

การปรับค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติในการรีดอะลูมิเนียมด้วย  
การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม  
Automatic Parameter Tuning in Aluminum Extrusion  
Based on Genetic Programming



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)  
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Automatic Parameter Tuning in Aluminum Extrusion Based on Genetic Programming



A SPECIAL PROBLEM SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (COMPUTER SCIENCE)  
DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017



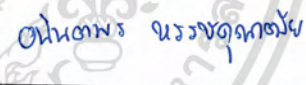
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ      การปรับค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติในการรีดอะลูมิเนียมด้วยการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม  
Automatic Parameter Tuning in Aluminum Extrusion Based on Genetic Programming

ชื่อนักศึกษา      นายกิตตินันท์      มีศิริ      57050183  
นายชรัลธร      รัตนมโนพร      57050203  
นายธณัท      วจิวิสิลิน      57050215

ปริญญา      วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)  
ภาควิชา      วิทยาการคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา      2560  
อาจารย์ที่ปรึกษา      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตพร      หารรรษคุณาฒย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการ  
คอมพิวเตอร์) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สายชล ใจเย็น ประธานกรรมการ	
ดร.อัคเดช อุดมชัยพร กรรมการ	
ผศ.ดร.อนันตพร หารรรษคุณาฒย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือแจกจ่ายเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การปรับค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติในการรีดอะลูมิเนียมด้วยการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม	
	Automatic Parameter Tuning in Aluminum Extrusion Based on Genetic Programming	
ชื่อนักศึกษา	นายกิตตินันท์ มีศิริ	57050183
	นายชรัทธ รัตนมโนพร	57050203
	นายธณัท วจีทวีสิน	57050215
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)	
ภาควิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2560	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตพร หรรษคุณาชัย	

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำหลักการปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในการรีดแผ่นอะลูมิเนียม เพื่อที่จะให้การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักร ในแต่ละครั้งของการรีดได้มาตรฐานตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ทั้งยังทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้หรือบุคคลากรใหม่ทางด้านนี้สามารถที่จะใช้งานเครื่องรีดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการทดลองพบว่าการโปรแกรมเชิงพันธุกรรมมีความสามารถทำนายค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรได้ใกล้เคียงกับค่าจริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนบนชุดข้อมูลทดสอบ 4.22% และ 3.97% ในแม่พิมพ์ทั้ง 2 ชนิด

คำสำคัญ: การปรับพารามิเตอร์ การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม ปัญญาประดิษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Automatic Parameter Tuning in Aluminum Extrusion Based on Genetic Programming		
<b>Students</b>	Mr. Kittinan Meesiri		57050183
	Mr. Charunthron Rattanamanoporn		57050203
	Mr. Thanat Vajeethaveesin		57050215
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Computer Science)		
<b>Department</b>	Computer Science		
<b>Faculty</b>	Science		
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
<b>Academic Year</b>	2017		
<b>Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Anantaporn Hanskunatai		

### Abstract

This research applies artificial intelligence for constructing the model of aluminum extrusion process in order to set the parameter for each of the rolling processes according to the requirements of the industry. The model can help an inexperienced staff to operate the rolling machine efficiently. According to the experimental results, genetic programming can predict the parameter of the processes accurately and Mean Absolute Error rates on the test set are 4.22% and 3.97% based on two types of extrusion die.

**Keywords:** Parameter adjustment, Genetic programming, Artificial Intelligence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จด้วยดีจากการช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้

ผศ.ดร.อนันตพร หรรษคุณาฒย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษที่กรุณาให้คำปรึกษาและตรวจสอบความเรียบร้อยของงานมาโดยตลอด

ผศ.ดร.สายชล ใจเย็น และ ดร.อัคเดช อุดมชัยพร ประธานกรรมการและกรรมการ ที่เสียสละเวลาในการแนะแนวทางพัฒนา ชี้จุดบกพร่องที่ควรแก้ไข

บริษัท เมืองทองอุตสาหกรรมอะลูมิเนียมที่นำข้อมูลมาให้ทำการทดสอบในการจัดทำปัญหาพิเศษและให้คำปรึกษาในเรื่องกระบวนการต่าง ๆ ในการผลิต

และเพื่อนร่วมภาควิชาทุกคนในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำปรึกษามาโดยตลอดมา นอกจากนี้อาจมีบุคคลท่านอื่นที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความกรุณามีส่วนร่วมในการช่วยเหลือในการทำปัญหาพิเศษเล่มนี้

กิตตินันท์ มีศิริ  
ชรัสธร รัตนมโนพร  
ธณัท วจิวิสิณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญรูป .....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	1
1.3 ขอบจำกัดและขอบเขต.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>3</b>
2.1 ความหมายของปัญญาประดิษฐ์ .....	3
2.2 การคำนวณเชิงวิวัฒนาการ.....	5
2.3 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	6
2.4 การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม.....	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b> .....	<b>23</b>
3.1 แหล่งที่มาและรายละเอียดของชุดข้อมูล .....	24
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น.....	26
3.3 การทำความสะอาดข้อมูล .....	28
3.4 การคัดเลือกคุณลักษณะ.....	32
3.5 การออกแบบการทดลอง .....	33
3.6 การวัดประสิทธิภาพของโมเดล.....	34
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย</b> .....	<b>35</b>
4.1 ผลการทดลอง.....	35
4.1.1 ข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลของแม่พิมพ์.....	35
4.1.2 ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอน.....	37
4.1.3 ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนข้อมูลทดสอบของ แม่พิมพ์ DACC และ DACB.....	38
4.1.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการใช้วิธีการถดถอย (Regression).....	40
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	41
4.2.1 ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อค่า Ram Speed ของแม่พิมพ์ DACC .....	41
4.2.2 ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อค่า Ram Speed ของแม่พิมพ์ DACB.....	42

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	43
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
เอกสารอ้างอิง .....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างข้อมูลของการรีดอะลูมิเนียม 1.....	24
3.2 ตัวอย่างข้อมูลของการรีดอะลูมิเนียม 2.....	25
3.3 ความหมายของคุณลักษณะ.....	25
3.4 การนับจำนวนเบอร์แม่พิมพ์ที่เกิดขึ้น.....	27
3.5 ข้อมูลขาดหาย.....	28
3.6 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลขาดหาย.....	29
4.1 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของแม่พิมพ์ DACC.....	35
4.2 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของแม่พิมพ์ DACB.....	35
4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACC.....	37
4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACB.....	38
4.5 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลทดสอบของแม่พิมพ์ DACC.....	39
4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลทดสอบของแม่พิมพ์ DACB.....	39
4.7 การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยบนข้อมูลทดสอบระหว่างการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม และวิธีการถดถอยเชิงเส้นและพหุนาม.....	40
4.8 การทำนายของโดยการถดถอยพหุนามบนข้อมูลทดสอบของแม่พิมพ์ DACB.....	41
4.9 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่า Ram speed ของแม่พิมพ์ DACC.....	41
4.10 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่า Ram speed ของแม่พิมพ์ DACB.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพรวมของปัญญาประดิษฐ์.....	3
2.2 บิตสตริงของโครโมโซมขนาด 16 บิต.....	5
2.3 กระบวนการของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม.....	7
2.4 ตารางแสดงเลขฐานสองของ $15x-2$ .....	8
2.5 ค่าความเหมาะสมของประชากรแต่ละตัว.....	9
2.6 ค่าตัวแปร $x$ และค่าความเหมาะสมของโครโมโซม $x$ .....	9
2.7 การคัดเลือกประชากรด้วยวิธี Roulette wheel selection.....	10
2.8 การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	11
2.9 ผังการทำงานของโปรแกรมเชิงพันธุกรรม.....	14
2.10 โครงสร้างต้นไม้แสดง S-expression $(- (* A B) C)$ .....	16
2.11 ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกสอน.....	16
2.12 ตัวอย่างการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมของ GP (a) ประชากรพ่อและแม่ (b) ลูกที่ได้จากการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม.....	18
2.13 ตัวอย่างการกลายพันธุ์ของ GP (a) ประชากรพ่อและแม่ (b) ลูกที่ได้จากการกลายพันธุ์.....	20
2.14 กราฟแสดงผลลัพธ์ของ การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม.....	21
3.1 แผนผังอธิบายขั้นตอนในการสร้างโมเดล.....	23
3.2 กราฟแสดงข้อมูลขาดหายต่อข้อมูลทั้งหมด.....	29
3.3 กราฟแสดงการกระจายตัวค่า Die Temp.....	30
3.4 กราฟการกระจายของค่า BT Temp.....	31
3.5 โครงสร้างของกระบวนการรีดแผ่นอะลูมิเนียม.....	32
4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบของโมเดล DACC.....	36
4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบของโมเดล DACB.....	36
4.3 ตัวแปรที่มีผลต่อค่า Ram speed ของแม่พิมพ์ DACC.....	42
4.4 ตัวแปรที่มีผลต่อค่า Ram speed ของแม่พิมพ์ DACB.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการรีดแผ่นอะลูมิเนียมต้องใช้แรงงานคนจำนวนมากในการควบคุมเครื่องรีด เช่น การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแม่พิมพ์และเครื่องรีดอะลูมิเนียมทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เป็นจำนวนมากต่อปี ซึ่งปัญหาของการทำงานในปัจจุบันคือ ถ้ามีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจะทำให้คุณภาพของผลผลิตนั้นไม่เป็นไปตามมาตรฐานหรือตามความต้องการของลูกค้าทำให้เกิดชิ้นงานที่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพนั้น นอกจากนี้ในส่วนของอุปกรณ์การผลิต เช่น แม่พิมพ์ ที่เมื่อใช้เวลาไปเป็นระยะเวลาานจะเกิดความสึกกร่อนเนื่องจากการพิมพ์แต่ละครั้งแม่พิมพ์จะได้รับ แรงเสียดสี ความร้อนจากการรีดทำให้แม่พิมพ์นั้นค่อย ๆ สึกกร่อนไปทีละน้อยซึ่งมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ที่ผลิตแล้วได้คุณภาพ ทำให้ชิ้นงานนั้นไม่ได้คุณภาพเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบาย Thailand 4.0 รวมทั้งในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent: AI) มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมากเนื่องจากการพัฒนาแบบก้าวกระโดดของสาขาการเรียนรู้ของเครื่อง ( Machine Learning) ซึ่งเป็นสาขาวิชาหนึ่งของศาสตร์ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ ดังนั้น การนำระบบปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อสามารถควบคุมเครื่องจักรในการรีดอะลูมิเนียมแบบอัตโนมัติจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแผ่นอะลูมิเนียมได้ดีขึ้นและแก้ไขปัญหาแรงงานที่กำลังจะขาดแคลนในอนาคต

### 1.2 วัตถุประสงค์

สร้างโมเดลประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรีดอะลูมิเนียมให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าหรือช่วงน้ำหนักที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ

### 1.3 ขอบจำกัดและขอบเขต

ประยุกต์ใช้หลักการทางด้านปัญญาประดิษฐ์มาทำการสร้างโมเดลคำนวณค่าพารามิเตอร์เพื่อควบคุมเครื่องรีดแผ่นอะลูมิเนียมจำนวน 2 แม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโมเดล
2. จัดเตรียมข้อมูลก่อนเข้าสู่การสร้างโมเดล
3. สร้างโมเดลด้วยหลักการเรียนรู้ของเครื่องจักรและวัดประสิทธิภาพของโมเดล
4. ออกแบบระบบเพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์เพื่อควบคุมเครื่องรีดแผ่นอะลูมิเนียม
5. พัฒนาและทดสอบระบบในการคำนวณค่าพารามิเตอร์เพื่อควบคุมเครื่องรีดแผ่นอะลูมิเนียม
6. ปรับปรุงระบบเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
7. จัดทำรูปเล่มปัญหาพิเศษ

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้โมเดลที่สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์แบบอัตโนมัติในการรีดอะลูมิเนียมให้ได้คุณภาพตามมาตรฐาน

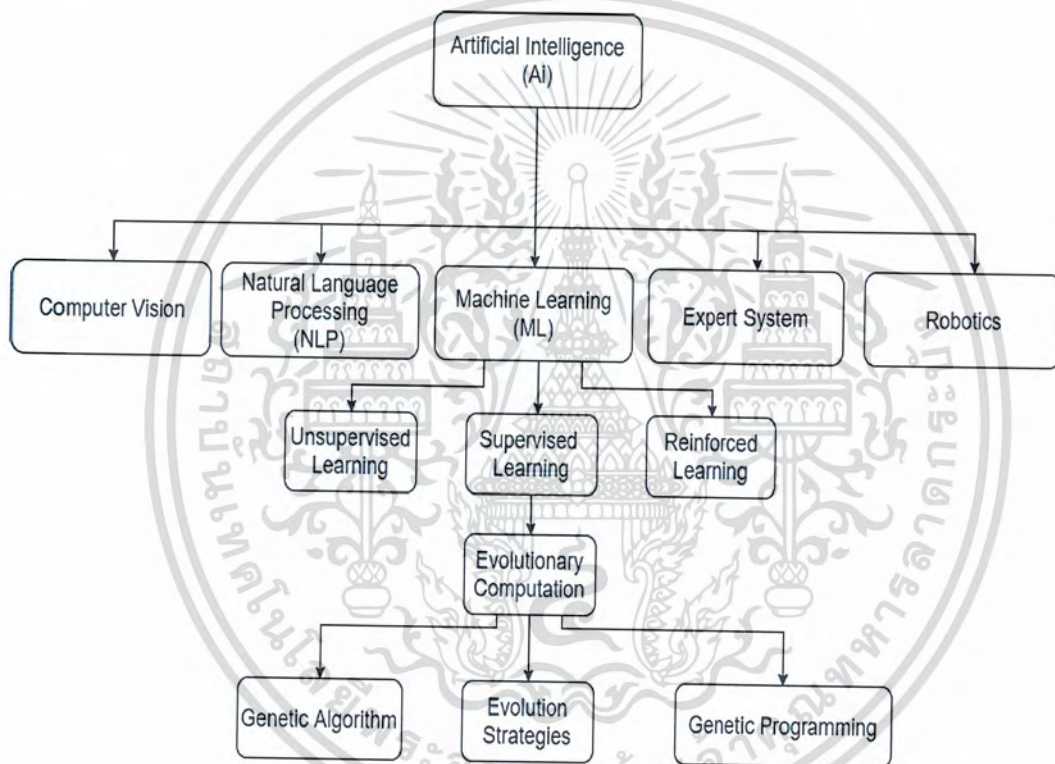


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการนำระบบปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการประมาณค่าพารามิเตอร์เพื่อสามารถควบคุมเครื่องจักรในการรีดอะลูมิเนียม โดยทฤษฎีที่นำมาช่วยในการทดลองครั้งนี้ คือ การคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Computation)



รูปที่ 2.1 ภาพรวมของปัญญาประดิษฐ์

#### 2.1 ความหมายของปัญญาประดิษฐ์

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) คือ ความสามารถในการเรียนรู้ของเครื่องจักรโดยเลียนแบบแนวคิดของมนุษย์ เช่น การตัดสินใจ การเรียนรู้ การแก้ปัญหา และนำความสามารถเหล่านี้ไปแก้ปัญหาให้มนุษย์เพื่อบรรลุเป้าหมายที่ได้ตั้งเอาไว้ ซึ่งนิยามในที่นี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของนิยามทั้งหมด เพราะคำว่าปัญญาประดิษฐ์มีความหมายที่กว้างและสามารถมองได้หลากหลายมุมมองขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญญาประดิษฐ์จะสามารถแบ่งได้เป็น 5 หัวข้อ ตามรูปที่ 2.1

#### 1. คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision)

การที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถนำข้อมูลประเภทรูปภาพ วิดีโอ นำมาตีความประมวลผล เพื่อเรียนรู้รูปแบบ การรู้จำแบบ (pattern recognition) เพื่อจำแนกสิ่งต่าง ไม่ว่าจะเป็นวัตถุออกเป็นประเภทต่างๆ ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ร่วมกับ Robotics เพื่อทำหน้าที่เป็นระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ อย่างเช่น หุ่นยนต์ DRC-HUBO

#### 2. ระบบประมวลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing System)

การประมวลผลภาษาธรรมชาติเป็นระบบที่จะช่วยทำให้คอมพิวเตอร์เข้าใจภาษาของมนุษย์ โดยคอมพิวเตอร์จะแปลงภาษาในชีวิตประจำวันเป็นรูปแบบความรู้ที่คอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้งานได้ อย่างเช่น โปรแกรมผู้ช่วยส่วนตัว Siri

