

วิธีพื้นผิวตอบสนองร่วมกับวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดัดแปลงเพื่อหาค่า
การใช้พลังงานที่ดีที่สุดในการเตรียมดินของรถแทรกเตอร์

ณัฏกิจ ศรีโชค

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



COMBINED RESPONSE SURFACE METHOD AND MODIFIED
DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM TO OPTIMIZE
THE ENERGY

THANATKIJ SRICHOK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE
DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2020
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปได้ถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากท่าน ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ให้คำปรึกษา เป็นอย่างดีตลอดมา นอกจากนี้ท่านยังให้คำแนะนำการเขียนรายงานการวิจัย บทความวิจัย เพื่อนำออกไปเผยแพร่ในงานวารสารทางวิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศ การสร้าง และการใช้วิธีการฮิสตริกในการแก้ปัญหาการประยุกต์วิธีการต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาด้วย วิธีการพื้นผิวดตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยผลต่าง จึงขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก รุ่นที่ 20 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ในการสนับสนุนทุนการศึกษา ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ และให้โอกาสเข้ารับการศึกษาคณิสถาบันแห่งนี้ ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่าของท่านมาเป็นคณะกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชุตา พันธุ์นิกุล ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศร ภูนิคม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ ศิริรักษ์ ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำ ขอขอบพระคุณบริษัทรวมสินไทยแทรกเตอร์ บริษัทคูโบต้าเจริญชัย สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 4 และทุกท่านที่ให้ข้อมูลในการทำวิจัยในครั้งนี้อย่างยิ่ง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ ร.ต.ต.ยন্ত্রกิจ-คุณแม่ปราณี ศรีโชค และนางปวีณา ศรีโชค ภรรยา บุตรสาว บุตรชาย ตลอดจนทุกคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และนอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ กลุ่ม MLO lab ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและปรึกษาปัญหา และบุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่านซึ่งไม่อาจกล่าวนามของท่านในที่นี้ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ณัฏกิจ ศรีโชค

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : วิธีฟื้นฟิวดอสนองร่วมกับวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดัดแปลงเพื่อหา
ค่าการใช้พลังงานที่ดีที่สุดในการเตรียมดินของรถแทรกเตอร์

ผู้วิจัย : ณัดกิจ ศรีโชค

ชื่อปริญญา : ปรัชญาคุณภิวัฒน์

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

คำสำคัญ : การจัดเตรียมที่ดิน, น้ำมันเชื้อเพลิง, งานไถ, วิธีวิวัฒนาการโดยใช้
ผลต่าง,วิธีการฟื้นฟิวดอสนอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการค้นหามิติการทำงานที่ดีที่สุดของการไถแบบงานไถ ให้มีการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด เพื่อใช้ในการไถเตรียมดินในการเพาะปลูกอ้อย วิธีที่ใช้ในการค้นหามิติเตอร์เหล่านี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ (1) การค้นหาจำนวนพารามิเตอร์และระดับพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของรถแทรกเตอร์ (2) ใช้วิธีการฟื้นฟิวดอสนอง (RSM) ในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (3) วิธีการฟื้นฟิวดอสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง(RSM-MDE) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และ (4) ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอน (3)

ผลการทดลองพบว่าวิธีการ RSM-MDE สามารถปรับปรุงพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของกรณีศึกษานี้คือ มุมดิสก์ 42 องศา, มุมเอียง 20.25 องศา, ความลึกตัด 10 ซม. และความเร็ว 2.53 กม. / ชม. การใช้ปริมาณเชื้อเพลิง 1.269 ลิตร ซึ่งน้อยกว่าวิธี RSM ที่ใช้ปริมาณเชื้อเพลิง 1.57 ลิตร สามารถแสดงให้เห็นว่าวิธีการ RSM-MDE สามารถปรับปรุงคุณภาพของการแก้ปัญหาได้ถึง 19.74 % เมื่อเทียบกับ RSM ดั้งเดิม และมีระดับคุณภาพดินที่ดี จากการประเมินของเกษตรกร 30 ราย ได้ค่าเฉลี่ยคะแนนเท่ากับ ระดับ 9.7 แสดงว่าการทดลองตามการตั้งค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี RSM-MDE สามารถลดการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงและมีคุณภาพดินที่ดีตามความต้องการของเกษตรกร

ABSTRACT

TITLE : COMBINED RESPONSE SURFACE METHOD AND MODIFIED
DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM TO OPTIMIZE THE
ENERGY

AUTHOR : THANATKIJ SRICHOK

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : PROF. RAPEEPAN PHITAKHASO, Ph.D.

KEYWORDS : LAND PREPARATION, FUEL, DISK PLOW, DIFFERENTIAL
EVOLUTION, RESPONSE SURFACE METHOD

Abstract: This study presents a method to find the optimal operating parameters of a tractor disk plow that minimizes the fuel used for land preparation in sugarcane fields. The method used to find these parameters is comprised of 4 steps including (1) identifying the number of interesting parameters and their level, (2) determining the appropriate parameters using the RSM method, (3) finding the optimal parameters using RSM-MDE and (4) checking results of this third procedure.

The computational results showed that the RSM-MDE method can improve the optimal parameters of this case study with a disk angle of 42 degrees, a tilt angle of 20.25 degrees, a depth cut of 10 cm and a speed of 2.53 km/hr. The fuel consumption is 1.26 liters which is less than that of the RSM method (1.57 liters). This result indicated that the RSM-MDE method can improve the quality of the solution of 19.74 % compared with the original RSM. It was also found that the soil quality is good. According to the evaluation survey of 30 sample farmers, the average score is 9.7. The result indicated that the RSM-MDE parameters can reduce fuel consumption while upholding the soil according to the farmers' needs.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	4
1.4 สมมติฐานการวิจัย	4
1.5 กรอบแนวคิดของงานวิจัย	4
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.8 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การไถเตรียมดินสำหรับการปลูกพืช	6
2.2 การเตรียมดินโดยใช้รถแทรกเตอร์	8
2.3 การปรับมุมตัดดินของจานไถ	9
2.4 วิธีการปรับมุมจานไถและมุมไถให้เหมาะสมกับสภาพการทำงาน	10
2.5 การคำนวณหาระยะจุดลากในแนวราบ	11
2.6 การออกแบบการทดลอง	14
2.7 การออกแบบพื้นผิวตอบสนองผลตอบ	17
2.8 วิธีการหาคำตอบ	23
2.9 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการวิวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	26
2.10 งานวิจัยการประยุกต์ใช้วิวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	30
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	35
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล	36
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	38
3.4 วิธีการสำหรับการหาคำตอบทางคณิตศาสตร์	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองและเปรียบเทียบโปรแกรม	45
3.6 คอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้คำนวณ	45
บทที่ 4 การทดลองโดยใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนอง	
4.1 การคำนวณผลการทดลอง	46
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	49
4.3 การวิเคราะห์การถดถอย	51
4.4 สมการการถดถอย	52
บทที่ 5 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	
5.1 ขั้นตอนโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	54
5.2 รูปแบบการปรับปรุง Response Surface Method – Modify Differential Evolution (RSM-MDE) เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัย	62
5.3 การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution: RSM-MDE) ด้วยโปรแกรม Dev-C++	63
5.4 ผลการทดลองจากวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution: RSM-MDE) โดยใช้โปรแกรม Bloodshed Dev-C++ ในการประมวลผลของการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการไถเตรียมดิน	63
5.5 สรุปผลการทดลอง	67
บทที่ 6 การทดสอบใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	
6.1 การทดสอบสมมติฐานข้อมูลการใช้ใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	71
6.2 การวิเคราะห์ค่าวิธีการหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC)	73
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
7.1 สรุปผลการเปรียบเทียบผลการทดลอง	79
7.2 ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก	
ก แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ	88
ข แบบสำรวจความต้องการลักษณะดินหลังการไถเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูกอ้อยของเกษตรกร	94
ประวัติผู้วิจัย	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การใช้ประโยชน์ทางการเกษตร	2
1.2 คำศัพท์เฉพาะและความหมาย	5
2.1 มุมของจานไถและมุมของไถจานที่เหมาะสมในสภาพดินต่างๆ	11
2.2 ค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรและ พารามิเตอร์ค่าพื้นผิวดิน	12
2.3 ลักษณะการเก็บข้อมูลของ Central Composite Design สำหรับ 3 Factors	21
2.4 กลยุทธ์การสร้าง Mutant vector	28
2.5 สรุปการทบทวนวรรณกรรมปัญหาในต่างประเทศ	33
3.1 สรุประดับแนะนำพารามิเตอร์จากวรรณกรรมต่าง ๆ	37
3.2 ค่าต่ำสุดและสูงสุดของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ	37
3.3 การกำหนดตัวแปรสำหรับการทดลอง RSM แบบ CCD ด้วยโปรแกรม Minitab	39
3.4 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูล	40
3.5 กระบวนการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์แบบ transition	44
3.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ แบบ exchange	44
4.1 การออกแบบทดลอง	46
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	49
4.3 ผลการวิเคราะห์สมการการถดถอยของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	52
5.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์แต่ละช่วง	55
5.2 ขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initialization) ของค่าพารามิเตอร์	55
5.3 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าของ Mutant Vector แต่ละค่า โดยกำหนดค่า $F = 0.60$ จากสูตรของ NP 1	57
5.4 การหาค่า Mutant vector ของอัลกอริทึม NP 1	57
5.5 การหาค่า Recombination ซึ่งจะได้ค่า Trial vector โดยกำหนดค่า $CR = 0.80$ (NP 1)	58
5.6 การหาค่า Trial vector ค่า $CR = 0.80$ (NP 1)	59
5.7 กระบวนการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์แบบ transition	59
5.8 กระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ แบบ exchange	60
5.9 ตัวอย่างการคัดเลือกประชากรในปัญหา Minimize ของ NP1-5	61
5.10 การทดสอบการปรับปรุงกระบวนการ Response Surface Method – Modify Differential Evolution (RSM - MDE)	62
5.11 ผลการทดลองวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิวิธนาการ โดยใช้ผลต่าง โดยกำหนดค่า NP 50 Iteration 100 รอบ	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.12	ผลลัพธ์ค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ RSM-MDE-5	64
5.13	การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของแต่ละผลลัพธ์ของการทดสอบ	67
6.1	ผลการทดลองจากการปรับค่าพารามิเตอร์จากวิธีการ RSM-MDE 5	69
6.2	เปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีที่ได้จาก RSM-MDE 5 ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม	71
6.3	การแปลผลค่า IOC จากผู้เชี่ยวชาญ	75
6.4	ผลคะแนนลักษณะดินที่มีคุณภาพ	78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	การใช้ดินปี 2559	1
1.2	แผนที่ประเภทการเพาะปลูกในประเทศไทย	2
2.1	ไถหัวหมู	8
2.2	ลักษณะของไถจานผานสาม	9
2.3	การปรับมุมที่ไถจานทำกับแนวดิ่ง (Tilt angle)	10
2.4	มุมของจานไถและมุมของไถจาน	11
2.5	การวัดความลึกหลังการไถดิน	12
2.6	ความกว้างการพลิกกลับดิน	13
2.7	การวัดความกว้างการพลิกกลับดิน	13
2.8	แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ	15
2.9	พื้นผิวการตอบสนองแบบกราฟิก	18
2.10	พื้นผิวตอบสนองผลตอบแบบสามมิติ	18
2.11	วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ	19
2.12	การออกแบบส่วนประสมกลาง (CCD) สำหรับ $k=2$ และ $k=3$	20
2.13	การออกแบบ CCC	22
2.14	การออกแบบ CCI	22
2.15	การออกแบบ CCF	23
2.16	การค้นหา Mutant Vector ของฟังก์ชัน 2 ตัวแปร	27
2.17	การ Crossover ของ Target Vector และ Mutant Vector ที่มีค่า $D=7$	29
2.18	กระบวนการหาค่าความเหมาะสมโดยวิธี DE จากขั้นที่ 1-4	30
3.1	ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	36
3.2	จานไถเป็นแบบมาตรฐาน (Standard disk plow)	38
3.3	ภาพประกอบจานไถ (a) มุมจานไถ (b) มุมไถ (c) ความลึก	38
3.4	กระบอกตวงวัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	40
3.5	ตัวอย่างการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล	41
3.6	ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองจะเป็นการวิเคราะห์ ANOVA	42
4.1	การทดลองไถเตรียมดินและการวัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	48
4.2	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	50
4.3	Residual Plots ของค่าผลตอบ (ค่า Y) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม	51
5.1	การนำเอาวิธีการ RSM มาใช้ร่วมกับอัลกอริธึมวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	53
5.2	แผนภาพการดำเนินงานตามกระบวนการของ DE	54
5.3	ประสิทธิภาพของแต่ละพารามิเตอร์วิธี RSM-MDE 5	65
5.4	ผลลัพธ์การทดสอบวิธี RSM-MDE 5	66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
5.5	กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีการ RSM-MDE 5	67
6.1	การปรับค่าพารามิเตอร์จากวิธีการ RSM-MDE 5	68
6.2	การทดลองค่าพารามิเตอร์จากวิธีการ RSM-MDE 5 ทั้งหมด 30 ครั้ง	68
6.3	การวัดความกว้างในการไถแต่ละรอบ	69
6.4	การวัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	69
6.5	ผลการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลและ Summary Report for Fuel used	72
6.6	ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ P- Value	73
6.7	ตัวอย่างแบบสอบถามลักษณะดินที่มีคุณภาพ	75
6.8	ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ Cronbach's Alpha Coefficient	76
6.9	การทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ตามวิธีการ RSM-MDE และตรวจสอบคุณภาพดิน	77

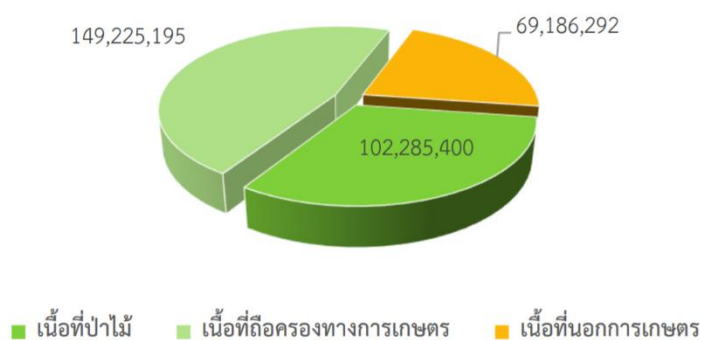
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การเกษตรในปัจจุบันได้มีการนำรถแทรกเตอร์และอุปกรณ์ทุ่นแรงมาใช้ในการเกษตรเพื่อทุ่นแรงมาทดแทนแรงงานคนและสัตว์ที่มีความสามารถในการทำงานค่อนข้างจำกัด รถแทรกเตอร์จึงจัดเป็นเครื่องต้นกำลังในการทำงานต่าง ๆ ได้ดี เช่น ไถเตรียมพื้นที่เพาะปลูก การปลูก การดูแลรักษา ตลอดจนการเก็บเกี่ยวและเคลื่อนย้ายผลผลิต (Kumar et al., 2016) การใช้งานรถแทรกเตอร์กับอุปกรณ์ทุ่นแรงที่ถูกต้องจะส่งผลในการสูญเสียพลังงานที่ลดลงและประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้นลดต้นทุนการดำเนินงานและการใช้เงินทุนที่เหมาะสมกับค่าใช้จ่ายคงที่ (Taylor et al., 1991)

ประเทศไทยมีพื้นที่การเพาะปลูกข้าวและพืชไร่เฉลี่ย 68% ของเนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (Office of Agricultural Economics, 2017) โดยมีเนื้อที่ทั้งสิ้น 320.6 ล้านไร่ แบ่งเนื้อที่การใช้ที่ดินออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ เนื้อที่ป่าไม้ เนื้อที่ถือครองทางการเกษตร และเนื้อที่นอกภาคการเกษตร ประเทศไทยมีเนื้อที่ถือครองทางการเกษตรมากที่สุด ถึง 149.2 ล้านไร่ (ร้อยละ 46.5) รองลงมาคือเนื้อที่ป่าไม้ 102.2 ล้านไร่ (ร้อยละ 32) ส่วนเนื้อที่นอกการเกษตรมีจำนวนเพียง 69.2 ล้านไร่ (ร้อยละ 21.5) ซึ่งเป็นประเภทที่น้อยที่สุดแสดงดังภาพที่ 1



