษัททั้ง 26 แห่ง แทนด้วยสัญลักษณ์กระเปาะเป็นบริษัทย่อยของบริษัทส่งออกทั้ง 15 แห่ง แทนด้วยสัญลักษณ์รูปดาว เนื่องจากผู้วิจัยเลือกตั้งนี้เพราะข้อมูลของบริษัทส่งออกทั้ง 15 แห่งนั้นบางบริษัทมีข้อมูลจริงจึงจัดให้เป็นบริษัทส่งออกหลัก โดยวิเคราะห์จากระยะทางจากบริษัทย่อยนั้นมีระยะทางลำเลียงผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังสั้นที่สุดไปยังบริษัทส่งออกใด ก็จัดให้บริษัทนั้นเป็นบริษัทย่อยของบริษัทส่งออกโดยใช้ Google Map ในการหาระยะทางมีหน่วยเป็นกิโลเมตรระยะทาง

จากนั้นผู้วิจัยได้เลือกจัดให้บริษัทส่งออกทั้ง 15 แห่งส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังสถานีรถไฟ (A-D) โดยวิเคราะห์จากระยะทางจากบริษัทส่งออกมีระยะทางขนส่งสั้นที่สุดไปยังสถานีรถไฟใด จะจัดให้บริษัทส่งออกนั้นส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังสถานีรถไฟนั้น โดยใช้ Google Map ในการหาระยะทางและระยะทางมีหน่วยเป็นกิโลเมตร แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ระยะทางของสถานีรถไฟและบริษัทส่งออก

	A	B	C	D	จัดอยู่ในสถานี รถไฟ	ปริมาณการส่งออก ผลิตภัณฑ์มัน สำปะหลัง/(ตัน)
1	97.1	21.5	57.7	178	B	40.99
2	47.2	304	326	442	A	51.52
3	249	173	131	39.4	D	103.26
4	370	314	342	436	B	147.52
5	210	154	111	56.9	D	22.53
6	116	38.9	29.7	148	C	67.06
7	237	257	302	422	A	41.49
8	345	269	234	178	D	35.33
9	321	246	210	239	C	37.42
10	338	312	277	338	C	31.83
11	309	293	261	203	D	164.27
12	123	166	193	311	A	23.94
13	115	158	185	304	A	338.22
14	148	203	245	357	A	11.24
15	89.9	153	195	315	A	327.59

เมื่อได้ระยะทางจากบริษัทส่งออกไปยังสถานีรถไฟแล้ว ผู้วิจัยจัดให้บริษัทส่งออกส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังสถานีรถไฟที่มีระยะทางสั้นที่สุดเพื่อลำเลียงผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังประเทศจีนโดยกำหนดให้ สถานี A คือสถานีบัวใหญ่ สถานี B คือสถานีบ้านไผ่ สถานี C คือสถานีขอนแก่น และสถานี D คือสถานีอุดรธานี และตารางที่ 15-18 แสดงถึงเมทริกซ์ระยะทางจากบริษัทส่งออกไปยังสถานีรถไฟของแต่ละกลุ่ม ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ได้จากการพยากรณ์ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มได้ดัง**มิตผลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง**



ภาพประกอบที่ 25 กลุ่มบริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและสถานีรถไฟ

ตำแหน่งของสถานีรถไฟหลัก 4 สถานีที่ใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังประเทศจีน โดยผู้วิจัยกำหนดให้สถานีรถไฟที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากบริษัทส่งออกเป็นสถานีที่เลือกใช้เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการลำเลียงสินค้า ตำแหน่งของสถานีแต่ละแห่งในแผนที่มีการระบุด้วยสัญลักษณ์สีต่าง ๆ ดังนี้

- สถานี A (สถานีบัวใหญ่) แสดงด้วย สีน้ำเงิน อยู่บริเวณตอนกลางของประเทศไทย ซึ่งเป็นสถานีที่สำคัญสำหรับการเชื่อมโยงการขนส่งระหว่างภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- สถานี B (สถานีบ้านไผ่) แสดงด้วย สีเทา ตั้งอยู่ในจังหวัดขอนแก่น ซึ่งเป็นหนึ่งในสถานีที่มีบทบาทในการขนส่งผลิตภัณฑ์เกษตร
- สถานี C (สถานีขอนแก่น) แสดงด้วย สีส้ม ตั้งอยู่ในตัวเมืองจังหวัดขอนแก่น เป็นสถานีขนาดใหญ่ที่ใช้ในการขนส่งสินค้าและผู้โดยสาร
- สถานี D (สถานีอุดรธานี) แสดงด้วย สีน้ำตาล อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน เป็นจุดเชื่อมต่อที่สำคัญในการขนส่งสินค้าข้ามแดนไปยังประเทศลาวและจีน

จากการวิเคราะห์ระยะทาง ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกสถานีรถไฟที่ใกล้ที่สุดกับแต่ละบริษัทส่งออก เพื่อลำเลียงผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกนอกประเทศผ่านเส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 15 เมทริกซ์ระยะทางของสถานีรถไฟบัวใหญ่ (A) และบริษัทส่งออก

	A	2	7	12	13	14	15	ปริมาณการส่งออก/(ตัน)
A	0	47.2	237	123	115	148	89.9	0
2	47.2	0	257	166	158	203	153	64.4
7	237	257	0	497	442	472	322	51.86
12	123	166	491	0	45.6	33.3	144	29.92
13	115	158	442	45.6	0	33	137	422.72
14	148	203	472	33.3	33	0	157	17.05
15	89.9	153	322	144	137	157	0	409.49

ตารางที่ 16 เมทริกซ์ระยะทางของสถานีรถไฟบ้านไผ่ (B) และบริษัทส่งออก

	B	1	4	ปริมาณการส่งออก/(ตัน)
B	0	21.5	314	0
1	21.5	0	370	51.24
4	314	370	0	184.4

ตารางที่ 17 เมทริกซ์ระยะทางของสถานีรถไฟขอนแก่น (C) และบริษัทส่งออก

	C	6	9	10	ปริมาณการส่งออก/(ตัน)
C	0	29.7	210	277	0
6	29.7	0	115	329	83.82
9	210	115	0	236	46.78
10	277	329	236	0	39.79

ตารางที่ 18 เมทริกซ์ระยะทางของสถานีรถไฟอุดรธานี (D) และบริษัทส่งออก

	D	3	5	8	11	ปริมาณการส่งออก/(ตัน)
D	0	39.4	56.9	178	203	0
3	39.4	0	41.3	214	185	103.26
5	56.9	41.3	0	203	371	28.16
8	178	214	203	0	576	46.778
11	203	185	371	576	0	205.34

4.2 ผลการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

4.2.1 ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

จากที่ได้กล่าวในวิธีการดำเนินงานเพื่อเลือกตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังผู้วิจัยได้เลือกวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์การถดถอย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองการทำนายโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยได้กำหนดตัวแปรอิสระ 4 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังทั่วประเทศ (ตัน), อัตราการแลกเปลี่ยนเฉลี่ยต่อปี (บาทต่อดอลลาร์สหรัฐ), ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศจีน (ล้านล้านหยวน) และปริมาณการนำเข้ามันสำปะหลังของประเทศจีนจากเวียดนาม (ตัน) แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์การถดถอย

Regression Statistics					
Multiple R	0.942283509				
R Square	0.887898211				
Adjusted R Square	0.79821678				
Standard Error	1545040.187				
Observations	10				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	4	9.45366E+13	2.36342E+13	9.90058029	0.013547305
Residual	5	1.19357E+13	2.38715E+12		
Total	9	1.06472E+14			
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%
Intercept	8349015.173	12218237.05	0.683324045	0.524773989	-23058963.06
X1	0.040738078	0.432469529	0.094198723	0.928609719	-1.070960238
X2	-425485.066	348494.5605	-1.22092312	0.276543263	-1321318.853
X3	124709.4713	31484.1404	3.961025131	0.010731853	43776.91192
X4	0.840450366	1.101140215	0.763254628	0.479754923	-1.99012067

จากตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R-squared) เท่ากับ 0.88 ซึ่งบ่งชี้ว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ร้อยละ 88 อย่างไรก็ตามค่านี้นั้นยังไม่เพียงพอสำหรับการทำนายที่มีความแม่นยำสูงตามความคาดหวัง เมื่อพิจารณาถึงค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการประมาณการ (Standard Error) ซึ่งอยู่ที่ 1,545,040.187 และค่า F ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.0135 ซึ่งต่ำกว่าระดับ α ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ($\alpha = 0.05$) แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า P-value ซึ่งใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิตินั้น มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าสามารถปฏิเสธสมมติฐานเกี่ยวกับตัวแปร

อิสระได้ โดยพบว่าตัวแปรที่ 1 (ปริมาณมันสำปะหลัง) ตัวแปรนี้มีค่า P-value เท่ากับ 0.9286 ซึ่งมากกว่าเกณฑ์นัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณมันสำปะหลังไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อแบบจำลองการพยากรณ์ โดยมีค่า t-stat เท่ากับ 0.6833 ซึ่งบ่งบอกว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมันสำปะหลังและการพยากรณ์การส่งออกอยู่ในระดับต่ำและไม่มีผลกระทบที่สำคัญต่อการพยากรณ์, ตัวแปรที่ 2 (อัตราแลกเปลี่ยน) ตัวแปรนี้มีค่า P-value เท่ากับ 0.2765 ซึ่งมากกว่าเกณฑ์นัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 แสดงให้เห็นว่าอัตราแลกเปลี่ยนไม่มีอิทธิพลเชิงนัยสำคัญทางสถิติต่อแบบจำลองการพยากรณ์ ทั้งนี้ ค่า t-stat ของตัวแปรดังกล่าวเท่ากับ 0.0942 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราแลกเปลี่ยนและการพยากรณ์การส่งออกอยู่ในระดับต่ำ และผลกระทบของตัวแปรนี้ต่อแบบจำลองมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย, ตัวแปรที่ 3 (ผลิตภัณฑ์มวลรวมของจีน) เป็นตัวแปรที่สำคัญในแบบจำลองการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่า P-value สำหรับตัวแปรนี้อยู่ที่ 0.0107 ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรนี้มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง นอกจากนี้ ค่า t-stat ที่มีค่าเท่ากับ 3.9610 ยังชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลเชิงบวกที่สำคัญของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศจีนต่อการส่งออก โดยยืนยันว่าการเปลี่ยนแปลงใน GDP ของประเทศจีนจะมีผลกระทบเชิงบวกต่อระดับการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในประเทศไทยอย่างมีนัยสำคัญ และตัวแปรที่ 4 (ปริมาณการนำเข้าจากเวียดนาม) ปริมาณการนำเข้าจากเวียดนามเป็นตัวแปรที่ถูกนำมาพิจารณาในการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ผลการวิเคราะห์พบว่าค่า P-value สำหรับตัวแปรนี้อยู่ที่ 0.4797 ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปริมาณการนำเข้าจากเวียดนามไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง นอกจากนี้ ค่า t-stat ที่มีค่าเท่ากับ 0.7633 ยังชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำระหว่างปริมาณการนำเข้าจากเวียดนามกับระดับการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในประเทศไทย

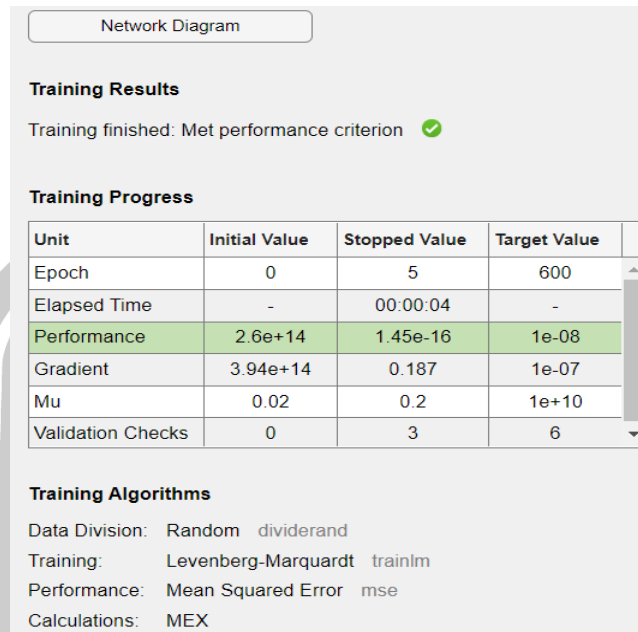
4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม

ผลการวิเคราะห์ด้วยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Multilayer Artificial Neural Network, ANN) โดยโปรแกรม MATLAB เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของไทย โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบย้อนกลับ (Backpropagation) จากผลการวิเคราะห์ใน**มิตพลาด!** ไม่พบแหล่งอ้างอิง และ**มิตพลาด!** ไม่พบแหล่งอ้างอิง พบว่าค่า Gradient เป็นการเปลี่ยนแปลงของการสูญเสีย (Loss) ต่อการปรับน้ำหนัก (Weight) ใน

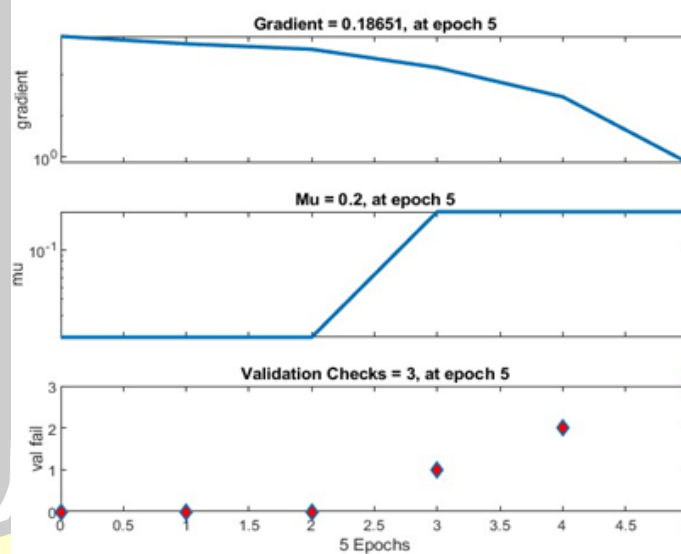
แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เมื่อทำการฝึก (Training) ค่า Gradient ที่ต่ำลงบ่งชี้ว่าแบบจำลองกำลังเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะมันแสดงถึงการปรับตัวที่ช้าและมีความแม่นยำสูงขึ้นในการปรับปรุงน้ำหนักของโครงข่ายประสาท ในกรณีนี้ค่า 0.18651 ถือว่าอยู่ในระดับที่พอเหมาะในการฝึก แต่หากค่า Gradient มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้การฝึกไม่เสถียร และอาจทำให้การปรับน้ำหนักเร็วเกินไปจนแบบจำลองไม่สามารถหาค่าที่ดีที่สุดได้ ค่านี้มีความสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลอง ANN โดยจะทำการฝึกด้วยค่า Learning rate ควบคุมความเร็วในการปรับน้ำหนักของแบบจำลองในแต่ละรอบของการฝึก หากค่า learning rate สูงเกินไปจะทำให้การปรับน้ำหนักเกิดการกระโดดข้ามจุดต่ำสุด (local minima) ของฟังก์ชันค่าเสียหาย (Loss Function) ซึ่งอาจทำให้แบบจำลองไม่สามารถเรียนรู้ได้ดี และมีความแม่นยำน้อยลง ในทางกลับกันหากค่า learning rate ต่ำเกินไป ก็อาจทำให้การฝึกเกิดขึ้นช้าหรือไม่ถึงจุดที่เหมาะสม สำหรับในกรณีนี้ การตั้งค่า learning rate ที่ 0.2 จึงถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสมในการปรับน้ำหนักอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องค่า Validation แสดงถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าผลลัพธ์จากข้อมูลที่ไม่ได้ใช้ในการฝึก (Validation Set) ค่า Validation ที่ได้จากการประมวลผลเท่ากับ 3 บ่งชี้ว่าแบบจำลองมีศักยภาพในการพัฒนาและปรับปรุงเพิ่มขึ้นในขั้นตอนการฝึก แต่ยังคงต้องมีการทดสอบและปรับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำยิ่งขึ้น ค่า Validation ที่ต่ำกว่าจะหมายถึงว่าแบบจำลองสามารถทำนายได้แม่นยำกว่าจากชุดข้อมูลที่ยังไม่ได้ใช้ในการฝึก แต่ถ้าค่าสูงเกินไปอาจบ่งชี้ว่ามีการ overfitting หรือการที่แบบจำลองปรับตัวมากเกินไปจนไม่สามารถพยากรณ์ข้อมูลใหม่ได้มีประสิทธิภาพ

จากผลการวิเคราะห์และการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) พบว่าเทคนิคนี้มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยไปยังประเทศจีนได้ดี โดยสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองได้อย่างต่อเนื่องตามการปรับค่า Gradient, learning rate, และค่า validation ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์และสามารถพัฒนาได้ตามความต้องการของข้อมูลชุดใหม่

พูน ปณ ทิโต ชีเว



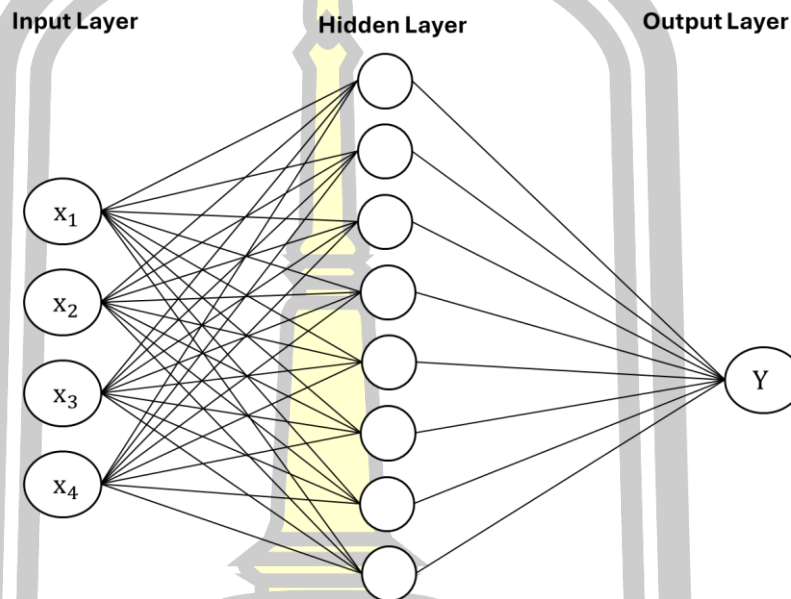
ภาพประกอบที่ 26 ผลการวิเคราะห์โดยโครงข่ายประสาทเทียม-1



ภาพประกอบที่ 27 ผลการวิเคราะห์โดยโครงข่ายประสาทเทียม-2

ผลการวิเคราะห์จากการใช้แบบจำลองการพยากรณ์การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (ANN) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการคาดการณ์ปริมาณการส่งออกได้อย่างเหมาะสม โดยสถาปัตยกรรมของแบบจำลองที่ได้ดัง**ผิตพลาด!** ไม่พบแหล่งการอ้างอิงคือ 4-8-1 ซึ่งประกอบด้วยชั้นข้อมูลนำเข้าจำนวน 4 ตัวแปรหลัก ได้แก่ ผลผลิตมันสำปะหลัง ตัวแปรอัตราแลกเปลี่ยน ผลิตภัณฑ์มวลรวมของจีน และปริมาณการนำเข้าจากเวียดนาม ในส่วนของชั้น

ซ่อนมีจำนวน 8 นิวรอน ทำหน้าที่เรียนรู้ความสัมพันธ์เชิงซับซ้อนระหว่างตัวแปร และชั้นข้อมูลส่งออก 1 ตัวแปร เพื่อทำนายปริมาณการส่งออก นอกจากนี้การออกแบบโครงสร้างดังกล่าวช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคาดการณ์ เนื่องจากการเลือกจำนวนชั้นและนิวรอนในแต่ละชั้นได้รับการปรับแต่งเพื่อให้เข้ากับลักษณะของข้อมูลที่นำมาใช้



ภาพประกอบที่ 28 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม

โมเดลการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถคาดการณ์ค่าน้ำหนักและค่าไบแอสของแต่ละโหนดและชั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโปรแกรมจะปรับค่าดังกล่าวอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม ค่าน้ำหนักจากชั้นข้อมูลนำเข้าไปยังชั้นซ่อน (น้ำหนักอินพุต) และค่าน้ำหนักจากชั้นซ่อนไปยังชั้นข้อมูลส่งออก (น้ำหนักเลเยอร์) จะถูกปรับเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายผลของโมเดลผลที่ได้จากการประมวลผลแล้วแสดงตารางที่ 20

พูนุ ปณุกิตโต ชีเว

ตารางที่ 20 ค่าน้ำหนักและไบแอส

Input Weights				Biases 1	Layer Weights	Biases 2
-0.6345	1.8045	0.1675	-1.5482	2.2801	-0.0041	-0.0099
-1.8073	0.0734	1.0672	0.4356	2.0717	0.0280	
-1.5994	-1.0631	-1.1755	0.4952	1.0564	-1.0022	
-2.1094	-0.9224	0.3422	-1.0006	0.3503	-0.4210	
0.5857	0.2656	0.2424	2.1437	0.7085	0.0991	
-0.8674	0.7804	0.1579	1.9422	-1.1551	-0.5956	
1.0864	-0.5082	1.2529	1.5514	1.7016	-0.8036	
1.5806	-0.1869	-0.4678	-1.6951	2.3158	0.3509	

4.2.2 ผลการวิเคราะห์เส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของภาคตะวันออกเฉียงเหนือไปยังประเทศจีนโดยรถไฟความเร็วสูง

งานวิจัยนี้เลือกใช้ภาษา Python ในการประมวลผลหาปัญหาของเส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในการพัฒนาภาษา Python ในการแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือของแต่ละสถานี ได้แก่สถานี A ถึงสถานี D ผู้วิจัยได้ใช้พารามิเตอร์ที่เหมือนกันดังนี้

- ค่าจำนวนมดที่ใช้ในการแก้ปัญหา คือ 10 ตัว
- ค่าจำนวนทำซ้ำในการหาคำตอบที่ดีที่สุด คือ 100 และ 200
- ค่า Alpha (α) น้ำหนักสำหรับการใช้ฟีโรโมน คือ 1 และ 2
- ค่า Beta (β) ค่าน้ำหนักสำหรับการใช้ระยะทาง คือ 1 ถึง 4
- ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน คือ 0.5
- ค่าเริ่มต้นของฟีโรโมน คือ 1.0
- ความจุของรถบรรทุก คือ 50.5

โดยปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ในขอบเขตที่กำหนดข้างต้นเพื่อหาระยะทางที่ดีที่สุดในการขนส่ง จากนั้นทำการรันโค้ดซ้ำจำนวน 10 รอบเพื่อให้เห็นถึงการพัฒนาภาษา Python ที่เมื่อทำซ้ำก็ไม่เปลี่ยนค่าและเพิ่มเมทริกกระยะทางและปริมาณการส่งออกของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของบริษัทส่งออกไปยังสถานีรถไฟผลเส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังดังตารางที่ 21

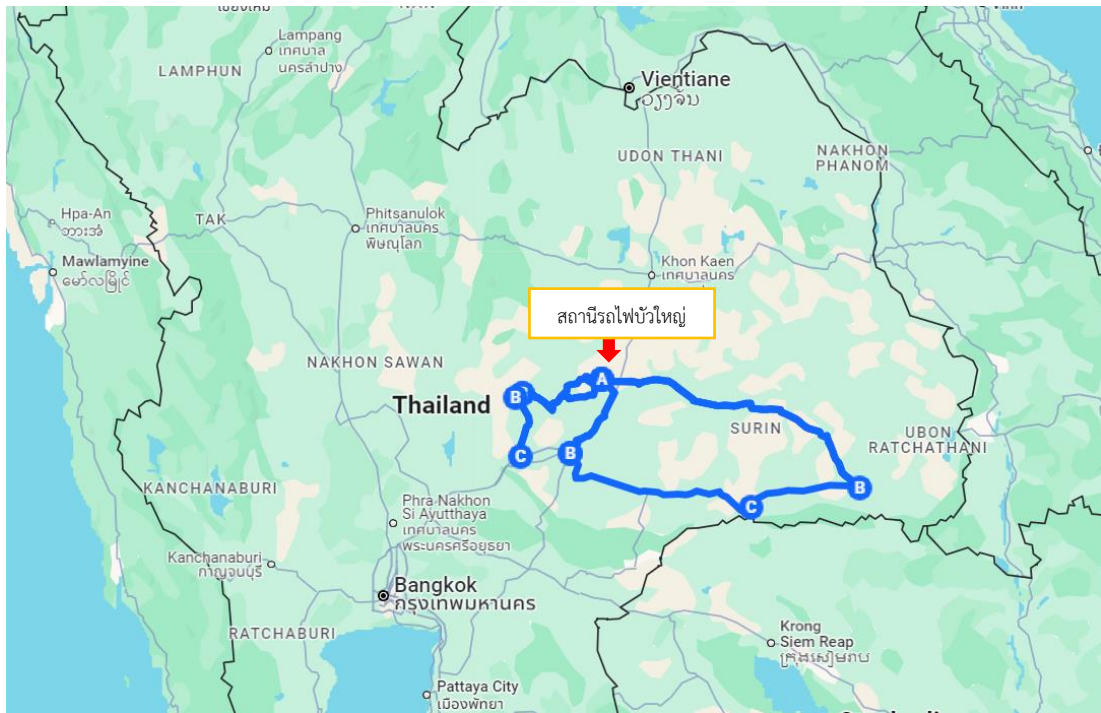
ตารางที่ 21 ผลพารามิเตอร์เส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ด้วยภาษา Python