#### 3. การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

การทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้จากระบบ โดยที่มนุษย์ไม่จำเป็นต้องโปรแกรมเข้าไปอย่างชัดเจน ให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้เอง สิ่งที่ต้องทำคือตั้งค่ากฎการเรียนรู้ โดยใช้คณิตศาสตร์มา กำหนดกฎ จากนั้นใส่ชุดข้อมูลฝึกสอน เข้าไปในระบบและให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ด้วยตัวเอง อย่างเช่น Auto Facebook photo tagging, Email Spamming

#### 4. ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems)

เป็นระบบปัญญาประดิษฐ์โดยการนำองค์ความรู้ (knowledge) ในเฉพาะสาขาหรือเฉพาะด้านมาสร้างเป็นระบบ ให้อยู่ในรูปของฐานความรู้ (knowledge base) และกลไกในการตั้งคำถาม และหาคำตอบ ทำให้ผู้ใช้ได้รับความสะดวกในการถามและตอบสิ่งที่ถามเสมือนหนึ่งคุยกับผู้เชี่ยวชาญจริง ๆ อย่างเช่น ระบบผู้เชี่ยวชาญที่โรงพยาบาลในการสอบถามโรคเบื้องต้น

#### 5. หุ่นยนต์ (Robotic)

หุ่นยนต์ คือ ปัญญาประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ เพื่อนำไปออกแบบหรือประยุกต์ใช้งาน หุ่นยนต์ในด้านต่างๆ อย่างเช่น ลูนาร์โรเวอร์ เป็นหุ่นยนต์ที่มาในรูปแบบของรถยนต์พลังงาน แบตเตอรี่ถูกส่งขึ้นไปพร้อมกับมนุษย์เพื่อไปวิ่งอยู่บนดวงจันทร์ในการเก็บรายละเอียดต่างๆ และส่งกลับมายังโลกมนุษย์

การเรียนรู้ของเครื่องสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

#### 1. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning)

การเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์โดยที่ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ไม่จำเป็นต้องระบุผลลัพธ์หรือตัวแปรตาม เพื่อให้คอมพิวเตอร์แบ่งประเภทของข้อมูลออกเป็น ส่วน ๆ ตามที่กำหนดโดยดูจากความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ อย่างเช่น การจัดกลุ่ม (Clustering) โดยการนำมาติดตั้งเสาสัญญาณโทรศัพท์เพื่อให้สัญญาณมีความแรงครอบคลุมพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเรียนรู้แบบเสริมแรง (Reinforcement Learning)  
 การเรียนรู้แบบนี้ซึ่งถ้าคอมพิวเตอร์ทำได้ถูกต้องตามกฎจะได้รับรางวัล ถ้าผิดจะถูกทำโทษ  
 รอบแรก ๆ คอมพิวเตอร์จะทำการสุ่มคำตอบอยู่ ตัวอย่างเช่น Alpha Go

3. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning)  
 การเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์โดยที่ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้จำเป็นต้องระบุผลลัพธ์หรือตัวแปร  
 ตาม เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถทำนายผลลัพธ์ของข้อมูลที่ยังไม่เคยเกิดขึ้น อย่างเช่น การทำนายโรค  
 ในผู้ป่วยเพื่อช่วยแพทย์ในการวินิจฉัยโรค

## 2.2 การคำนวณเชิงวิวัฒนาการ

การคำนวณเชิงวิวัฒนาการจะเป็นการเรียนรู้ที่อาศัยหลักการจำลองการวิวัฒนาการจาก  
 ธรรมชาติมาเป็นหัวใจในการเรียนรู้ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm:  
 GA), กลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ (Evolution strategies: ES), การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม (Genetic  
 programming: GP)

การวิเคราะห์พฤติกรรมของประชากรที่มีความสามารถในการเอาตัวรอดจากสภาพแวดล้อม  
 ที่ไม่รู้จักได้หรือผ่านการคัดเลือกโดยธรรมชาติประชากรกลุ่มนี้จะเรียกได้ว่าประชากรที่มีประสิทธิภาพ  
 และการวิวัฒนาการคือการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปอย่างช้าๆจากทัศนคติของมนุษย์แต่แบบจำลองเชิง  
 วิวัฒนาการบนคอมพิวเตอร์นั้นไม่เป็นเช่นนั้นจะวิวัฒนาการอย่างรวดเร็วผ่านกระบวนการต่างๆเช่น  
 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) การกลายพันธุ์ (Mutation)

ค่าความเหมาะสม (fitness) หรือปริมาณที่สามารถวัดค่าได้ของความสามารถในการทำนายน  
 การเปลี่ยนแปลงของประชากรและการตอบสนอง เป็นตัวที่บ่งบอกถึงประชากรในธรรมชาติว่า  
 เหมาะสมมากแค่ไหน

ประมาณในปี ค.ศ.1970 John Holland คือ หนึ่งในผู้ค้นพบ การคำนวณเชิงวิวัฒนาการ  
 เสนอแนวคิดพื้นฐานของ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Holland, 1975) ทำให้เล็งเห็นว่าสามารถสร้าง  
 คอมพิวเตอร์ให้สามารถเลียนแบบสิ่งที่ธรรมชาติสามารถทำได้ ด้วยอัลกอริทึมที่จัดการกับสายอักขระ  
 ที่ประกอบด้วยเลขฐานสองอัลกอริทึมที่เปรียบเทียบรูปแบบการวิวัฒนาการของธรรมชาติ ที่สามารถ  
 นำเสนอด้วย ลำดับการของการขยับบิตหนึ่งของโครโมโซมของปัญญาประดิษฐ์ในประชากรใหม่ ด้วย  
 การใช้ การคัดเลือกโดยธรรมชาติและ เทคนิคการกระตุ้นทางพันธุกรรม คือ การข้ามสายพันธุ์ และ  
 การกลายพันธุ์โดยแต่ละโครโมโซมประกอบเลขของยีนและแต่ละยีนจะมีเลข 0 และ 1 เท่านั้น ดังรูป  
 ที่ 2.2

1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูปที่ 2.2 บิตสตริงของโครโมโซมขนาด 16 บิต

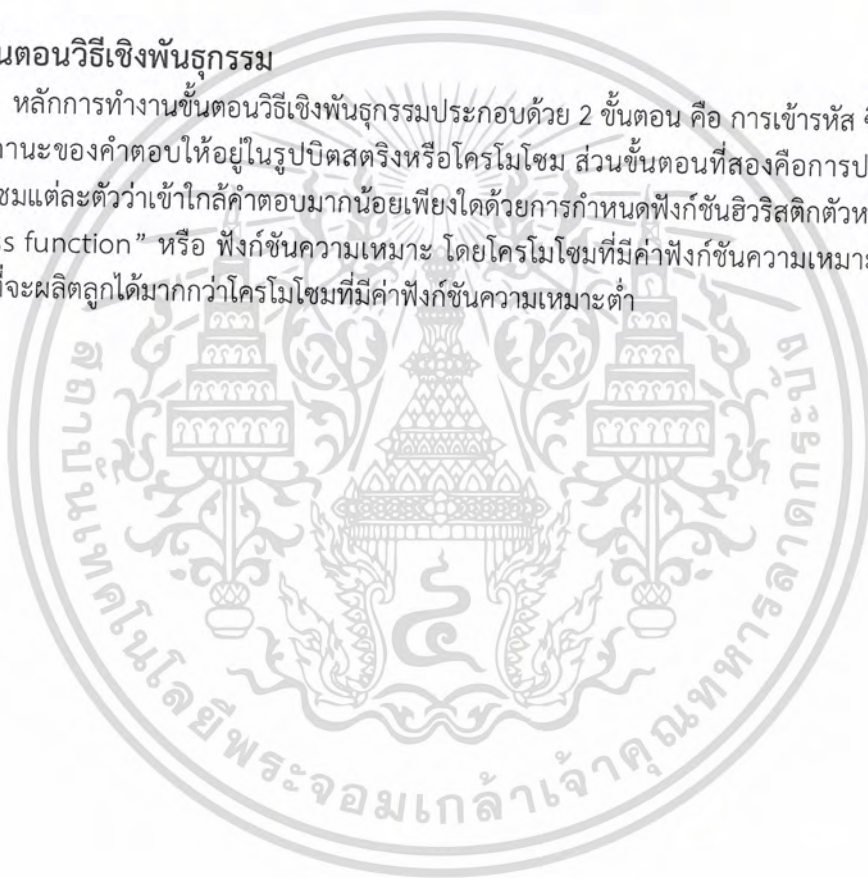
ธรรมชาติมีความสามารถในการปรับและเรียนรู้โดยปราศจากการบอกว่าจะทำอะไร ในทาง  
 ตรงกันข้ามธรรมชาติจะหาโครโมโซมที่ดีจากการสุ่มเช่นกัน กลไกการเชื่อมขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม  
 กับปัญหาทำได้โดยการเข้ารหัสและการประเมินผล  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้ารหัสจะแสดงผ่านสายโครโมโซมที่เป็นสายอักขระที่ประกอบด้วยเลข 1 0 แม้ว่าจะมีหลายวิธีที่ถูกคิดค้นขึ้นมาสำหรับการเข้ารหัส แต่ก็ไม่มีวิธีไหนที่ดีที่สุดสำหรับทุกปัญหาที่เกิดขึ้นแต่การใช้บิตสตริงนั้นเป็นเทคนิคที่นิยมมากที่สุด

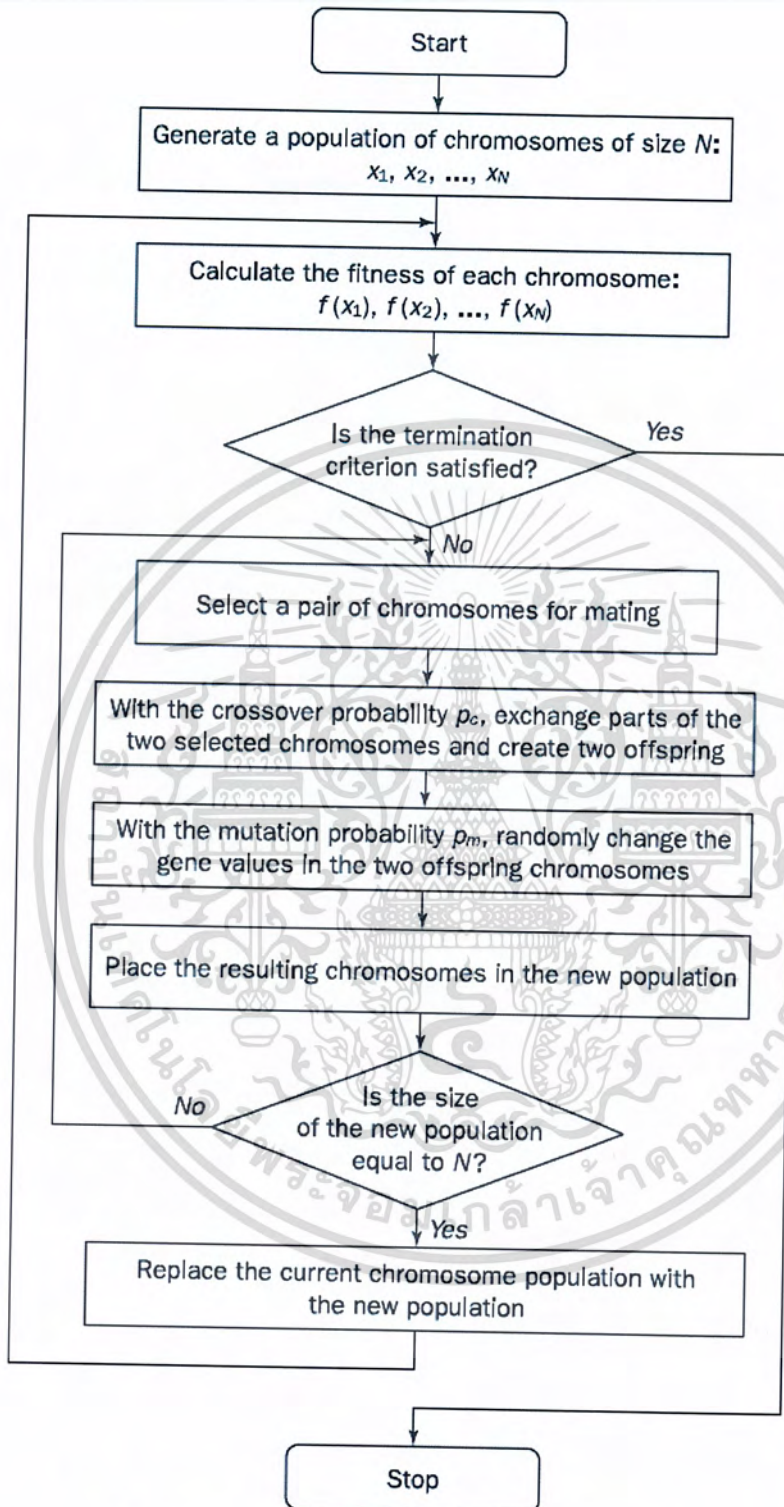
ฟังก์ชันการประเมินผล (Evaluation function) ใช้วัดประสิทธิภาพของโครโมโซม ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะใช้ค่าความเหมาะสมที่ได้ในแต่ละโครโมโซมเป็นเกณฑ์ในการผลิตลูก เมื่อมีการผลิตลูก ตัวดำเนินการการข้ามสายพันธุ์จะแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซมในและตัวดำเนินการการกลายพันธุ์จะทำการเปลี่ยนแปลงค่า บิตสตริง แบบสุ่มซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในสายโครโมโซม ผลลัพธ์ที่ได้โครโมโซมที่ค่าความเหมาะสมน้อยจะถูกกำจัดทิ้งในขณะที่โครโมโซมที่ดีที่สุดจะคงอยู่และจะกลายเป็นประชากรหลัก

### 2.3 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

หลักการทำงานขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเข้ารหัส ซึ่งเป็นการแทนสถานะของคำตอบให้อยู่ในรูปบิตสตริงหรือโครโมโซม ส่วนขั้นตอนที่สองคือการประเมินค่าโครโมโซมแต่ละตัวว่าเข้าใกล้คำตอบมากน้อยเพียงใดด้วยการกำหนดฟังก์ชันฮิวริสติกตัวหนึ่งทีชื่อว่า “fitness function” หรือ ฟังก์ชันความเหมาะสม โดยโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมสูงก็จะมีโอกาสที่จะผลิตลูกได้มากกว่าโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กระบวนการของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทำงานของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมมีขั้นตอนดังนี้
- ขั้นตอนที่ 1 แทนค่าตอบของปัญหาด้วยโครโมโซมที่มีจำนวนยีนที่คงที่ กำหนดจำนวนประชากรทั้งหมด  $N$ , ความน่าจะเป็นการไขว้เปลี่ยนพันธุกรรม (Crossover rate) แทนด้วย  $pc$  และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (mutation rate) แทนด้วย  $pm$
  - ขั้นตอนที่ 2 กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม (fitness function)
  - ขั้นตอนที่ 3 สร้างประชากรในรุ่นแรกอย่างสุ่มให้มีจำนวนเท่ากับ  $X$  ซึ่งจะได้  $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$
  - ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม  $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$
  - ขั้นตอนที่ 5 เลือกคู่ของโครโมโซมที่จะมาผสมพันธุ์กันเพื่อผลิตลูก โดยโครโมโซมพ่อแม่จะต้องถูกสุ่มขึ้นมาด้วยความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
  - ขั้นตอนที่ 6 สร้างโครโมโซมของลูกจากโครโมโซมพ่อแม่และแม่โดยการใช้ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรมซึ่งมี 2 แบบ คือ การไขว้เปลี่ยน (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation)
  - ขั้นตอนที่ 7 นำโครโมโซมลูกที่ผลิตได้ไปใส่ในเซตประชากรรุ่นใหม่
  - ขั้นตอนที่ 8 กลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 5 เมื่อผลิตโครโมโซมลูกตัวใหม่จนกระทั่งได้จำนวนประชากรรุ่นใหม่เท่ากับค่า  $N$
  - ขั้นตอนที่ 9 แทนประชากรรุ่นเก่าด้วยประชากรรุ่นใหม่ซึ่งเป็นโครโมโซมลูกที่ผลิตได้ทั้งหมด
  - ขั้นตอนที่ 10 กลับไปทำในขั้นตอนการที่ 4 และทำซ้ำจนกระทั่งเงื่อนไขการวนซ้ำเป็นจริง