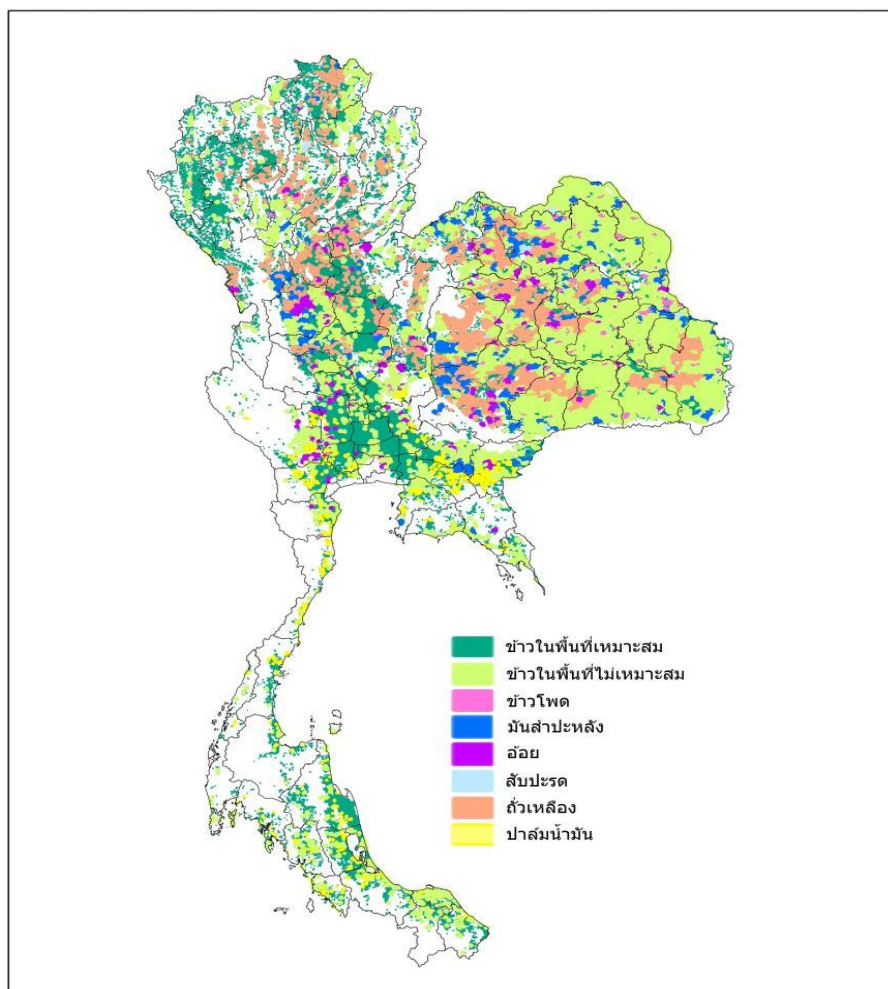
ภาพที่ 1.1 การใช้ดินปี 2559

1.1.1 เนื้อที่การใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

จากเนื้อที่ถือครองทางการเกษตรจำนวนทั้งสิ้น 149.2 ล้านไร่ เมื่อจำแนกตามลักษณะการใช้เพื่อทำการเกษตรประเภทต่าง ๆ พบว่ามีการใช้ที่ดินเพื่อการทำนา มากที่สุดถึง 69.9 ล้านไร่ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 46.88 ของเนื้อที่ทางการเกษตรทั้งหมด รองลงมาคือการใช้ที่ดินเพื่อการปลูกไม้ผลและพืชไร่ประเภทละกว่า 30 ล้านไร่ ส่วนเนื้อที่เพื่อการปลูกผักและไม้ดอกมีเนื้อที่เพียง 1.4 ล้านไร่ ดังข้อมูลในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การใช้ที่ดินทางการเกษตร	เนื้อที่(ไร่)	ร้อยละ
นา	69,958,965	46.88
พืชไร่	31,150,032	20.88
ไม้ผลและไม้ยืนต้น	34,917,895	23.40
พืชผักและไม้ดอก	1,397,770	0.94
อื่น ๆ	11,800,533	7.91
รวม	149,225,195	100.00



ภาพที่ 1.2 แผนที่ประเภทการเพาะปลูกในประเทศไทย
ที่มา: นพดล คีรีเพชร (2562)

ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยประกอบอาชีพเกี่ยวกับการเกษตร เดิมทีการทำ การเกษตรของเกษตรกรไทยเป็นการเกษตรเพื่อยังชีพเป็นส่วนใหญ่ คือการเพาะปลูกพืชหรือเลี้ยงสัตว์ เพื่อใช้สำหรับบริโภคเป็นหลัก ไม่ได้มุ่งเน้นการผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ประชากรส่วนใหญ่ไม่ ค่อยได้รับความรู้และเทคโนโลยีสมัยใหม่ทางการเกษตร ยังคงทำการเกษตรแบบดั้งเดิมคือใช้ แรงงานคน สัตว์และอาศัยธรรมชาติเป็นหลัก ซึ่งมีผลทำให้การทำกรเกษตรไม่ทันตามฤดูกาล ผลผลิต ที่ได้มีปริมาณและคุณภาพค่อนข้างต่ำ

อย่างไรก็ตามวิวัฒนาการทางการเกษตรนั้นเกิดขึ้นและได้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งก็มี ลักษณะที่คล้าย ๆ กันทั่วโลกเริ่มจากการใช้เครื่องทุ่นแรงแบบง่าย ๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อรองรับกับ การใช้แรงงานของคน เช่น จอบ คราด เป็นต้น จากนั้นได้พัฒนาเครื่องมือหรือเครื่องทุ่นแรงให้ใช้กับ สัตว์ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเกิดการพัฒนาเครื่องทุ่นแรงอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะ ในยุโรปและทวีปอเมริกา ที่ออกแบบเครื่องมือไถเตรียมดิน สามารถจำแนกได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะ เป็นจำแนกตามลักษณะการทำงานและลักษณะของเครื่องมือ

การจำแนกตามลักษณะการทำงานได้แก่ เครื่องมือสำหรับการเตรียมดินขั้นแรก (primary tillage) ได้แก่ เครื่องมือไถดินในระดับลึก เครื่องมือบางชนิดทำหน้าที่พลิกกลับดิน เช่น ไถ หั่วหมู (moldboard plow) ไถจาน (disk plow) และเครื่องมือบางชนิดไม่ทำหน้าที่พลิกกลับดินแต่ ทำให้ดินชั้นล่างแตกตัวเพียงอย่างเดียวเช่น ไถสั่ว(chisel plow) หรือไถดินดาน (subsoiler) และ เครื่องมือไถเตรียมดินขั้นที่สอง (secondary tillage) เป็นเครื่องมือไถเตรียมดินที่ทำหน้าที่ย่อยดินให้มี ขนาดเหมาะสำหรับการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน รวมถึงปรับสภาพแปลง เพาะปลูกให้อยู่ในลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ได้แก่ เครื่องพรวน (harrows) คราดซี่ (rake) (Ajit K. Srivastava et al., 2013) ขั้นตอนการเตรียมดิน การเพาะปลูก การบำรุงรักษา การเก็บเกี่ยว การแปรรูป และการเก็บรักษาผลผลิต ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวสามารถใช้เครื่องจักรกลเกษตรหรือเครื่องมือ ไถเตรียมดินได้ทุกขั้นตอน

ในการเตรียมดินขั้นแรก(primary tillage) สำหรับการเพาะปลูก(Ranjbarian et al., 2017) ได้เลือกเครื่องมือไถเตรียมดินแบบไถจาน (disk plow) มาทำการศึกษาด้วยการหา ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการใช้เครื่องมือไถเตรียมดินแบบไถจาน (disk plow) ด้วยการเลือกใช้วิธีการ Response surface methodology (RSM) ในการหาค่าที่เหมาะสม ในการศึกษาของ Ranjbarian et al. ไม่ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาอื่น สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การศึกษานี้ใช้การปรับปรุงอัลกอริทึม Modify Differential Evolution algorithm : MDE เป็นหนึ่งในเทคนิคที่มีประสิทธิภาพที่สุดที่นำมาประยุกต์ใช้กับการเพิ่มประสิทธิภาพอย่าง ต่อเนื่อง โดยวิธีการ MDE มีขั้นตอน 5 ขั้นตอน 1) Initial population 2) Mutation Process 3) Recombination Process 4) Trial vector re-production process และ 5) selection เพื่อหา ค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสม เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการใช้งานเครื่องมือไถเตรียมดินแบบไถจาน (disk plow) ให้มีการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีเมตาฮีริสติกในการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการปรับตั้งมุมจานไถ มุมไถ ความลึก และความเร็ว ที่เหมาะสมที่สุดในการไถเตรียมดินสำหรับรถแทรกเตอร์ในการเพาะปลูก

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองกับวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการหาคำตอบ

1.2.3 เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้ในการปรับตั้งมุมจานไถ มุมไถ ความลึก และความเร็ว ให้เหมาะสมสำหรับเกษตรกร

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษามุมจานไถและมุมไถ ความลึก และความเร็ว ของรถแทรกเตอร์ออกแบบการทดลอง สร้างสมการถดถอยด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง และเปรียบเทียบในการหาคำตอบด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง กับวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ อุปกรณ์ต่อพ่วง 3 พานไถ ที่มีขนาดแผ่น 24 นิ้ว (610 มม.) ในการใช้งานไถเตรียมดินในเพาะปลูกอ้อย ซึ่งมีการกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายตามกรอบดังนี้

1.3.1 ศึกษาพื้นที่การเพาะปลูก ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.3.2 ออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology)

1.3.3 ใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการหาคำตอบ สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ของค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งมุมจานไถ มุมไถที่เหมาะสมการไถเตรียมดิน

1.3.4 พัฒนาประสิทธิภาพและปรับปรุงอัลกอริทึมในการหาคำตอบด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการหาคำตอบ

1.3.5 หาคำตอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทดสอบกับพื้นที่และสถานที่จริง

1.4 สมมติฐานการวิจัย

ข้อสมมติฐานจะเป็นการวัดประสิทธิภาพในการหาผลลัพธ์คำตอบระหว่างการหาคำตอบพื้นผิวคำตอบกับวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการหาคำตอบ เพื่อหาคำตอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

1.5 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

ศึกษาปัญหาการปรับตั้งอุปกรณ์ไถเตรียมดินของมุมจานไถ มุมไถ ความลึก และความเร็ว โดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการหาคำตอบ มาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด โดยพิจารณาเทียบเคียงประสิทธิภาพของวิธีการพื้นผิวตอบสนองกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา โดยใช้ปัญหาตัวอย่างของ Ranjbarian and et al. (2017) มาทำการเปรียบเทียบผลในการหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้

- 1.6.1 ศึกษารูปแบบปัญหาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.2 กำหนดกรอบการวิจัย
- 1.6.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 1.6.4 พัฒนาวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการผลต่างสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งมุมจานไถ มุมไถที่เหมาะสมการไถเตรียมดิน
 - 1.6.4.1 การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้น
 - 1.6.4.2 วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์
 - 1.6.4.3 วิธีการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์
 - 1.6.4.4 วิธีการปรับปรุงกระบวนการสายพันธุ์ของเวกเตอร์
 - 1.6.4.5 การคัดเลือกเวกเตอร์
- 1.6.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบและปรับปรุงวิธีการ
- 1.6.6 สรุปและเสนอแนะ
- 1.6.7 จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนองานวิจัย

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ได้แนวทางพัฒนาวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการหาค่าตอบสำหรับการปรับตั้งมุมจานไถ มุมไถ ความลึก และความเร็ว ของรถแทรกเตอร์ที่เหมาะสมในการไถเตรียมดินของการเพาะปลูก ที่มีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา
- 1.7.2 เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์สำหรับการปรับตั้งมุมจานไถ มุมไถ ความลึก และความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการไถเตรียมดิน
- 1.7.3 ได้นำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้ในการปรับตั้งมุมจานไถ มุมไถ ความลึก และความเร็วตามความเหมาะสมสำหรับเกษตรกร

1.8 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

ตารางที่ 1.2 คำศัพท์เฉพาะและความหมาย

ลำดับ	คำศัพท์เฉพาะ	ความหมาย
1	Differential evolution algorithm	วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง
2	Response Surface Methodology	วิธีการพื้นผิวตอบสนอง
3	Central Composite Design	การออกแบบส่วนประสมกลาง
4	re-production process	วิธีการปรับปรุงกระบวนการ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎี วรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทางผู้วิจัยนำทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานวิจัยเพื่อหาคำพารามิเตอร์สำหรับการปรับตั้งมุมจานไถมุมไถที่เหมาะสมการไถพรวนกลบดินของการเพาะปลูกอ้อย ซึ่งมีทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมีอยู่ด้วยกันหลายทฤษฎี และยังทบทวนวรรณกรรมรวมถึงเอกสารที่เกี่ยวข้อง อีกหลายเรื่อง ที่มีความใกล้เคียงหรือมีความสัมพันธ์กับงานวิจัยนี้ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ในการดำเนินงานวิจัย

2.1 การไถเตรียมดินสำหรับการปลูกพืช

การไถเตรียมดินหมายถึง การใช้แรงไปกระทำกับดินโดยทำให้ดินผิวนใหญ่แตกแยกออกเป็นก้อนเล็กกลหรือการใช้เครื่องมือกระทำกับดินเพื่อให้ดินแตกแยกออกเป็นก้อนเล็กกล เพื่อให้เหมาะต่อการเพาะปลูกพืช การไถเตรียมดินถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในกระบวนการเพาะปลูกเนื่องจากเป็นงานหนักที่ต้องใช้แรงงานและเวลาในกระบวนการนี้ค่อนข้างมาก เพื่อให้ได้แปลงเพาะปลูกหรือพื้นที่เพาะปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ความต้องการของแรงงานสำหรับการเตรียมดินและการเพาะปลูกพืชมักเกิดขึ้นมาก เนื่องจากกิจกรรมดังกล่าวมักเกิดขึ้นในห้วงระยะเวลาเดียวกัน ในขณะที่แรงงานภาคเกษตรกรรมลดลง ซึ่งเกิดการย้ายแรงงานภาคเกษตรกรรมไปสู่ภาคอุตสาหกรรมและภาคบริการอื่น ๆ จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงควรศึกษาเพื่อหาเครื่องทุ่นแรงที่ใช้สำหรับการไถเตรียมดินที่ถูกต้องและเหมาะสมสอดคล้องกับชนิดของดินและพืชที่ต้องการปลูก และที่สำคัญจะลดเวลาที่ใช้ในกิจกรรมดังกล่าวลงเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน และยังได้งานที่มีคุณภาพกว่าการใช้แรงงานคน นอกจากนั้นการไถเตรียมดินควรพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของดินด้วย เพราะการใช้เครื่องทุ่นแรงในการไถเตรียมดินที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดผลเสียต่อดินโดยตรง เช่น เกิดการอัดแน่นของชั้นดิน ทำให้น้ำและความชื้นสูญเสียออกไปจากพื้นดิน เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน ตลอดจนทำให้ดินมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมสำหรับเพาะปลูกพืชต่อไป เครื่องมือที่ใช้สำหรับการไถเตรียมดินมีมากมายหลายชนิด หลายขนาด อีกทั้งการไถเตรียมดินก็มีวิธีการหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของดินและชนิดของพืชที่จะปลูก

การไถเตรียมดินที่ถูกต้องเหมาะสมจะช่วยให้การจัดการระบบน้ำของแปลงปลูกพืชดีขึ้นและจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินลง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับพืช สำหรับในกระบวนการไถเตรียมดินจะเกี่ยวข้องโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดินและน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติของดิน สามารถกระทำได้โดยการปรับปรุงวิธีการไถเตรียมดินให้มีประสิทธิภาพอย่างไรก็ตามการไถเตรียมดินจะขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและชนิดของพืชที่ปลูกเป็นสำคัญการไถเตรียมดินนอกจากจะมีผลทำให้คุณสมบัติของดินเหมาะสำหรับการเติบโตของเมล็ดพืชหรือต้นพืชให้เจริญงอกงามแล้วการไถเตรียมดินถูกต้อง ยังมีผลทำให้ดินมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการชะละลายของน้ำและลม

ซึ่งถือเป็นการอนุรักษ์ผิวหน้าดินซึ่งปกติจะมีความอุดมสมบูรณ์ด้วยปุ๋ยและธาตุอาหารพืช การไถเตรียมดินที่ถูกรวบรวมทำให้ดินโปร่งร่วนซุย มีโครงสร้างของดินดีขึ้นทำให้ดินช่วยเก็บความชื้นและช่วยให้การไหลซึมของน้ำดียิ่งขึ้น สำหรับการไถโดยกลบซากพืชหรือวัชพืชลงสู่ดินจะช่วยลดการชะล้างหน้าดิน เมื่อเกิดการไหลบ่าของน้ำฝน นอกจากนั้นเศษซากพืชที่อยู่ในดินยังทำให้ดินเพิ่มการซึมซับน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนั้นการไถดินชั้นล่าง (Subsoil tillage) เป็นการทำลายชั้นดินอัดแน่นหรือชั้นดินดาน (Hardpan soil) ทำให้ชั้นดินดานแตกแยกออกจากกัน ช่วยทำให้น้ำสามารถซึมผ่านจากดินชั้นบนไปยังดินชั้นล่างได้ ไม่เกิดน้ำท่วมขังบนแปลงเมื่อฝนตกอย่างไ้ก็ตามคุณสมบัติของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ ความชื้นในดิน ปริมาณอากาศในดิน อุณหภูมิของดิน และความแน่นของดิน ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 ความชื้นในดิน

ความชื้นในดินมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของดินและกระบวนการต่าง ๆ ในดินความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสูญเสียและการสะสมสารเคมีในดิน หากดินมีความชื้นต่ำพืชจะไม่สามารถดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ ที่อยู่ในดินได้ เมล็ดพืชหากไม่สามารถดูดน้ำและความชื้นที่เพียงพอก็ไม่สามารถงอกขึ้นได้ อย่างไรก็ตามดินที่ไม่ถูกไถจะมีวัชพืชปกคลุมผิวดินไว้ จะทำให้ดินสามารถเก็บความชื้นได้ดีกว่าดินที่ถูกไถ อีกทั้งการสูญเสียน้ำและความชื้นผ่านผิวดินได้น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามการไถเตรียมดินจะทำให้โครงสร้างของดินโปร่งและทำให้การดูดซับน้ำของดินดีขึ้น ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีความดินที่แน่นทึบ

2.1.2 ปริมาณอากาศในดิน

ปัจจัยหนึ่งซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชคือปริมาณออกซิเจนในดิน เมื่อใดที่มีปริมาณอากาศหรือปริมาณออกซิเจนในดินน้อย จะทำให้กระบวนการทางชีวและเคมีในดินหยุดชะงัก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน และที่สำคัญออกซิเจนนั้นเป็นองค์ประกอบสำคัญที่รากพืชต้องการ ถ้าดินแน่นทึบการถ่ายเทอากาศลงสู่ดินจะกระทำได้น้อย ทำให้มีปริมาณอากาศในดินน้อยส่งผลทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนั้นดินที่แน่นทึบจะส่งผลให้องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิของดินซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชดังจะกล่าวถึงต่อไป