สถานีรถไฟ	Alpha	Beta	Evaporation rate	Initial pheromone value
A	1	4	0.5	1.0
B	1	2		
C	2	2		
D	1	4		

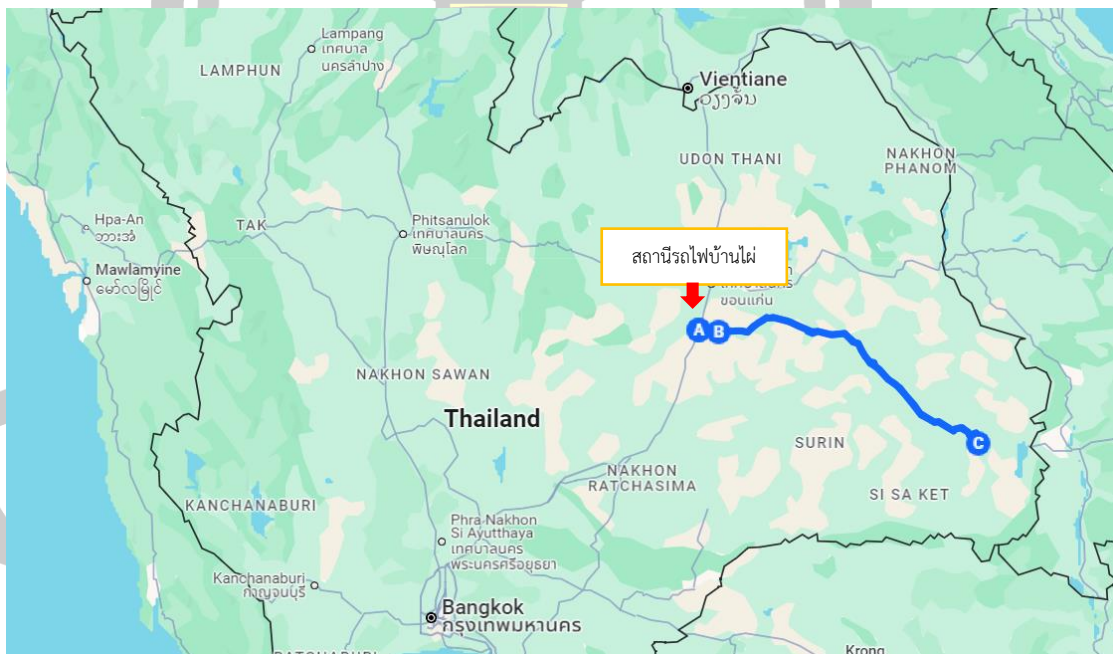
ผลการวิเคราะห์เส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของแต่ละสถานีนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 22 โดยแต่ละสถานีจะมีเส้นทางที่บรรจุทุกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากกว่า 1 รอบเนื่องจากด้วยปริมาณความจุของรถบรรทุกและแสดงผลเส้นทางภาพรวมดัง**ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิงถึง ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง**

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์เส้นทาง

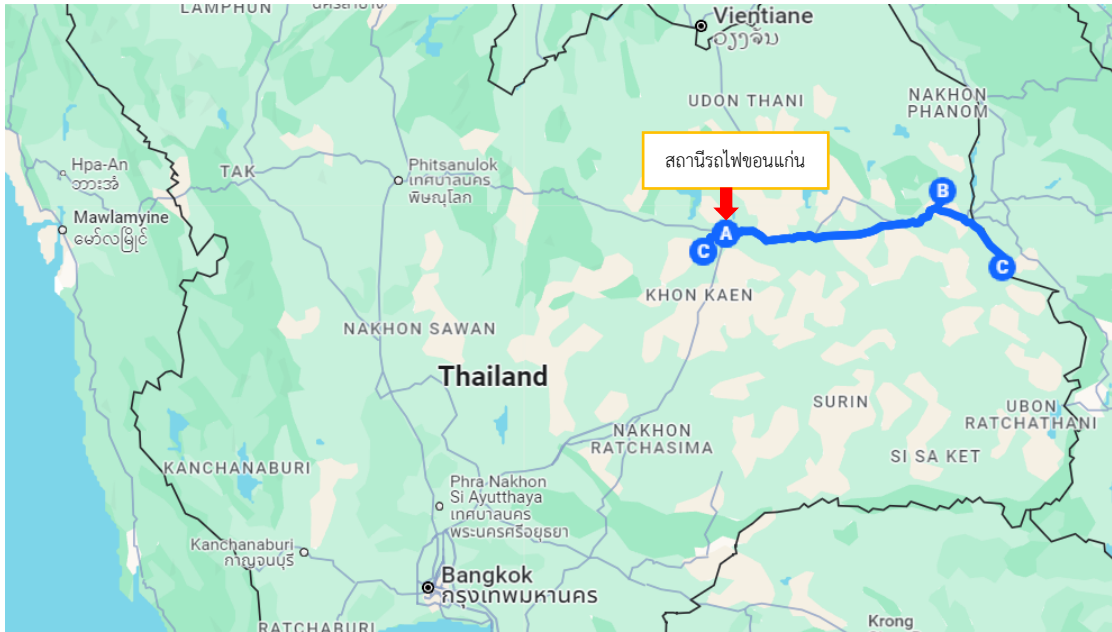
สถานีรถไฟ	เส้นทาง	จำนวนรอบ	ระยะทางรวม
สถานีรถไฟบัวใหญ่ (A)	0-1-0	1	3915.5
	0-1-2-6-0	1	
	0-3-5-4-0	1	
	0-4-0	6	
	0-6-0	5	
	0-6-4-0	1	
สถานีรถไฟบ้านไผ่ (B)	0-1-2-0	1	2589.5
	0-2-0	3	
สถานีรถไฟขอนแก่น (C)	0-2-1-0	1	1049.8
	0-1-0	1	
	0-3-1-0	1	
สถานีรถไฟอุดรธานี (D)	0-1-0	2	2468.2
	0-3-2-0	1	
	0-1-2-4-0	1	
	0-4-0	3	



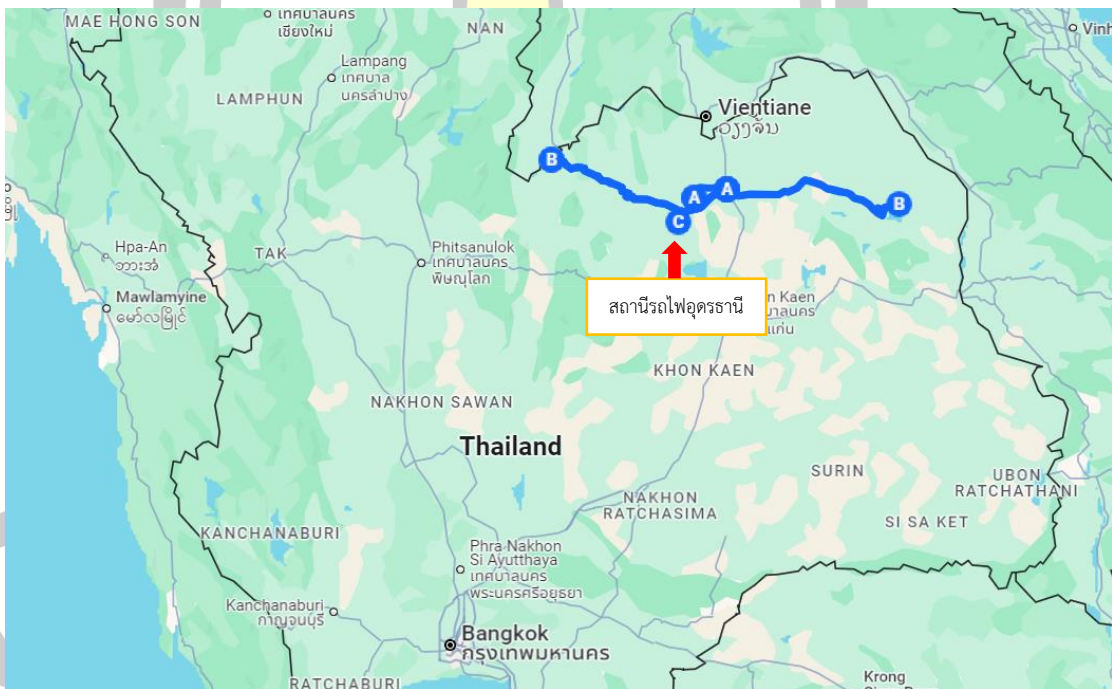
ภาพประกอบที่ 29 ผลการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นของสถานี A



ภาพประกอบที่ 30 ผลการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นของสถานี B



ภาพประกอบที่ 31 ผลการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นของสถานี C



ภาพประกอบที่ 32 ผลการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นของสถานี D

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้เป็นการสรุปผลการศึกษา อีกทั้งสรุปปัญหาและอุปสรรคที่พบระหว่างการดำเนินงานวิจัย รวมไปถึงข้อเสนอแนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาในอนาคต

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 สรุปผลการพยากรณ์ ปริมาณ การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแบบจำลองการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทั้ง 2 แบบ ได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และใช้เกณฑ์การประเมิน คือ ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง สรุปได้ว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังดีกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังเฉลี่ย 1.45×10^{-16} เมื่อเทียบกับแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.5×10^6 ผู้วิจัยจึงเลือกเอาแบบพยากรณ์โครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและเมื่อทดสอบโมเดลพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย 1.8×10^{-20} จะเห็นได้ว่าแบบจำลองการพยากรณ์โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้พยากรณ์ในด้านการเกษตร หรือด้านอื่นๆ ซึ่งจากการศึกษาของ (ปิยพร ช่างสาร และ กนกพร ชัยประสิทธิ์, 2559) มีการวิเคราะห์ปัจจัยภายในและภายนอกประเทศที่มีผลต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่ามีปัจจัยสำคัญ 4 ประการ ได้แก่ ปริมาณการผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศจีน และปริมาณการส่งออกมันสำปะหลังจากประเทศเวียดนามไปยังจีน จะเห็นได้ว่าการวิจัยนี้หากมีการนำเทคนิคการพยากรณ์การส่งออกมาประยุกต์ใช้ ย่อมจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวางแผนการส่งออก นอกจากนี้ จากการศึกษาของ (นรวัฒน์ เหลืองทอง และ นันทชัย กานตานันทะ, 2559) ซึ่งได้ทำการพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตรของพืช 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง และสับปะรดในจังหวัดที่มีผลผลิตสูงสุด 3 อันดับแรกของประเทศ ก็แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตร หากมีการขยายขอบเขตการศึกษาไปยังทุกจังหวัดที่ผลิตมันสำปะหลัง หรือทั้งภูมิภาคที่มีการผลิตมันสำปะหลังสูงสุดของประเทศ ย่อมจะส่งผลดีอย่างมากต่อการพัฒนาศักยภาพในการส่งออกของประเทศ ไม่เพียงแต่จะช่วยยกระดับรายได้และคุณภาพชีวิตของ

เกษตรกรรมที่ปลูกมันสำปะหลังโดยตรงเท่านั้น แต่ยังคงส่งเสริมให้ภาครัฐสามารถวางแผนและกำหนดนโยบายการเกษตรและการส่งออกได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5.1.2 สรุปผลเส้นทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยรถไฟความเร็วสูงไทย-ลาว-จีน