ตัวอย่างที่ 1 หาค่า  $x$  ที่ทำให้ฟังก์ชัน  $15x - x^2$  มีค่ามากที่สุด โดยที่  $x$  มีค่าระหว่าง 0 ถึง 15

สมมติให้  $x$  มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มเพื่อให้ง่ายต่อการเข้ารหัสเป็นสตริง และกำหนดความยาวของบิตสตริงให้มีค่าเท่ากับ 4 โดยทำการแปลงค่า  $x$  ให้เป็นเลขฐานสองเมื่อแปลงแล้วบิตสตริงที่แตกต่าง 16 ตัวซึ่งมีค่าเลขฐานสิบ

Integer	Binary code	Integer	Binary code	Integer	Binary code
1	0 0 0 1	6	0 1 1 0	11	1 0 1 1
2	0 0 1 0	7	0 1 1 1	12	1 1 0 0
3	0 0 1 1	8	1 0 0 0	13	1 1 0 1
4	0 1 0 0	9	1 0 0 1	14	1 1 1 0
5	0 1 0 1	10	1 0 1 0	15	1 1 1 1

รูปที่ 2.4 ตารางแสดงเลขฐานสองของ  $15x - x^2$

ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ดังนี้

- ขนาดของจำนวนประชากร  $N = 6$
- ความน่าจะเป็นในการเกิด การข้ามสายพันธุ์เท่ากับ 0.7
- ความน่าจะเป็นในการเกิด การกลายพันธุ์เท่ากับ 0.001
- กำหนดให้ฟังก์ชันความเหมาะสมมีค่า  $F(x) = 15x - x^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

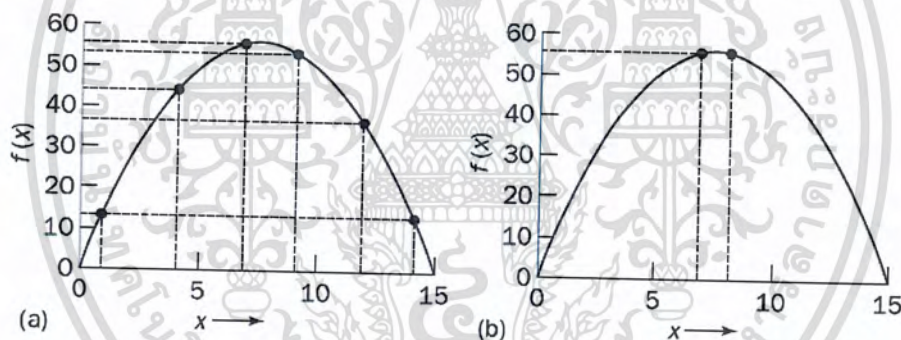
Chromosome label	Chromosome string	Decoded integer	Chromosome fitness	Fitness ratio, %
X1	1 1 0 0	12	36	16.5
X2	0 1 0 0	4	44	20.2
X3	0 0 0 1	1	14	6.4
X4	1 1 1 0	14	14	6.4
X5	0 1 1 1	7	56	25.7
X6	1 0 0 1	9	54	24.8

รูปที่ 2.5 ค่าความเหมาะสมของประชากรแต่ละตัว

หลังจากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของประชากรแต่ละตัว และการหาค่าสัดส่วนค่าความเหมาะสม (fitness ratio) สูตรในสมการที่ 2.1 ซึ่งผลที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 2.5

$$\text{fitness ratio}(x) = \frac{f(x_i)}{\sum f(x_i)} \quad (2.1)$$

โดยที่  $f(x_i)$  คือค่า fitness ของประชากร  $x_i$



รูปที่ 2.6 ค่าตัวแปร  $x$  และค่าความเหมาะสมของโครโมโซม  $x$

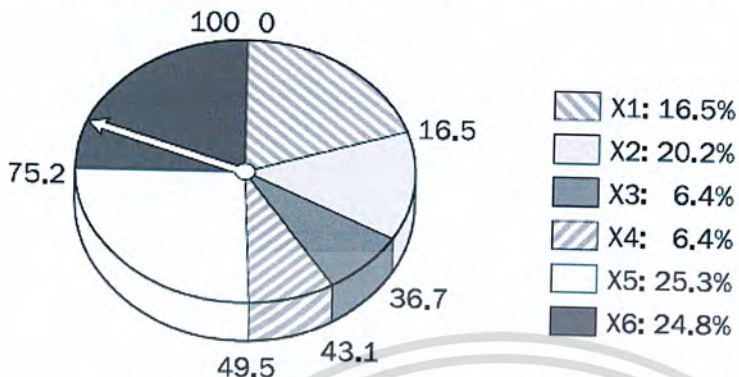
(a) ประชากรในรอบแรกของการทำงาน (b) ประชากรในรอบสุดท้ายของการทำงาน

รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งพล็อตจุดระหว่างค่า  $x$  (ที่แทนที่แต่ละโครโมโซม) และค่าฟังก์ชันความเหมาะสมรูป (a) แสดงตำแหน่งของโครโมโซม 6 ตัวที่ถูกสุ่มในรอบแรก ส่วนรูป (b) แสดงโครโมโซมได้ในรอบสุดท้ายของกระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม พบว่าเมื่อผ่านไปหลายรุ่นหน้าตาของโครโมโซมที่ได้จะลู่เข้าหาค่า 7 และ 8

รูปที่ 2.5 แสดงถึงสัดส่วนค่าความเหมาะสมของโครโมโซมในแต่ละตัวและค่าความเหมาะสมของประชากรทั้งหมด ค่าสัดส่วนบ่งบอกถึงโอกาสของโครโมโซมที่ถูกเลือก ดังนั้นโครโมโซม  $x_5$  และ  $x_6$  มีโอกาสที่จะถูกเลือกใกล้เคียงกันในขณะที่โครโมโซม  $x_3$  และ  $x_4$  มีโอกาสถูกเลือกน้อยมากผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสมของโครโมโซมจะเพิ่มขึ้นจากรุ่นสู่รุ่น

เมื่อทำการสร้างโครโมโซมแบบสุ่มและคำนวณค่าฟังก์ชันความเหมาะสมและค่าสัดส่วนค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมเพื่อจะทำการผสมพันธุ์ ซึ่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปใช้เทคนิคที่เรียกว่า “roulette wheel selection” จากรูปที่ 2.7 พบว่าโครโมโซมที่มีค่าสัดส่วนค่าความเหมาะสม สูงมีโอกาสที่จะถูกสุ่มสูงกว่าโครโมโซมที่มีค่า สัดส่วนค่าความเหมาะสมต่ำ



รูปที่ 2.7 การคัดเลือกประชากรด้วยวิธี Roulette wheel selection

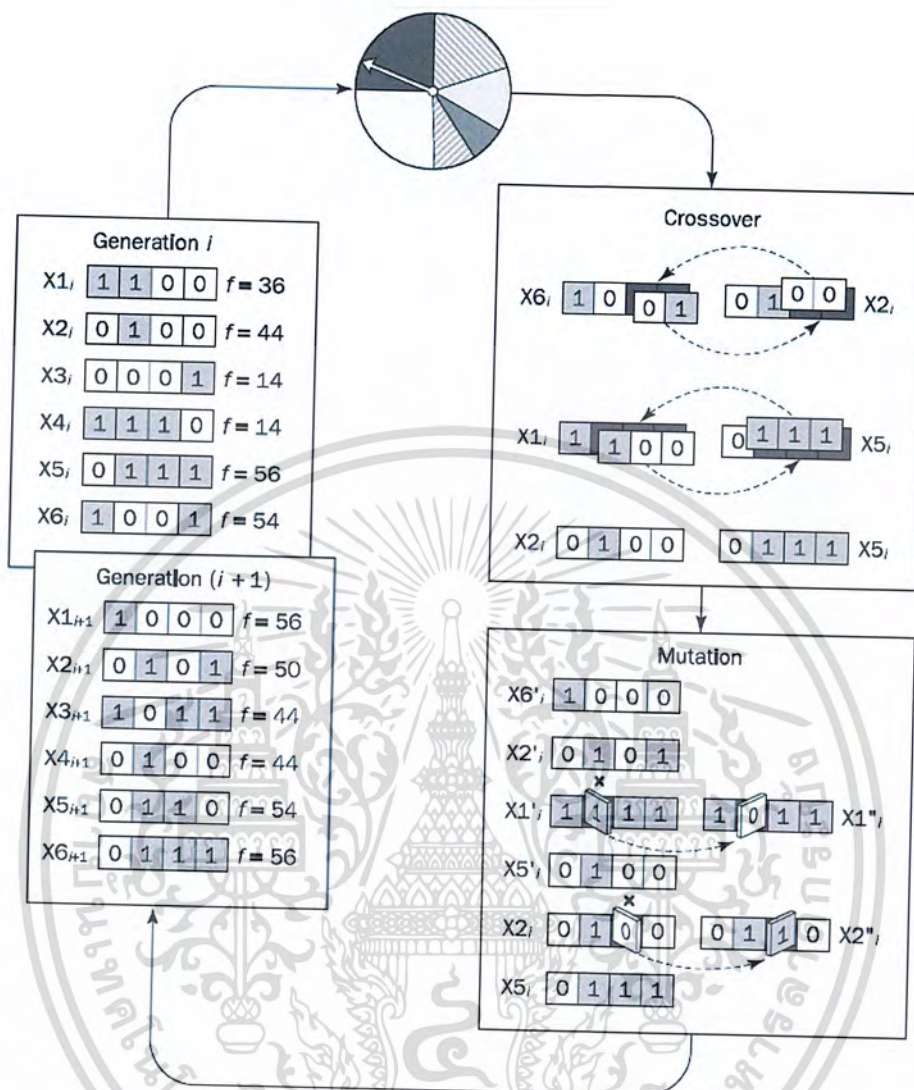
### การไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม (Crossover)

กระบวนการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมจะทำการสุ่มจุดที่จะทำการไขว้เปลี่ยนยีนโดยนำโครโมโซมพ่อและแม่มาผสมกันและทำการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมในจุดนั้น ผลที่ได้คือ ได้โครโมโซมลูกออกมาสองสาย ถ้าคู่ของโครโมโซมไม่มีการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม โครโมโซมดังกล่าวจะถูกเรียกว่าการโคลนนิ่งและลูกที่ออกมาหน้าตาจะเหมือนพ่อและแม่

### การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ยากในธรรมชาติแต่เมื่อเกิดขึ้นจะ เป็นการเปลี่ยนแปลงในระดับยีนเท่านั้นดังนั้นกระบวนการดังกล่าวอาจนำไปสู่ขั้นตอนที่สำคัญคือการเพิ่มประสิทธิภาพของค่าความเหมาะสมแต่ผลลัพธ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นด้านลบ การทำงานของการกลายพันธุ์เป็นการทำงานในส่วนของเบื้องหลังของตัวดำเนินการหมายความว่าจะทำหน้าที่ในการยืนยันว่าในการค้นหาในแต่ละครั้งจะไม่วนหาค่าที่เป็นค่าที่ดีที่สุด ณ จุดจุดนั้น (local optimum)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

จากรูปที่ 2.8 จะทำการสุ่มโครโมโซมพ่อแม่จาก roulette wheel selection จำนวน 6 โครโมโซม และเข้าสู่ขั้นตอนการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมโดยโครโมโซม x6 ไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมกับ x2 และ x1 ไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมกับ x5 และลูกจะออกมาในรูปแบบของ x6', x2', x5' และ x1' ส่วน x2 และ x5 จะมีโครโมโซมเป็นรูปแบบเดิมเนื่องจากไม่มีการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการกลายพันธุ์โดย โครโมโซม x1' และ x2 จะทำการสับเปลี่ยนค่าโครโมโซมจาก 1 เป็น 0 จาก 0 เป็น 1 ตามลำดับ และได้เป็นโครโมโซม x1'' และ x2'' เมื่อผ่านขั้นตอนการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมกับการกลายพันธุ์แล้ว จะทำการหาค่าความเหมาะสมในประชากรแต่ละตัว

การกลายพันธุ์จะทำการปรับค่าของยีนที่ถูกสุ่มขึ้นมาในโครโมโซม ยกตัวอย่าง โครโมโซม x1 ยีนจะถูกเปลี่ยนเป็นยีนแบบที่สองและโครโมโซม x2 ยีนจะถูกเปลี่ยนเป็นยีนแบบที่สองเช่นกัน การกลายพันธุ์สามารถเกิดได้กับทุกโครโมโซม ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์มีค่าน้อยมากโดยปกติจะมีค่าระหว่าง 0.001 และ 0.01

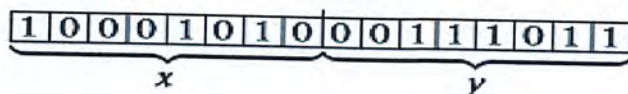
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2 หาค่า  $x$  และ  $y$  ที่ทำให้ฟังก์ชัน  $f(x,y)$  มีค่ามากที่สุด

$$\text{กำหนดให้ } f(x,y) = (1-x)^2 e^{-x^2-(y+1)^2} - (x-x^3-y^3)e^{-x^2-y^2}$$

โดยค่า  $x$  และ  $y$  มีค่าระหว่าง  $-3$  และ  $3$

ในขั้นแรกจะแทนโครโมโซมด้วยการนำ binary string ของตัวแปร  $x$  และ  $y$  มาต่อกัน



ในแต่ละตัวแปรจะแสดงเป็นเลขฐานสองจำนวน 8 บิต จากนั้นเลือกขนาดของประชากรโครโมโซม และทำการสุ่มประชากรเริ่มต้น

ขั้นต่อมาทำการคำนวณค่าความเหมาะสมในแต่ละโครโมโซมโดยจะแบ่งออกเป็น สองขั้นตอนย่อยๆ ขั้นตอนแรกโครโมโซมที่ถูกถอดรหัสจะถูกแบ่งออกเป็นจำนวนจริงสองค่า คือ  $x, y$  ซึ่งมีค่าระหว่าง  $-3$  และ  $3$  จากนั้นนำค่าที่ถอดรหัสแล้วจะแทนในฟังก์ชัน

โครโมโซมจะประกอบด้วยค่าของตัวแปรสองตัวคือ  $x$  และ  $y$  ทำการแยกเป็นสองส่วนคือ บิตสตริงที่มีความยาว 8 บิตแรก และ 8 บิตหลังของโครโมโซม เมื่อได้แต่ละส่วนแล้วทำการแปลงให้อยู่ในเลขฐานสิบ

$$\boxed{10001010} \text{ and } \boxed{00111011}$$

วิธีการคำนวณแปลงเลขฐาน 2 เป็น ฐาน 10 คือ

$$(10001010)_2 = 1*2^7 + 0*2^6 + 0*2^5 + 0*2^4 + 1*2^3 + 0*2^2 + 1*2^1 + 0*2^0 = (138)_{10}$$

$$(00111011)_2 = 0*2^7 + 0*2^6 + 1*2^5 + 1*2^4 + 1*2^3 + 0*2^2 + 1*2^1 + 1*2^0 = (59)_{10}$$

เนื่องจากค่าของตัวแปร  $x$  และ  $y$  จากที่โจทย์กำหนดให้เป็นตัวแปรชนิดเลขจำนวนจริง แต่จากด้านบน ค่าที่ได้จะมีค่าระหว่าง  $1$  ถึง  $2^8-1$  ดังนั้นต้องมีการแปลงค่าจำนวนเต็มที่ได้ให้อยู่ในรูปจำนวนจริงในช่วง  $-3$  ถึง  $3$  โดยใช้หลักการแปลงข้อมูล (normalization) แบบ min-max normalization ตามสมการที่ 2.2

$$v' = v - \min(\max_{\text{new}} - \min_{\text{new}}) + \min_{\text{new}} / (\max - \min) \quad (2.2)$$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการที่ 2.2

$$v' = [(v - 0) (3 - (-3)) / (256 - 1) - 0] - 3$$

$$= ((v * 6) / 255) - 3 = v * (0.0235294) - 3$$

ดังนั้น  $x$  และ  $y$  จะแปลง min-max normalization ตามด้านล่าง

$$x = (138)_{10} * 0.0235294 - 3 = 0.2470588$$

$$y = (59)_{10} * 0.0235294 - 3 = -1.6117647$$

เมื่อทำการแปลงโครโมโซมให้อยู่ในรูปของเลขจำนวนจริงได้แล้วขั้นตอนต่อไปคือการแทนค่าตัวแปรลงในฟังก์ชันข้างล่าง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การที่จะจะออกหรือขายที่นั่นไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$f(x,y) = (1-x)^2 e^{-x^2-(y+1)^2} - (x-x^3-y^3)e^{-x^2-y^2}$$