2.1.3 อุณหภูมิของดิน

อุณหภูมิของดินที่สูงหรือต่ำเกินไปจะส่งผลให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ดินที่ไม่ถูกไถโดยทั่วไปจะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากในตอนกลางวันจะมีวัชพืชปกคลุมดินไว้ทำให้การส่งผ่านความร้อนลงไปยังดินกระทำได้น้อยลง ขณะเดียวกันในตอนกลางคืนความร้อนจะระบายออกสู่บรรยากาศได้ยากขึ้นเนื่องจากพืชที่คลุมดินนั่นเอง อย่างไรก็ตามการไถเตรียมดินทำให้ดินร่วนและโปร่งมีปริมาณอากาศในดินเพิ่มขึ้น การผสมคลุกเคล้าวัชพืชและซากพืชลงสู่ดินทำให้ดินมีโครงสร้างดินขึ้นซึ่งเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช

2.1.4 ความแน่นของดิน

ดินที่มีความหนาแน่นมากเกินไปจะทำให้รากพืชหาอาหารได้ไม่ดี เนื่องจากการแทงทะลุของรากพืชกระทำไ้ยาก อีกทั้งดินที่มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ช่องว่างในดินมีน้อยเป็นเหตุให้พืชเจริญเติบโตช้า การทำให้ดินร่วนและโปร่งควรใช้ชุดไถที่เหมาะสม ไม่ใช่แทรกเตอร์หรือชุดไถที่ใหญ่เกินไป และทำการไถมากครั้งเกินไปอาจเป็นผลตรงข้ามคือ เกิดชั้นดินอัดแน่นหรือชั้นดินดานได้เป็นต้น

2.2 การเตรียมดินโดยใช้รถแทรกเตอร์

การเตรียมแปลงปลูกมีวิธีการแบ่งออกไปเป็น 2 ตอน คือ

2.2.1 การเตรียมดินครั้งแรก

การไถเป็นการไถครั้งแรก เพื่อให้ดิน แตกแยกเป็นก้อนสม่ำเสมอ และเป็นการไถพลิกดินที่ถูกตัดขึ้นมาจากหอดหรือบางส่วน เครื่องมือที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป คือ

2.2.1.1 ไถหัวหมู เป็นเครื่องไถที่มีใช้กันมานาน แต่ปัจจุบันการเตรียมดินของชาวนา และชาวไร่ไม่ค่อยนิยมใช้กัน ส่วนมากใช้ไถจาน ไถหัวหมู ไถได้ลึกกว่าไถจาน เตรียมดินได้ดีกว่าไถจาน ไถหัวหมูนี้จะทำหน้าที่ตัดและย่อยดิน ให้แยกการเกาะจับเป็นดินผืนใหญ่ ช่วยพลิกดิน และกลบพืช เศษหญ้า และวัชพืชต่าง ๆ ที่มีอยู่ หนาแน่นลงไปใต้ดินดีกว่าไถอื่น ๆ นอกจากนั้น ยังสามารถกลบ เมล็ดพืชลงไปใต้ลึกและกำจัด วัชพืชขึ้นต้นได้ดีกว่าเครื่องมือชนิดอื่นภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของไถหัวหมู



ภาพที่ 2.1 ไถหัวหมู

ที่มา: รัตนอุตสาหกรรมการเกษตร (2561)

2.2.1.2 ไถจาน เป็นเครื่องไถที่ใช้แพร่หลายในประเทศ เป็นไถที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่ค่อนข้างแห้งแล้ง ไม่มีหญ้าขึ้นรก ไถจานทำหน้าที่ยกดินขึ้น ย่อยดิน พลิกดินบางส่วน และตัดเศษ วัชพืช หรือรากวัชพืช หรือพืชต่างๆ ขณะที่ไถเคลื่อนที่ ไถจานแม้จะไม่สามารถไถกลบวัชพืชได้สมบูรณ์ เท่ากับไถหัวหมู แต่ก็สามารถใช้ไถดินในสภาพ ที่ไถหัวหมูทำงานไม่ได้ เช่น ดินเหนียวมาก หรือ ดินค่อนข้างแข็งมีหินหรือกรวดปน เป็นต้น ไถจาน หรือเรียกกันตามลักษณะงานที่ใช้ว่า ไถบุกเบิก



ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะของไตรจานสาม
ที่มา: Yanmar (2019)

2.1.2.3 จอบหมุน จอบหมุนใช้กันแพร่หลาย สำหรับการเตรียมดินของพืชไร่ ในต่างประเทศ แต่ในเมืองไทยเกษตรกรยังใช้น้อยมาก เพราะราคาค่อนข้างแพง จอบหมุนที่ใช้สำหรับการเตรียมดิน สามารถทำงานได้สองลักษณะในเวลาเดียวกัน คือ ไถดิน และย่อยดินในเวลาเดียวกัน ทำให้ เกษตรกรประหยัดเวลาในการเตรียมดิน จึงทำให้ เครื่องมือนี้เป็นที่นิยมแพร่หลายในต่างประเทศ จอบหมุนนี้เหมาะสำหรับใช้กับดินร่วนปนทราย และพื้นที่ที่หญ้าหรือวัชพืชขึ้นไม่รก ไม่เหมาะกับ ดินเหนียวเพราะจอบหมุนจะตีดินให้แตกละเอียด เป็นผง เมื่อฝนตกดินจะจับตัวแน่น ทำให้หน้าดิน แข็ง ต้นอ่อนของต้นพืชขึ้นมาได้ยากและช้า เสีย เวลาหลายวันกว่าจะดันดินโผล่ขึ้นมา

2.2.2 การเตรียมดินครั้งที่สอง

เครื่องมือเตรียมดินที่ใช้เตรียมดินครั้งที่สอง ต่อจากการเตรียมดินครั้งแรก ส่วนมากจะเป็นการไถพรวน หรือไถคราด ที่ไถตื้นกว่าการไถครั้งแรก การไถพรวนโดยทั่วไป มีวัตถุประสงค์ เพื่อย่อยให้ก้อนดินมีขนาดเล็กลง เหมาะต่อการงอกของเมล็ดพืช เป็นการกำจัดวัชพืช ผสมปุ๋ยให้เข้ากับดิน และตัดเศษพืช หรือพืชคลุมดิน ให้ผสมกับดินชั้นบน เพื่อเป็นปุ๋ยต่อไป

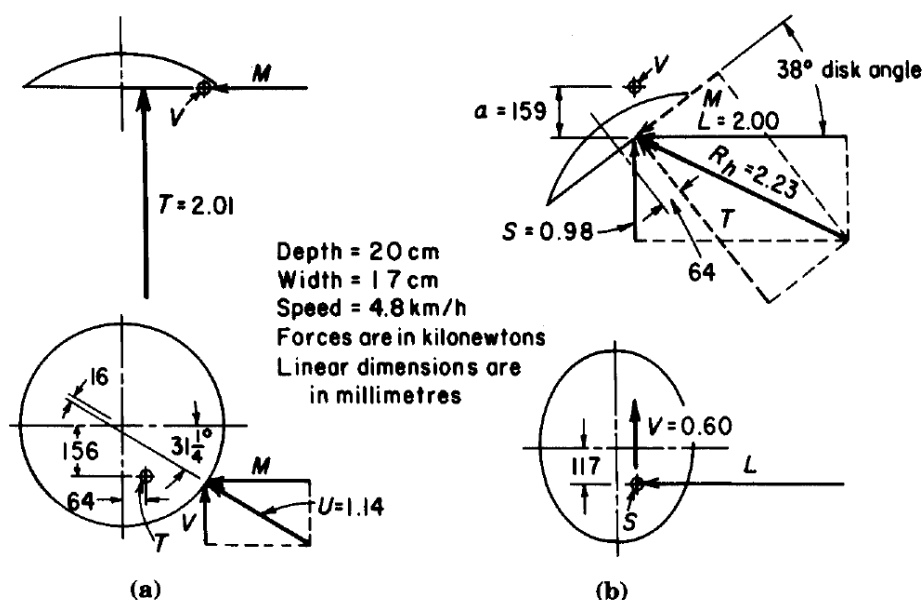
เครื่องไถพรวนโดยทั่วไป แบ่งได้เป็น เครื่องไถพรวนก่อนปลูก และเครื่องไถพรวนหลังปลูก มีหลายประเภทด้วยกันคือ ไถพรวนจาน ไถพรวนเหล็กแหลม ไถพรวนเหล็กสปริง ไถจอบ หมุน ไถพลั่วหรือไถเสียม และไถสั่ว เป็นต้น ส่วนใหญ่เกษตรกรจะใช้ไถพรวนจาน

2.2.2.1 ไถพรวนจาน เป็นเครื่องมือที่ส่วนมากใช้ หลังจากไถครั้งแรกแล้ว เป็นการไถพรวน เพื่อทำให้ดินมีขนาดเล็กลง เพื่อให้เหมาะแก่การปลูก หยอดเมล็ดพืช และใช้ไถกลบพืชที่มีการหว่านกระจายทั่วบริเวณเพาะปลูก เครื่องไถพรวนที่ใช้ในบ้านเรา มักจะเรียก ผานเจ็ด เป็นต้น

2.3 การปรับมุมตัดดินของจานไถ

การที่จะให้ไถตัดดินได้ดี นอกจากเลือกใช้แผ่นจานให้ชันมากน้อย เพื่อให้ไถดินหรือ พลิกดินได้เหมาะสมตามสภาพของดิน จานไถที่มีมุมของตัวจานใกล้จุดตั้งฉาก (Tilt angle) มากเท่าไรก็ทำให้ไถสามารถตัดดินได้ดีเท่านั้น ถ้าหากปรับมุมอนมาก ส่วนโค้งของไถด้านล่างจะ สัมผัสกับพื้นดินก่อนที่

คมของ ไถงานจะจิกลงในดินทำให้ไถดินแข็งได้ยาก และการปรับมุมของ ไถงานให้กระทำกับแนวการลากของรถ (Direction angle) ก็มีผลทำให้สามารถพลิกดินได้ดีมากน้อยต่างกันไปด้วย

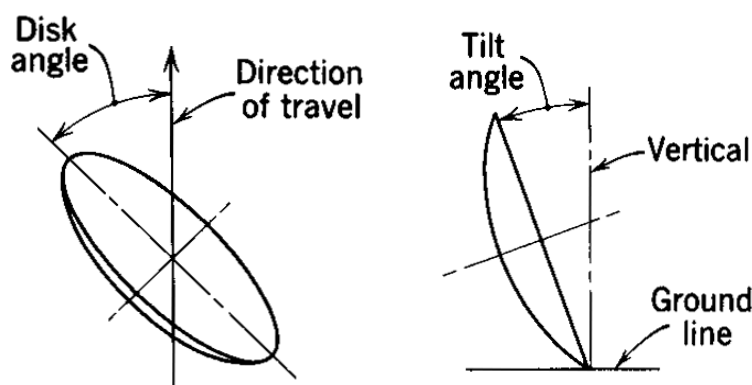


ภาพที่ 2.3 การปรับมุมที่ไถงานทำกับแนวตั้ง (Tilt angle)

ที่มา: Ajit K. Srivastava and et al. (2013)

2.4 วิธีการปรับมุมจานไถและมุมไถให้เหมาะสมกับสภาพการทำงาน

การปรับมุมของไถแต่ละบริษัทจะแตกต่างกันออกไป เช่นตัวอย่างบางบริษัทจะปรับมุมจานไถและมุมไถได้โดยเปลี่ยนมุมของสกรูล็อค ซึ่งมีลูกเบี้ยวยื่นขึ้นมาเป็นพิเศษ เพื่อใช้เลื่อนให้ไถงานได้มุมตั้งต่าง ๆ กัน ซึ่งการตั้งต้องดูจากเส้นแนวขอบของจานไถในแนวตั้งทำมุมกับเส้นตั้งฉากของพื้นดิน ดังแสดงในภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมของจานไถจะมีผลต่อการหมุนของจานไถ โดยการเปลี่ยนให้ค่ามุมจานไถและมุมไถให้มีค่าน้อย การหมุนของจานก็จะเร็วขึ้น อีกทั้งยังลดแรงต้านในแนวราบที่เกิดขึ้นในผนังร่องไถ และการปรับให้มุมของจานไถมีค่าต่ำที่สุด การไถตัดเฉือนดินได้ดี ในส่วนการเพิ่มมุมของจานไถจะทำให้ไถตัดเฉือนได้ดีโดยเฉพาะดินเหนียว จะทำให้ดินจะเกิดการแตก่วนได้ดี และยังสามารรถไถกลบวัชพืชได้ดี การตั้งค่าของมุมของจานไถและมุมของไถงานที่เหมาะสมต่อการไถเตรียมดินในแต่ละสภาพดินต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.4 มุมของจานไถและมุมของไถจาน

ที่มา: Ajit K. Srivastava and et al. (2013)

ตารางที่ 2.1 มุมของจานไถและมุมของไถจานที่เหมาะสมในสภาพดินต่างๆ

สภาพของดิน	มุมของไถ (Tilt angle)	มุมของจานไถ (Disk angle)
ดินแข็ง	3 -20 องศา	45 -50 องศา
ดินทั่วไปหรือดินชื้น	10 -25 องศา	43 -48 องศา
ดินร่วน ดินร่วนปนทราย	15 -30 องศา	40 -45 องศา

2.5 การคำนวณหาแรงฉุดลากในแนวราบ

ในการคำนวณหาแรงกระทำบนพื้นผิวในแนวราบ เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการไถเตรียมดิน ข้อจำกัดในการไถเตรียมดินต้องศึกษาทางด้าน ทิศทางการไถ พลังงาน และความต้านทานของดินและพืช ที่จำเป็นในการเอาชนะความต้านทานของอุปกรณ์การใช้งานสำหรับการเตรียมดิน การคำนวณจะช่วยให้เกษตรกรสามารถตัดสินใจ ในการทำงานมากยิ่งขึ้น

2.5.1 แรงฉุดลากในแนวราบบนพื้นผิว (Draft : Df)

เครื่องมือไถพรวนที่ดำเนินการที่ระดับความลึกตื้นนั้นส่วนใหญ่จะเป็นฟังก์ชันของความกว้างของเครื่องมือและความเร็วในการไถ สำหรับเครื่องมือไถเตรียมดินที่ทำงานที่ในแต่ระดับความลึกขึ้นอยู่กับลักษณะดิน ความลึกและรูปทรงเรขาคณิตของเครื่องมือแต่ละชนิด ความต้องการร่างแบบทั่วไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 ตามมาตรฐาน ASAE (1997) D497.3

$$Df = F_i \left(A + B \times S \times C \times S^2 \right) W \times d \quad (2.1)$$

โดย Df คือ แรงกระทำรวมบนพื้นผิว (กิโลกรัม)
 F_i คือ พารามิเตอร์ค่าพื้นผิวดิน

โดยที่ I คือ 1 สำหรับดินละเอียด (ดินเหนียว), 2 สำหรับดินปานกลาง (ดินร่วน) 3 สำหรับดินหยาบ (ทราย) และค่า A, B, C คือ พารามิเตอร์เครื่องจักร ดังตารางที่ 2.2

S คือ ความเร็วในการไถ (เมตร/วินาที)

W คือ ความกว้างหน้าดิน (เมตร)

D คือ ความลึกในการไถ (เซนติเมตร)

ตารางที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรและ พารามิเตอร์ค่าพื้นผิวดิน

ประเภท	พารามิเตอร์เครื่องจักร			พารามิเตอร์ค่าพื้นผิวดิน		
	A	B	C	F1	F2	F3
ไถหัวหมู (Moldboard plow)	652	0	5.1	1	0.70	0.45
ไถพรวน (Disk Harrow)	309	16	0	1	0.88	0.78
ไถสับ (Chisel Plow)	91	5.4	0	1	0.85	0.65

2.5.2 การวัดความลึกการไถ

การวัดความลึกการไถซึ่งทำได้โดย การใช้แนวระดับบนผิวดินในแนวระดับดิน แล้วใช้อุปกรณ์วัดความลึกการไถแต่ละครั้ง โดยวัดในร่องไถในระดับชั้นดินต่ำสุดถึงแนวระดับดินดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การวัดความลึกหลังการไถดิน

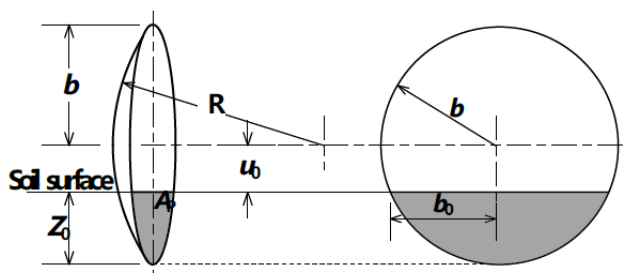
2.5.3 ความกว้างการพลิกกลบดิน

ความกว้างการไถ คือ พื้นที่หน้าตัดการไถของผานจานไถที่ตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ พื้นที่หน้าตัดการไถนั้นและความกว้างการพลิกกลบดินทำได้โดย การใช้อุปกรณ์วัด

ระยะจากขอบร่องไถจนถึงแนวการพลิกกลับดิน ดังภาพที่ 2.7 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.2 ภาพที่ 2.6

$$A_p = \left(b^2 \tan^{-1} \frac{b_0}{u_0} - u_0 b_0 \right) \sin \alpha \quad (2.2)$$

โดย A_p คือ ความกว้างการไถ
 B คือ รัศมีจานไถ
 b_0 คือ รัศมีของขอบจานไถที่ระดับผิวดิน
 u_0 คือ ระยะแนวตั้ง จากจุดศูนย์กลางของจานไถถึงผิวดิน
 Z_0 คือ ระยะในแนวตั้ง จากจุดต่ำสุดของจานไถจนถึงผิวดิน
 α คือ มุมจานไถ