จากการวิเคราะห์หาแนวทางการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าการพัฒนาภาษา Python โดยวิธีอานานิคมมด ซึ่งงานวิจัยนี้ กำหนดความจุของรถบรรทุกที่สามารถบรรทุกได้สูงสุด 50.5 ตัน ใช้จำนวนมด 10 ตัว ค่าการทำซ้ำ 100 และ 200 ค่า Alpha (α) น้ำหนักสำหรับการใช้ฟีโรโมน คือ 1 และ 2 ค่า Beta (β) ค่าน้ำหนักสำหรับการใช้ระยะทาง คือ 1 ถึง 4 ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน คือ 0.5 และค่าเริ่มต้นของฟีโรโมน คือ 1.0 โดยสถานีรถไฟ A มีระยะทางรวม 3915.5 กิโลเมตร สถานีรถไฟ B มีระยะทางรวม 2589.5 กิโลเมตร สถานี C มีระยะทางรวม 1049.8 กิโลเมตร และสถานี D มีระยะทางรวม 2468.2 กิโลเมตร โดยบางเส้นทางของแต่ละสถานีนั้นมีการไป-กลับหลายรอบ เนื่องจากปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของบริษัทนั้นมีจำนวนเกินความจุของรถบรรทุก ทำให้มีการใช้เส้นทางนั้นซ้ำซึ่งภาษา Python สามารถหาค่าตอบเบื้องต้นของเส้นทางการขนส่งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือไปยังประเทศจีน เมื่อเปรียบเทียบระยะทางรวมในการลำเลียงผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังพบว่า ระยะทางรวมจากสถานีรถไฟบัวใหญ่ไปถึงสถานีรถไฟอุดรธานี คือ 240 กิโลเมตร ปริมาณการส่งออกมันสำปะหลังรวม คือ 1,446.3 ตัน ซึ่งการขนส่งโดยรถไฟมีต้นทุนค่าใช้จ่ายรวม 1,258,281 บาท โดยต้นทุนของรถไฟศึกษาจาก (Krungthai Compass , 2023) อีกทั้ง (Logistics Research Centre, 2022) ได้มีการสรุปการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เมื่อเทียบกับการศึกษานี้การขนส่งโดยรถไฟมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ 5,280g CO₂/tonne-kilometer และ การขนส่งโดยรถบรรทุก มีต้นทุนค่าใช้จ่ายรวม 3,709,759.50 บาท มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ 14,880g CO₂/ tonne-kilometer จะเห็นได้ว่ารถไฟมีต้นทุนต่ำกว่ารถบรรทุกประมาณ 66.1% รถไฟมีปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้อยกว่ารถบรรทุกประมาณ 9,600 g CO₂/ tonne-kilometer หรือ 2.82 เท่า

ผู้วิจัยได้นำตัวแบบการพยากรณ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาปริมาณการส่งออกของบริษัทส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากนั้นจึงได้นำข้อมูลดังกล่าววิเคราะห์หาเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสม โดยใช้การพัฒนาภาษา Python และวิธีอานานิคมมด เพื่อสร้างเส้นทางที่มีประสิทธิภาพในการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังประเทศจีน จะเห็นได้ว่ามีการศึกษา (ฐิติวรดา คำแหน และ สมบัติ สินธุชาวน์,

2556) ได้ทำการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมพร้อมทั้งจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าและวัตถุดิบโดยพัฒนาวิธีอาณานิคมมด ซึ่งพบว่าควรเลือกเปิดโรงงานแป้งมันสำปะหลังตามกำลังการผลิต จะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้เน้นการวิเคราะห์และวางแผนเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือไปยังประเทศจีน โดยพิจารณาตำแหน่งตามบริษัทผู้ส่งออก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งออกโดยเฉพาะ

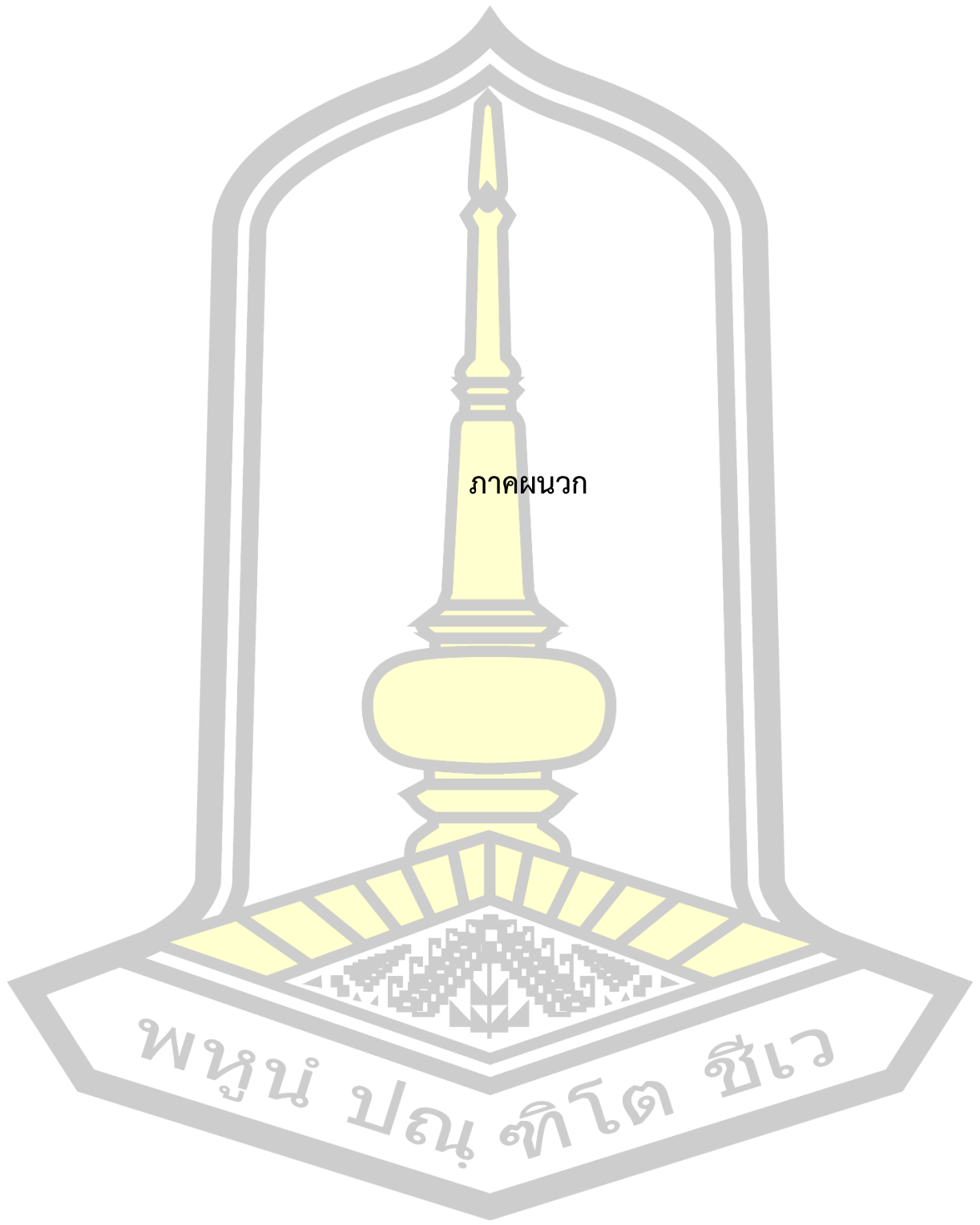
ระยะทางรวมของบริษัทส่งออกที่สามารถลำเลียงผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังสถานีรถไฟที่ใกล้เคียงนั้นเพื่อขนส่งไปยังประเทศจีน ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีบริษัทที่มีการส่งออกมานานและมีเส้นทางที่ใกล้กับประเทศเพื่อนบ้านอยู่แล้วนั้น ก็สามารถส่งออกเช่นเดิมหรือเป็นแนวทางเพื่อประสงค์จะส่งออกไปยังประเทศจีนในเมืองอื่นๆที่รถไฟผ่านได้ด้วย

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากข้อมูลจริงของบริษัทส่งออกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นั้น ในบางบริษัทไม่สามารถเผยแพร่ได้ ทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นยากและใช้เวลานาน จึงได้เปลี่ยนแนวทางการแก้ปัญหาโดยพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของภาคตะวันออกเฉียงเหนือเองโดยใช้ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ในการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทย ซึ่งค่าการพยากรณ์นั้นเป็นเพียงแนวทางอาจมีความใกล้เคียงมากน้อยกับปริมาณการส่งออกจริงของแต่ละบริษัท

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อในอนาคตซึ่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมีสำคัญต่อภาคการเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและระบบเศรษฐกิจของประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยรถไฟความเร็วสูง ไทย-ลาว-จีน ที่ในอนาคตจะมีการเปิดใช้เป็นเส้นทางคมนาคมและขนส่งเพื่อเชื่อมประเทศไทย ประเทศลาว และประเทศจีน อีกทั้งยังส่งผลดีต่อเกษตรกรที่กำลังคาดการณ์จะส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังด้วยตนเอง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง



ภาคผนวก

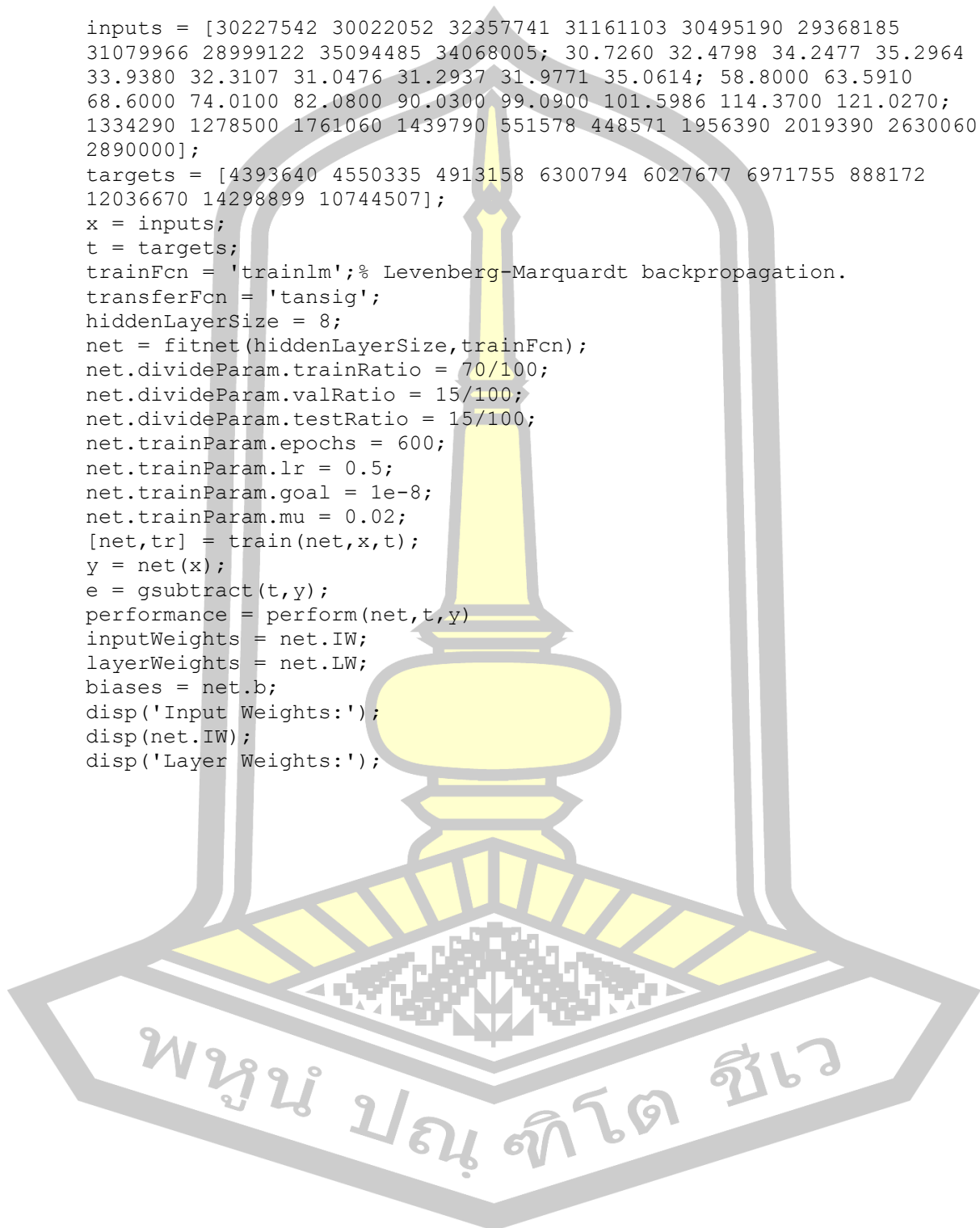
พหุ ประทีป ชัยเว

วิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยโปรแกรม MATLAB ผู้วิจัยมีการพัฒนาโค้ดดังต่อไปนี้

```

inputs = [30227542 30022052 32357741 31161103 30495190 29368185
31079966 28999122 35094485 34068005; 30.7260 32.4798 34.2477 35.2964
33.9380 32.3107 31.0476 31.2937 31.9771 35.0614; 58.8000 63.5910
68.6000 74.0100 82.0800 90.0300 99.0900 101.5986 114.3700 121.0270;
1334290 1278500 1761060 1439790 551578 448571 1956390 2019390 2630060
2890000];
targets = [4393640 4550335 4913158 6300794 6027677 6971755 888172
12036670 14298899 10744507];
x = inputs;
t = targets;
trainFcn = 'trainlm'; % Levenberg-Marquardt backpropagation.
transferFcn = 'tansig';
hiddenLayerSize = 8;
net = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn);
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;
net.trainParam.epochs = 600;
net.trainParam.lr = 0.5;
net.trainParam.goal = 1e-8;
net.trainParam.mu = 0.02;
[net,tr] = train(net,x,t);
y = net(x);
e = gsubtract(t,y);
performance = perform(net,t,y)
inputWeights = net.IW;
layerWeights = net.LW;
biases = net.b;
disp('Input Weights:');
disp(net.IW);
disp('Layer Weights:');