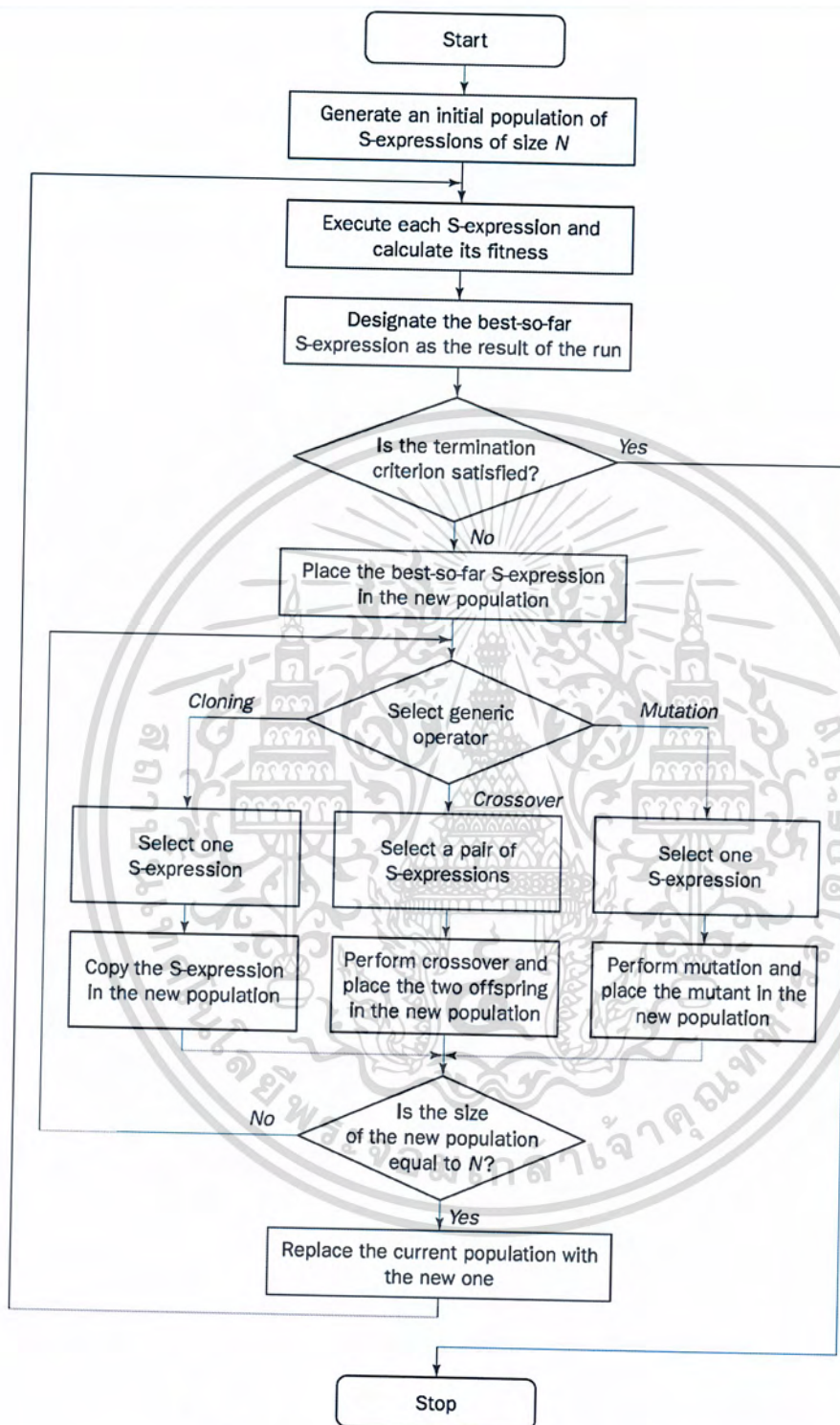
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม

การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม (Genetic programming) เป็นวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้หลักการทางวิวัฒนาการของโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยวิธีการเลือกสรรโดยธรรมชาติ จริงๆแล้วการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม เป็นส่วนขยายของ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม แต่จุดประสงค์ของการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม ไม่ได้ใช้แค่วิธีการวิวัฒนาการ ที่สามารถแก้ปัญหาโดยใช้รูปแบบบิตสตริงเท่านั้นแต่จะต้องแก้ไขปัญหาด้วยรูปแบบการสร้างโค้ดโปรแกรม กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้เป็นตัวแก้ปัญหา ขณะที่ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสร้างบิตสตริงของเลขฐานสอง หรือ โครโมโซมเป็นตัวแก้ปัญหา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ผังการทำงานของโปรแกรมเชิงพันธุกรรม [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม มีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้  
 ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าจำนวนรุ่นสูงสุดเพื่อใช้ในการรันและกำหนดค่าความน่าจะเป็นสำหรับการโคลนนิ่ง การไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมและการกลายพันธุ์โดยผลรวมของค่าความน่าจะเป็นของการโคลนนิ่ง การไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม การกลายพันธุ์มีค่าเท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มประชากรเริ่มต้นขนาด N ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการสร้างต้นไม้ด้วยการสุ่มสมาชิกของเซตของ Primitive function และเซตของ terminal

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าความเหมาะสมของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่าความน่าจะเป็น เลือกตัวดำเนินการทางพันธุกรรมเพื่อที่จะดำเนินการกับ การโคลนนิ่ง การข้ามสายพันธุ์ หรือการกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 5 ถ้าเลือกตัวดำเนินการการโคลนนิ่ง เลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 1 ตัวจากประชากรปัจจุบันของโปรแกรมนั้นและทำการคัดลอกไปสู่ประชากรใหม่

- ถ้าเลือกตัวดำเนินการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม เลือกคู่ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากประชากรปัจจุบัน สร้างคู่ของโปรแกรมลูกและใส่ค่าลงไปในประชากรใหม่

- ถ้าเลือกตัวดำเนินการกลายพันธุ์ เลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 1 ตัวจากประชากรปัจจุบัน และเข้ากระบวนการการกลายพันธุ์และแทนตัวที่กลายพันธุ์ไปในประชากรใหม่

- โปรแกรมทั้งหมดจะถูกเลือกจากค่าความน่าจะเป็นขึ้นอยู่กับค่าความเหมาะสมของแต่ละตัว

ขั้นตอนที่ 6 ทำซ้ำที่ขั้นตอนที่ 4 จนกระทั่งขนาดของประชากรใหม่ของโปรแกรมจะมีค่าเท่ากับขนาดของประชากรเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 7 แทนที่ประชากร (รุ่นพ่อแม่) ปัจจุบัน ด้วยประชากรใหม่ (รุ่นลูก)

ขั้นตอนที่ 8 ไปทำขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งถึง เกณฑ์ที่ตั้งไว้

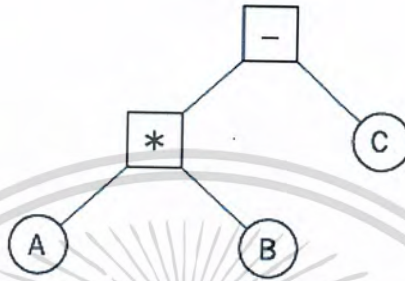
การโปรแกรมเชิงพันธุกรรมทำงานโดยอาศัยตัวดำเนินการทางพันธุกรรม ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมควรจะเหมาะกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมข้อมูลและสร้างข้อมูลเพื่อที่จะรันโปรแกรมได้ ด้วยเหตุผลนี้ภาษา LISP ได้ถูกเลือกมาเป็นภาษาหลักที่ใช้ในการทำงานของกระบวนการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม

### ความหมายของ LISP

LISP หรือ List Processor คือหนึ่งในภาษาการเขียนโปรแกรมขั้นสูงที่ถูกเขียนขึ้นโดย John McCarthy ในปลายปี 1950 และกลายมาเป็นภาษาหลักสำหรับการเขียนโปรแกรมในด้านปัญญาประดิษฐ์

LISP มีโครงสร้างเชิงสัญลักษณ์ขั้นสูง มันเป็นโครงสร้างทางข้อมูลที่ประกอบด้วย atoms และ lists โดย atom เป็นส่วนประกอบที่เล็กที่สุดประกอบด้วย ตัวเลข ตัวอักษร สายอักขระ ส่วนไม่วากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีไฮเดดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

list คือ object ที่ประกอบด้วยอะตอมหรือ list อื่นๆ โดยเขียนลำดับของสมาชิกภายใต้วงเล็บ (-(\*A B) C) จากตัวอย่างของ list (-(\*A B) C) ตัวดำเนินการประกอบด้วยอาร์กิวเมนต์ 2 ตัวคือ list และ atom โดยที่ list ตัวแรกจะทำการคูณกันระหว่างอะตอม A และ B หลังจากทำการคูณ LISP จะทำการลบผลคูณของอะตอม A กับ B ด้วยอะตอม C ซึ่งจากการทำงานของ list นี้สามารถเขียนอยู่ในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างต้นไม้แสดง S-expression (- (\* A B) C)

ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาที่มีดังนี้

1. กำหนดขอบเขตเขตของ terminals
2. กำหนดขอบเขตเขตของ primitive functions
3. กำหนด ฟังก์ชันความเหมาะสม
4. กำหนดพารามิเตอร์สำหรับใช้ในการทำงาน
5. เลือกวิธีการสำหรับการออกแบบผลลัพธ์ของการทำงาน

ตัวอย่างที่ 3 หาสมการที่สอดคล้องกับค่า c จากข้อมูลฝึกสอนในรูปที่ 2.11

Side a	Side b	Hypotenuse c	Side a	Side b	Hypotenuse c
3	5	5.830952	12	10	15.620499
8	14	16.124515	21	6	21.840330
18	2	18.110770	7	4	8.062258
32	11	33.837849	16	24	28.844410
4	3	5.000000	2	9	9.219545

รูปที่ 2.11 ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกสอน

ข้อมูลในรูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยตัวแปร a b และ Hypotenuse c ซึ่งตัวแปร c คือด้านที่สั้นที่สุดของสามเหลี่ยมมุมฉาก ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 โดยตัวอย่างในรูปที่ 2.11 เป็นตัวอย่างที่ถูกเลือกอย่างสุ่มในช่วงของค่าตัวแปร a และ b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ  $c = \sqrt{a^2 + b^2}$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด (2.3) การคำนวณค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของตัวอย่างนี้ มีดังนี้  
 ขั้นตอนที่ 1 กำหนดขอบเขตของเซต Terminals  
 ขอบเขตของตัวแปรที่เป็นไปได้ เช่น a b

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขอบเขตของเซต Primitive functions

Primitive Function สามารถแสดงโดยรูปแบบพื้นฐานของตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ รูปแบบพื้นฐานของตัวดำเนินการทางคอมพิวเตอร์ รูปแบบพื้นฐานของตัวดำเนินการทางพีชคณิต ตัวดำเนินการทางตรรกศาสตร์หรือตัวดำเนินการเฉพาะขอบเขตของปัญหาโดยในตัวอย่างนี้จะใช้เพียงตัวดำเนินการ +, -, \*, / และฟังก์ชัน sqrt

สมาชิกของเซตTerminals และ Primitive functions จะถูกสุ่มเพื่อนำมาประกอบรวมกันสร้างเป็นโครงสร้างต้นไม้ในการทำงานของโปรแกรมเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม

ฟังก์ชันความเหมาะสมจะขึ้นอยู่กับปัญหาของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถวัดได้จากค่าความผิดพลาด (error) ระหว่างผลลัพธ์จริงที่ได้จากโปรแกรมกับผลลัพธ์ที่ถูกต้องที่ได้จากตัวอย่าง โดยปกติแล้วค่าความผิดพลาด (error) ไม่ได้ถูกวัดจากค่าตัวอย่างเพียงค่าเดียวแต่จะคำนวณจากผลรวมของ absolute errors ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด ค่าของโปรแกรมใดที่เข้าใกล้ 0 มากที่สุดคือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดพารามิเตอร์สำหรับใช้ในการทำงาน

สำหรับการควบคุมการทำงานของโปรแกรมเชิงพันธุกรรมนั้นใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งประกอบด้วยขนาดของประชากรและจำนวนประชากรที่มากที่สุดในรุ่นนั้น ๆ เพื่อใช้ในการทำงานเมื่อทำครบทั้ง 4 ขั้นตอนแล้ว การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม จะเริ่มการทำงานโดยการสุ่มประชากรเริ่มต้นของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ละโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชัน + - \* / sqrt ตัวแปร a และ b

ในประชากรเริ่มต้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ปกติจะมีค่าความเหมาะสมที่ต่ำมากแต่ในบางตัวอาจจะมีค่าความเหมาะสมที่มากกว่าตัวอื่น ประชากรที่เหมาะสมกว่าจะมีแนวโน้มที่จะถูกเลือกเพื่อไปสู่การผลิผลลูก ดังนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ดีกว่ามีแนวโน้มที่จะอยู่รอดมากกว่าโดยการจำลองตัวเองในรุ่นต่อไป

การไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมของการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม

ในการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม ตัวดำเนินการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมที่ควบคุมบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกเลือกบนพื้นฐานของค่าความเหมาะสม ที่โปรแกรมสามารถมีความแตกต่างของขนาดและรูปร่าง ลูก 2 ตัวถูกประกอบโดยการรวมกันแบบสุ่มจากรุ่นของพ่อแม่ จากตัวอย่างพิจารณา LISP S-Expressions จำนวน 2 สมการคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$(/ (- (sqrt (+ (* a a) (- a b))) a) (* a b))$$
 และ 
$$(+ (- (sqrt (- (* b b) a)) b) (sqrt (/ a b)))$$
  
 ไม่วารณณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

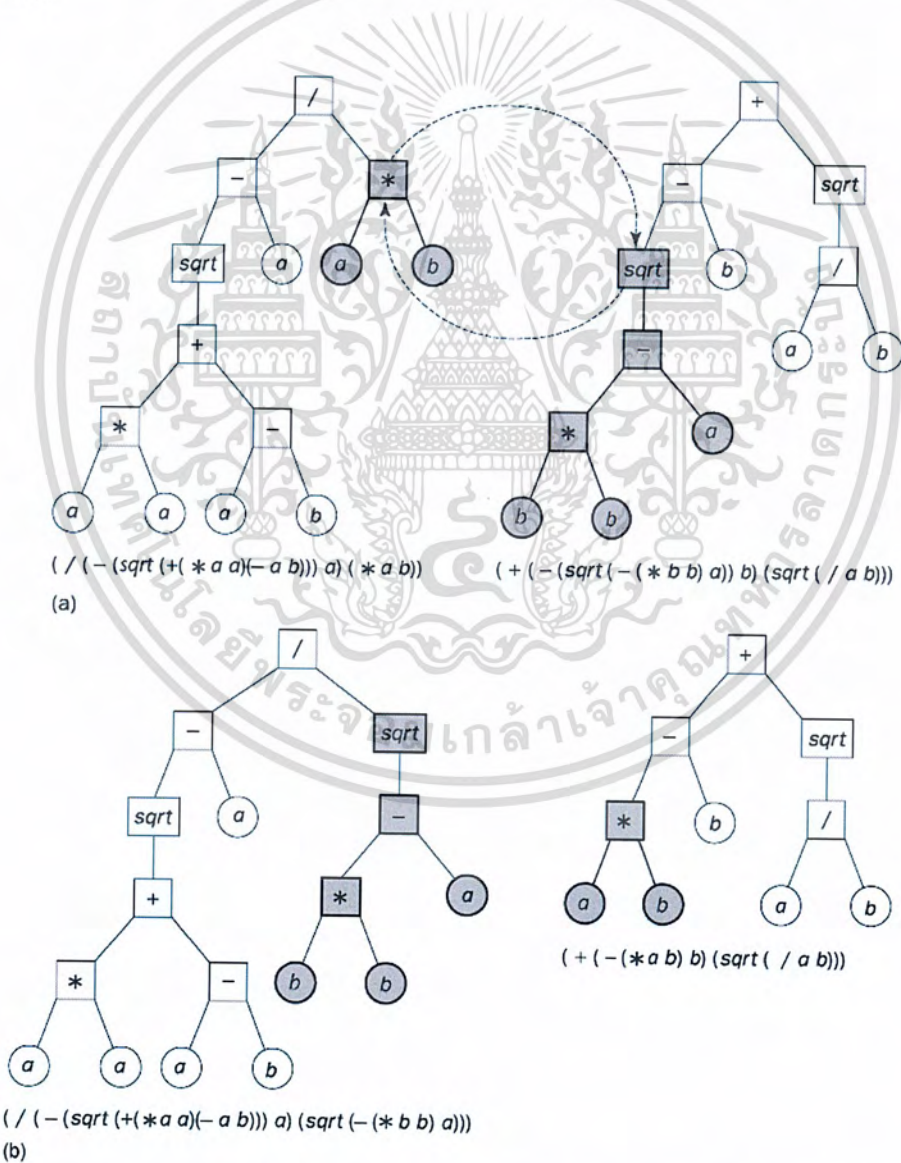
โดยที่ Lisp exception ตัวแรกจะแทนด้วยสมการที่ 2.4 และ express ที่ 2 แสดงด้วยสมการที่ 2.5

$$\frac{\sqrt{a^2 + (a - b)} - a}{ab} \tag{2.4}$$

และ

$$(\sqrt{b^2 - a} - b) + \sqrt{\frac{a}{b}} \tag{2.5}$$

รูปที่ 2.12 (a) แสดงโครงสร้างต้นไม้ที่ได้จาก LISP Expressions ทั้งสองโดยที่โหนดภายในของต้นไม้แทนด้วยสมาชิกที่อยู่ในเซต Primitive function และโหนดใบแทนด้วยสมาชิกที่อยู่ในเซต terminal