ภาพที่ 2.6 ความกว้างการพลิกกลับดิน



ภาพที่ 2.7 การวัดความกว้างการพลิกกลับดิน

2.5.4 การหาค่ากำลังที่ใช้ในการเตรียมดิน

การหาค่ากำลังที่ใช้ในการไถเตรียมดิน จะต้องทำการหาแรงจุดในแนวราบ ถึงจะสามารถหาค่ากำลังที่ใช้ในการไถเตรียมดินได้ ซึ่งสมการที่ใช้ในการหาสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.3

$$hp = \frac{Draft(kgf) \times Speed(m / s)}{75} \quad (2.3)$$

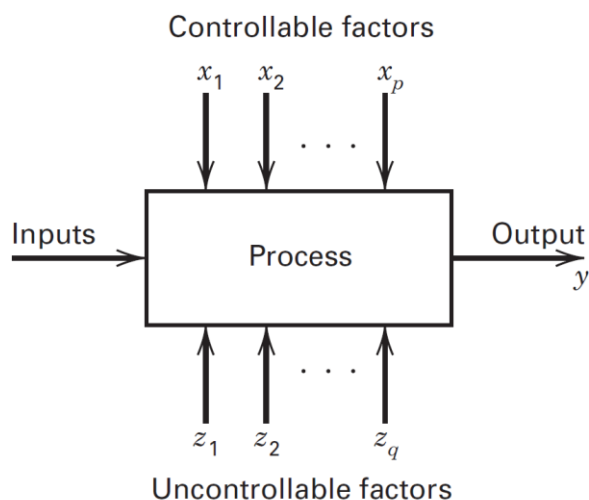
โดย	Horsepower	คือ ค่าแรงม้า
	Draft	คือ แรงกระทำรวมบนพื้นผิว (กิโลกรัม)
	speed	คือ ความเร็วในการไถ (เมตรต่อวินาที)

2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถศึกษาผลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกันด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เป็นการออกแบบเพื่อใช้ในการหาจุดหรือค่าที่เหมาะสม (optimize) และปรับปรุง (improve) กระบวนการ โดยการเลือกตัวแบบการทดลอง (Design) จำนวนปัจจัย (factors) และจำนวนระดับของปัจจัย (Level of factors) ที่เหมาะสม หลังจากทำการรวบรวมข้อมูลในการทดลอง จากนั้นก็ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่แต่ละปัจจัยหรือปัจจัยรวม ดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (response) ที่เกิดขึ้นกระบวนการที่มีปัจจัย (factors) หรือผลตอบ (response: $X_1 \dots X_n$) ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (quality characteristic) ของกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 2.8 มีวัตถุประสงค์หลักคือต้องการพัฒนากระบวนการที่มีความเข้มแข็งโดยกระบวนการ คือ การทำงานร่วมกัน ผสมผสานกันของ เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) มนุษย์ (People) กรรมวิธีการทำงาน (Methods) สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) และกระบวนการวัดค่า (Measurement) เพื่อให้เกิดเป็นผลผลิตหรือการบริการ กระบวนการเหล่านั้นจะไปสู่ผลลัพธ์ขาออกที่มีผลตอบ หรือมากกว่าก็ได้ ซึ่งปัจจัยบางชนิดเป็นปัจจัยที่เราสามารถควบคุมได้ในขณะที่ปัจจัยบางชนิดไม่สามารถควบคุมได้ โดยกำหนดให้ตัวแปร X เป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ (controllable) ขณะที่ตัวแปร Z เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (uncontrollable) และบางครั้งเรียกว่า ปัจจัยรบกวน (noise) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองมี ดังนี้ Montgomery (2012)

- (1) การหาตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อผลตอบ Y
- (2) การหาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อค่าผลตอบ Y เพื่อให้ได้ค่า Y ตามต้องการ
- (3) การหาวิธีการตั้งค่า X เพื่อที่จะให้เกิดความแปรปรวนในค่า Y น้อยที่สุด
- (4) การหาวิธีการตั้งค่า X เพื่อที่จะให้ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ Z มีค่าต่ำสุด



ภาพที่ 2.8 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ
ที่มา: Montgomery (2012)

ในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X อื่น ๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติ ที่ได้จะทำให้เรามีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (process knowledge) เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป

2.6.1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐาน 3 ประการ สำหรับการออกแบบการทดลอง คือ การทดลองซ้ำ (replication), การสุ่มตัวอย่าง (randomization) และ การสร้างปัจจัยจัดกลุ่ม (blocking)

2.6.1.1 การทดลองซ้ำ (replication) คือ การทำเพื่อให้ทราบตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมตัวแปรได้ จำนวนซ้ำของการทดลองจะทำให้มีโอกาสที่จะพบผลที่มีนัยสำคัญทางสถิติ (signal) ในขอบเขตของความแปรปรวนของข้อมูล ในกระบวนการทางธรรมชาติ (noise) ซึ่งมีสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ

1) สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่าความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่

2) ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นการทดลองซ้ำทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

2.6.1.2 การสุ่มตัวอย่าง (randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระหรือการสุ่มตัวอย่างจะทำให้สมมติฐานเป็นจริง และยังทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลอง

2.6.1.3 การสร้างปัจจัยจัดกลุ่ม (blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (precision) ให้แก่การทดลองจัดกลุ่มหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของการทดลองที่ควรจะมีความเป็น

อันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่ากลุ่มทั้งหมดของการทดลอง การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละกลุ่มจะเกิดขึ้นได้ซึ่งทำให้ทราบแหล่งของความแปรปรวน โดยการแบ่งอันดับการทดลองให้อยู่ในจัดกลุ่ม เดียวกันที่มีความคล้ายกัน

2.6.2 แนวทางการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ทำ การทดลองจะต้องมีความเข้าใจในการศึกษา การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นตอนในการ ดำเนินการสามารถทำได้ดังต่อไปนี้ (พงศธร จันทรสุขจำเริญ, 2559)

2.6.2.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา พัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลสำหรับป้อนเข้าจากบุคคลที่มีความรู้ความชำนาญในแต่ละด้าน นั้น เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการออกแบบการทดลองเพราะเป็นจุดเริ่มต้นของการดำเนินงานคือ การใช้ ประสพการณ์คาดคะเนว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อปัญหาที่เราสนใจ ถ้าหากไม่มีในส่วนของ ประสพการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเข้ามาเกี่ยวข้อง การออกแบบการทดลองก็ยังคงดำเนินต่อไปแต่จะใช้ เวลาที่นานขึ้นเพราะต้องเสียเวลาในการตรวจสอบทุก ๆ ปัจจัยที่มีอยู่ทั้งหมด

2.6.2.2 เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขตผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลง ในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (level) ที่ จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และ จะวัดผลตอบได้อย่างไรดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมากซึ่ง ความรู้นี้จะได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดู ว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมานี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรอง ปัจจัย(screening) ซึ่งต้องเลือกวิธีการคัดกรองปัจจัยให้เหมาะสมกับการทดลอง และควรที่จะกำหนดให้ ระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อย ๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญ เช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมาก ๆ หมายถึง ว่าขอบเขต ที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อเราได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปร ใดมี ความสำคัญและที่ระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตให้แคบลงได้

2.6.2.3 เลือกตัวแปรตอบสนอง ในการเลือกตัวแปรตอบสนองผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน(หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรตอบสนอง เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัว แปรตอบสนองหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปร ตอบสนอง และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

2.6.2.4 เลือกการออกแบบการทดลอง ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้ อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณา ขนาดของตัวอย่าง (จำนวนการทำซ้ำ) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บ ข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีการสร้างปัจจัยกลุ่มหรือการสุ่มตัวอย่าง อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือไม่ ในการเลือกการออกแบบ เราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อค่า

ตอบสนองที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

2.6.2.5 ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองเราจะต้องทำการทดลองอย่างระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

2.6.2.6 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ใช้วิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติ เป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ และถ้าเรานำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

2.6.2.7 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของ นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (confirmation testing) ควรจะทำการขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.7 การออกแบบวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design)

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) คือ วิธีทางคณิตศาสตร์และสถิติเทคนิคที่มีประโยชน์สำหรับการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาที่ตอบสนองความสนใจได้รับอิทธิพลจากตัวแปรหลายตัวและมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองนี้ ตัวอย่างเช่น สมมติว่าวิศวกรอุตสาหกรรมต้องการหาความเร็วรอบ (x_1) และอัตราป้อน (x_2) ที่เพิ่มแรงดึง สูงสุด (y) ของกระบวนการผลิต สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันกระบวนการของระดับของความเร็วรอบและอัตราป้อน ได้ดังสมการที่ 2.4

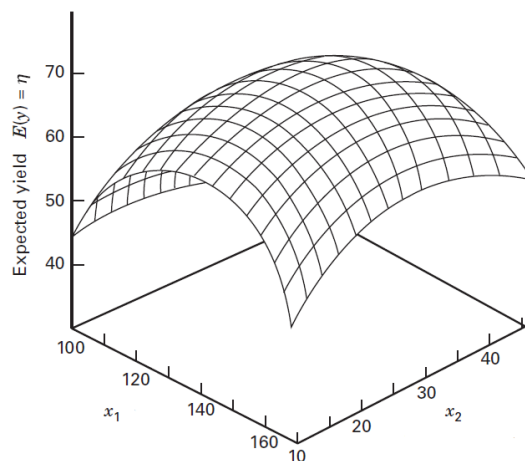
$$y = f(X_1 - X_2) + \varepsilon \quad (2.4)$$

โดย ε คือ ค่าความผิดพลาดหรือข้อผิดพลาดที่สังเกตได้ในการตอบสนอง y ถ้าแสดงถึงความคาดหวังการตอบสนองโดย $E(y) = f(X_1 - X_2) = \eta$ สามารถเขียนสมการของพื้นผิว ได้ดังสมการที่ 2.5

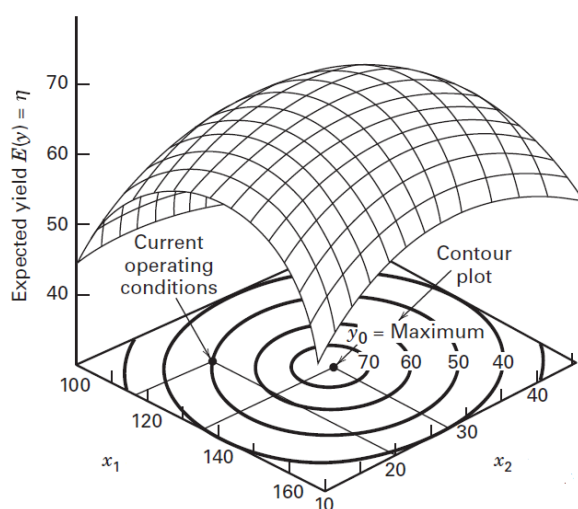
$$\eta = f(X_1 + X_2) \quad (2.5)$$

ซึ่งจะเรียกว่า พื้นผิวการตอบสนองแบบกราฟิก ดังภาพที่ 2.9 โดยที่ η จะถูกพล็อตกับระดับของ X_1 และ X_2 เพื่อช่วยให้เห็นภาพรูปร่างของพื้นผิวตอบสนองเรามักจะวางแผนรูปร่างของพื้นผิวตอบสนองดังแสดงในภาพที่ 2.10 ในพล็อตรูปร่างเส้นของการตอบสนองคงที่จะถูกวาดในระนาบ X_1

และ X_2 แต่ละเส้นตรงกับความสูงของพื้นผิวตอบสนองโดยเฉพาะ เราเคยเห็นประโยชน์ของโครงร่าง (Contour Plot)



ภาพที่ 2.9 พื้นผิวตอบสนองแบบกราฟิก



ภาพที่ 2.10 พื้นผิวตอบสนองแบบสามมิติ
ที่มา: Montgomery (2012)

ในปัญหา RSM ส่วนใหญ่ไม่รู้จักรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองและตัวแปรอิสระ ดังนั้นขั้นตอนแรกใน RSM คือการหาการประมาณที่เหมาะสมสำหรับความสัมพันธ์การทำงานที่แท้จริงระหว่าง y และชุดของตัวแปรอิสระ โดยปกติแล้วจะใช้พหุนามต่ำในบางภูมิภาคของตัวแปรอิสระ หากการตอบสนองถูกสร้างแบบจำลองอย่างดีโดยฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรอิสระฟังก์ชันการประมาณนั้นเป็น “ first-order model ” ดังสมการที่ 2.6

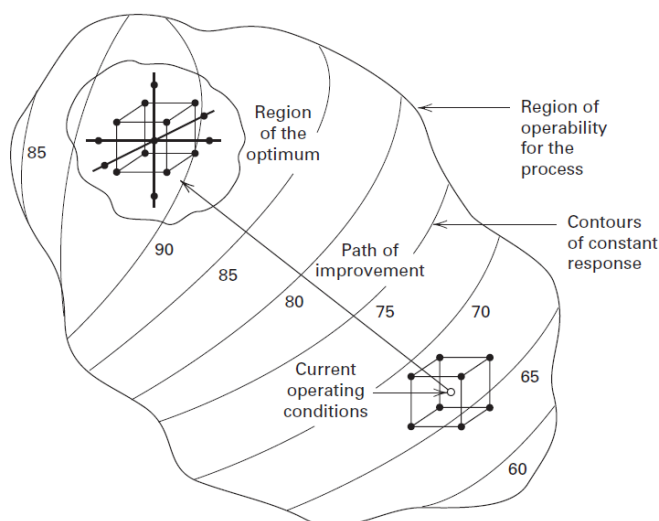
$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (2.6)$$

ถ้ามีส่วนโค้งเกี่ยวข้องกับระบบ จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีระดับสูง เช่น second-order model ดังสมการที่ 2.7

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (2.7)$$

การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองผลตอบ เป็นขั้นตอนต่อเนื่อง บ่อยครั้งที่เรายู่ที่จุดบนพื้นผิวตอบสนองที่อยู่ห่างไกลจากที่เหมาะสมเช่น การทำงานในสภาพปัจจุบัน (ภาพที่ 2.11) มีความโค้งเล็กน้อยในระบบและโมเดลลำดับที่หนึ่งจะเหมาะสม วัตถุประสงค์ของเราคือนำผู้ทดสอบไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพตามเส้นทางการปรับปรุงไปสู่บริเวณโดยรอบที่เหมาะสมที่สุด เมื่อพบค่าที่เหมาะสมที่สุดแล้วอาจมีการใช้แบบจำลองที่ซับซ้อนมากขึ้นเช่นโมเดลลำดับที่สองและการวิเคราะห์อาจดำเนินการเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด จากภาพที่ 2.11 เราจะเห็นว่า การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองนั้นคิดว่าเป็น “ การปีนเขา ” ซึ่งจุดสูงสุดของเนินเขาแสดงถึงจุดตอบสนองสูงสุด ถ้าสิ่งที่เหมาะสมที่สุดคือการตอบสนองขั้นต่ำเราอาจคิดว่า “ ลงไปสู่หุบเขา ”

จุดประสงค์สุดท้ายของการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบก็คือการหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบหรือเพื่อที่จะหาอาณาเขตของปัจจัยที่จะก่อให้เกิดการทำงานที่น่าพอใจที่สุด



ภาพที่ 2.11 วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ
ที่มา: Montgomery (2012)

2.7.1 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design of Experiment: CCD เป็นการทดลองตั้งแต่ 3 ปัจจัยถึง 10 ปัจจัย ด้วยระดับการทดลอง 3-5 ระดับ (แทนด้วยสัญลักษณ์ 1, 0, +1) กล่าวคือ จะปรับตัวแปรที่ต้องการศึกษาไปแต่ละ 3 ค่า แต่จะมีการปรับตัวแปรแบบ Full Combination หรือ Full Factorial โดยจะเลือกเพียงบาง Runs หรือบางสภาวะการทดลองที่จำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอต่อการสร้างแบบจำลองทางสถิติ โดย Model ที่ได้จะยังคงมี Main Effect, Interaction และ Quadratic Terms โดยใช้ทรัพยากรไม่มากเกินไป

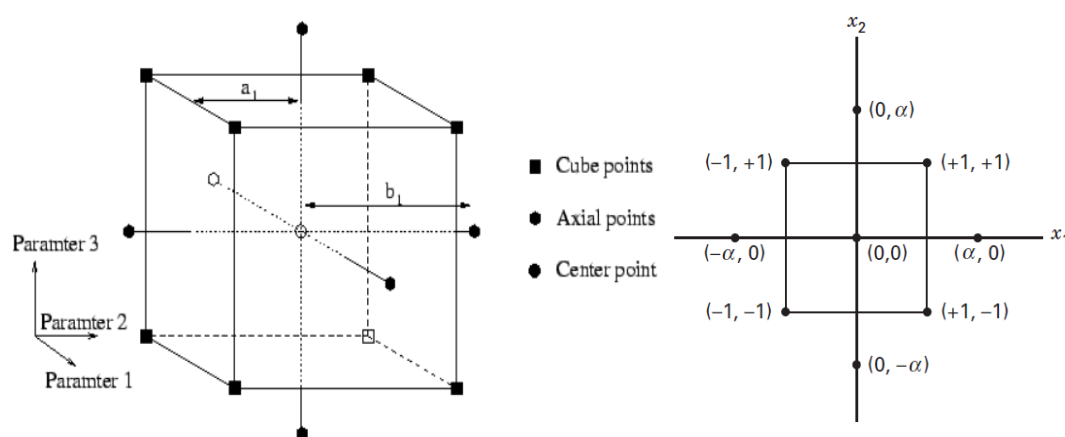
Central Composite Design เป็นการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiments: DOE) ที่ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ (จรัล ทรัพย์เสรี, 2552)

2.7.1.1 Factorial Points ซึ่งจะเป็นการนำเอา Full Factorial มาเป็นส่วนหนึ่งของการทดลอง

2.7.1.2 Axial Points เป็นการปรับค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในขณะที่ Fix ให้ค่าตัวแปรอื่นอยู่ที่ค่ากลาง หรือค่า 0 และ

2.7.1.3 Center Points เป็นการปรับค่าตัวแปรทุกตัวแปรที่ค่ากลาง หรือค่า 0

โดยปกติแล้ว ค่าที่ Center Points ควรจะใช้จำนวนการทดลอง 3-6 การทดลอง (Camposco-Negrete, 2013) สำหรับ ตารางที่ 2.3 เลือกใช้ค่า Alpha = 1 หรือ ระยะจาก Axial Points ไปยัง Center Points เป็น 1 (บางครั้งเรียก design ที่ alpha = 1 แบบนี้ว่า face centered design) ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 การออกแบบส่วนประสมกลาง (CCD) สำหรับ $k=2$ และ $k=3$
ที่มา: Montgomery (2012)