```



วิธีอาณานิคมมดโดยพัฒนาภาษา Python ผู้วิจัยมีการพัฒนาโค้ดของสถานีบัวใหญ่ (A)

ดังต่อไปนี้

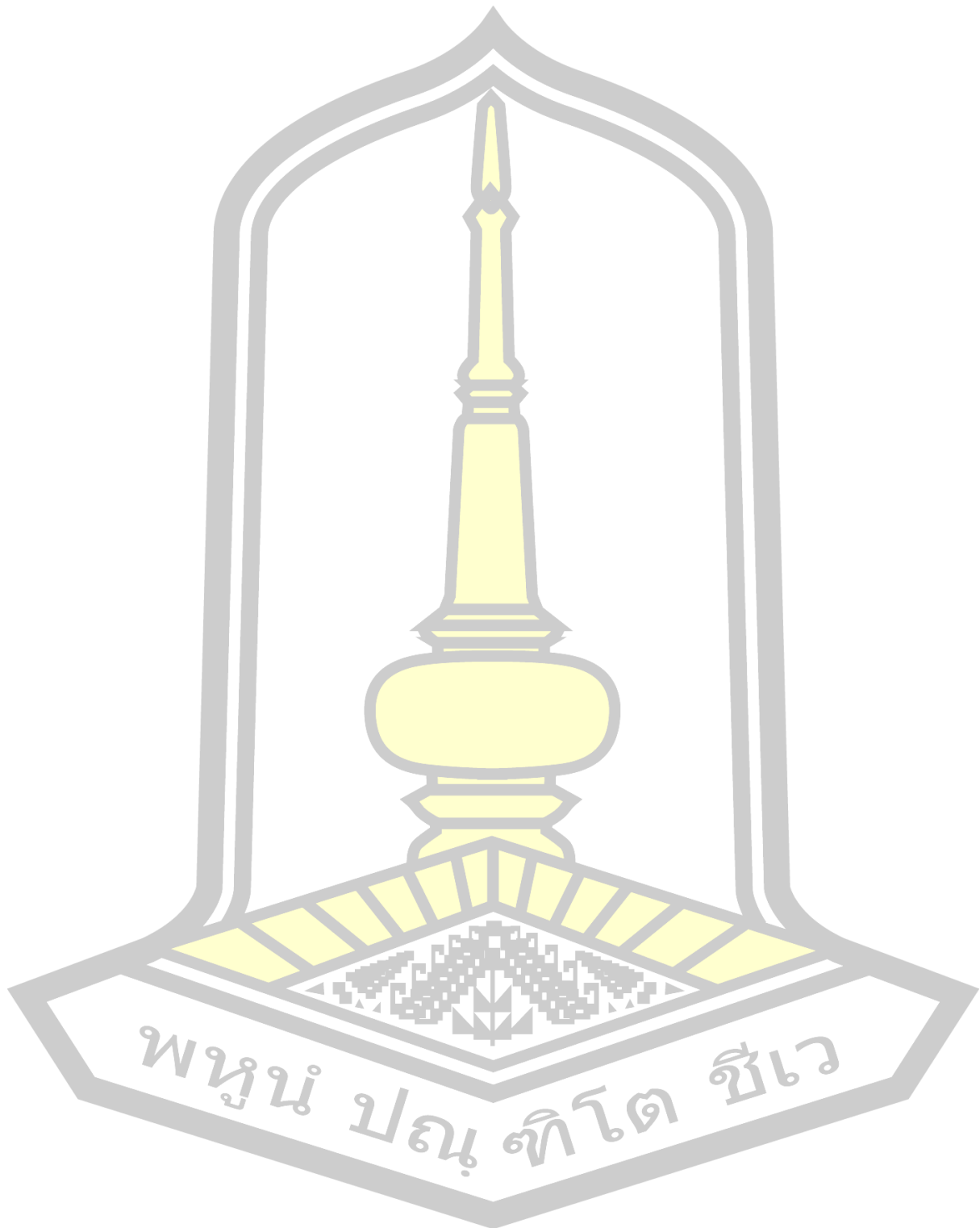
```
import numpy as np
import random
# Distance matrix between nodes
distance_matrix = np.array([
[0, 47.2, 237, 123, 115, 148, 89.9],
[47.2, 0, 257, 166, 158, 203, 153],
[237, 257, 0, 497, 442, 472, 322],
[123, 166, 491, 0, 45.6, 33.3, 144],
[115, 158, 442, 45.6, 0, 33, 137],
[148, 203, 472, 33.3, 33, 0, 157],
[89.9, 153, 322, 144, 137, 157, 0]
])
# Export quantities at each node
export_quantities = [0, 51.52, 41.49, 23.94, 338.22, 11.24, 327.59]
# Truck capacity
truck_capacity = 50.5
# Number of ants
num_ants = 10
# Number of iterations
num_iterations = 100
# Alpha and beta parameters for ACO
alpha = 1
beta = 4
# Evaporation rate
evaporation_rate = 0.5
# Initial pheromone value
initial_pheromone = 1.0
def initialize_pheromone_matrix(size):
return np.full((size, size), initial_pheromone)
def calculate_visibility(distance_matrix):
visibility = np.zeros_like(distance_matrix, dtype=float)
with np.errstate(divide='ignore'):
visibility = 1 / distance_matrix
visibility[distance_matrix == 0] = 0
return visibility * 98
def select_next_node(probabilities):
return np.random.choice(len(probabilities), p=probabilities)
def update_pheromones(pheromone_matrix, ants_solutions, distances,
evaporation_rate):
pheromone_matrix *= (1 - evaporation_rate)
for solution, distance in zip(ants_solutions, distances):
for route in solution:
for i in range(len(route) - 1):
if route[i] < pheromone_matrix.shape[0] and route[i+1] <
pheromone_matrix.shape[1]:
pheromone_matrix[route[i]][route[i+1]] += 1 / distance
return pheromone_matrix
def aco_vrp(distance_matrix, export_quantities, truck_capacity,
num_ants, num_iterations, alpha, beta, evaporation_rate):
num_nodes = len(distance_matrix)
pheromone_matrix = initialize_pheromone_matrix(num_nodes)
visibility_matrix = calculate_visibility(distance_matrix)
```

```

best_routes = []
best_total_distance = float('inf')
for iteration in range(num_iterations):
    ants_routes = []
    ants_distances = []
    for ant in range(num_ants):
        routes = []
        total_distance = 0
        # Separate trips for each vehicle
        remaining_quantities = export_quantities.copy()
        while sum(remaining_quantities) > 0:
            route = [0]
            total_load = 0
            while True:
                current_node = route[-1]
                probabilities = []
                for next_node in range(num_nodes):
                    if next_node != 0 and remaining_quantities[next_node] > 0:
                        if (next_node not in route or (remaining_quantities[next_node] +
                            total_load <= truck_capacity)):
                            pheromone = pheromone_matrix[current_node][next_node] ** alpha
                            visibility = visibility_matrix[current_node][next_node] ** beta
                            probabilities.append(pheromone * visibility)
                        else:
                            probabilities.append(0)
                    else:
                        probabilities.append(0)
                if np.sum(probabilities) == 0:
                    break
                probabilities = probabilities / np.sum(probabilities)
                next_node = select_next_node(probabilities)
                route.append(next_node)
                if next_node != 0:
                    load = min(remaining_quantities[next_node], truck_capacity -
                        total_load)
                    total_load += load
                    remaining_quantities[next_node] -= load
                if total_load >= truck_capacity or next_node == 0:
                    break
            # Return to depot
            if route[-1] != 0:
                route.append(0)
            distance = np.sum([distance_matrix[route[i]][route[i+1]] for i in
                range(len(route) - 1)])
            total_distance += distance
            routes.append(route)
        ants_routes.append(routes)
        ants_distances.append(total_distance)
        if total_distance < best_total_distance:
            best_total_distance = total_distance
            best_routes = routes
    pheromone_matrix = update_pheromones(pheromone_matrix, ants_routes,
        ants_distances, evaporation_rate)
    return best_routes, best_total_distance
best_routes, best_total_distance = aco_vrp(distance_matrix,
    export_quantities, truck_capacity, num_ants, num_iterations, alpha,
    beta, evaporation_rate)

```

```
print(f"Best Routes: {best_routes}")  
print(f"Best Total Distance: {best_total_distance}")
```



วิธีอาณานิคมมดโดยพัฒนาภาษา Python ผู้วิจัยมีการพัฒนาโค้ดของสถานีบ้านไผ่ (B)

ดังต่อไปนี้

```
import numpy as np
import random
# Distance matrix between nodes
distance_matrix = np.array([
[0, 21.5, 314],
[21.5, 0, 370],
[314, 370, 0]
])
# Export quantities at each node
export_quantities = [0, 40.99, 147.52] # Assumed quantities for nodes
1 and 4
# Truck capacity
truck_capacity = 50.5
# Number of ants
num_ants = 10
# Number of iterations
num_iterations = 200
# Alpha and beta parameters for ACO
alpha = 1
beta = 2
# Evaporation rate
evaporation_rate = 0.5
# Initial pheromone value
initial_pheromone = 1.0
def initialize_pheromone_matrix(size):
return np.full((size, size), initial_pheromone)
def calculate_visibility(distance_matrix):
visibility = np.zeros_like(distance_matrix, dtype=float)
with np.errstate(divide='ignore'):
visibility = 1 / distance_matrix
visibility[distance_matrix == 0] = 0
return visibility
def select_next_node(probabilities):
return np.random.choice(len(probabilities), p=probabilities) 102
def update_pheromones(pheromone_matrix, ants_solutions, distances,
evaporation_rate):
pheromone_matrix *= (1 - evaporation_rate)
for solution, distance in zip(ants_solutions, distances):
for route in solution:
for i in range(len(route) - 1):
if route[i] < pheromone_matrix.shape[0] and route[i+1] <
pheromone_matrix.shape[1]:
pheromone_matrix[route[i]][route[i+1]] += 1 / distance
return pheromone_matrix
def aco_vrp(distance_matrix, export_quantities, truck_capacity,
num_ants, num_iterations, alpha, beta, evaporation_rate):
num_nodes = len(distance_matrix)
pheromone_matrix = initialize_pheromone_matrix(num_nodes)
visibility_matrix = calculate_visibility(distance_matrix)
best_routes = []
best_total_distance = float('inf')
```

```

for iteration in range(num_iterations):
    ants_routes = []
    ants_distances = []
    for ant in range(num_ants):
        routes = []
        total_distance = 0
        # Separate trips for each vehicle
        remaining_quantities = export_quantities.copy()
        while sum(remaining_quantities) > 0:
            route = [0]
            total_load = 0
            while True:
                current_node = route[-1]
                probabilities = []
                for next_node in range(num_nodes):
                    if next_node != 0 and remaining_quantities[next_node] > 0:
                        if (next_node not in route or (remaining_quantities[next_node] +
                            total_load <= truck_capacity)):
                            pheromone = pheromone_matrix[current_node][next_node] ** alpha 103
                            visibility = visibility_matrix[current_node][next_node] ** beta
                            probabilities.append(pheromone * visibility)
                        else:
                            probabilities.append(0)
                    else:
                            probabilities.append(0)
                if np.sum(probabilities) == 0:
                    break
                probabilities = probabilities / np.sum(probabilities)
                next_node = select_next_node(probabilities)
                route.append(next_node)
                if next_node != 0:
                    load = min(remaining_quantities[next_node], truck_capacity -
                        total_load)
                    total_load += load
                    remaining_quantities[next_node] -= load
                if total_load >= truck_capacity or next_node == 0:
                    break
            # Return to depot
            if route[-1] != 0:
                route.append(0)
            distance = np.sum([distance_matrix[route[i]][route[i+1]] for i in
                range(len(route) - 1)])
            total_distance += distance
            routes.append(route)
            ants_routes.append(routes)
            ants_distances.append(total_distance)
            if total_distance < best_total_distance:
                best_total_distance = total_distance
                best_routes = routes
            pheromone_matrix = update_pheromones(pheromone_matrix, ants_routes,
                ants_distances, evaporation_rate)
        return best_routes, best_total_distance 104
    best_routes, best_total_distance = aco_vrp(distance_matrix,
        export_quantities, truck_capacity, num_ants, num_iterations, alpha,
        beta, evaporation_rate)
    print(f"Best Routes: {best_routes}")
    print(f"Best Total Distance: {best_total_distance}