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมของ GP (a) ประชากรพ่อแม่และแม่ (b) ลูกที่ได้จากการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม  
 เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยระบบประสาทและปัญญาประดิษฐ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนดใดๆ ไม่ว่าจะ เป็นโหนดใบหรือโหนดภายในต้นไม้สามารถเลือกเป็น จุดในการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม สมมติให้ที่จุดที่ไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมสำหรับโหนดพ่อแม่แรก คือ ฟังก์ชัน \* และ การไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมสำหรับโหนดพ่อแม่ถัดมา คือ ฟังก์ชัน sqrt ผลลัพธ์ที่ได้คือ 2 ชิ้นส่วนการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม ต้นไม้ที่ถูกเลือกเป็นจุดการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมจะแสดงให้เห็นใน รูปที่ 2.12 (a)

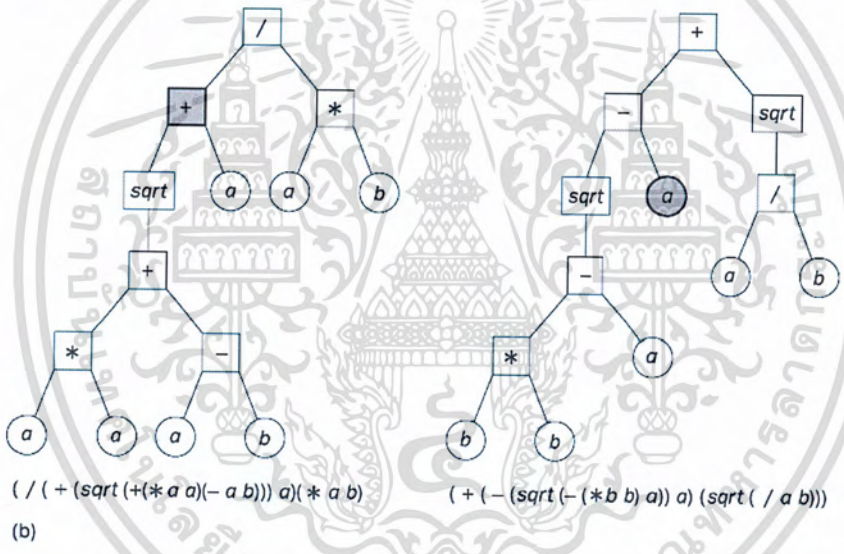
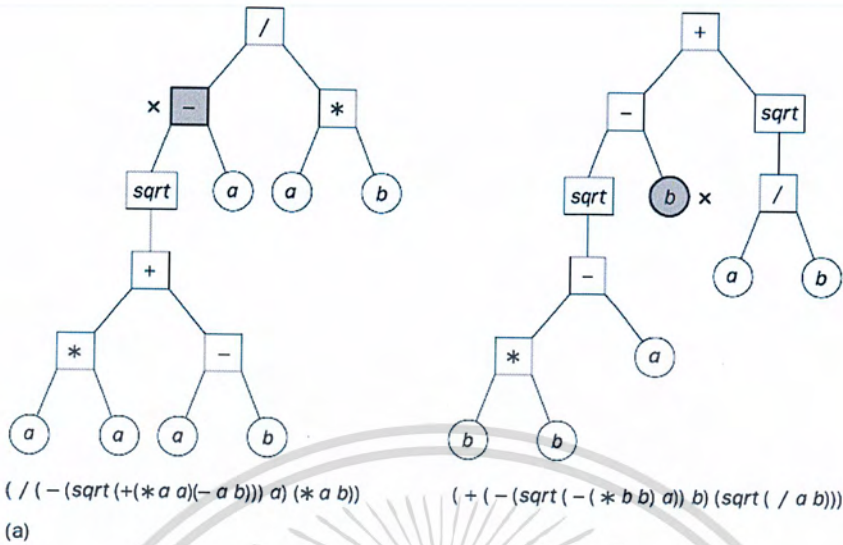
ตัวดำเนินการการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรมสร้างลูกสองต้น โดยการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนระหว่างต้นไม้สองต้น กล่าวคือ ลูกของต้นไม้ต้นที่ 1 ถูกสร้างโดยการแทรกกิ่งของต้นไม้ต้นที่ 2 ลงแทนที่ของกิ่งของต้นไม้ต้นที่ 1 ที่เป็น ชิ้นส่วนการไขว้เปลี่ยนทางพันธุกรรม ผลลัพธ์ของลูกทั้งสองของต้นไม้สองต้น จะแสดงในรูป 2.12 (b) โดยเมื่อดำเนินการเสร็จแล้วจะได้ต้นไม้ซึ่งสามารถแปลงเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ

$$\frac{\sqrt{a^2 + (a - b)} - a}{\sqrt{b^2 - a}} \quad (2.6)$$

$$(ab - b) + \sqrt{\frac{a}{b}} \quad (2.7)$$

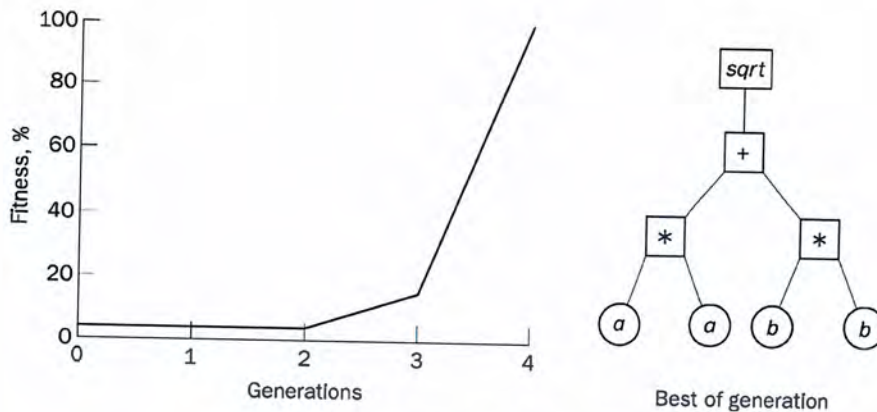
#### การกลายพันธุ์ของการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม

ตัวดำเนินการการกลายพันธุ์สามารถสุ่มสมาชิกจากเซต Primitive function หรือ terminal ตัวใดก็ได้ใน LISP S-expression ภายใต้การกลายพันธุ์ โหนดที่เป็นสมาชิกของ Primitive function จะถูกแทนที่ได้แค่เซตของ Primitive function เท่านั้น ส่วนของโหนดที่เป็นเซตของ terminal ก็จะถูกแทนที่ได้โดย terminal เท่านั้น รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างของการกลายพันธุ์ใน GP



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการกลายพันธุ์ของ GP(a) ประชากรพ่อแม่และแม่(b) ลูกที่ได้จากการกลายพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงผลลัพธ์ของการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม

ในรูปที่ 2.14 แสดงประวัติของค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดของ S-expression ในประชากรโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 500 ตัว ในการสุ่มประชากรเริ่มต้นแม้ว่า ค่า S-expression จะมีค่าความเหมาะสม ที่ต่ำ แต่ค่าความเหมาะสม จะเพิ่มอย่างรวดเร็ว และในรุ่นที่ 4 ค่า S-expression ที่ถูกต้อง จะถูกสร้างขึ้น

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันมีการนำทฤษฎีการโปรแกรมเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยจะนำมาใช้ในการเงินซึ่งทำการปรับกลยุทธ์การลงทุนเพื่อรองรับความเสี่ยงในอนาคต นอกจากด้านการเงินแล้วยังมีด้านการพยากรณ์อากาศโดยจะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณน้ำฝน

1. ในงานวิจัยของ Siamak Dehghanpour [3] นำ Robust Genetic Programming มาใช้ใน portfolio insurance ซึ่งเป็น กลยุทธ์การลงทุนที่กระจายเงินทุนไปลงทุนในรูปแบบต่างๆ เช่น ตราสารทุน ตราสารหนี้ สัญญาซื้อขายล่วงหน้า เป็นต้น เพื่อบริหารจัดการความเสี่ยงที่ทำให้ portfolio มีมูลค่าลดลง โมเดลจะช่วยในการจัดการหา risk multiplier of Constant Proportion Portfolio Insurance (CPPI) ด้วยการใช้การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของสถานการณ์ของตลาดหุ้นและนำทฤษฎี Markowitz portfolio optimization theory มาใช้ในการเลือกค่าน้ำหนักการลงทุนที่ดีที่สุดให้กับนักลงทุน โดยขั้นตอนการทำงานจะมีการนำ โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ทำนายราคาหุ้นแล้วนำการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม คำนวณความเสี่ยงของหุ้นที่จะลงทุนและเก็บความผันผวนของหุ้น นำมาทำงานบน Robust GP และนำมาคำนวณการกระจายการลงทุนด้วย Markowitz model หุ้นที่จะนำมาใช้ในการทดลองประกอบด้วย 5 ตัว คือ

- IBM ประกอบกิจการผลิตชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์
- MSI ประกอบกิจการให้บริการติดต่อสื่อสาร
- LEE ประกอบกิจการวารสารสิ่งพิมพ์
- UPS ประกอบกิจการเกี่ยวกับรถบรรทุก
- XOM ประกอบกิจการน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ

ส่วนตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม ประกอบด้วย Market index, Exchange rate, Williams%R, Relative strength index, Risk-free rate, Stochastic oscillator

ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ประกอบไปด้วย บวก ลบ คูณ และหาร

ส่วนฟังก์ชันความเหมาะสม (fitness function) แสดงได้ดังสมการที่ 2.8

$$f = \frac{r+1}{\sigma+1} \quad (2.8)$$

โดยที่

r คือ อัตราผลตอบแทนของการลงทุน

$\sigma$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Portfolio

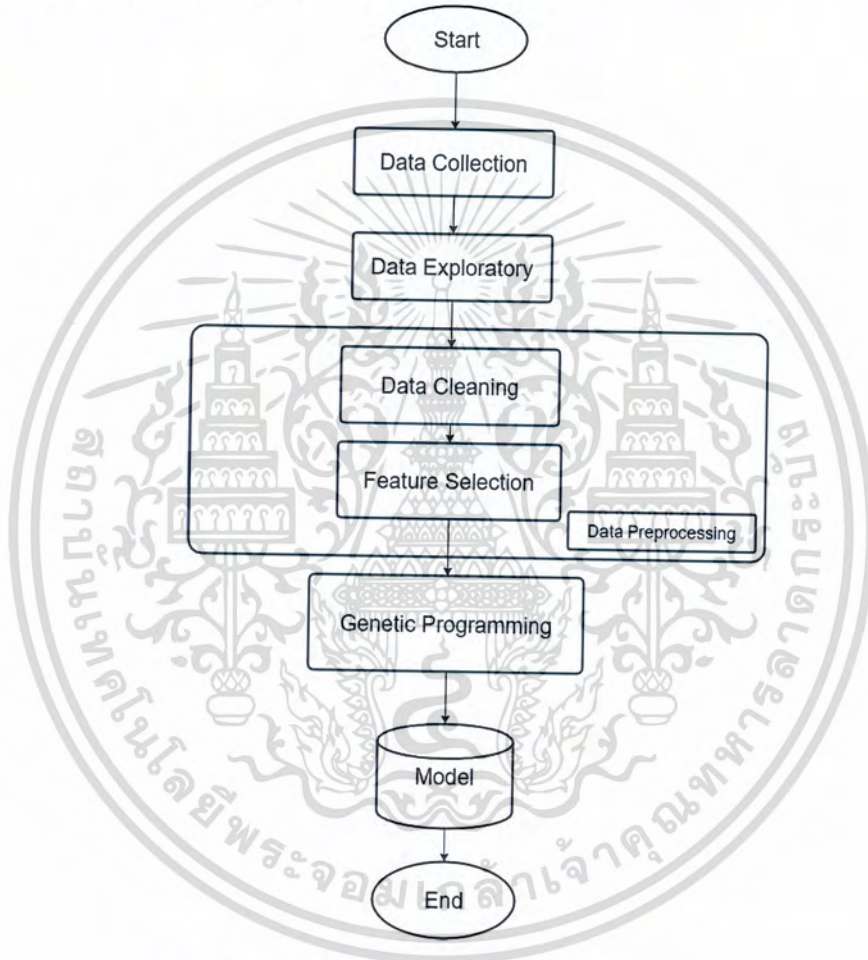
2. งานวิจัยของ Budy Utama Putra [4] เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์อากาศในบ้นดุง ด้วยการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม โดยจะทำการเก็บค่าของปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือน ตั้งแต่ปี 2005-2015 ข้อมูลที่ได้มาจะนำมาคำนวณ Weighted Moving Average (WMA) ซึ่งจะอยู่ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูล จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จาก WMA มาเป็นตัวแปรนำเข้าในการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม เพื่อนำมาใช้ในการทำนายปริมาณน้ำฝนซึ่งผลพยากรณ์สภาพอากาศด้วย GP มีประสิทธิภาพความแม่นยำถึง 70% ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเซตของ Terminal คือ x โดยที่ x เป็นจำนวนจริงใด ๆ และเซตของฟังก์ชัน คือ บวก ลบ คูณ และหาร ซึ่งผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจะใช้จำนวนรุ่นทั้งหมด 1,000 รุ่น จำนวนประชากร 100 ตัวอย่าง ค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ 0.7 และค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ 0.01 โดยค่าความผิดพลาด MAPE บนข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 28.14% และบนข้อมูลทดสอบเท่ากับ 32.52%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบการทดลองและการเตรียมข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น การเตรียมข้อมูลเพื่อให้พร้อมในการสร้างโมเดลและการออกแบบการทดลองเพื่อใช้สร้างโมเดลการปรับค่าพารามิเตอร์ในการรีดอะลูมิเนียม



รูปที่ 3.1 แผนผังอธิบายขั้นตอนในการสร้างโมเดล

จากรูปที่ 3.1 เป็นการอธิบายการทำงานขั้นตอนการสร้างโมเดลโดย ขั้นตอนแรกจะทำการเก็บข้อมูล (Data Collection) จากโรงงานรีดแผ่นอะลูมิเนียมซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บโดยพนักงานของโรงงาน ต่อจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการสำรวจข้อมูล (Data Exploratory) เพื่อดูความถี่ของแม่พิมพ์ที่ถูกใช้งานและตรวจสอบข้อมูลที่รับมาจากทางโรงงานว่า เกิดค่าขาดหายมากน้อยเพียงใด เมื่อทราบจำนวนค่าขาดหายแล้วจึงทำการทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) โดยการนำข้อมูลที่มีค่าขาดหายออกจากชุดข้อมูลที่ได้มา จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) การคัดเลือกคุณลักษณะนั้นจะเกิดจากคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญการรีดอะลูมิเนียม และนำข้อมูลที่ผ่านกระบวนการต่างๆ ก่อนหน้านี้นำไปเป็นข้อมูลฝึกสอนสำหรับการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม