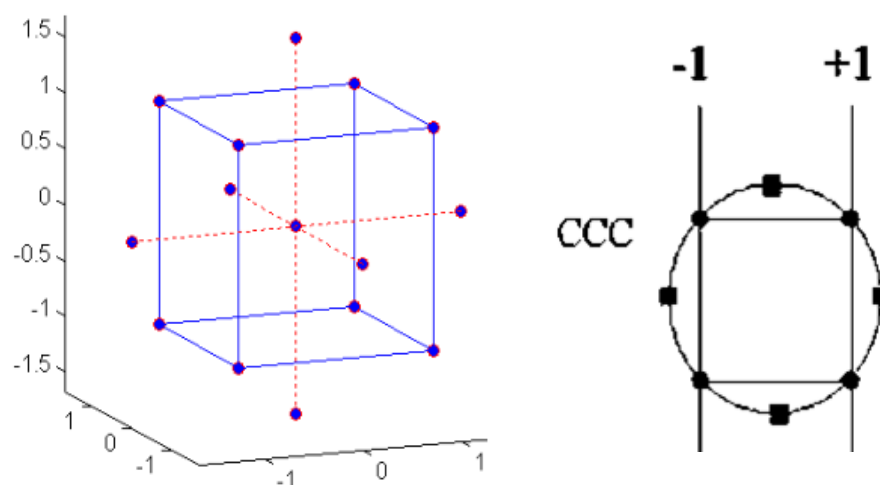
ตารางที่ 2.3 ลักษณะการเก็บข้อมูลของ Central Composite Design สำหรับ 3 Factors

A	B	C	Point Types
-1	-1	-1	Factorial Point
1	-1	-1	Factorial Point
-1	1	-1	Factorial Point
1	1	-1	Factorial Point
-1	-1	1	Factorial Point
1	-1	1	Factorial Point
-1	1	1	Factorial Point
1	1	1	Factorial Point
-1	0	0	Axial Point
1	0	0	Axial Point
0	-1	0	Axial Point
0	1	0	Axial Point
0	0	-1	Axial Point
0	0	1	Axial Point
0	0	0	Center Point
0	0	0	Center Point

2.7.2 รูปแบบ Central Composite Design

การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการ Central Composite Design สามารถออกแบบการทดลองได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

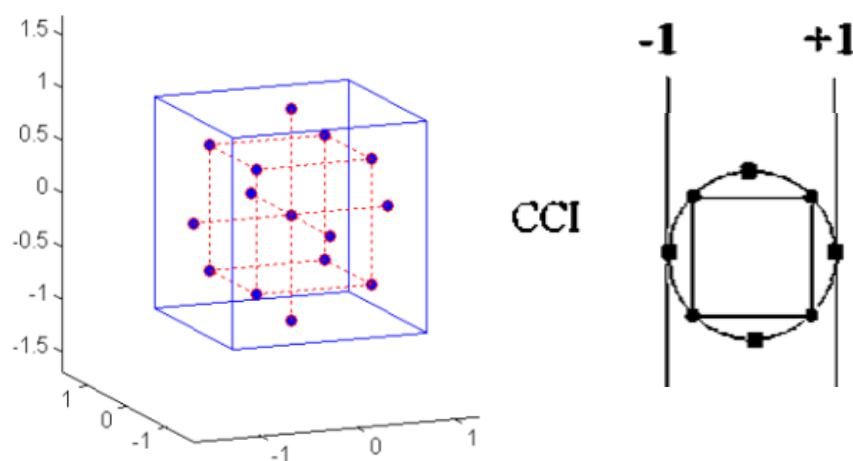
2.7.2.1 การออกแบบ Central Composite Design แบบ Circumscribed: CCC เป็นการออกแบบคอมโพสิตกลางดั้งเดิมและทำการทดสอบที่ห้าระดับ จุดขอบ (จุดแบบแยกส่วนหรือแบบแยกส่วน) อยู่ที่ขีด จำกัด การออกแบบ จุดดาวอยู่ที่ระยะห่างจากศูนย์กลางขึ้นอยู่กับจำนวนของปัจจัยในการออกแบบ จุดดาวขยายช่วงนอกการตั้งค่าต่ำและสูงสำหรับทุกปัจจัย จุดกึ่งกลางทำให้การออกแบบเสร็จสมบูรณ์ ภาพที่ 2.13 แสดงการออกแบบ CCC การกรอกแฟกทอเรียลหรือความละเอียดที่มีอยู่การออกแบบแฟกทอเรียลแบบเศษส่วนด้วยจุดของดาวและจุดศูนย์กลางออกแบบ.



ภาพที่ 2.13 การออกแบบ CCC

ที่มา: Ibnu (2013)

2.7.2.2 การออกแบบ Central Composite Design แบบ Inscribed: CCI ใน CCI จุดจะถูกกำหนดที่ข้อจำกัด การออกแบบมีขีดจำกัดและจุดขอบอยู่ในช่วงแสดงในภาพที่ 2.14 ในทางหนึ่ง การออกแบบ CCI เป็นการออกแบบ CCC แบบลดขนาด นอกจากนี้ยังให้ผลลัพธ์ในหาระดับสำหรับแต่ละปัจจัย การออกแบบ CCI ใช้เฉพาะจุดภายในช่วงปัจจัยที่ระบุไว้ ดังนั้นพื้นที่การคาดการณ์จะถูกจำกัด เมื่อเปรียบเทียบกับ CCC

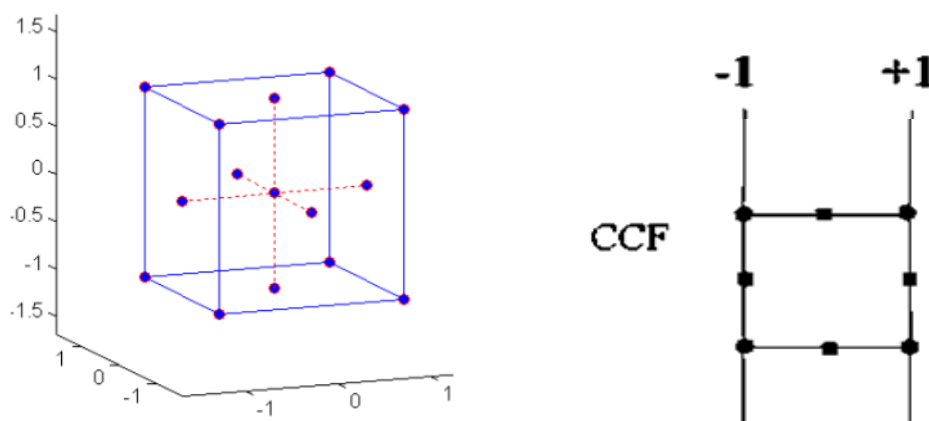


ภาพที่ 2.14 การออกแบบ CCI

ที่มา: Ibnu (2013)

2.7.2.3 การออกแบบ Central Composite Design แบบ Face Centered: CCF ใน การออกแบบนี้จุดดาวอยู่ที่กึ่งกลางของแต่ละหน้าของพื้นที่แฟคทอเรียล ดังนั้น $\alpha = \pm 1$ และใช้เพียงสามระดับเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 2.15 การประกอบแฟคทอเรียลหรือการออกแบบความละเอียดที่มี

อยู่กับจุดที่เหมาะสม สามารถสร้างการออกแบบนี้ได้ การออกแบบ CCF ให้การคาดการณ์ที่มีคุณภาพค่อนข้างสูงในทุกช่วงการออกแบบ แต่ความแม่นยำต่ำสำหรับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์กำลังสอง



ภาพที่ 2.15 การออกแบบ CCF
ที่มา: Ibnu (2013)

2.8 วิธีการหาคำตอบ

ปัจจุบันปัญหาการตัดสินใจมีความยากและซับซ้อนมากขึ้น การประยุกต์วิทยาการทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการประมวลผลโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์จึงมีความจำเป็นมากขึ้น ขั้นตอนวิธีการคอมพิวเตอร์หรือเราเรียกว่าอัลกอริทึมที่จะต้องเรียนรู้ถึงบริบทปัญหาเพื่อกำหนดรูปแบบขั้นตอนของอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา (Solution Approach) อย่างเช่น การพิจารณาการตัดสินใจในการลงทุนภาคเอกชนและการส่งเสริมจากหน่วยงานรัฐบาล ถ้าในบางกรณีการแก้ปัญหาด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ วิธีวิธีการฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติกจะถูกนำมาช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าว

2.8.1 วิธีฮิวริสติก (Heuristic Method)

วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยจากการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งไม่มีแบบแผนที่ตายตัว โดยมักต้องอาศัยความเข้าใจและประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหาเป็นๆเป็นอย่างดี ดังนั้นวิธีฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหานี้ อาจไม่สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาอีกปัญหาหนึ่งได้ และไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่เท่ากันทุกครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม วิธีฮิวริสติกได้ถูกนำมาใช้ในการหาคำตอบเนื่องจากมีความเหมาะสมดังนี้

- (1) ง่ายในการทำความเข้าใจและง่ายในการนำไปใช้งานและการอธิบายถึงลักษณะการแก้ปัญหาและผลลัพธ์ที่ได้
- (2) ระบบจริง (Real practice) มีความซับซ้อนมากจนกระทั่งไม่สามารถเขียนในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ หรืออาจจะเป็นปัญหาที่ใช้เวลาในการคำนวณมากเกินไป
- (3) เป็นปัญหาที่ซับซ้อนไม่คุ้มค่ากับการใช้วิธีหาคำตอบแบบแม่นยำตรง (Exact method)

(4) ประหยัดเวลาในการสร้างตัวแบบ (Model) รวมทั้งการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาคำตอบ อย่างไรก็ตาม สำหรับบางปัญหาก็อาจจะไม่มีความจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย หากปัญหานั้นมีวิธีฮิวริสติกที่ไม่ซับซ้อนและต้องการทำการตัดสินใจอย่างรวดเร็ว

วิธีฮิวริสติกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของวิธีในการสร้างคำตอบได้แก่

(1) วิธีการสร้างผลเฉลย (Constructive method) วิธีนี้อาศัยข้อมูลของปัญหาในการสร้างขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลย ตัวอย่างของวิธีการนี้ที่ได้รับความนิยมและได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพได้แก่ วิธี (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure; GRASP) โดยฮิวริสติกนี้ประกอบไปด้วย 2 ระยะคือ ระยะการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution-development) และระยะการปรับปรุงคำตอบ (Solution improvement) ซึ่งอาจจะใช้วิธีการต่างๆ เช่น การแลกเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap operator) และการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Move exchange) การค้นหาเฉพาะที่ (Local search) หรือวิธีการ Saving หรือการแทรก (Saving or Insertion)

(2) วิธีฮิวริสติกแบบค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighborhood search heuristic) เป็นวิธีสร้างคำตอบขึ้นมาคำตอบหนึ่ง ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขแล้วนำคำตอบนั้นมาทำการสลับตำแหน่งไปเรื่อยๆ เพื่อหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิม ตามรอบที่กำหนดที่ได้ออกแบบไว้ โดยตัวอย่างของวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยโลจิสติกส์ เช่น วิธี Matching base, Nearest insertion, Nearest neighbor และวิธีค้นหาเฉพาะที่ (Local search)

2.8.2 วิธีเมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristic Method)

วิธีเมตาฮิวริสติก เป็นวิธีที่ได้จากการพัฒนาและดัดแปลงวิธีฮิวริสติกให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ผลเฉลยที่ได้อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุด หรือไม่สามารถรับประกันคุณภาพผลเฉลยให้ทุกครั้งที่ทำการประมวลผล แต่อย่างไรก็ตามผลเฉลยที่ได้จะเป็นที่ยอมรับและสามารถค้นหาได้ภายในระยะเวลาอันเหมาะสมโดย Blum และ Fouldm (2003) ได้สรุปหลักการเบื้องต้นและประเภทของเมตาฮิวริสติกไว้ดังนี้ 1) เมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) 2) เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดในระยะเวลาอันสั้น 3) วิธีการทางเมตาฮิวริสติกอาจจะมีทั้งแบบง่ายไม่ซับซ้อน เช่น การค้นหาเฉพาะที่ (Local search) หรือแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนมากกว่า เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) วิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) เป็นต้น 4) เมตาฮิวริสติกเป็นขั้นตอนการประมาณคำตอบ 5) เมตาฮิวริสติก อาจะเกิดจากการรวมหลากหลายเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ 6) เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนมาตรฐานที่แน่นอน แม้ว่าเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในปัญหาที่แตกต่างกันจะมีรายละเอียดของขั้นตอนย่อยที่แตกต่างกัน แต่ฮิวริสติกสำหรับปัญหาแต่ละปัญหาต้องดำเนินการตามขั้นตอนหลักของเมตาฮิวริสติกดั้งเดิม เช่น การประยุกต์ใช้วิธีระบบมด (Ant System) ในปัญหาที่แตกต่างกัน จะมีระเบียบหลักๆ ที่เหมือนกัน เช่น การมีทัศนคติ (Bias) ก่อนตัดสินใจ หลังจากตัดสินใจต้องใช้คำตอบมาเพิ่มหรือลดปริมาณทัศนคตินั้น วิธีการตัดสินใจจากการใช้ระดับทัศนคติในแต่ละปัญหาอาจจะไม่เหมือนกัน และวิธีการเลือก

คำตอบมาเพิ่มหรือลดระดับทัศนคติในแต่ละปัญหาอาจจะแตกต่างกัน เป็นต้น 7) เมตาฮิวริสติกต้องสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย 8) เมตาฮิวริสติกอาจจะมีลักษณะเป็นคำบรรยายโดยย่อก็ได้หรือไม่จำเป็นต้องมีหลักการทางคณิตศาสตร์ 9) ปัจจุบันนี้ เมตาฮิวริสติกใช้ความจำชั่วคราวมากขึ้นในการจำคำตอบเดิม เพื่อค้นหาคำตอบที่ไม่ซ้ำเดิมหรือแตกต่างไปจากเดิม เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีระบบด

ในปัจจุบัน วิธีการเมตาฮิวริสติกมีอยู่หลากหลายให้เลือกใช้ แต่ละวิธีจะมีจุดดีและจุดด้อยที่แตกต่างกัน บางวิธีการให้ผลลัพธ์ดีแต่ใช้เวลาในการคำนวณนาน บางวิธีการคำนวณรวดเร็วแต่ให้ผลลัพธ์แย่กว่าวิธีอื่น การแบ่งวิธีการเมตาฮิวริสติกมีหลายวิธี Blum และ Fouldm (2003) ได้เสนอวิธีการแบ่งไว้ดังนี้ 1) แบบที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติหรือแบบไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ วิธีที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีระบบด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น (Simulated Annealing) ส่วนวิธีการที่ไม่ได้เลียนแบบธรรมชาติ เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (Iterated Local Search) วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข (Variable Neighborhood Search) เป็นต้น 2) แบบใช้ประชากรหรือแบบไม่ใช้ประชากร (Population on non-Population Based) แบบใช้ประชากรคือในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก ส่วนแบบไม่มีประชากร ในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบเพียงคำตอบเดียว วิธีแบบใช้ประชากร เช่น วิธีระบบด วิธีเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีแบบไม่ใช้ประชากร เช่น วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข 3) แบบสมการเป้าหมายคงที่หรือไม่คงที่ (Dynamics or Static Objective Function) ในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ เกิดขึ้นหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เช่น การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบมีการชี้แนะ (Guided Local Search) กรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข 4) แบบเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบปัจจุบัน (Neighborhood) คงที่และไม่คงที่ กรณีที่วิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคงที่ ได้แก่ วิธีระบบด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ ส่วนกรณีที่มีการเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียง ได้แก่ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข 5) แบบมีและไม่มีหน่วยความจำ ถ้ามีการใช้หน่วยความจำ จะจำว่ามีคำตอบใดบ้างที่ผ่านมาแล้วนำมาเพื่อเป็นข้อมูลในการหาคำตอบรอบถัดไป ซึ่งกรณีที่ใช้หน่วยความจำที่ปรากฏชัด ได้แก่ วิธีระบบด วิธีการค้นหาต้องห้าม ส่วนวิธีที่ไม่ใช้หน่วยความจำ เช่น วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ

นอกจากนี้ยังมีวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของหลักการทำงานของกลุ่มประชากรในการแก้ปัญหาทางวิจัยในสาขาวิชาต่าง ๆ ที่ถูกสร้างขึ้นมาในรูปแบบวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการเลียนแบบธรรมชาติและการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm: DE) โดยผลงานวิจัยวิธีการเหล่านี้ เริ่มได้รับความสนใจมากขึ้นจนถึงปัจจุบัน

2.9 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการวิวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution algorithm: DE)

ขั้นตอนและหลักการในการค้นหาคำตอบด้วยวิธี Differential Evolution (DE) ที่เสนอโดย Storn and Price (1997) ซึ่งได้อธิบายว่า กรอบทฤษฎีของวิธีการเป็นรูปแบบง่าย ๆ และ มีระยะเวลาในการคำนวณที่น้อย ไม่สิ้นเปลืองพื้นที่เก็บข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์ Bin and et al. (2008) ได้สรุปว่า การวิวัฒนาการของ DE ถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายและมีการแสดงจุดแข็งในหลายพื้นที่ ที่มีการประยุกต์ใช้