```

วิธีอาณานิคมมดโดยพัฒนาภาษา Python ผู้วิจัยมีการพัฒนาโค้ดของสถานีขอนแก่น (C)

ดังต่อไปนี้

```
import numpy as np
import random
# Distance matrix between nodes
distance_matrix = np.array([
    [0, 29.7, 210, 277],
    [29.7, 0, 115, 329],
    [210, 115, 0, 236],
    [277, 329, 236, 0]
])
# Export quantities at each node
export_quantities = [0, 67.06, 37.42, 31.83]
# Truck capacity
truck_capacity = 50.5
# Number of ants
num_ants = 10
# Number of iterations
num_iterations = 100
# Alpha and beta parameters for ACO
alpha = 2
beta = 2
# Evaporation rate
evaporation_rate = 0.5
# Initial pheromone value
initial_pheromone = 1.0
def initialize_pheromone_matrix(size):
    return np.full((size, size), initial_pheromone)
def calculate_visibility(distance_matrix):
    visibility = np.zeros_like(distance_matrix, dtype=float)
    with np.errstate(divide='ignore'):
        visibility = 1 / distance_matrix
    visibility[distance_matrix == 0] = 0
    return visibility
def select_next_node(probabilities):
    return np.random.choice(len(probabilities), p=probabilities)
106
def update_pheromones(pheromone_matrix, ants_solutions,
    distances, evaporation_rate):
    pheromone_matrix *= (1 - evaporation_rate)
    for solution, distance in zip(ants_solutions, distances):
        for route in solution:
            for i in range(len(route) - 1):
                if route[i] < pheromone_matrix.shape[0] and route[i+1] <
                    pheromone_matrix.shape[1]:
                    pheromone_matrix[route[i]][route[i+1]] += 1 / distance
    return pheromone_matrix
```

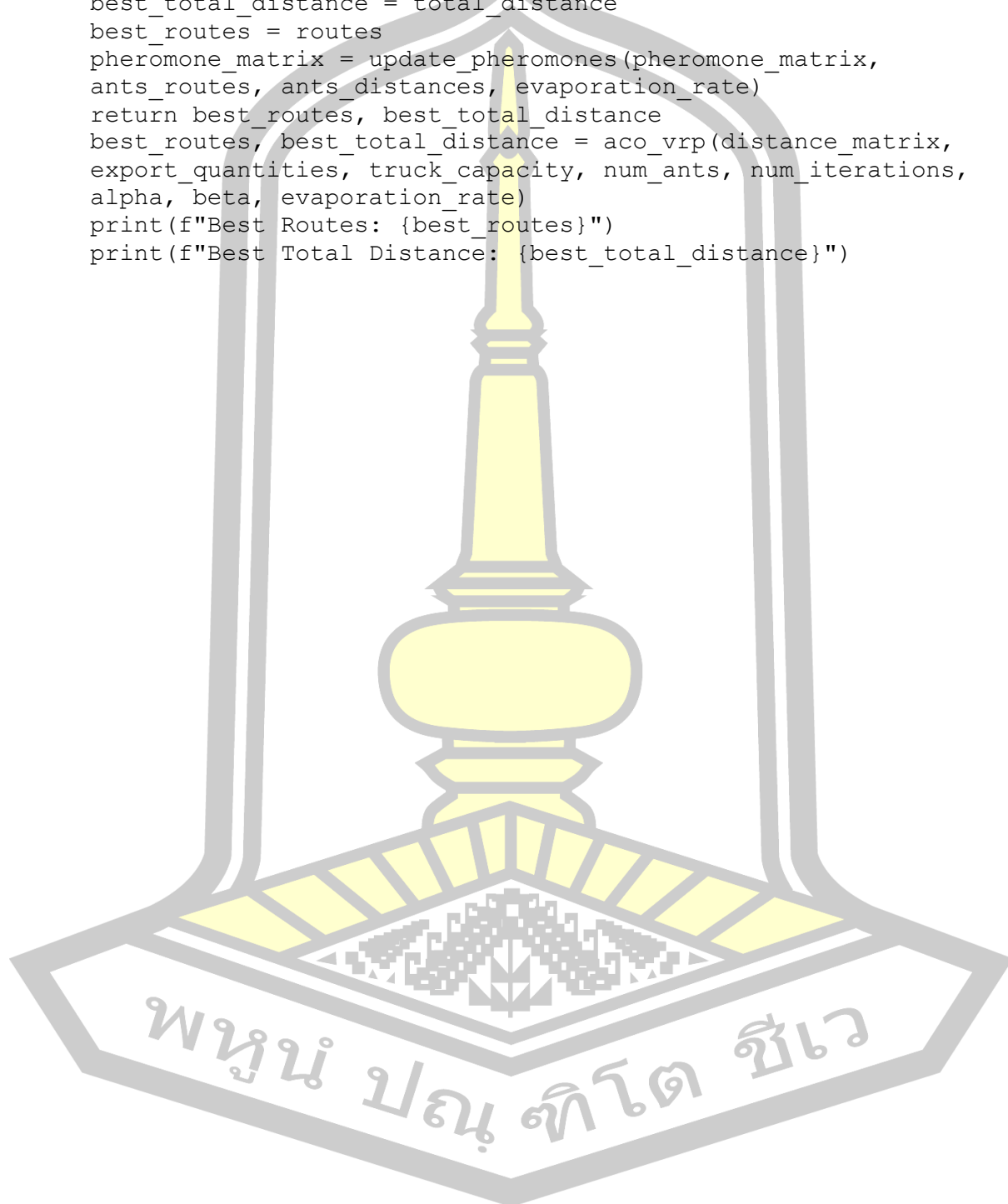
```

def aco_vrp(distance_matrix, export_quantities,
truck_capacity, num_ants, num_iterations, alpha, beta,
evaporation_rate):
num_nodes = len(distance_matrix)
pheromone_matrix = initialize_pheromone_matrix(num_nodes)
visibility_matrix = calculate_visibility(distance_matrix)
best_routes = []
best_total_distance = float('inf')
for iteration in range(num_iterations):
ants_routes = []
ants_distances = []
for ant in range(num_ants):
routes = []
total_distance = 0
# Separate trips for each vehicle
remaining_quantities = export_quantities.copy()
while sum(remaining_quantities) > 0:
route = [0]
total_load = 0
while True:
current_node = route[-1]
probabilities = []
for next_node in range(num_nodes):
if next_node != 0 and remaining_quantities[next_node] > 0:
if (next_node not in route or (remaining_quantities[next_node]
+ total_load <= truck_capacity)):
pheromone = pheromone_matrix[current_node][next_node] ** alpha
visibility = visibility_matrix[current_node][next_node] **
beta
probabilities.append(pheromone * visibility)
else: 107

probabilities.append(0)
else:
probabilities.append(0)
if np.sum(probabilities) == 0:
break
probabilities = probabilities / np.sum(probabilities)
next_node = select_next_node(probabilities)
route.append(next_node)
if next_node != 0:
load = min(remaining_quantities[next_node], truck_capacity -
total_load)
total_load += load
remaining_quantities[next_node] -= load
if total_load >= truck_capacity or next_node == 0:
break
# Return to depot
if route[-1] != 0:
route.append(0)
distance = np.sum([distance_matrix[route[i]][route[i+1]] for i
in range(len(route) - 1)])
total_distance += distance

```

```
routes.append(route)
ants_routes.append(routes)
ants_distances.append(total_distance)
if total_distance < best_total_distance:
    best_total_distance = total_distance
    best_routes = routes
pheromone_matrix = update_pheromones(pheromone_matrix,
ants_routes, ants_distances, evaporation_rate)
return best_routes, best_total_distance
best_routes, best_total_distance = aco_vrp(distance_matrix,
export_quantities, truck_capacity, num_ants, num_iterations,
alpha, beta, evaporation_rate)
print(f"Best Routes: {best_routes}")
print(f"Best Total Distance: {best_total_distance}")
```



วิธีอาณานิคมมดโดยพัฒนาภาษา Python ผู้วิจัยมีการพัฒนาโค้ดของสถานีอุดรธานี (D)