(Genetic Programming) และจะได้ผลลัพธ์เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ (Model) เพื่อใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์

### 3.1 แหล่งที่มาและรายละเอียดของชุดข้อมูล

ในการทดลองนี้ได้นำข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ซึ่งมีจำนวนข้อมูลรายละเอียดของการรีดแผ่นอะลูมิเนียม ซึ่งมีระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 4 เดือน ในช่วงของเดือน กรกฎาคม ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2560 ส่วนข้อมูลที่น่ามาทดสอบเก็บตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2560 ถึงเดือนมกราคม 2561 โดยชุดข้อมูลทดสอบจะไม่มีข้อมูลขาดหาย รายละเอียดต่าง ๆ ของชุดข้อมูลจะประกอบด้วย เบอร์แม่พิมพ์ ความเร็ว น้ำหนักคัมรีดน้อย น้ำหนักคัมรีดมาก บิลเลทอัลลอยด์ น้ำหนักต่อเมตร ความยาว จำนวน ความยาวรวม ค่า Yield ค่า Ram speed ค่า Pressure max ค่า Pressure min ค่า Die Temp ค่า BT Temp ค่า Exit Temp และค่า Length

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลของการรีดอะลูมิเนียม 1

ลำดับ	เบอร์แม่พิมพ์	ความเร็ว	น้ำหนักคัมรีดน้อย	น้ำหนักคัมรีดมาก	บิลเลทอัลลอยด์	น้ำหนักต่อเมตร	ความยาว	จำนวน	ความยาวรวม	Length
1	AA/7	30	980	1250	Y05	789	7.0	80	290.39	505
2	AB/9	16	1456	1658	Y09	1003	6.0	44	269.32	505
3	AC/3	เสีย	1193	1423	Y04	1405	5.4	35	145.60	505
4	AD/3	เสีย	1025	1136	Y11	1107	5.6	22	136.40	505
5	AE/36	0	880	1100	Y89	0	6.0	0	0.00	520
6	AF/9	13	1102	1456	Y65	889	6.2	36	245.05	520
7	AG/96	15	410	446	Y78	563	6.3	112	705.00	520
8	AH/14	12	1369	1458	Y98	1650	6.3	6	42.00	525
9	AI/14	12	1369	1458	Y98	1658	6.3	23	38.65	520
10	AJ/15	14	1033	1158	Y71	1023	6.3	71	465.00	520
11	AK/45	11	1191	1320	Y33	1211	6.3	15	89.36	505

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลของการรีดอะลูมิเนียม 2

ลำดับ	เบอร์แม่พิมพ์	น้ำหนักรวม	Yield	Ram speed	Pressure Max	Pressure min	Die temp	BT temp	Exit temp
1	AA/7	302.36	53.2%	3.2	146	112	489	498	503
2	AB/9	303.37	78.9%	3.0	210	156	445	425	559
3	AC/3	177.36	77.3%	3.0	198	140	*	*	*
4	AD/3	136.36	88.01%	3.6	188	169	*	*	*
5	AE/36	0.00	#DIV/0!	3.2	230	183	400	470	521
6	AF/9	308.32	85.21%	3.7	241	189	405	422	501
7	AG/96	305.71	86.32%	3.0	177	123	448	478	51
8	AH/14	54.69	86.36%	4.2	*	*	445	489	532
9	AI/14	54.07	86.32%	4.1	*	*	445	489	514
10	AJ/15	55.06	78.32%	3.9	189	145	489	499	531
11	AK/45	118.96	81.23%	3	198	155	488	499	545

หมายเหตุ : เครื่องหมาย \* คือค่าขาดหายที่เกิดขึ้นกับตัวอย่าง

ความหมายของค่าคุณลักษณะของข้อมูลจากตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ความหมายของคุณลักษณะ

คุณลักษณะ	ความหมาย
Pressure min	แรงดันที่ต่ำที่สุดในกระบอกรีต
Pressure max	แรงดันที่สูงที่สุดในกระบอกรีต
Die temperature	อุณหภูมิของแม่พิมพ์ขณะรีด
BT temperature	อุณหภูมิของบิลเลทอัลลอยด์ก่อนเข้ากระบอกรีต
Exit temperature	อุณหภูมิของอะลูมิเนียมที่ถูกรีตออกมาจากกระบอกรีต
Ram speed	อัตราเร็วของอะลูมิเนียมที่ไหลออกมาจากกระบอกรีต
Length	ความยาวของบิลเลท
เบอร์แม่พิมพ์	ตัวกำหนดลักษณะของบิลเลทอัลลอยด์ที่ถูกรีตให้มีลักษณะตามแม่พิมพ์
ความเร็ว	อัตราเร็วของอะลูมิเนียมที่ถูกดันเข้ากระบอกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นทำการนับจำนวนการใช้งานแม่พิมพ์ที่ถูกนำไปใช้รีด ตลอดทั้ง 4 เดือนว่าเบอร์แม่พิมพ์ไหนถูกนำไปใช้รีดมากที่สุด ซึ่งผลที่ได้คือ เบอร์แม่พิมพ์ DACC มีจำนวนการใช้งาน 59 ครั้งจากทั้งหมด 2026 ครั้ง ตารางที่ 3.4 แสดงเบอร์แม่พิมพ์ที่มีจำนวนการรีดจากมากไปน้อยซึ่งนำมาแสดงเฉพาะเบอร์แม่พิมพ์ที่นำมารีดมากกว่าหรือเท่ากับ 12 ครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 การนับจำนวนเบอร์แม่พิมพ์ที่เกิดขึ้น

เบอร์แม่พิมพ์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	เบอร์แม่พิมพ์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
DACC	59	2.912	JACI	18	0.888
EIHA	47	2.319	JABI	18	0.888
DAEF	47	2.319	DBJF	18	0.888
CCAE	46	2.270	DACI	18	0.888
DAFB	44	2.171	DADJ	17	0.839
DACB	44	2.171	FACF	16	0.789
IDH	37	1.826	JABD	15	0.740
EIHB	33	1.628	FAEHD	13	0.641
DAJB	33	1.628	ECFAE	13	0.641
DAEG	33	1.628	ECBAJ	13	0.641
EAHGH	27	1.332	DJAG	13	0.641
EADAB	24	1.184	DBBJ	13	0.641
EIGJ	22	1.085	CCHF	13	0.641
EIBB	22	1.085	EJIE	12	0.592
EAAFD	22	1.085	ECACI	12	0.592
DFEG	21	1.036	ECACE	12	0.592
DFEF	21	1.036	EBGEI	12	0.592
DAEA	21	1.036	EAAFC	12	0.592
JDJH	18	0.888	DIJD	12	0.592

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลขาดหาย

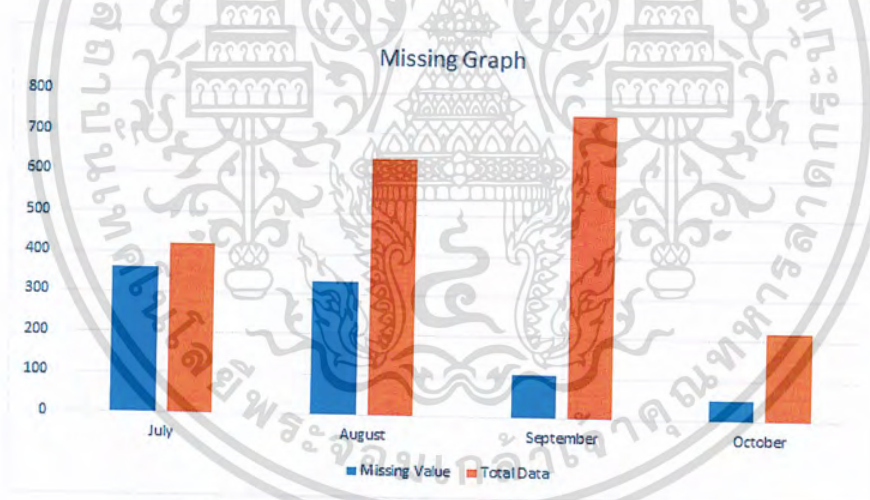
ลำดับ	เบอร์แม่พิมพ์	น้ำหนักรวม	Yield	Ram speed	Pressure Max	Pressure min	Die temp	BT temp	Exit temp	Length
1	AZ/45	860.64	83.2%	3.9	178	139	*	*	*	505
2	AX/115	0.00	#DIV/0!	2.3	*	*	*	*	*	505
3	AC	177.36	77.3%	3.0	198	140	*	*	*	525
4	AD	136.36	88.01%	3.6	188	169	*	*	*	505
5	AU/23	787.36	89.36%	3	198	153	*	*	*	505
6	AL/3	111.36	81.21%	3.1	221	189	*	*	*	525
7	AN/1	58.96	83.32%	2.1	177	133	*	*	*	525
8	AH	54.69	86.36%	4.2	*	*	445	489	532	520
9	AI	54.07	86.32%	4.1	*	*	445	489	514	520
10	AM/1K	258.36	88.02%	3.5	*	*	489	499	531	520
11	AS/2	744.56	80.23%	3.4	220	155	*	*	*	520

จากตารางที่ 3.5 จะเห็นว่ามีเกิดการเกิดข้อมูลขาดหาย (แสดงด้วยสัญลักษณ์ \*) เช่น ค่า Die temp, BT temp, Exit temp ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ได้เพราะจะทำให้โมเดลที่สร้างโดยมีข้อมูลขาดหายมีประสิทธิภาพน้อยลง จึงต้องทำการลบข้อมูลที่เกิดข้อมูลขาดหายออกไป หรือ ทำการเติมด้วยค่าเฉลี่ยของแม่พิมพ์เบอร์เดียวกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการตัดออก

ตารางที่ 3.6 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลขาดหาย

เดือนที่เก็บข้อมูล	ข้อมูลขาดหาย	ข้อมูลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์ข้อมูลขาดหาย
July	362	419	86.39%
August	332	636	52.2%
September	106	751	14.11%
October	51	220	23.18%

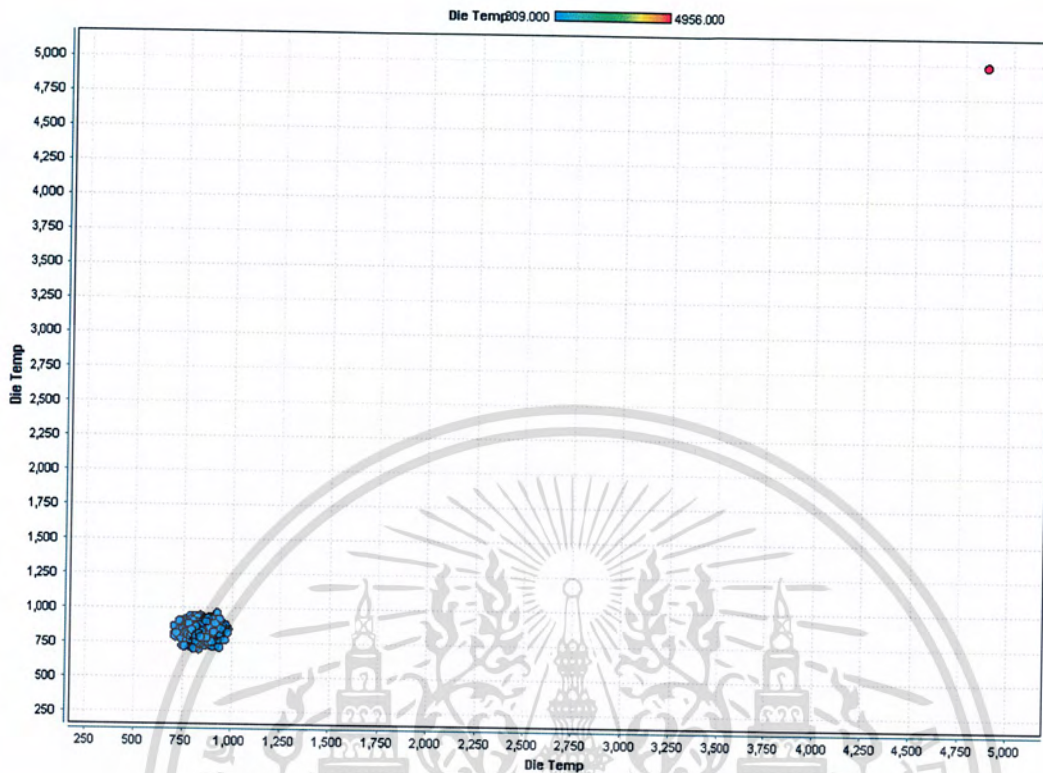
จากตารางที่ 3.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลขาดหายระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม จำนวนข้อมูลขาดหายในเดือนกรกฎาคมมีจำนวน 362 ข้อมูลซึ่งคิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ข้อมูลขาดหาย อยู่ที่ 86.39% จากข้อมูลทั้งหมด สาเหตุของปัญหานี้คือ เนื่องจากทางโรงงานยังไม่มีเก็บข้อมูลอย่างละเอียดในช่วงแรก ๆ แต่ในเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม จะเห็นว่าจำนวนข้อมูลขาดหายมีจำนวนลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากทางโรงงานมีการเก็บข้อมูลละเอียดมากยิ่งขึ้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์ข้อมูลขาดหายลดลงและส่งผลให้ความแม่นยำของโมเดลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงข้อมูลขาดหายต่อข้อมูลทั้งหมด

ข้อมูลรบกวน คือ เป็นข้อมูลที่มีความผิดพลาดแบบสุ่มหรือ การคลาดเคลื่อนจากการวัด ปัญหานี้เกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น อุปกรณ์เก็บรวบรวมข้อมูลทำหน้าที่เกิดผิดพลาด การบันทึกหรือป้อนค่าข้อมูลผิดพลาด ข้อมูลที่ถูกรวบรวมมามีการเกิดข้อมูลรบกวนจึงต้องทำการนำออกก่อนนำไปสร้างโมเดล

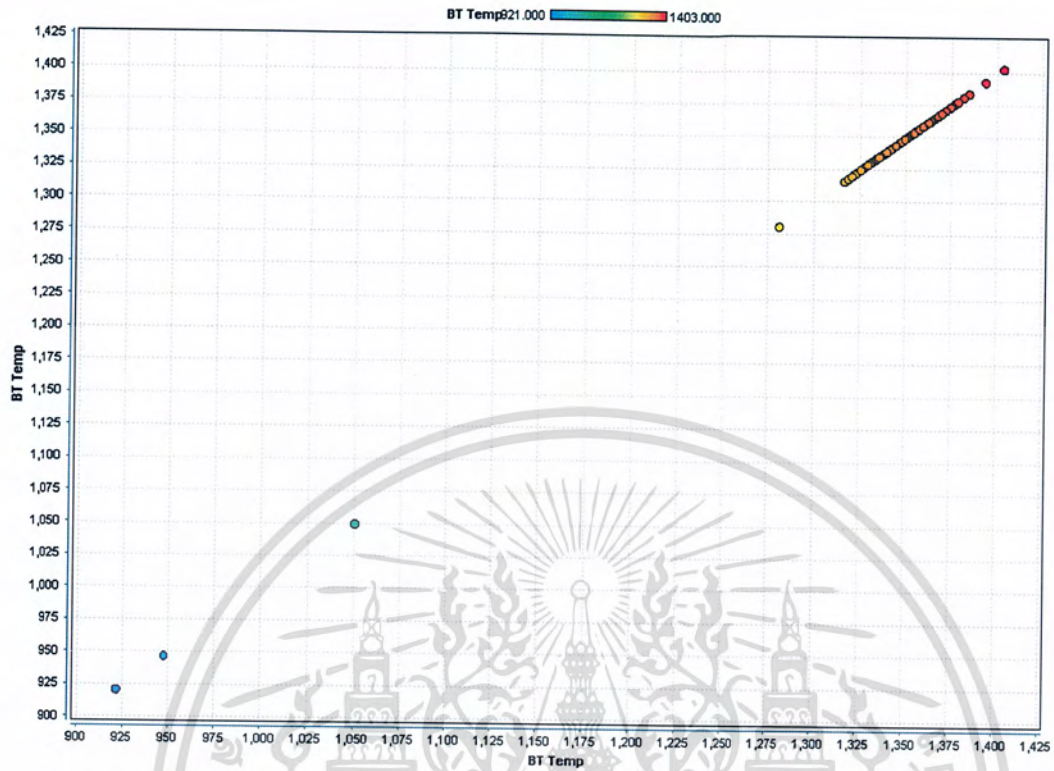
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการกระจายตัวค่า Die Temp