ในวิธีการค้นหาที่ยึดตามหลักประชากร การวิวัฒนาการจะเริ่มสุ่มประชากรเริ่มต้นในขนาด N ของ เวกเตอร์มิติ D การแก้ไขปัญหาคือการวิวัฒนาการอัลกอริทึมที่จะไปแทนที่มิติของเวกเตอร์ D ซึ่งค่าของตัวแปรแต่ละตัวในพื้นที่ของมิติจะถูกแสดงเป็นเลขในระบบจำนวนจริง ลักษณะที่เด่นชัดของกระบวนการ คือ กลไกใหม่สำหรับการสร้างเวกเตอร์ของการทดลองการวิวัฒนาการ จะสร้างเวกเตอร์การทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงและมองข้ามหลักการดำเนินงาน จากนั้นทดแทนการดำเนินงานเฉพาะรายบุคคลที่เราเรียกว่า การดำเนินการคัดเลือก ที่เกิดขึ้นเมื่อเวกเตอร์การทดลองนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าเวกเตอร์ที่สอดคล้องกัน กระบวนการเหล่านี้จะถูกดำเนินการอีกครั้งจนกว่าจะมีเกณฑ์ที่ยังให้มีการหยุด ทั้งนี้การวิวัฒนาการของประชากรก็就会被ดำเนินการโดยผ่านวิธีการทำซ้ำของ 3 ผู้ประกอบการหลักซึ่งก็คือ การกลายพันธุ์ ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบโครอสโอเวอร์ และการคัดเลือก ด้วย กระบวนการทำงานในการวิวัฒนาการแบบคลาสสิก โดย Price and et al. (2005) ได้สรุปการแบ่งลำดับขั้นตอนที่สำคัญของการวิวัฒนาการแบบคลาสสิกไว้ดังนี้

2.9.1 Initial population

คือขั้นตอนการสุ่มเลือกจำนวนประชากรตั้งต้นภายใต้ขอบเขต ข้อจำกัด จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดได้ หรือค่า NP: Number of population เป็น ตัวแปรตัดสินใจ เพื่อนำมาคำนวณหาคำตอบ Cost Value Fitness Value หรือ Function Value ในความหมายเดียวกัน

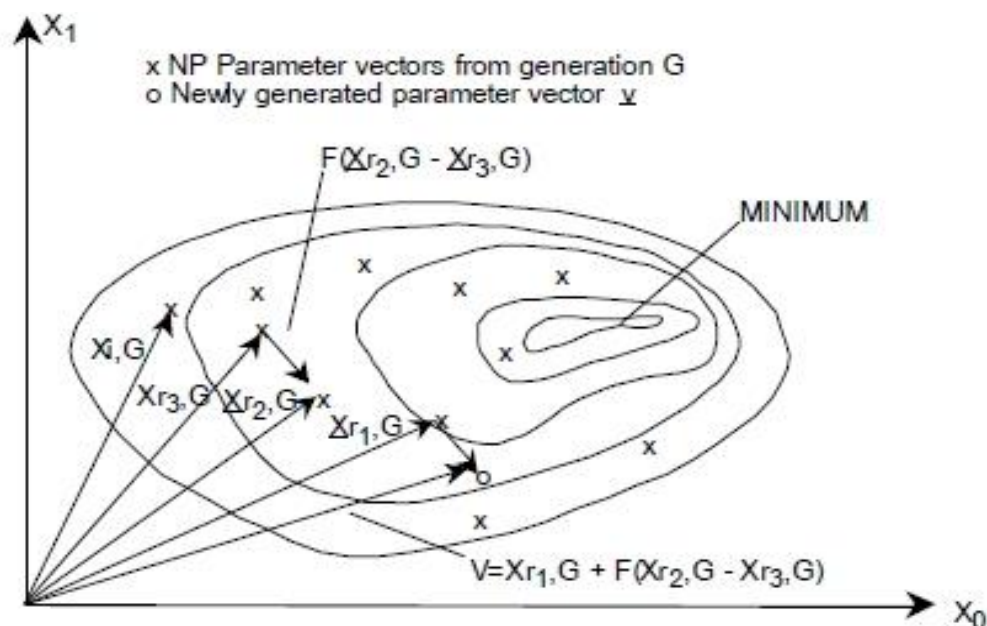
2.9.2 Mutation

คือ ขั้นตอนการคูณตัวแปรตัดสินใจด้วยปัจจัยตัวคูณ เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F อีกชื่อหนึ่งเช่นกันเพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า กลายพันธุ์ ให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรในข้อแรก มีขั้นตอนย่อย ดังนี้

2.9.2.1 ทำการกำหนด Target Vector ($X_{i,G}$) โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, NP$

2.9.2.2 สุ่มเลือกจำนวน 2 Vector ($X_{r2,G}, X_{r3,G}$) จากประชากรตั้งต้นที่ไม่ซ้ำกับ Target Vector

2.9.2.3 ทำการคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) จากความสัมพันธ์



ภาพที่ 2.16 การค้นหา Mutant Vector ของฟังก์ชัน 2 ตัวแปร
ที่มา: Storn and Price (1997)

ในการปรับเปลี่ยนค่าฟังก์ชันนั้น สามารถทำได้โดยการสุ่มเวกเตอร์มา 3 เวกเตอร์ (ตัวแทนผลลัพธ์) ได้แก่ $X_{r1,G}$ / $X_{r2,G}$ / $X_{r3,G}$ มาดำเนินการ โดยเวกเตอร์ที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าฟังก์ชันไปแล้ว จะถูกเรียกว่า “มิวแทนต์เวกเตอร์” โดยที่ค่ามิวแทนต์เวกเตอร์ ($V_{i,G}$) จะมีค่าเท่ากับ $X_{r1,G}$ รวมกับ ผลต่างของเวกเตอร์ $X_{r2,G}$ และ $X_{r3,G}$ คูณด้วย F โดยสามารถอธิบายการปรับค่าในฟังก์ชันของเวกเตอร์ได้ ดังสมการที่ 2.8 และตารางที่ 2.4

$$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \quad (2.8)$$

เมื่อ	$X_{r1,G}$	คือ Target Vector
	$V_{i,G+1}$	คือ Mutant Vector
	$X_{r2,G}, X_{r3,G}$	คือ Random Vector
	F	คือ Weighting Factor

ตารางที่ 2.4 กลยุทธ์การสร้าง Mutant vector

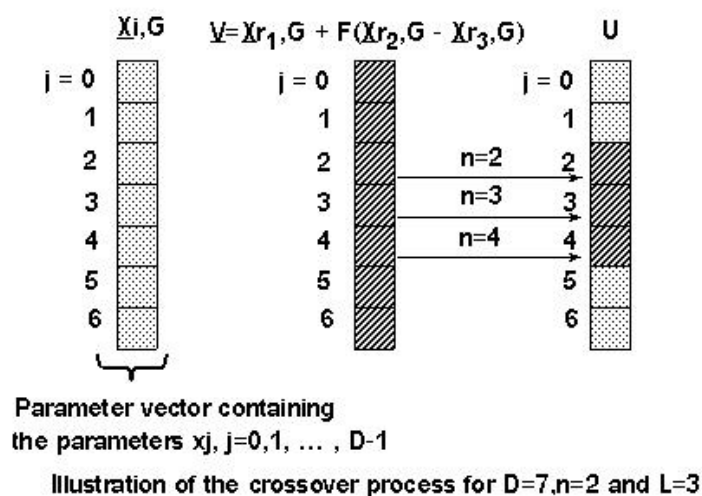
กลยุทธ์ที่	รูปแบบ	สมการการกลายพันธุ์ (Mutation)
Binomial		
1	DE/rand/1/bin	$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G})$
2	DE/best/1/bin	$V_{i,G+1} = X_{best,G} + F(X_{r1,G} - X_{r2,G})$
3	DE/rand-to-best/1/bin	$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F1(X_{r2,G} - X_{r3,G}) + F2(X_{best,G} - X_{r1,G})$
4	DE/rand/2/bin	$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G} + X_{r4,G} - X_{r5,G})$
5	DE/best/2/bin	$V_{i,G+1} = X_{best,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G} + X_{r4,G} - X_{r5,G})$
Exponential		
6	DE/rand/1/exp	$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G})$
7	DE/best/1/exp	$V_{i,G+1} = X_{best,G} + F(X_{r1,G} - X_{r2,G})$
8	DE/rand-to-best/1/exp	$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F1(X_{r2,G} - X_{r3,G}) + F2(X_{best,G} - X_{r1,G})$
9	DE/rand/2/exp	$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G} + X_{r4,G} - X_{r5,G})$
10	DE/best/2/exp	$V_{i,G+1} = X_{best,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G} + X_{r4,G} - X_{r5,G})$

2.9.3 Crossover หรือ Recombination

คือขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ ซึ่งจะได้สายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่งกว่าออกมาอย่างหลากหลาย เพื่อค้นหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ ๆ โดยมีการสร้าง Trial Vector ($U_{i,G+1}$) ดังแสดงในสมการที่ 2.9 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและพิจารณาในการผสมสายพันธุ์ดังสมการ 2.9 ตัวอย่างการ Crossover สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.17

$$U_{i,G+1} = \begin{cases} V_{i,j,G+1} & \text{if } \text{rand}_{i,j} \leq CR \text{ or } j = l_{rand} \\ X_{i,j,G} & \text{if } \text{rand}_{i,j} > CR \text{ or } j \neq l_{rand} \end{cases} \quad (2.9)$$

โดย $U_{i,G+1}$ คือ Trial vector
 $V_{i,j,G+1}$ คือ Mutant vector
 $X_{i,j,G}$ คือ Target vector
 $\text{rand}_{i,j}$ คือ การสุ่มตัวเลขจำนวนจริงที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1
 CR คือ Crossover Rate มีค่าเป็นเลขจำนวนจริงระหว่าง 0.1 ถึง 0.9



ภาพที่ 2.17 การ Crossover ของ Target Vector และ Mutant Vector ที่มีค่า $D=7$
 ที่มา: Storn and Price (1997)

2.9.4 Selection

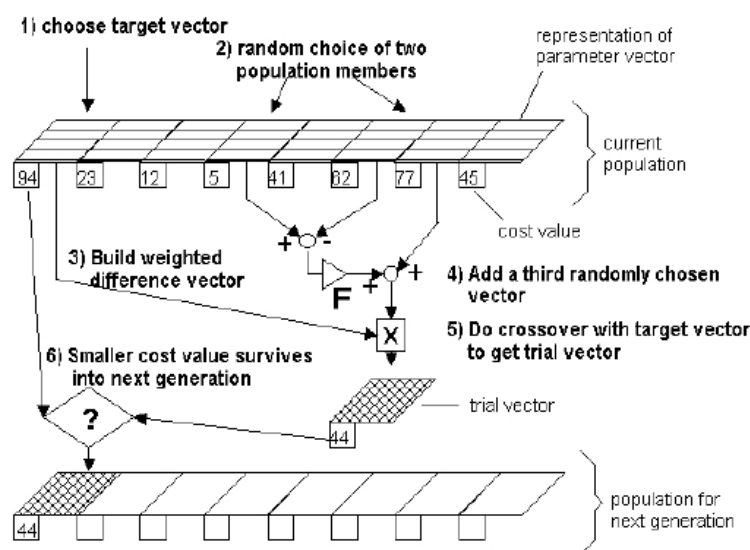
คือขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป ($G+1$) โดยคัดเลือกเอาเฉพาะ คำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบ Function Value หรือ Cost Value ของ Trial Vector กับ Target Vector ในกรณีที่ค่า Function Value ของ Trial Vector ดีกว่า Target Vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial Vector ในรุ่นต่อไป

2.9.5 Evaluation & Re-Generation

ดำเนินการซ้ำจากข้อ 2 ถึงข้อ 4 โดยเปลี่ยน Target Vector จนถึง $i = NP$

2.9.6 Reach Convergence Tolerance

นำ Target Vector ที่ได้จากข้อ 4 มาทำซ้ำขั้นตอน ทั้งหมดจนครบตามความต้องการ โดยแสดงในภาพที่ 2.18 เป็นการแสดงขั้นตอนการหาค่าความเหมาะสมโดยวิธี Differential Evolution สำหรับปัญหาการหาค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด (Min-Max Optimization Problem)



ภาพที่ 2.18 กระบวนการหาค่าความเหมาะสมโดยวิธี DE จากขั้นที่ 1-4
ที่มา: Price and Storn (2005)

ในผลงานวิจัยที่ได้ทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของ DE และการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการของ DE เข้าสู่การแก้ปัญหาต่าง ๆ มากมาย ดังต่อไปนี้

2.10 งานวิจัยการประยุกต์ใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Applications of differential evolution)

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นเป็นวิธีการที่ถือว่าสมัยใหม่ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้กำลังเป็นที่ นิยมในการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ ด้าน ดังต่อไปนี้

(1) การประยุกต์ใช้ในปัญหาด้านการวิจัยการดำเนินงาน (Operational research problem) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยการดำเนินงานอย่างแพร่หลาย เช่น การนำไปประยุกต์ใช้กับสายการผลิตแบบเลื่อนไหลที่มีข้อจำกัดการทำงาน (Blocking flow shop scheduling problems) เพื่อลดระยะเวลาการผลิต Ling Wang and et al. (2010) นอกจากนี้ ยังมี การนำไปประยุกต์ใช้กับสายการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง โดย Zhang and et al. (2013) ได้ประยุกต์ใช้ ใน ปัญหาสายการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Job shop) โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดระยะเวลารวมของงานที่เสร็จ ช้ากว่ากำหนด (Minimize total tardiness)

(2) การประยุกต์ใช้ในปัญหาด้านการจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain problem) management ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการผลต่าง ได้นำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการในระบบห่วงโซ่อุปทานอย่าง หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่ง การศึกษาวิจัยจะ แตกต่างกันในเรื่องของวัตถุประสงค์และข้อจำกัดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เช่น Cao Erbao and Lai Mingyong (2010) ได้ประยุกต์ใช้ในปัญหาจัดตารางการขนส่งที่มีความต้องการไม่แน่นอน (Vehicle routing problems with fuzzy demand) เพื่อลดระยะทางรวมในการขนส่งสินค้า Lai Mingyong and Cao Erbao (2010) ประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP)

การรับส่งสินค้า (Pickups and Deliveries) และมีการพิจารณาหน้าต่างเวลา (Time Windows) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดระยะทางรวมของการขนส่งสินค้า Huan Xu and Jiechang Wen (2012) ได้ประยุกต์ใช้ DE ในปัญหาการขนส่งของรถโดยไม่พิจารณาหน้าต่างเวลา (Time Windows) แต่มีการกระจายการขนส่ง แบบทิศทางเดียว เพื่อให้ได้ระยะทางรวมสั้นที่สุด

(3) การประยุกต์ใช้ในปัญหาด้านการจัดการการเกษตร (Agricultural management problem) ปัญหาด้านการจัดการการเกษตรก็เป็นอีกด้านหนึ่งที่มีการนำวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมาประยุกต์ใช้ โดย Cruz and et al. (2003) ได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในปัญหาการควบคุมที่เหมาะสม (Optimal control problem) โดยการควบคุมปริมาณก๊าซไนโตรเจนใน ผักกาดหอมที่เหมาะสม นอกจากนั้น ยังมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืช (Crop planning) โดยเป็นการพัฒนาขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการผลต่างแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective) ซึ่งในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำชลประทานและเพิ่มปริมาณ ผลผลิตและผลตอบแทนสุทธิ ภายใต้เงื่อนไขของการผลิตต่างๆ Adeyemo and Otieno (2010)

(4) การประยุกต์ใช้ในปัญหาด้านอื่นๆ ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆ อีกมากมาย เช่น การประยุกต์ใช้ในงานระบบ เช่น ระบบไฟฟ้ากำลัง โดยนำมาหาคำตอบการเคลื่อนไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อยกระดับเสถียรภาพแรงดันและต้นทุนต่ำที่สุด Abou El Ela and et al. (2010) ประยุกต์ใช้ในงานระบบ Wireless Sensors Network เพื่อยืดอายุการทำงานของระบบ ให้ยาวนานมากขึ้นโดยป้องกันระบบจากการรับภาระงานมากเกินไป (Over load) Kuila and Jana (2014) นอกจากนั้น ยังประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการ ทางเคมี Sharma and Rangaiah (2013)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Disk plow ถือเป็นเครื่องมือไถเตรียมดินขั้นแรก (primary tillage) ที่ใบมีดมีลักษณะเว้าโค้งสามารถไถพลิกกลับวัชพืชได้ดี ในการศึกษาครั้งนี้เราจะพิจารณารูปแบบการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของ Disk plow ให้มีความเหมาะสม โดยปัจจัยในการควบคุมประสิทธิภาพของ disk plow ขึ้นอยู่กับปัจจัย Gill, Reaves, and Bailey (1978) 1)สภาพของดิน ความหนาแน่นของดิน ความชื้นของดิน 2) มุมจานไถ มุมใบ รัศมีของความโค้งของจานไถ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานไถ 3) การเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ความเร็ว ความลึก และความกว้างของหน้าดิน O'Dogherty and et al. (1996) ศึกษาผลของรูปร่างจานที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวสัมผัสของจานกับดิน ซึ่งส่งผลต่อขนาดแรงกระทำระหว่างดินกับจาน ผลการศึกษาพบว่ามุมจานไถ และมุมใบ ขนาดจานไถ และความลึกการทำงาน เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อพื้นที่รับแรงของจานไถ โดยเฉพาะมุมจานไถและความลึกในการทำงาน Ahmadi and Mollazade (2009) ศึกษาความลึกในความชื้นของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดพืช Abdalla and et al. (2014) ศึกษาผลกระทบของแผ่นดิสก์และมุมเอียงของแผ่นจานไถที่ไถพรวนต่อสมรรถนะของรถแทรกเตอร์ภายใต้ดินเหนียว โดยใช้มุมจาน มุมใบ ศึกษา (1)ผลกระทบของมุมจานไถและมุมเอียงต่อความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ (2)ผลกระทบของมุมจานไถและเอียงที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของแทรกเตอร์ (3)ผลกระทบของมุมจานไถและมุม

เอียงของล้อหลัง (4)ผลกระทบของจานไถและมุมเอียงต่อการใช้เชื้อเพลิงรถแทรกเตอร์ (5)ผลกระทบของดิสก์และมุมเอียงกับความกว้างของหน้าตัด (6)ผลกระทบของจานไถและมุมเอียงต่อความลึกของการไถพรวน Naderloo and et al. (2009) พยายามศึกษาผลกระทบเครื่องมือไถเตรียมดิน คือ moldboard plow, Disk plow, chisel plow ต่อความเร็วและความลึกที่มีผลต่อ Draft force