ดังต่อไปนี้

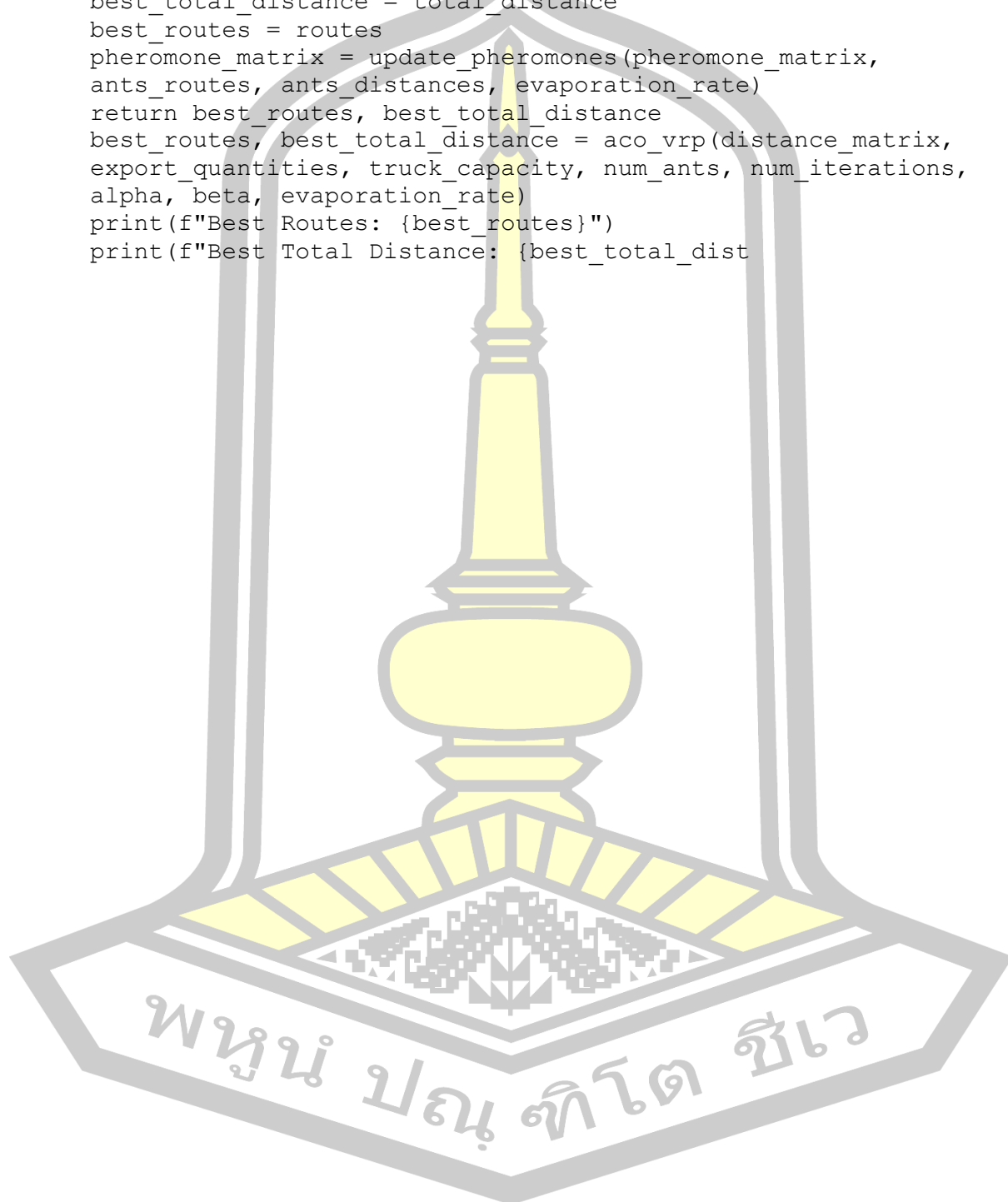
```
import numpy as np
import random
# Distance matrix between nodes
distance_matrix = np.array([
[0,39.4 ,56.9, 178, 203],
[39.4,0,41.3,214,185],
[56.9, 41.3,0, 203, 371],
[178, 214,203, 0, 576],
[203,185, 371, 576, 0]
])
# Export quantities at each node
export_quantities = [0, 103.26, 22.53, 37.42, 164.27]
# Truck capacity
truck_capacity = 50.5
# Number of ants
num_ants = 10
# Number of iterations
num_iterations = 200
# Alpha and beta parameters for ACO
alpha = 1
beta = 4
# Evaporation rate
evaporation_rate = 0.5
# Initial pheromone value
initial_pheromone = 1.0
def initialize_pheromone_matrix(size):
return np.full((size, size), initial_pheromone)
def calculate_visibility(distance_matrix):
visibility = np.zeros_like(distance_matrix, dtype=float)
with np.errstate(divide='ignore'):
visibility = 1 / distance_matrix
visibility[distance_matrix == 0] = 0
return visibility
def select_next_node(probabilities):
return np.random.choice(len(probabilities), p=probabilities)
109
def update_pheromones(pheromone_matrix, ants_solutions,
distances, evaporation_rate):
pheromone_matrix *= (1 - evaporation_rate)
for solution, distance in zip(ants_solutions, distances):
for route in solution:
for i in range(len(route) - 1):
if route[i] < pheromone_matrix.shape[0] and route[i+1] <
pheromone_matrix.shape[1]:
pheromone_matrix[route[i]][route[i+1]] += 1 / distance
return pheromone_matrix
```

```

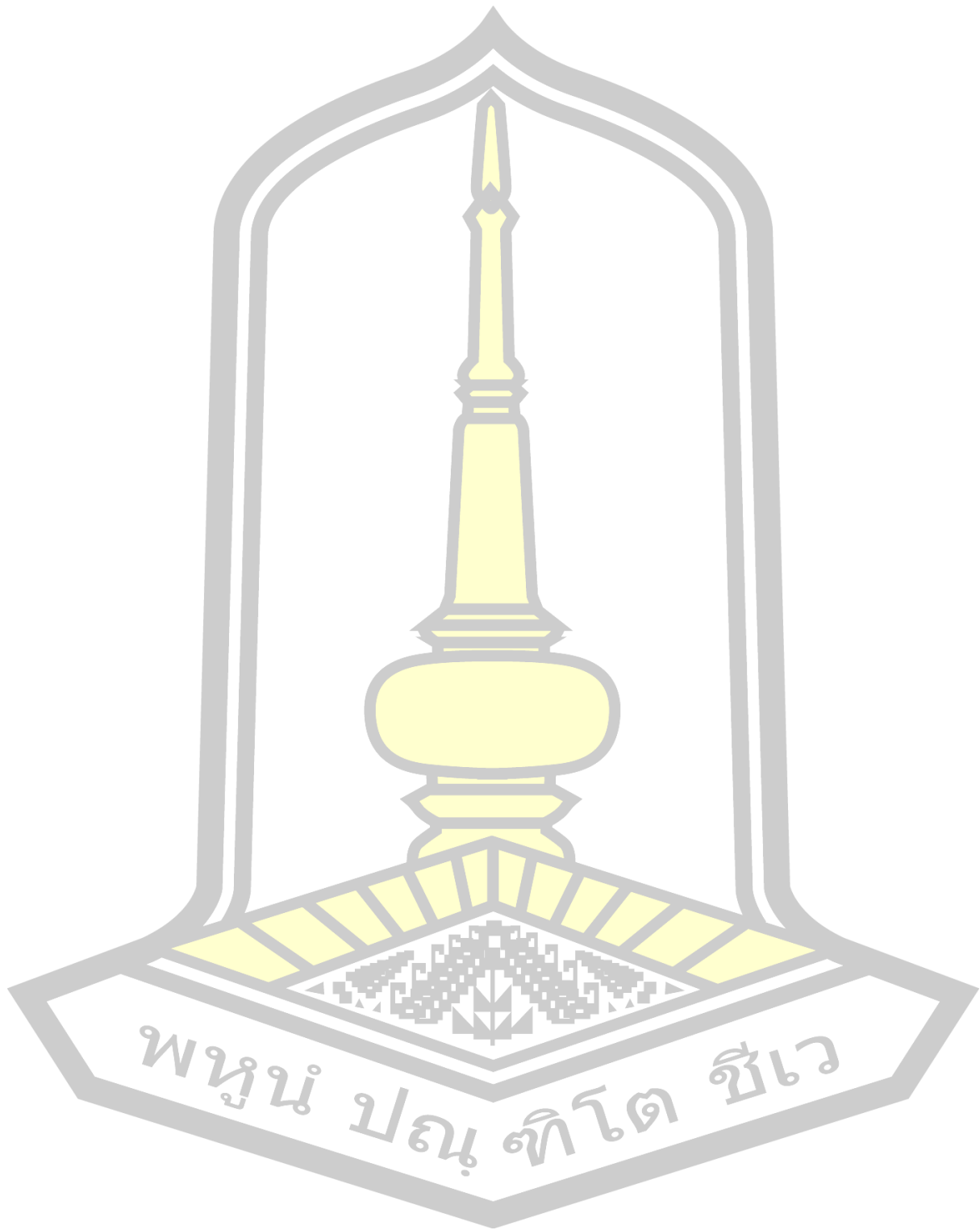
def aco_vrp(distance_matrix, export_quantities,
            truck_capacity, num_ants, num_iterations, alpha, beta,
            evaporation_rate):
    num_nodes = len(distance_matrix)
    pheromone_matrix = initialize_pheromone_matrix(num_nodes)
    visibility_matrix = calculate_visibility(distance_matrix)
    best_routes = []
    best_total_distance = float('inf')
    for iteration in range(num_iterations):
        ants_routes = []
        ants_distances = []
        for ant in range(num_ants):
            routes = []
            total_distance = 0
            # Separate trips for each vehicle
            remaining_quantities = export_quantities.copy()
            while sum(remaining_quantities) > 0:
                route = [0]
                total_load = 0
                while True:
                    current_node = route[-1]
                    probabilities = []
                    for next_node in range(num_nodes):
                        if next_node != 0 and remaining_quantities[next_node] > 0:
                            if (next_node not in route or (remaining_quantities[next_node]
                                + total_load <= truck_capacity)):
                                pheromone = pheromone_matrix[current_node][next_node] ** alpha
                                visibility = visibility_matrix[current_node][next_node] **
                                beta
                                probabilities.append(pheromone * visibility)
                            else:
                                probabilities.append(0)
                    else:
                        probabilities.append(0)
                    if np.sum(probabilities) == 0:
                        break
                    probabilities = probabilities / np.sum(probabilities)
                    next_node = select_next_node(probabilities)
                    route.append(next_node)
                    if next_node != 0:
                        load = min(remaining_quantities[next_node], truck_capacity -
                            total_load)
                        total_load += load
                        remaining_quantities[next_node] -= load
                        if total_load >= truck_capacity or next_node == 0:
                            break
                # Return to depot
                if route[-1] != 0:
                    route.append(0)
                distance = np.sum([distance_matrix[route[i]][route[i+1]] for i
                    in range(len(route) - 1)])
                total_distance += distance

```

```
routes.append(route)
ants_routes.append(routes)
ants_distances.append(total_distance)
if total_distance < best_total_distance:
    best_total_distance = total_distance
    best_routes = routes
pheromone_matrix = update_pheromones(pheromone_matrix,
ants_routes, ants_distances, evaporation_rate)
return best_routes, best_total_distance
best_routes, best_total_distance = aco_vrp(distance_matrix,
export_quantities, truck_capacity, num_ants, num_iterations,
alpha, beta, evaporation_rate)
print(f"Best Routes: {best_routes}")
print(f"Best Total Distance: {best_total_dist
```



บรรณานุกรม



- Antonio Giuliano, Z. (2011). *Neuronal Ensemble Modeling and Analysis with Variable Order Markov Models Contents*. Ledizioni.
- Beasley, J. E., & Johnson, R. (1984). Forecasting Environmental Protection Legislation. *Long Range Planning*, 132-138.
- Bell, W. J., Dalberto, L. M., L., F. M., Greenfield, A. J., R., J., Kedia, P., . . . Prutzman, P. J. (1983). Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *INFORMS*, 4-23.
- Boonsub, P., & Jessada, P. (2023). Analysis of the efficiency of land transport connectivity for international trade between Thailand and China. *Cogent Social Sciences*, 1-11. doi:10.1080/23311886.2023.2196820
- Caprio, D. D., Edrahimnejak, A., Alrezaamiri, H., & Santos-Arteaga, F. J. (2022). A novel ant colony algorithm for solving shortest. *Alexandria Engineering Journal*, 3403-3415.
- Chaiwat Sowcharoensuk. (2023). Retrieved November 23, 2025, from Krungsri Bank: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/cassava/io/cassava-2023-2025>
- Chinda, T. (2022). Feasibility Study Of Multimodal Transportation Of Cassava Products In Thailand: System Dynamics Modeling. *ASEAN Engineering Journal*, 79-88.
- Clarke, G., & Wright, J. (1964). Scheduling of Vehicle Routing Problem from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 568-581.
- David A., F. (2009). *Statistical Models: Theory and Practice*. Cambridge University Press.
- Fan, J. (1996). Local Polynomial Modelling and Its Applications: From linear regression to nonlinear regression. *Monographs on Statistics and Applied Probability*.
- Haroun, S. A., Jamal, B., & Hicham, E. H. (2015). A Performance Comparison of GA and ACO Applied to TSP. *International Journal of Computer Applications*, 28-35.
- J.Scott, A. (2014). Strategic Planning and Forecasting Fundamentals in Kenneth. Albert (ed.). *The Strategic Management Handbook*. New York: McGraw Hill, 1-32.

- Krungthai Compass . (2023, December). Retrieved September 17, 2024, from https://krungthai.com/Download/economyresources/EconomyResourcesDownload_488China_Laos.pdf
- Logistics Research Centre, H.-W. U. (2022, December 16). Green Logistics. Retrieved September 17, 2024, from <https://www.sdthailand.com/2022/12/krungthai-compass-point-to-thailand-transport-industry-transition-to-green-logistics/>
- Mark, G. (2017, June). Chinese Agriculture in Southeast Asia: Investment, Aid and Trade in Cambodia, Laos and Myanmar. *Heinrich-Böll-Stiftung Southeast Asia*, p. 76. Retrieved from <https://th.boell.org/en/2017/06/22/chinese-agriculture-southeast-asia-investment-aid-and-trade-cambodia-laos-and-myanmar>
- Marvin, M., Seymour, A. P., & Léon, B. (2017). *Perceptrons.Reissue edition.Cambridge. MIT Press.*
- Matsumura, K., Gaitan, C., Sugimoto, K., Cannon, A., & Hsieh, W. (2015). Maize yield forecasting by linear regression and artificial neural. *Journal of Agricultural Science*, 399-410.
- Minitab. (2021). *Regression Analysis: How Do I Interpret R-squared and Assess the Goodness-of-Fit?* Retrieved November 23, 2023, from <https://www.solutioncenterminitab.com/blog/regression-analysis-how-do-i-interpret-r-squared-and-assess-the-goodness-of-fit/>
- Paper shipping. (2022). Retrieved November 25, 2023, from Paper shipping: <https://papershipping.com/>
- PPTV. (2021, December 20). Retrieved November 25, 2023, from PPTV HD 36: <https://www.pptvhd36.com/news/162871>
- Rosenkrantz, D. J., Stearns, R. E., & Lewis, P. M. (1977). An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem. *SIAM Journal on Computing*, 563-581.
- Sunday, U. S., & Unyime, R. E. (2023). Cassava Yield Forecasting Using Artificial Neural Network. *Contemporary discourse on Nigeria's economic profile*, 667-679.
- THAIBIZCHINA. (2022, March 11). Retrieved November 28, 2023, from THAIBIZCHINA: <https://thaibizchina.com>