ตามรูปที่ 3.3 ถ้าสังเกตจะเห็นว่ามีความถี่ค่าที่หลุดออกมาจากกลุ่มซึ่งเราจะต้องนำออกหรือปรับค่ากลับให้เป็นค่าปกติแต่จากกราฟนี้ข้อมูลที่หลุดจากกลุ่มคือ 4956 ซึ่งค่าเฉลี่ยของ Die Temp คือ 842.61 ในที่นี้ไม่สามารถปรับค่าได้จึงต้องทำการลบออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



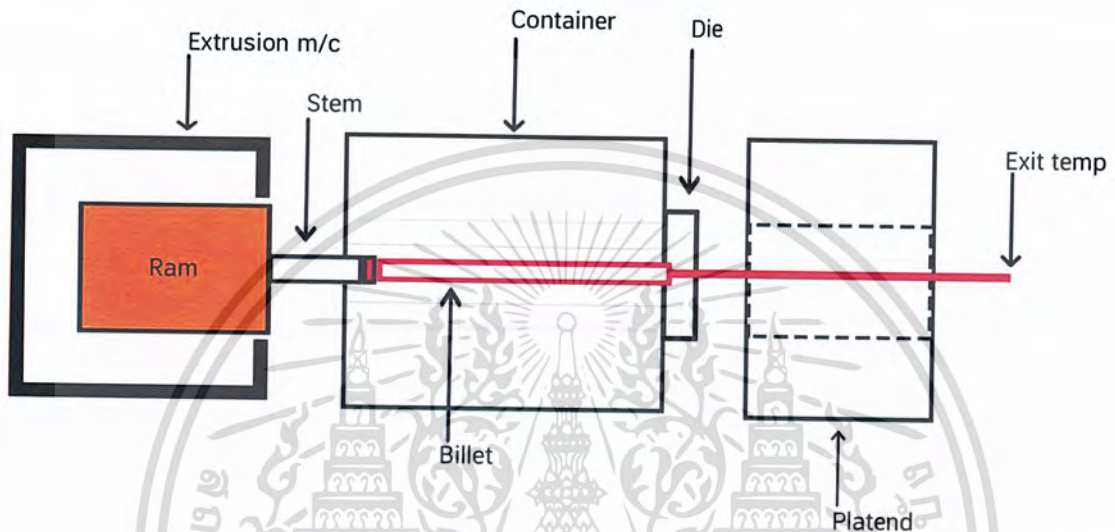
รูปที่ 3.4 กราฟการกระจายของค่า BT Temp

ตามรูปที่ 3.4 จะสังเกตเห็นว่ามีค่า BT Temp ที่หลุดออกมาจากกลุ่มถึง 3 ค่า คือ 921 947 1050 ซึ่งในกรณีนี้ BT Temp มีค่าเฉลี่ยของค่า BT Temp คือ 1337 และค่าสูงสุดของค่า BT Temp คือ 1403 ดังนั้นการที่จะอนุมานค่าทั้ง 3 ให้อยู่ในช่วงของข้อมูลนั้นจึงไม่สามารถทำได้เลย ไม่ว่าจะเติม 0 ก็เกินค่าสูงสุดทั้ง 3 ค่าจึงต้องทำการตัดข้อมูลทั้ง 3 ค่านี้ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การคัดเลือกคุณลักษณะ

ในกระบวนการรีดอะลูมิเนียมจะต้องเตรียมแท่งบิลเลทที่ใช้ในการรีดและตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อกำหนดให้เครื่องรีดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน โดยมีโครงสร้างในการรีด ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของกระบวนการรีดแผ่นอะลูมิเนียม

จากรูปที่ 3.5 หลังจากตัดแบ่งบิลเลทอัลลอยด์จากเครื่องตัดบิลเลทออกเป็นหลายๆ แล้ว นำบิลเลทเข้าสู่เครื่องรีดแผ่นอะลูมิเนียมโดยการรีดนั้นจะต้องมีการปรับค่า Ram speed และต้องทำการอุ่น แม่พิมพ์ (Die) ที่อยู่ใน Container ให้มีอุณหภูมิเหมาะสมกับการรีดก่อน เมื่อปรับค่าเรียบร้อยแล้วจะให้ตัว Stem (ส่วนแทงเหล็กดันบิลเลท) ทำการดันบิลเลทผ่านตัวแม่พิมพ์ (Die) ออกมาเป็นอะลูมิเนียมตามรูทรงของแม่พิมพ์ที่ใช้ หลังจากที่ได้ชิ้นงานแล้วจะทำการวัดค่า Exit Temp ที่ได้

จากกระบวนการผลิตทำให้เลือกตัวแปรที่มีผลต่อการรีดอะลูมิเนียมจาก ตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 มาใช้ในขั้นตอนของการโปรแกรมเชิงพันธุกรรมโดยตัวแปรต่างๆจะต้องมีความสัมพันธ์กับค่า Ram speed ได้แก่ Pressure Min, Pressure Max, BT Temp, Die Temp, Exit temp และ Length ซึ่งตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับค่า Ram speed ดังนี้

Length เป็นตัวแปรที่บอกถึงขนาดความยาวของแท่งบิลเลทเมื่อถูกตัดเป็นท่อนๆแล้วรอที่จะนำไปเข้าสู่กระบวนการรีด โดยถ้า Length มีค่ามากจะต้องใช้ Ram speed มากด้วย

Die Temp เป็นตัวแปรที่บอกถึงอุณหภูมิของแม่พิมพ์ โดยในการรีดแต่ละครั้ง แม่พิมพ์จะเกิดความร้อนอยู่ตลอดเวลาที่ให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ และถ้า Ram speed มีค่ามากจะส่งผลให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีค่ามากขึ้นด้วยเนื่องจากเกิดการเสียดสีของแท่งบิลเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานในเชิงวิชาการเพื่อประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BT Temp เป็นอุณหภูมิของบิลเลทอัลลอยด์ซึ่งจะมีการอุ่นก่อนการรีดแผ่นอะลูมิเนียม ซึ่งมีผลต่อ Ram speed โดยถ้าอุณหภูมิของ BT Temp มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เนื้อของบิลเลทนิ่ม ซึ่งจะทำให้ค่า Ram speed น้อยลงเนื่องจากบิลเลทมีความยืดหยุ่นสูงสามารถผ่านแม่พิมพ์ได้

### 3.5 การออกแบบการทดลอง

การตั้งค่าพารามิเตอร์ของการโปรแกรมเชิงพันธุกรรมจะมีผลต่อการค้นพบสมการที่ต้องการ ถ้ากำหนดความลึกของต้นไม้มาก ระบบจะมีการสุ่มให้สมการมีจำนวนพจน์ในสมการมากขึ้นตามไปด้วย การกำหนดจำนวนรอบที่วิวัฒนาการก็ส่งผลต่อการค้นพบสมการที่ต้องการ ถ้ากำหนดจำนวนรอบที่วิวัฒนาการน้อยเกินไป ก็อาจจะมีบางกลุ่มประชากรยังไม่ถึงจุดที่ดีที่สุดของความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นของประชากรกลุ่มนั้น

กำหนดประชากรเริ่มต้น	= 15
จำนวนประชากรรุ่นใหม่ที่ต้องการ	= 30
ความลึกของสมการต้นไม้	= 15
จำนวนรอบที่วิวัฒนาการ	= 2000 รุ่น
อัตราการเกิดการกลายพันธุ์	= 1
อัตราการเกิดการข้ามสายพันธุ์	= 1
อัตราการเกิดการโคลนนิ่ง	= 1

ในการทดลองได้นำวิธีการของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการโดยการนำการโปรแกรมเชิงพันธุกรรม มาใช้ในการสร้างโมเดล ซึ่งในการทดลองนี้จะกำหนดค่าต่างๆคือ

1. กำหนดขอบเขตของตัวแปร เช่น
  - Exit temp, Pressure min, Pressure max, Length, BT temp, Die temp ค่าคงที่
2. กำหนดขอบเขตตัวดำเนินการ เช่น
  - การบวก การลบ การคูณ การหาร Square root ฟังก์ชันตรีโกณมิติ เช่น sin cosin ลอการิทึมธรรมชาติ การยกกำลัง
3. กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม
  - วัดจากค่า error ระหว่างผลลัพธ์จริงที่ได้จากโปรแกรมกับผลลัพธ์ที่ถูกต้องที่ได้จากตัวอย่างค่า (Ram speed)
4. กำหนดจำนวนรอบของการทำงาน จำนวนประชากรเริ่มต้นจำนวนประชากรมากสุดในแต่ละรอบและกำหนดความลึกของสมการต้นไม้
5. กำหนดค่าความน่าจะเป็นของการเกิดโคลนนิ่ง กลายพันธุ์ ข้ามสายพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การวัดประสิทธิภาพของโมเดล

เมื่อได้ผลการจากการโปรแกรมเชิงพันธุกรรมแล้ว นำข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบมาแทนค่าลงในสมการจากนั้น หาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นและคำนวณออกมาเป็นร้อยละ

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย} = \frac{(\sum_{i=1}^n |\text{ค่าจริง}_i - \text{ค่าที่ทำนายได้}_i|)}{n} \quad (3.1)$$

โดยที่ n แทนจำนวนข้อมูลที่นำมาทดสอบ

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ} = \frac{(|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าที่ทำนายได้}|)}{\text{ค่าจริง}} \times 100 \quad (3.2)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ในบทนี้กล่าวถึงข้อมูลที่น่ามาสร้างโมเดลของแม่พิมพ์ซึ่งนำมาแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับฝึกสอน และข้อมูลสำหรับทดสอบของแม่พิมพ์ DACC DACB วิธีการเลือกสมการที่น่ามาใช้จากการรันทั้งหมด แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่ทำนายจากโมเดลที่ดีที่สุดที่น่ามาใช้ทดสอบบนข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบของทั้ง 2 แม่พิมพ์ และสุดท้ายเป็นส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลอง

##### 4.1.1 ข้อมูลที่น่ามาสร้างโมเดลของแม่พิมพ์

ข้อมูลที่น่ามาสร้างโมเดลของแม่พิมพ์ DACC จะทำการแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับฝึกสอน จำนวน 16 ตัวอย่าง โดยนำมาจากเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2560 และจำนวนข้อมูลสำหรับทดสอบ 6 ตัวอย่าง โดยนำมาจากเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2560 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACC

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของแม่พิมพ์ DACC

NumberDie	Rspeed	Pmax	Pmin	Die	BT	ExitTemp	Length
DACC/247	4.1	592	184	400	512	780	520
DACC/257	3.5	600	183	389	496	589	482
DACC/247	3.7	606	184	392	615	1377	514
DACC/247	4.1	582	184	387	508	776	505
DACC/247	4.2	606	184	405	525	853	513

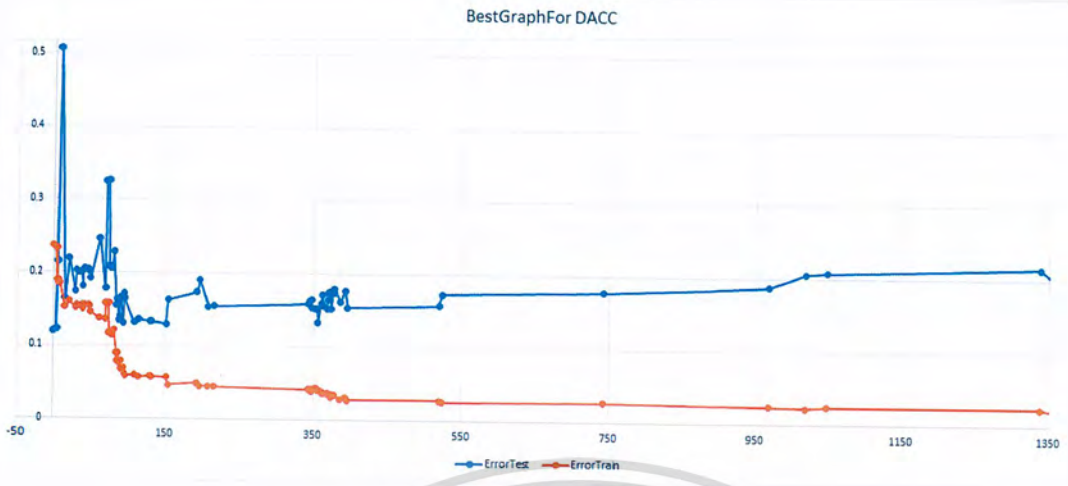
จากข้อมูลที่น่ามาสร้างโมเดล DACB จะทำการแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับฝึกสอน จำนวน 20 ตัวอย่าง โดยนำมาจากเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2560 และจำนวนข้อมูลสำหรับทดสอบ 11 ตัวอย่าง โดยนำมาจากเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2560 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACB

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของแม่พิมพ์ DACB

NumberDire	Rspeed	Pmax	Pmin	Die	BT	ExitTemp	Length
DACB/248	4.3	340	300	403	558	565	608
DACB/256	5	296	256	398	602	576	659
DACB/286	4.9	190	150	406	469	576	540
DACB/286	4.9	240	200	406	515	577	540
DACB/242	3.7	429	399	399	731	560	659

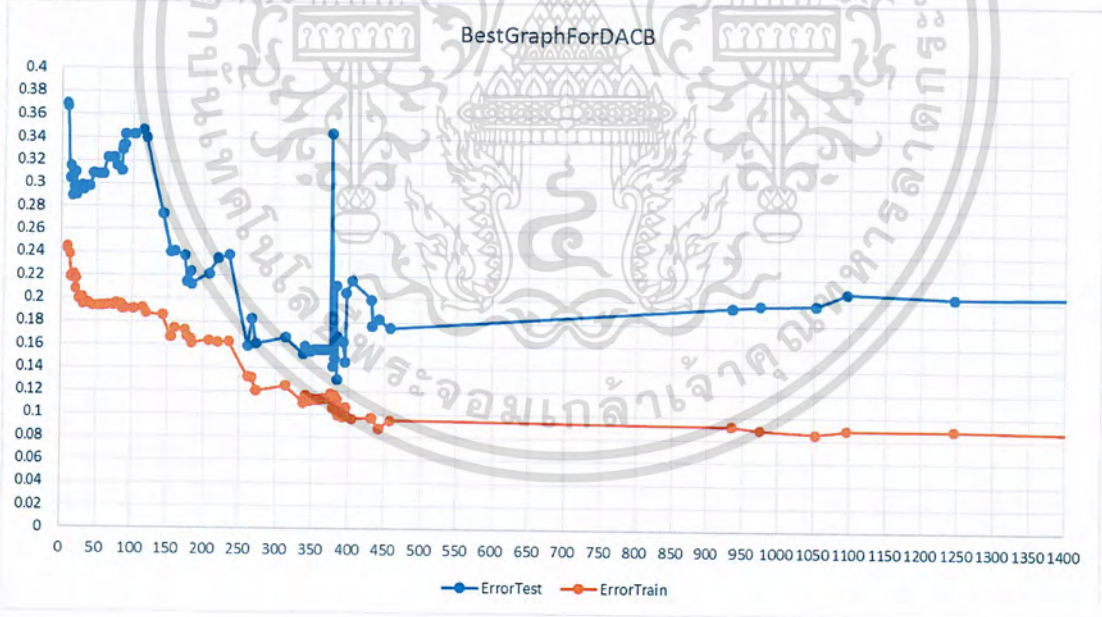
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบของโมเดล DACC

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟเส้นของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยโดยคำนวณ โดยมีข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบ เส้นกราฟสีน้ำเงินจะแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลทดสอบและเส้นกราฟสีส้มจะแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอน จะเห็นว่ารอบการวิวัฒนาการที่ 152 เส้นสีส้มมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.05 และ เส้นสีน้ำเงินมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.12 ซึ่งเป็นจุดที่ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกๆจุด จึงเลือกสมการที่จุดนี้มาใช้งาน