การศึกษาวิจัยเพื่อหาค่าความต้องการพลังงานในการเตรียมดินมีความสำคัญเช่นกัน BAINER and et al. (1956) อธิบายไว้ว่าแรงที่ดินกระทำกับจานไถประกอบด้วยแรงในการตัดดิน แรงที่ใช้เพื่อทางให้ก้อนดินแตก แรงใช้ยกตัวของมวลดิน และแรงใช้ในการพลิกกลับดินรวมถึงแรงเสียดทานอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นขณะจานไถไถดิน Okoko and et al. (2018) พยายามศึกษาความต้องการ Draft force และ energy ของเครื่องมือเตรียมไถดิน Almaliki (2019) ทำการจำลอง Draft force ของเครื่องมือเตรียมไถดิน ด้วยวิธีการ Response surface methodology (RSM) Kumar (2016) ใช้การประเมินค่าพลังงานและแรงบิดที่มีผลกระทบต่อความเร็ว มุมจานไถ ความลึก ชนิดดิน Ibrahmi and et al. (2015) ศึกษาผลกระทบของรูปทรงเครื่องมือเตรียมไถดินแบบ moldboard plow และ energy requirement ด้วยวิธีการจำลอง finite element method (FEM) ในปัจจัยความลึก ความเร็ว มุมไถ และ lifting angle มีการวิจัยในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม Morad and et al. (2008) ทำการทดลองวัดประสิทธิภาพ Draft force นำค่าที่ดีที่สุด เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม Gupta and Shukla (2017) ได้ นำวิธีการ Response surface methodology (RSM) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในมุมจานไถ มุมไถและความลึก

อย่างไรก็ตามในความพยายามในการหาคำตอบที่เหมาะสม มีวิธีการในการหาคำตอบที่เหมาะสมหลากหลายวิธีซึ่ง วิธีการเมตาฮิวริสติก(Metaheuristic) เป็นวิธีการที่ออกแบบมาเพื่อหาคำตอบที่ดี (a good solution) เช่น วิธีอาณานิคมมด (ant colony optimization) วิธีการค้นหาต้องห้าม (tabu search) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (simulated Annealing) วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (particle swarm optimization) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) และวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (evolutionary differential algorithm) มีการใช้ Metaheuristic เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม Santana and et al. (2018) ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) หาสภาวะที่เหมาะสมในการรักษาความเย็นด้วยสุญญากาศของบรอกโคลีหลังการเก็บเกี่ยว (Optimization of vacuum cooling treatment of postharvest broccoli) Bouamama and et al. (2019) ใช้วิธีการวิธีอาณานิคมมด (ant colony optimization) เพิ่มประสิทธิภาพของอาณานิคมมดสำหรับปัญหาชุดการเชื่อมต่อต่ำสุด Latchoumi and et al. (2019) ใช้วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (particle swarm optimization) หาค่าเหมาะที่สุดสำหรับการ approach for waterjet cavitation peening

เมื่อไม่นานมานี้ มีการวิจัยใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution algorithm) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์กระบวนการที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต Gaitonde et al.(2017), Mehrvar and et al. (2017), Nee et al.(2018), Sousa and et al. (2012) และการแปรรูปผลิตภัณฑ์ Bhattacharya and et al. (2011), Garlapati and et al. (2013), Garlapati and Banerjee (2010) ซึ่งในการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution algorithm) Chokanat and et al. (2019), Sethanan and Pitakaso

(2016) ได้ศึกษาหารูปแบบในการหาคำตอบที่ดีที่สุดในช่วงตอน Mutation Process ของกระบวนการ DE ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำวิธีการจากวรรณกรรมที่กล่าวถึงข้างต้น ในบทความนี้จึงใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution algorithm) และขั้นตอน DE ของ Chokanat and et al. (2019), Sethanan and Pitakaso (2016) นำมาหาค่าพารามิเตอร์ของมุมจานไถ มุมไถ ความลึก ความเร็วที่เหมาะสมที่สุด สำหรับเครื่องมือไถเตรียมดิน แบบจานไถให้มีการใช้พลังงานที่น้อยที่สุด

2.11.1 สรุปการทบทวนวรรณกรรมปัญหาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ตารางที่ 2.5 สรุปการทบทวนวรรณกรรมปัญหาในต่างประเทศ

ผู้วิจัย	ปัญหาที่ศึกษา	วิธีการ	ปัจจัยที่ศึกษา
Kripanarayan k. and et al. (2017)	ศึกษาการออกแบบและพัฒนารถไถนาขนาดเล็กที่ใช้เครื่องไถนา	RSM CCD	- Tilt angle 20,25 และ 30 - Forward speed 0.35,0.77 และ 1.19 - Depth 4,8 และ 12 ซม.
A.A.Mahboubi and et al. (1993)	ศึกษาผลกระทบจากการไถพรวนบนดินสองชนิดของเมือง Ohio	ANOVA	ดิน 2 ชนิด Depth 20 to 25 cm
V.M.SALOKHE and et al. (1994)	ศึกษาและทดสอบพลังงานที่ใช้ในแต่ละชุดมุมไถ	linear regression	- Tilt angle 33, 28 และ 23 - Forward speed 1, 2, 3, 4 และ 5 km/h
V. M. SALOKHE and et al. (1995)	ศึกษาผลกระทบของการไถพรวนด้วยอุปกรณ์ไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน (powered disc tiller) ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay soil)	linear regression	- Disc angle 20 to 35 - Tilt angle 33, 28 และ 23 - Forward speed 3 km/h - Depth 12 ซม.
E. McKyes and et al. (1997)	ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์การออกแบบเครื่องมือไถพรวนแบบบนการคลายตัวของดินเหนียว	linear regression	- Disc angle 30,60 และ 90 - Depth 10,15 และ 20 ซม.

ตารางที่ 2.5 สรุปการทบทวนวรรณกรรมปัญหาในต่างประเทศ (ต่อ)

ผู้วิจัย	ปัญหาที่ศึกษา	วิธีการ	ปัจจัยที่ศึกษา
Hannet and et al. (1998)	ศึกษาผลกระทบเนื่องจากอัตราส่วนความเร็ว (speed ratio) มุมจาน (disc angle) และมุมไถ (tilt angle) ที่ส่งผลต่อสมรรถนะการไถพรวนของผานไถ 1 ผาน	ANOVA	- Disc angle 20 to 65 - Tilt angle -15 และ 30 - Forward speed 3 km/h
Nidal H. and et al. (2003)	การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงเส้น 3 มิติแบบไม่เชิงเส้นของแรงกระทำบนแผ่นดิสก์	Finite element analysis	- Tilt angle 15,20 และ 25 - Forward speed 4 และ 10 km/h
A.F.Kheiralla and et al. (2003)	พลังงานสำหรับเครื่องไถพรวนดินที่ใช้ในดินทรายกรวดทรายของประเทศมาเลเซีย	Analyses of covariance, variance, orthogonal regression and linear regression	- Forward speed 4 และ 10 km/h - Depth 0-15 ซม.

จากการทบทวนวรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ RSM เพื่อแก้ปัญหาในการเกษตรในประเทศและต่างประเทศจะเห็นได้ว่าวิธีการหาคำตอบของวิธีการ RSM จะต้องวิเคราะห์ด้วย ANOVA และสร้างสมการ regression เพื่อหาค่าที่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกและนำเสนอการหาคำตอบด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง DE ในการหาคำตอบ ซึ่งขั้นตอนการหาคำตอบไม่ซับซ้อน และนำหลักการหาคำตอบของวิธี DE มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของงานวิจัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย วิธีการหาค่าตอบการหาค่าพารามิเตอร์ในการถดถอยดินที่เหมาะสม โดยสร้างเป็นสมการทำนายการใช้ปริมาณน้ำมันในรูปแบบของสมการถดถอย (regression equation) และสร้างการประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution : RSM-MDE) ในการหาค่าตอบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 3.1 ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและรวบรวมข้อมูล โดยศึกษาข้อมูลการใช้อุปกรณ์การเกษตรที่ใช้ในการทำการเกษตรในการเพาะปลูกพืชในแต่ละสภาพดินแต่ละชนิด

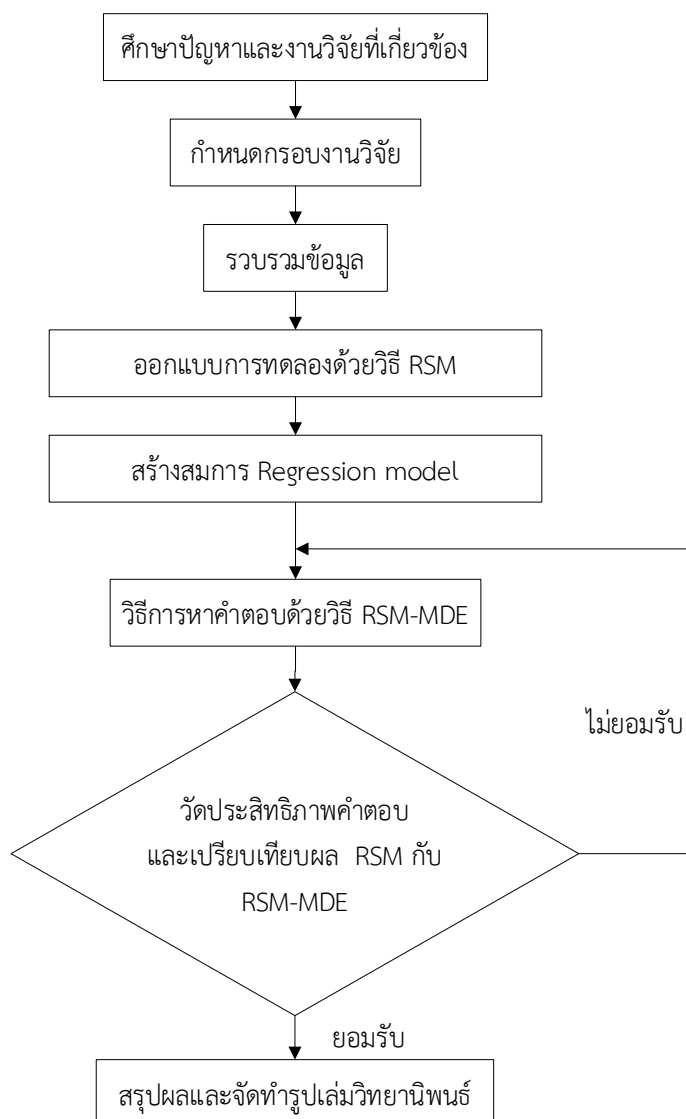
ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบการทดลองและทดสอบด้วยวิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method) ในรูปแบบการออกแบบ Central Composite Design แบบ Face Centered: CCF

ขั้นตอนที่ 3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ สำหรับการอุปกรณ์ต่อพ่วงในการไถพลิกดิน ในรูปแบบของสมการถดถอย (Regression modeling) ที่มีจุดประสงค์เพื่อให้มีค่าการใช้ปริมาณน้ำมันน้อยที่สุด ทดสอบและประมวลผลเบื้องต้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบและทดสอบอัลกอริทึมการหาค่าพารามิเตอร์ สำหรับการใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงในการไถเตรียมดิน ด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution: RSM-MDE)

ขั้นตอนที่ 5 เปรียบเทียบผลการหาค่าตอบระหว่างวิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method: RSM) และวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution: RSM-MDE)

ขั้นตอนที่ 6 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง พร้อมทั้งส่งบทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการที่เป็นที่ยอมรับ และจัดทำสรุปเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยศึกษารูปแบบปัญหาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทำการรวบรวมข้อมูลอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้ในการเกษตร สำหรับการไถเตรียมดินในการเพาะปลูก มีจุดมุ่งหมายหาค่าพารามิเตอร์ในการไถพลิกดินที่ใช้ปริมาณน้ำมันน้อยที่สุด ในวรรณกรรมเราพบว่ามีพารามิเตอร์หลัก ๆ สี่ตัวที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของรถแทรกเตอร์ซึ่ง ได้แก่ มุมของดิสก์มุมเอียงความลึกตัดและความเร็ว Abdalla and et al. (2014), Abu-Hamdeh and Reeder, (2003), Ajit K. Srivastava and et al. (2013), Gupta and Shukla, (2017), Kheiralla and et al. (2004); Kudabo and Gbadamosi, (2012), Morad and et al. (2008), Nalavade and et al. (2010), Osman and et al. (2011) ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่แนะนำซึ่งแสดงในตารางที่ 3.1 (ภาพที่แสดงให้เห็นถึงแต่ละพารามิเตอร์แสดงในภาพที่ 3.3a – 3.3c)

ตารางที่ 3.1 สรุประดับแนะนำพารามิเตอร์จากวรรณกรรมต่าง ๆ

ผู้แต่ง	มุมจานไถ (ชม.)	มุมไถ (ชม.)	ความลึก (ชม.)	ความเร็ว (กม/ชม.)
Ajit K. Srivastava and et al. (2013)	43 to 45	15 ถึง 25	18 ถึง	-
Kripanarayan k. and et al. (2017)	-	20,25 และ 30	4,8 และ 12	0.35,0.77 และ 1.19 m/s
Omer A. Abdalla and et al. (2014)	43 และ 45	15,20 และ 25	25	-
Morad and et al. (2008)	40 ถึง 55	18 ถึง 22	15 ถึง 20	1.2 ถึง 4.3 m/s
Nidal H. and et al. (2003)	-	15,20 และ 25	18 cm	4 และ 10 kmh ⁻¹
Abdalla N Osman and et al. (2011)	45	15,20 และ 25	0-40 cm	6 kmh ⁻¹
Kudabo and et al. (2012)	set 45	set 25	15cm และ 20cm	7,10 และ 12 kmh ⁻¹
A.F. Kheiralla and et al. (2004)	-	-	12, 17.5 และ 23 cm	3, 4, 5 และ 6 kmh ⁻¹
Parish P. Nalavade and et al. (2010)	-	23, 28 และ 33	-	2.2 ,2.9 และ 3.7 m/s

อ้างอิงข้อมูลที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.1 ระดับสูงสุดและต่ำสุดของพารามิเตอร์ที่จะถูกตั้งค่าสำหรับการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าต่ำสุดและสูงสุดของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

	ค่าพารามิเตอร์			
	มุมจานไถ (ชม.)	มุมไถ (ชม.)	ความลึก (ชม.)	ความเร็ว (กม/ชม.)
ค่าต่ำสุด	42	15	10	1
ค่าสูงสุด	45	25	25	4

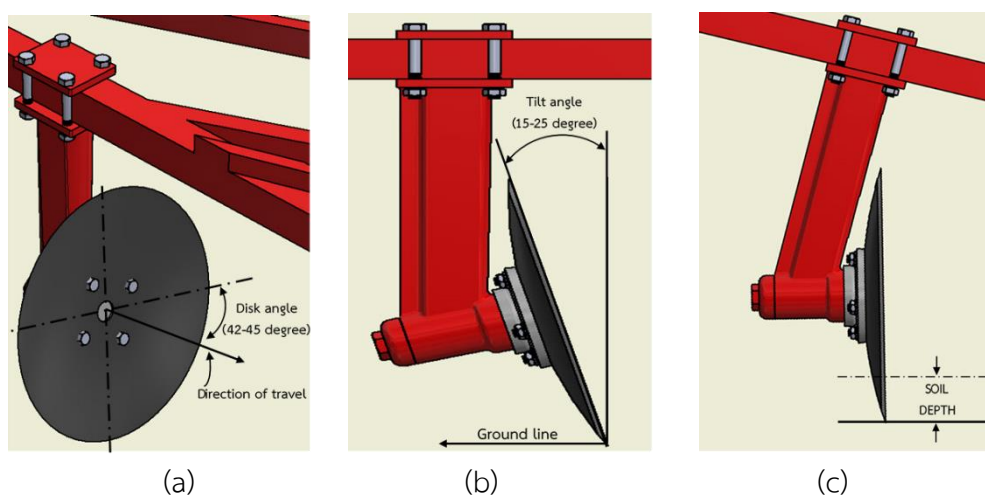
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ผู้วิจัยเลือกใช้จานไถ (Disk plows) ซึ่งมีจำนวนจานไถ 3 จานไถ มีเส้นผ่านศูนย์กลางจานไถ ตั้งแต่ 61-97 เซนติเมตร โดยจานไถเป็นแบบมาตรฐาน (Standard disk plow) ดังภาพที่ 3.2 และ ภาพที่ 3.3

ในประเทศไทยไถพรวนเป็นที่นิยมมากเพราะสามารถไถดินได้ทุกประเภท เป็นสิ่งสำคัญเมื่อเลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดิสก์ไถ เราจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายอย่างเช่นขึ้นอยู่กับความลึกที่ต้องไถความเร็วรถแทรกเตอร์และน้ำหนักของชุดไถ มันอาจทำให้รถแทรกเตอร์ไม่สามารถยกคันไถผ่านพื้นที่ที่หกรวมถึงการลากผ่านแทรกเตอร์ ดังนั้นเครื่องมือแต่ละชิ้นได้รับการออกแบบให้ใช้กับคันไถขนาดต่าง ๆ รวมถึงการพิจารณาแรงม้าของรถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการลากเครื่องมือ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองแผ่นไถ - Y 2430 DPK ที่มีขนาดแผ่น 24 นิ้ว (610 มม.) และแรงม้าของรถแทรกเตอร์ 39 - 57 HP สำหรับการทดสอบเพื่อหาแรงกระทำพื้นผิวแนวนอนในการไถดิน



ภาพที่ 3.2 จานไถเป็นแบบมาตรฐาน (Standard disk plow)



ภาพที่ 3.3 ภาพประกอบจานไถ (a) มุมจานไถ (b) มุมไถ (c) ความลึก

3.4 วิธีการสำหรับการหาคำตอบทางคณิตศาสตร์

3.4.1 วิธีการหาคำตอบพื้นผิวคำตอบ (Response surface method)