- World Integrated Trade Solution. (2023). Retrieved November 18, 2023, from Worldbank: <https://wits.worldbank.org/>
- Xin, Y. (2009). Linear Regression Analysis: Theory and Computing. *World Scientific*, 1-2.
- Yuting, W., Yanfei, Z., Ailong, M., & Liangpei, Z. (2022). An Accurate UAV 3-D Path Planning Method for Disaster Emergency Response Based on an Improved Multiobjective Swarm Intelligence Algorithm. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2658-2671.
- Zhe, C., De, S. B., & Robert, B. (2013). Ant Colony Routing algorithm for freeway networks. *Transportation Research*, 1-19.
- Zou, J., Yi, H., & Sung-Sau, S. (2009). Overview of Artificial Neural Networks. *Artificial Neural Networks. Methods in Molecular Biology™*, 14-22.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2565). เรียกใช้เมื่อ 23 พฤศจิกายน 2566 จาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม Department of Industrial Works: <https://www.diw.go.th>
- กรมการขนส่งทางราง. (24 มีนาคม 2565). เรียกใช้เมื่อ 26 พฤศจิกายน 2566 จาก กรมการขนส่งทางราง Department of Rail Transport: https://www.drt.go.th/news-photo/pr24032565_01
- กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. (6 ธันวาคม 2560). เรียกใช้เมื่อ 26 พฤศจิกายน 2566 จาก DFT: <https://www.dft.go.th/th-th/Detail-Law/ArticleId/9981/9981-2560>
- กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. (28 พฤศจิกายน 2565). เรียกใช้เมื่อ 26 พฤศจิกายน 2566 จาก DET: <https://www.dft.go.th>
- กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. (2566). เรียกใช้เมื่อ 22 พฤศจิกายน 2566 จาก DFT: <https://www.dft.go.th/th-th/dft-service-data-statistic/cid/610>
- กรมทางหลวง. (9 มีนาคม 2558). *การกำหนดพิกัดน้ำหนักบรรทุกทุกตามประกาศผู้อำนวยการทางหลวงฯ*. เรียกใช้เมื่อ 25 พฤศจิกายน 2566 จาก กรมทางหลวง: <https://doh.go.th/doh/images/pdf/jkm60-11.pdf>
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2562). เรียกใช้เมื่อ 10 พฤศจิกายน 2566 จาก <https://webapp.ddd.go.th/>
- กรมวิชาการเกษตร. (2557). Retrieved กันยายน 16, 2567, from <https://at.doa.go.th/mealybug/varsite.htm>
- กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. (25 พฤษภาคม 2565). เข้าถึงได้จาก DITP: <https://www.tradelogistics.go.th>

- กัญจน์ณิดา โภคอุดม, นิกร โภคอุดม, ชลาธิป ทุมกานนท์, และ ทศนีย์ ปล้องแก้ว. (2558). การประยุกต์ใช้ระยยาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหการจัดเส้นทางขนส่ง. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 84-96.
- ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์, คมกฤต เลกสกุล, และ อภิชาติ โสภางแดง. (2555). การประยุกต์ใช้ตัวแบบการพยากรณ์โดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม กรณีศึกษาการพยากรณ์ผลผลิตลำไยนอกฤดู. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*(4), 32-42. เรียกใช้เมื่อ 7 กันยายน 2567 จาก <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eit-researchjournal/article/view/113243>
- ฐิติวรดา คำแหง, และ สมบัติ สินธุเชาวน์. (2556). การเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยวิธีอาณานิคมมด. *วิศวกรรมสาร มช.*, 341-354.
- ฐิติวรดา ศรีสุวรรณดี, และ สมบัติ สินธุเชาวน์. (2562). การแก้ปัญหการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าโดยวิธีอาณานิคมมด กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจากัดบ้านแพ้วกรู๊ป. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 30-36.
- ถาวรสิน ลักษณะนากร. (2556). การพยากรณ์ยอดขายในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันหล่อลื่นโดยใช้ปัจจัยด้านอุปสงค์ลูกค้า และปัจจัยชีวิตทางเศรษฐกิจ กรณีศึกษา บริษัท ลู๊ป เทคโนโลยี จำกัด. *บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*, หน้า 5-7. เรียกใช้เมื่อ 26 พฤศจิกายน 2566
- ทิพวิมล ชมภูคำ. (2560). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหการจัดตารางคุมสอบ. *วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2565). Retrieved พฤศจิกายน 22, 2566, from <https://www.bot.or.th/en/statistics/exchange-rate.html>
- ธนาวุฒิ ประกอบผล. (2552). โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks). *วารสาร มวก. วิชาการ*.
- นรวัฒน์ เหลืองทอง, และ นันทชัย กานตานันทะ. (2559). การเลือกตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสม. *Thai Science and Technology Journal*, 370-381.
- นิภา นีรุติกุล. (2558). *การพยากรณ์การขาย*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บริษัท มติชน จำกัด (มหาชน). (2564). Retrieved พฤศจิกายน 22, 2566, from ประชาชาติธุรกิจออนไลน์: <https://www.prachachat.net/economy/news-814220>
- ปิยพร ช่างสาร, และ กนกพร ชัยประสิทธิ์. (2559). ความสัมพันธ์ของปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกประเทศที่มีผล. *วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่*, 118-132.
- มุสตี บุญรอด, และ กรวัฒน์ พลเยี่ยม. (2560). แบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลัง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 533-543.

มูลนิธิสถาบันพัฒนาสินค้าเกษตรหลังแห่งประเทศไทย. (2543). Retrieved พฤศจิกายน 20, 2566, from <http://www.tapiocathai.org/Mainpage.html>

ยุทธ ไภยวรรณ. (2549). *สถิติเพื่อการวิจัย*. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ. เรียกใช้เมื่อ 29 พฤศจิกายน 2566

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (28 กุมภาพันธ์ 2567). เรียกใช้เมื่อ 21 กันยายน 2567 จาก [file:///C:/Users/Janyawat/Downloads/2023Y_Emission%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Janyawat/Downloads/2023Y_Emission%20(3).pdf)

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2567, กุมภาพันธ์ 28). Retrieved กันยายน 7, 2567, from file:///C:/Users/Janyawat/Downloads/2023Y_Emission.pdf

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2560). เรียกใช้เมื่อ 22 พฤศจิกายน 2566 จาก สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: <http://www3.rdi.ku.ac.th/>

สายใจ เกษสุวรรณ. (2 กันยายน 2565). *ร่างพระราชบัญญัติการขนส่งทางราง ตอนที่ ๑*. เรียกใช้เมื่อ 17 พฤศจิกายน 2566 จาก <https://document.senate.go.th/>

สายงานเศรษฐกิจและวิชาการสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2566). เรียกใช้เมื่อ 22 พฤศจิกายน 2566 จาก FTI: <https://www.nettathai.org>

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครสวรรค์ สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2565). Retrieved พฤศจิกายน 23, 2566, from <https://coaching.oae.go.th>

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2565). วิถีปลูกมันสำปะหลัง ให้ผลผลิตสูงสุด และลดต้นทุนทำร่นมันสำปะหลัง 30%. Retrieved พฤศจิกายน 24, 2566, from <https://coaching.oae.go.th/>

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2565). เรียกใช้เมื่อ 23 พฤศจิกายน 2566 จาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร Office of Agricultural Economics: <https://www.opsmoac.go.th/udonthani-dwl-files-442791791887>

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). (2565). เรียกใช้เมื่อ 20 พฤศจิกายน 2566 จาก สวก.: <https://www.arda.or.th>

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2564). Retrieved พฤศจิกายน 20, 2566, from <https://www.nstda.or.th/nac/2022/exhibition/cassava-industry/index.html>

สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล. (2561). เรียกใช้เมื่อ 22 พฤศจิกายน 2566 จาก depa.or.th: <https://www.depa.or.th>

สุพรรณ สุตสนธิ์. (2558). *วิธีอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง*. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุพรรณ สุตสนธิ์, อติศักดิ์ สิงห์สังข์, ชราวุฒิ น้อยทะรงค์, และ ยงยุทธ จันทร์อง. (2558). อัลกอริทึมระบบอาณานิคมมดสำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาดภายใต้การขนส่งที่มีกรอบเวลาจำกัด. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 53-68.

สุพาดา สิริกุดตา, และ วลัยลักษณ์ช อัครธีรวงศ์. (2546). *สถิติธุรกิจ*. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ธรรมสาร จำกัด.

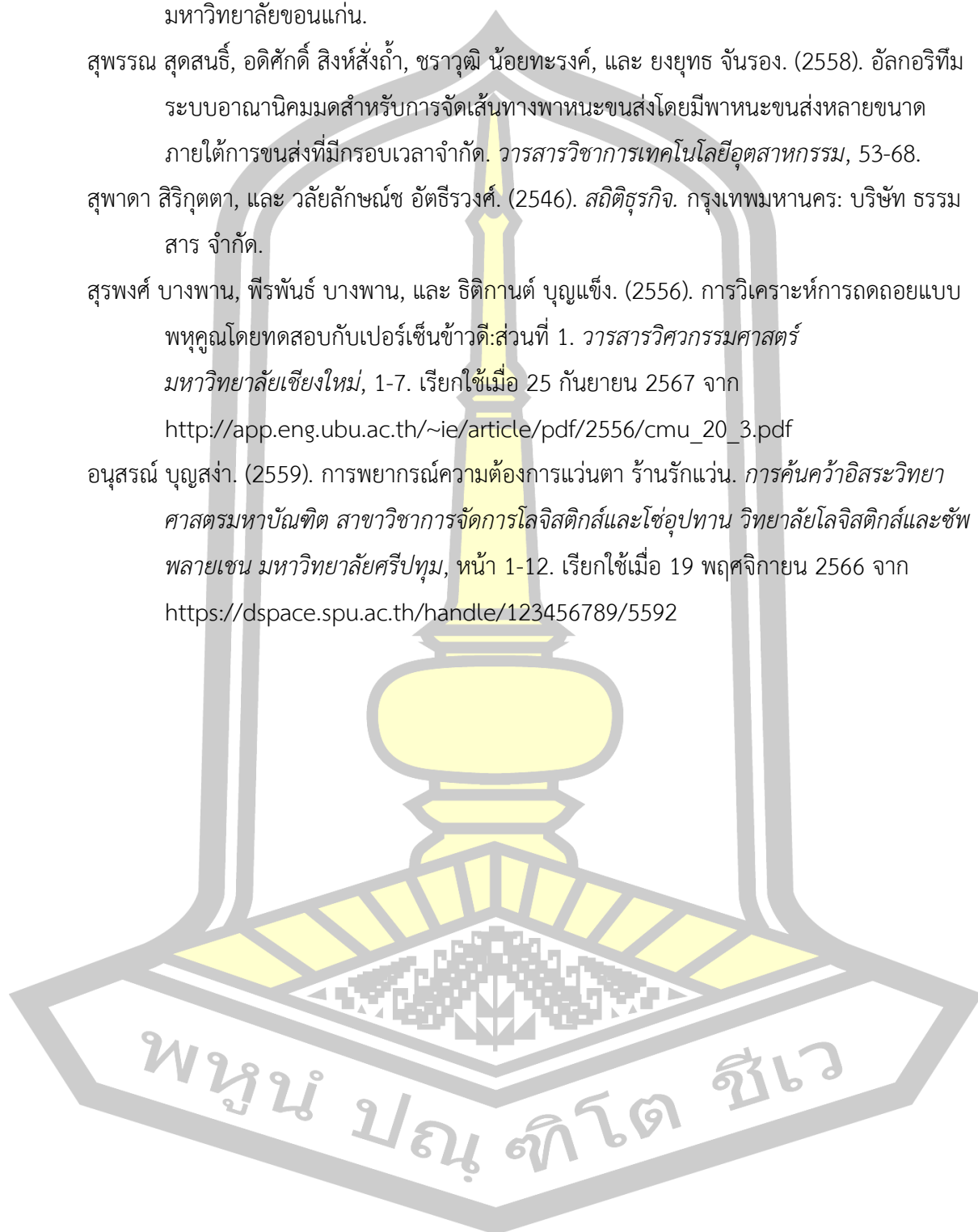
สุรพงศ์ บางพาน, พีรพันธ์ บางพาน, และ ธิดิกานต์ บุญแข็ง. (2556). การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณโดยทดสอบกับเปอร์เซ็นต์ข้าวดี:ส่วนที่ 1. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 1-7. เรียกใช้เมื่อ 25 กันยายน 2567 จาก

http://app.eng.ubu.ac.th/~ie/article/pdf/2556/cmu_20_3.pdf

อนุสรณ์ บุญสง่า. (2559). การพยากรณ์ความต้องการแวนตา ร้านรักแวน. *การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยศรีปทุม*, หน้า 1-12. เรียกใช้เมื่อ 19 พฤศจิกายน 2566 จาก

<https://dspace.spu.ac.th/handle/123456789/5592>



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวจรรยาวรรณ เสสูงเนิน
วันเกิด	วันที่ 15 มีนาคม 2542
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลบุรีรัมย์ อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ รหัสไปรษณีย์ 31000
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	15 หมู่ 1 ตำบลเจ้าท่า อำเภอกมลาไสย จังหวัดกาฬสินธุ์ รหัสไปรษณีย์ 46130
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 มัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนสตรีศึกษา ตำบลเมือง อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ. 2560 มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสตรีศึกษา ตำบลเมือง อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ. 2564 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2567 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนัน ปณุกิตโต ชีวะ