รูปที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบของโมเดล DACB

จากรูปที่ 4.2 แสดงกราฟเส้นของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย จากมีข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบ เส้นกราฟสีน้ำเงินจะแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยบนข้อมูลทดสอบและเส้นกราฟสีส้มจะแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอน จะเห็นว่ารอบการวิวัฒนาการที่ 384 เส้นสีส้มมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.105 และเส้นสีน้ำเงินมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.13 ซึ่งเป็นจุดที่ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกๆ จุดจึงเลือกสมการที่จุดนี้มาใช้งาน

#### 4.1.2 ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอน

ข้อมูลฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACC ที่นำเข้าสู่โมเดลทางคณิตศาสตร์มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 16 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACC

ลำดับ	คลาดเคลื่อน	คลาดเคลื่อนร้อยละ
1	0.014526	0.5%
2	0.050608	1.9%
3	0.022692	0.8%
4	0.078591	2.5%
5	0.008141	0.2%
6	0.099596	3.1%
7	0.050139	1.6%
8	0.048347	1.5%
9	0.00786	0.2%
10	0.062959	2.0%
11	0.129096	5.0%
12	0.070786	2.6%
13	0.154364	5.9%
14	0.023657	0.8%
15	0.027549	1.1%
16	0.058608	2.2%
Avg.	0.056719	2.0%

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนชุดข้อมูลฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACC มีค่า 0.056719 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลฝึกสอนของ DACB ที่นำเข้าสู่โมเดลทางคณิตศาสตร์มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACB

ลำดับที่	คลาดเคลื่อน	คลาดเคลื่อนร้อยละ
1	0.099877	2.94%
2	0.292218	7.13%
3	0.021762	0.54%
4	0.105022	2.63%
5	0.048789	1.74%
6	0.042175	1.24%
7	0.089869	2.64%
8	0.034206	1.01%
9	0.002818	0.07%
10	0.035702	1.05%
11	0.142987	4.09%
12	0.298356	8.29%
13	0.062571	1.65%
14	0.339062	14.74%
15	0.069525	1.74%
16	0.065817	1.73%
17	0.035701	1.11%
18	0.067784	1.99%
19	0.121611	3.80%
20	0.129769	3.41%
<b>AVG.</b>	<b>0.105377</b>	<b>3.18%</b>

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนชุดข้อมูลฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACB มีค่า 0.105377 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 3.18%

#### 4.1.3 ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนข้อมูลทดสอบ

ข้อมูลทดสอบที่นำเข้าสู่โมเดลทางคณิตศาสตร์ของแม่พิมพ์ DACB มีทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลทดสอบของแม่พิมพ์ DACC

ลำดับ	คลาดเคลื่อน	คลาดเคลื่อนร้อยละ
1	0.376551	12.6%
2	0.026726	0.9%
3	0.113917	3.7%
4	0.022877	0.8%
5	0.150706	4.7%
6	0.088039	2.8%
Avg.	0.129802	4.22%

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนชุดข้อมูลทดสอบของแม่พิมพ์ DACC มีค่า 0.129802 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 4.22%

ข้อมูลทดสอบที่นำเข้าสู่โมเดลทางคณิตศาสตร์ของแม่พิมพ์ DACB มีทั้งหมด 11 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนบนข้อมูลทดสอบของแม่พิมพ์ DACB

ลำดับที่	คลาดเคลื่อน	คลาดเคลื่อนร้อยละ
1	0.000044	0.01%
2	0.044827	1.25%
3	0.550659	16.69%
4	0.068740	1.96%
5	0.282299	8.82%
6	0.151284	4.45%
7	0.045974	1.35%
8	0.032462	1.16%
9	0.005689	0.17%
10	0.185646	5.80%
11	0.064007	2.00%
AVG.	0.130185	3.97%

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนชุดข้อมูลทดสอบของ DACB มีค่า 0.130185 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ ได้ 3.97%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการใช้วิธีการถดถอย (Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไปกับตัวแปรตาม (Dependent Variable) เพื่อนำมาทำนายค่าตัวแปรตาม โดยข้อมูลที่น่ามาใช้เป็นการแบ่งข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบเหมือนกับการโปรแกรมเชิงพันธุกรรมซึ่งแบ่งเป็นข้อมูลฝึกสอนของแม่พิมพ์ DACC จำนวน 16 ตัวอย่างและ DACB จำนวน 20 ตัวอย่าง ข้อมูลทดสอบของแม่พิมพ์ DACC จำนวน 6 ตัวอย่างและ DACB จำนวน 11 ตัวอย่าง โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และวิธีการถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression)

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยบนข้อมูลทดสอบระหว่างการโปรแกรมเชิงพันธุกรรมและวิธีการถดถอยเชิงเส้นและพหุนาม

เบอร์แม่พิมพ์	Genetic Programming	Linear Regression	Polynomial Regression		
			degree 2	degree 3	degree 4
DACC	0.1298	0.8331	8.6121	7.9197	7.0969
DACB	0.1302	0.3970	18.0609	10.9441	9.2587

ตามตารางที่ 4.7 ค่าคลาดเคลื่อนของการโปรแกรมเชิงพันธุกรรมมีผลดีกว่า การถดถอยเชิงเส้นและการถดถอยพหุนามอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยเฉพาะการถดถอยพหุนามซึ่งเกิดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงมากทำให้ไม่สามารถนำไปใช้จริงได้และโมเดลของการถดถอยพหุนามทำนายผลออกมาติดลบของแม่พิมพ์ DACB ตามตารางที่ 4.8 ซึ่งถือว่าเป็นความผิดพลาดที่ยอมรับไม่ได้เพราะ Ram speed ไม่สามารถเป็นค่าติดลบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การทำนายของโดยการถดถอยพหุนามบนข้อมูลทดสอบของแม่พิมพ์ DACB

DACB	ค่าทำนายโดยการถดถอยพหุนาม		
	degree 2	degree 3	degree 4
1	2.786206	2.962568	2.994498
2	0.468582	0.243904	0.177627
3	3.148339	3.843827	3.608511
4	31.97174	45.75248	39.54586
5	2.75032	2.638438	2.764797
6	-53.53	32.47347	27.88728
7	2.199501	1.816408	2.124117
8	28.79373	5.506595	5.675011
9	-61.48	28.2587	23.52173
10	16.40671	11.0468	10.0429
11	6.541503	9.864023	8.325752

#### 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ทำการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้ ที่มีผลกับค่า Ram speed โดยดูจากจำนวนการเกิดตัวแปรซึ่งถ้าเกิดตัวแปรตัวนั้นมาก หมายความว่าตัวแปรนั้นจะส่งผลต่อค่า Ram speed มากขึ้นตามไปด้วย

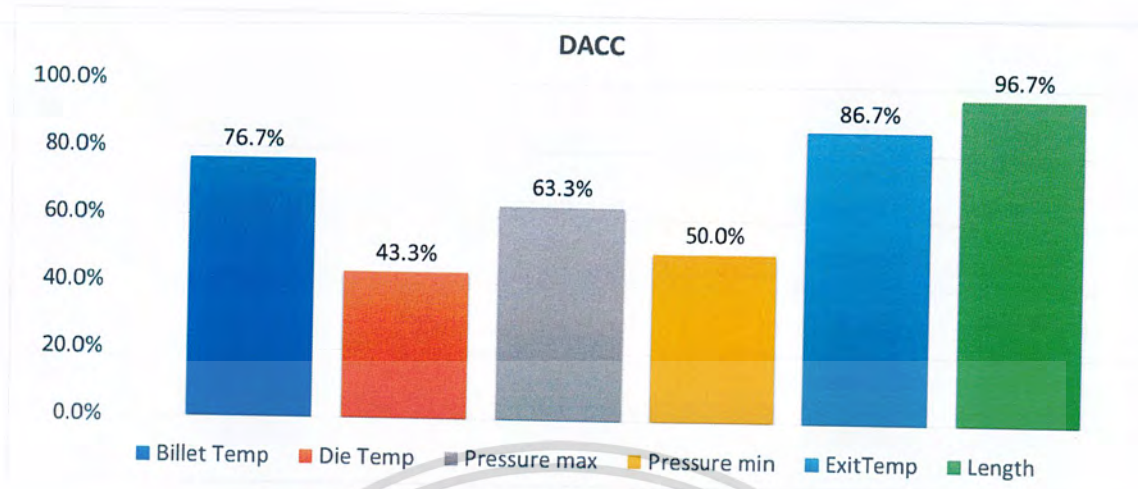
##### 4.2.1 ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อค่า Ram Speed ของแม่พิมพ์ DACC

ในการทดลองได้ทำการรัน GP ทั้งหมด 65 รอบ สำหรับแม่พิมพ์ DACC หลังจากนั้นทำการเลือกสมการที่ให้ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมสูงสุด 30 อันดับแรก มาวิเคราะห์ค่าตัวแปรของเครื่องรีดที่มีผลต่อการรีดมากที่สุด โดย ตัวแปร Length มีผลต่อค่า Ram speed มาก เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์มากถึง 96.7% และ Die Temp มีผลต่อค่า Ram Speed น้อยที่สุดเพราะมีเปอร์เซ็นต์ในการเกิด 43.3%

ตารางที่ 4.9 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่า Ram speed ของแม่พิมพ์ DACC

Billet Temp	Die Temp	Pressure max	Pressure min	Exit Temp	Length
76.7%	43.3%	63.3%	50.0%	86.7%	96.7%
23	13	19	15	26	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



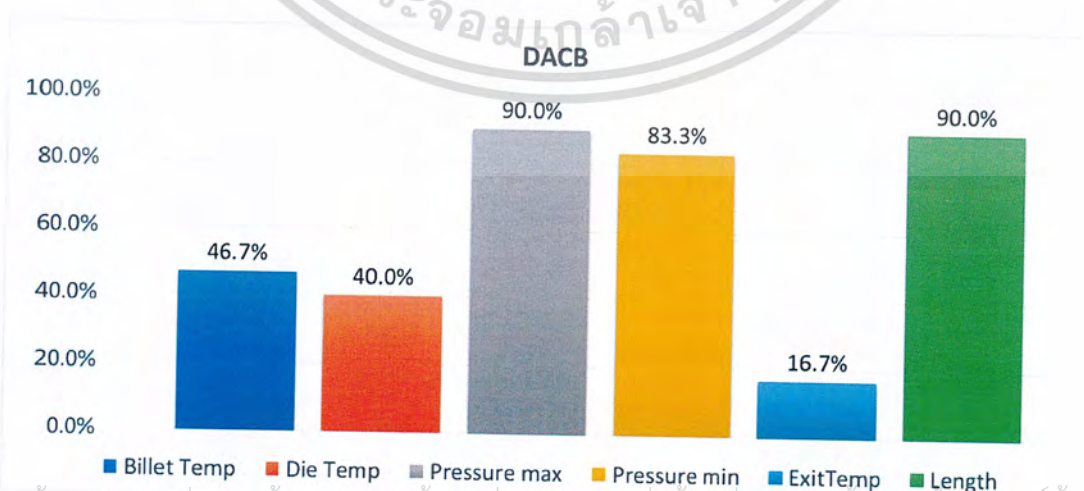
รูปที่ 4.3 ตัวแปรที่มีผลต่อค่า Ram speed ของแม่พิมพ์ DACC

#### 4.2.2 ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อค่า Ram Speed ของแม่พิมพ์ DACB

ในการทดลองได้ทำการรัน GP ทั้งหมด 109 รอบ สำหรับแม่พิมพ์ DACB หลังจากนั้นทำการเลือกสมการที่ให้ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมสูงสุด 30 อันดับแรก มาวิเคราะห์ค่าตัวแปรของเครื่องรีดที่มีผลต่อการรีดมากที่สุด โดย ตัวแปร Length มีผลต่อค่า Ram speed มาก เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์มากถึง 90.0% และ Die Temp มีผลต่อค่า Ram Speed น้อยที่สุดเพราะมีเปอร์เซ็นต์ในการเกิด 16.7%

ตารางที่ 4.10 ตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อค่า Ram speed ของแม่พิมพ์ DACB

Billet Temp	Die Temp	Pressure max	Pressure min	ExitTemp	Length
46.7%	40.0%	90.0%	83.3%	16.7%	90.0%
14	12	27	25	5	27



รูปที่ 4.4 ตัวแปรที่มีผลต่อค่า Ram speed ของแม่พิมพ์ DACB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักทางปัญญาประดิษฐ์มาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่า Ram speed ซึ่งจะช่วยทำให้กระบวนการรีดแผ่นอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยขั้นตอนการดำเนินการ เริ่มต้นจากผู้ใช้งานต้องใส่ค่าพารามิเตอร์ตามที่กำหนดไว้ ประกอบด้วยค่า BT temp, Die temp, Pmax, Pmin, Exit temp, Length หลังจากนั้นระบบจะนำค่าพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้กรอกมาเข้าสู่กระบวนการประมวลผลผ่านโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่า Ram Speed และนำไปปรับให้กระบวนการรีดอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากการทดลองพบว่าข้อมูลที่ผ่านการใช้โมเดลเพื่อหาค่า Ram speed ของแม่พิมพ์ DACC และ DACB โดย DACC นั้นมีชุดข้อมูลทดสอบ ทั้งหมด 6 ทราจเซชัน ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนชุดข้อมูลทดสอบ ของ DACC มีค่า 0.129802 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 4.22% และ DACB นั้นมีชุดข้อมูลทดสอบ ทั้งหมด 11 ทราจเซชัน โดยค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนบนชุดข้อมูลทดสอบของ DACB มีค่า 0.130185 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 3.97%

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการโปรแกรมเชิงพันธุกรรมสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับด้านอุตสาหกรรมการรีดแผ่นอะลูมิเนียม โดยงานวิจัยนี้จะสามารถช่วยให้พนักงานที่ไม่เคยมีประสบการณ์ด้านการรีดสามารถปรับพารามิเตอร์ของเครื่องจักรแบบง่ายๆ ได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มาจากโมเดลมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 4.22% และ 3.97% ในแม่พิมพ์ DACC และ DACB ตามลำดับ จากการทดลองยังพบอีกว่า ข้อมูลที่นำมาทดลองมีจำนวนน้อยและเกิดค่าขาดหายเป็นจำนวนมากอีกทั้งข้อมูลดังกล่าวไม่ได้เก็บจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิอัตโนมัติของพารามิเตอร์ของเครื่องจักร เช่น Die temperature, BT temperature, Exit temperature เป็นต้น ทำให้เกิดความผิดพลาดในช่วงที่พนักงานบันทึกค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ลงในคอมพิวเตอร์ ดังนั้น ควรใช้ตัวช่วยเก็บข้อมูลอัตโนมัติเพื่อลดความผิดพลาดในส่วนนี้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- ชุดข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์มีไม่เพียงพอทำให้ความหลากหลายของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการมีน้อยและเกิดค่าขาดหายจำนวนมากดังนั้นควรเพิ่มข้อมูลต่อแม่พิมพ์หนึ่งตัวให้มากขึ้นและลดจำนวนการเกิดค่าขาดหายให้น้อยลง
- ข้อมูลที่ได้มาไม่มีความสอดคล้องซึ่งกันและกันเนื่องจากเวลาในการเก็บค่าตัวแปรแต่ละตัวจากเครื่องรีดอะลูมิเนียมถูกเก็บค่าไม่พร้อมกัน จึงทำให้เมื่อนำไปใช้ในการทดลองก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนตามมา ดังนั้นควรใช้ตัวช่วยเก็บข้อมูลอัตโนมัติเพื่อลดความผิดพลาดในส่วนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] **Michael Negnevitsky**, Artificial Intelligence A Guide to Intelligent Systems Second Edition, 2005, pp.223.
- [2] **Michael Negnevitsky**, Artificial Intelligence A Guide to Intelligent Systems Second Edition, 2005, pp.245-254.
- [3] **Siamak Dehghanpour**, Akbar Esfahanipour, “ A robust genetic programming model for a dynamic portfolio insurance strategy”, 2017 IEEE International Conference on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) , 3-5 July 2017, pp.201 – 206.
- [4] **Budy Utama Putra**, Fhira Nhita, Adiwijaya, “An implementation of weighted moving average and genetic programming for rainfall forecasting in Bandung Regency”, 2017 International Conference on Control, Electronics Renewable Energy and Communications (ICCREC), 26-28 Sept. 2017, pp.169 – 173.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้