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface method: RSM) ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design: CCD) ซึ่งเป็นการออกแบบที่ทุกระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลาง (Center) ของการออกแบบเท่ากัน และทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง แต่ละปัจจัยจะมีระดับการทดลอง 3 ระดับ (-1, 0, +1) นอกจากนี้การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) การวิเคราะห์ผลทางสถิติ และวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ถูกกระทำโดยใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองประกอบด้วย มุมจานไถ (Disk Angle) มุมไถ (Tilt Angle) ความลึก (Depth of Cut) และความเร็ว (speed) แต่ละปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.3 ผลตอบสนอง คือ การใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel used) ที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 3.3 การกำหนดตัวแปรสำหรับการทดลอง RSM แบบ CCD ด้วยโปรแกรม Minitab

ปัจจัย/ระดับ	-1	0	+1
มุมจานไถ (D)	42	43.5	45
มุมไถ (T)	15	20	25
ความลึก (C)	10	17.5	25
ความเร็ว (S)	1	2.5	4

จากตารางที่ 3.3 แสดงตัวแปร โดยโปรแกรม Minitab ออกแบบการทดลองแบบ Designs Full ออกแบบการทดลอง 31 การทดลอง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการอธิบายด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface method: RSM) ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design: CCD) แสดงในตารางที่ 3.4 ในการเก็บข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูล

Run Order	มุมจางไถ (degree)	มุมไถ (degree)	ความลึก (cm)	ความเร็ว (km/hr)	Fuel used (litre)
1	43.5	20	17.5	2.5	
2	45.0	15	25.0	4.0	
3	43.5	20	25.0	2.5	
26	45.0	20	17.5	2.5	
27	45.0	15	10.0	1.0	
28	42.0	25	25.0	1.0	
29	42.0	25	10.0	4.0	
30	43.5	20	17.5	2.5	
31	42.0	15	10.0	1.0	

ในการหาค่าผลตอบที่น้อยที่สุดในการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ ผู้วิจัยวัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้อุปกรณ์กระบอกตวงวัดปริมาตรสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงขนาด 500 ml และบันทึกข้อมูลดังภาพที่ 3.4

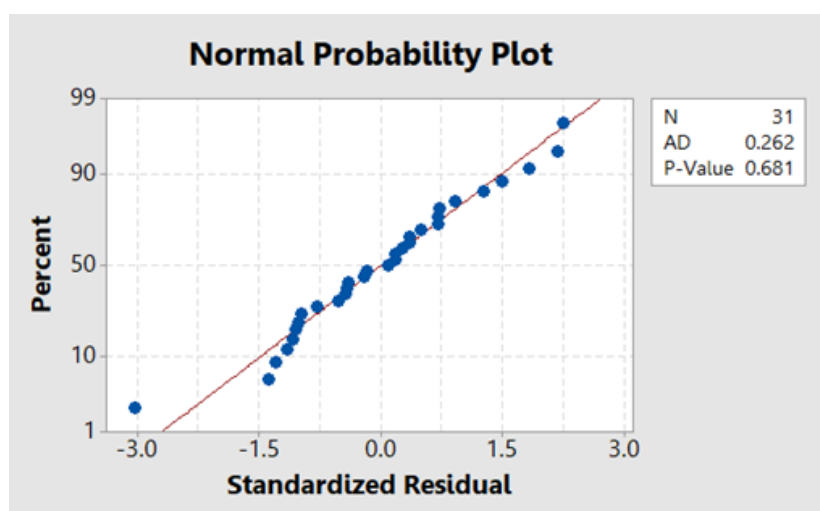


ภาพที่ 3.4 กระบอกตวงวัดปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิง

3.4.1.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองจะเป็นการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองในทุกปัจจัย โดยในการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design นี้จะแสดงถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองทั้งหมด 3 แบบด้วยกัน คือ ปัจจัยหลักกำลังหนึ่ง ปัจจัยหลักกำลังสอง และปัจจัยร่วมกำลังหนึ่ง ในการวิเคราะห์ผลนั้นพิจารณาตามขั้นตอนดังนี้

- 1) การวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลจะวิเคราะห์จากการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ ว่ามีความเป็นปกติหรือไม่ และดูค่า P-Value มีผลมากกว่า 0.05 ของระดับนัยสำคัญหรือไม่
- 2) ค่า p -Value ของ Linear, Square , 2-Way Interaction มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า สมการของปัจจัยส่งผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ
- 3) ค่า Lack-of-Fit มีค่า p -Value มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า สมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการคำนวณมีความแม่นยำ
- 4) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็นค่าที่บ่งบอกว่าข้อมูลดิบของการวิเคราะห์นั้น เหมาะสมหรือไม่ จะมีค่าระหว่าง 0 - 1 ยิ่งเข้าใกล้ 1 ก็ยิ่งดี โดยทั่วไปควรมีค่า 60% ขึ้นไป
- 5) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ $R\text{-sq (adj)}$ ต้องมากกว่า 70 % ถือว่า Model ยอมรับได้ สามารถแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ได้ดังภาพที่ 3.5 และ ภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล

Response Surface Regression

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	14	10141.1	724.37	64.78	0.000
Linear	4	8944.5	2236.13	199.99	0.000
D	1	55.7	55.67	4.98	0.040
T	1	4.6	4.58	0.41	0.531
C	1	6867.1	6867.11	614.16	0.000
S	1	2018.4	2018.37	180.51	0.000
Square	4	262.0	65.51	5.86	0.004
D*D	1	9.2	9.19	0.82	0.378
T*T	1	22.5	22.54	2.02	0.175
C*C	1	2.4	2.41	0.22	0.649
S*S	1	42.0	42.02	3.76	0.070
2-Way Interaction	6	932.3	155.38	13.90	0.000
D*T	1	20.7	20.73	1.85	0.192
D*C	1	57.0	56.96	5.09	0.038
D*S	1	44.1	44.05	3.94	0.065
T*C	1	10.0	10.04	0.90	0.357
T*S	1	17.0	17.05	1.52	0.235
C*S	1	783.5	783.48	70.07	0.000
Error	16	178.9	11.18		
Lack-of-Fit	10	151.1	15.11	3.26	0.081
Pure Error	6	27.8	4.64		
Total	30	10320.0			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.34384	98.27%	96.75%	88.33%

ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองจะเป็นการวิเคราะห์ ANOVA

3.4.2 วิธีการโมดิฟายวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Modify Differential Evolution: MDE)

วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 5 วิธีดังนี้

3.4.2.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Number of Population: NP)

เป็นการตั้งกลุ่มเริ่มต้นของประชากรที่จะวิวัฒนาการ โดยประชากรที่ได้รับการคัดเลือกมาจะเข้าสู่กระบวนการ Mutation และ Recombination จะได้กลุ่มประชากรที่กลายพันธุ์ออกมา จากนั้นทำการเลือกสายพันธุ์ที่ดีที่สุดเป็นประชากรรุ่นถัดไป

3.4.2.2 ขบวนการกลายพันธุ์ (Mutation)

เริ่มต้นที่การวิวัฒนาการที่ได้กลายพันธุ์ และรวบรวมเวกเตอร์เป้าหมายเพื่อผลิตเวกเตอร์การกลายพันธุ์ ในเวกเตอร์เป้าหมายแต่ละตัวคือ $X_{i,G}$ ในรุ่น G, เวกเตอร์การกลายพันธุ์ คือ $V_{i,G}$ ได้ถูกสร้างขึ้นตามสมการ โดยทางผู้วิจัยใช้สมการในการหาค่า มิวแทนท์เวกเตอร์ 3 สมการ ดังสมการที่ 3.1, 3.2 และ 3.3

$$DE / rand / 1 \quad V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \quad (3.1)$$

$$DE / best / 2 \quad V_{i,G+1} = X_{best,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) + F(X_{r3,G} - X_{r4,G}) \quad (3.2)$$

$$DE / rand / 2 \quad V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) + F(X_{r4,G} - X_{r5,G}) \quad (3.3)$$

มีข้อสังเกตว่า x_{r1} , x_{r2} and x_{r3} ได้ถูกสุ่มเลือกเวกเตอร์จากประชากร ซึ่งมีความพิเศษร่วมกันและแตกต่างจากเวกเตอร์เป้าหมาย i^{th} , $x_{i,g}$, ส่วน F เป็นระดับปัจจัยที่ควบคุมระดับของเวกเตอร์ความแตกต่างระหว่าง x_{r2} and x_{r3} แล้วเพิ่มไปที่เวกเตอร์พื้นฐานซึ่งก็คือ x_{r1}

3.4.2.3 ขั้นตอนทางพันธุกรรม (Recombination)

เมื่อทำกระบวนการ Mutation จนหมดทุกค่าของ Mutant Vector และทุกคำตอบ NP ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลาย เพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ โดยกระบวนการ Trial Vector ($U_{i,G+1}$) เพื่อมาใช้ในการตัดสินใจจากสมการที่ 3.4

$$U_{i,G+1} = \begin{cases} V_{i,j,G+1} & \text{if } \text{rand}_{i,j} \leq CR \text{ or } j = l_{rand} \\ X_{i,j,G} & \text{if } \text{rand}_{i,j} > CR \text{ or } j \neq l_{rand} \end{cases} \quad (3.4)$$

โดย $U_{i,G+1}$ = Trial vector
 $V_{i,j,G+1}$ = Mutant vector
 $X_{i,j,G}$ = Target vector
 $\text{rand}_{i,j}$ = การสุ่มตัวเลขจำนวนจริงที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1
 CR = Crossover Rate มีค่าเป็นเลขจำนวนจริงระหว่าง 0.1 ถึง 0.9

3.4.2.4 วิธีการปรับปรุงกระบวนการสายพันธุ์ของเวกเตอร์ (Trial vector re-production process)

การประยุกต์กระบวนการครอสโอเวอร์เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัยในขั้นตอนนี้ทางผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) เข้าสู่กระบวนการครอสโอเวอร์ โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการครอสโอเวอร์ซึ่งเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลายเพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ ๆ โดยกระบวนการ ครอสโอเวอร์ จะมีวิธีการประยุกต์กระบวนการด้วยกัน 2 แบบ คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ (Vector transition process) กระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ (Vector exchange process) ผสมทั้ง 2 วิธี

1) กระบวนการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ (Vector transition process) จะเป็นการสุ่มตัวเลขสมมุติขึ้นมา แล้วนำตัวเลขที่ทำการสุ่มไปแทนในตำแหน่งที่ต้องการ ดังตัวอย่าง ได้ทำการสุ่มตัวเลขสมมุติมา 2 ค่า ได้ค่า มุมงานไถ และ ความลึก โดยค่าที่สุ่มจะอยู่ระหว่างปัจจัยแต่ละปัจจัย เช่น มุมงานไถ อยู่ระหว่าง 42-45 องศา จากนั้นนำค่าที่สุ่มได้มาแทนตำแหน่งที่ 1 และ 4

ตารางที่ 3.5 กระบวนการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์แบบ transition

ปัจจัย/เวกเตอร์	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5
Original Vector					
มุมจานไถ	44.4	44.2	44.8	42.8	42.4
มุมไถ	12.8	25.2	13	15.4	12.8
ความลึก	22	19.2	12.6	20.6	22
ความเร็ว	3.8	1.6	3.4	4.2	3.8
Accompany Vector					
มุมจานไถ	45	44.2	44.8	43	47.4
มุมไถ	12.8	25.2	13	15.4	12.8
ความลึก	15.8	19.2	12.6	11.2	22
ความเร็ว	3.8	1.6	3.4	4.2	3.8

2) กระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ (Vector exchange process) จะเป็นการสลับตำแหน่งของเวกเตอร์ เพื่อปรับค่า ดังตัวอย่าง ที่อยู่ตำแหน่งที่ 1 ไปไว้ที่ตำแหน่งที่ 4 แล้วนำค่าตำแหน่งที่ 4 มาไว้ตำแหน่งที่ 1 ของปัจจัยความลึก

ตารางที่ 3.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ แบบ exchange

ปัจจัย/เวกเตอร์	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5
Original Vector					
มุมจานไถ	44.4	44.2	44.8	42.8	42.4
มุมไถ	12.8	25.2	13	15.4	12.8
ความลึก	22	19.2	12.6	20.6	19.2
ความเร็ว	3.8	1.6	3.4	4.2	3.8
Accompany Vector					
มุมจานไถ	44.4	44.2	44.8	42.4	42.8
มุมไถ	12.8	25.2	13	15.4	12.8
ความลึก	19.2	19.2	12.6	20.6	22
ความเร็ว	3.8	1.6	3.4	4.2	3.8

3.4.2.5 การคัดเลือก Selection

เป็นการเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีเปรียบเทียบค่า Function value ของ Trial vector กับ Target vector ซึ่งในกรณีที่ค่า Function value ของ Trial vector ดีกว่า Target vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial vector ในขั้นตอนต่อไปจากสมการที่ 3.5

$$X_{i,g+1} = \begin{cases} U_{i,j,G} & \text{if } f(U_{i,j,G}) \leq f(X_{i,j,G}) \\ X_{i,j,G} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.5)$$

โดย $X_{i,G+1}$ เป็น target vector รุ่นถัดไป

หลักการคำนวณหาคำตอบด้วยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ผู้วิจัยได้ทำการอธิบายไว้ในบทที่ 5

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองและเปรียบเทียบโปรแกรม

จากการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) ด้วยการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ ของการทดลอง การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของผลการทดลอง สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการถดถอย (Regression) และการพยากรณ์ค่าการใช้ปริมาณน้ำมัน จากนั้นหาคำตอบด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution: RSM-MDE) โดยใช้โปรแกรม DEV++ และเปรียบเทียบผลกับวิธีการหาคำตอบพื้นผิวคำตอบ (Response Surface Methodology)

3.6 คอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้คำนวณ

รายละเอียดของคุณลักษณะของคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้ดังต่อไปนี้

3.6.1 คุณลักษณะของคอมพิวเตอร์ที่ใช้

ยี่ห้อ (Brand): Dell

รุ่น (Model): Veto

CPU: Intel® Core™ I7 @ 1.8.0 GHz

RAM: 8.00 GB

3.6.2 โปรแกรมที่ใช้

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Minitab, Dev C++ ในการคำนวณและประมวลผล

บทที่ 4

การทดลองโดยใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนอง

เมื่อทำการเลือกปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าตอบสนองได้แล้ว ผู้วิจัยจึงได้นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญมาดำเนินการทดลองโดยใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) โดยจะทำการทดลองแบบ Central Composite Design: CCD) ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย มุมงานไถ มุมไถ ความลึก และความเร็ว โดยค่าเป้าหมายที่นำมาใช้ในการปรับปรุงนี้ คือ การใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุดในการใช้งานไถเตรียมดินในเพาะปลูกอ้อย ในสภาพดินชั้น

การทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง RSM โดยจะทำการทดลองแบบ CCD ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Minitab เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง โปรแกรมได้ทำการออกแบบการทดลองทั้งหมด 31 การทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) โดยจะทำการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ผู้วิจัยได้ศึกษาทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยของมุมงานไถ มุมไถ ความลึก และความเร็วในการไถ โดยใช้รถแทรกเตอร์ที่มีกำลัง 57 แรงม้า ใช้งานไถจำนวน 3 พาน ทำการทดลองไถเตรียมดินแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีพื้นที่ 1,600 ตารางเมตรต่อการหนึ่งการทดลองและทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ตามตารางการทดลอง

จากการทดลองสามารถเก็บข้อมูลการทดลองและค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้ในการไถเตรียมดินแต่ละพื้นที่ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางข้อมูลการทดลอง

Std Order	Run Order	มุมงานไถ	มุมไถ	ความลึก	ความเร็ว	Fuel used (litre)
3	1	43.5	20	17.5	2.5	19.50
22	2	45.0	15	25.0	4.0	51.35
28	3	43.5	20	25.0	2.5	41.03
24	4	42.0	15	25.0	1.0	31.75
5	5	43.5	20	17.5	2.5	20.42
4	6	42.0	20	17.5	2.5	21.75
23	7	43.5	20	17.5	2.5	21.25
18	8	43.5	20	10.0	2.5	7.38
27	9	45.0	25	25.0	1.0	30.65

ตารางที่ 4.1 ตารางข้อมูลการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	มุมจานไถ	มุมไถ	ความลึก	ความเร็ว	Fuel used (litre)
17	10	42.0	25	10.0	1.0	5.17
1	11	43.5	20	17.5	1.0	15.29
19	12	42.0	15	10.0	4.0	12.22
31	13	42.0	25	25.0	4.0	72.75
9	14	43.5	20	17.5	2.5	25.13
30	15	43.5	15	17.5	2.5	26.52
7	16	45.0	25	25.0	4.0	66.02
8	17	43.5	25	17.0	2.5	24.50
2	18	45.0	25	10.0	1.0	5.16
14	19	43.5	20	17.5	2.5	24.01
6	20	43.5	20	17.5	2.5	24.01
10	21	43.5	20	17.5	4.0	39.24
20	22	45.0	15	25.0	1.0	31.75
21	23	45.0	15	10.0	4.0	12.52
13	24	42.0	15	25.0	4.0	74.58
26	25	45.0	25	10.0	4.0	13.00
12	26	45.0	20	17.5	2.5	20.94
25	27	45.0	15	10.0	1.0	5.25
11	28	42.0	25	25.0	1.0	31.21
16	29	42.0	25	10.0	4.0	12.03
15	30	43.5	20	17.5	2.5	23.73
29	31	42.0	15	10.0	1.0	6.83
ค่าที่ต่ำที่สุด						5.16

จากตารางการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เพื่อหาการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง ตามแผนการทดลอง พบว่า ได้ค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดเท่ากับ 5.16 ลิตร ในการทดลองที่ 2 (Run Order 18) และได้ค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดเท่ากับ 74.58 ลิตร ในการทดลองที่ 13 (Run Order 24) ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ทำการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยและอิทธิพลแต่ละปัจจัย เช่น การวิเคราะห์การทดสอบค่าความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อประเมินความเหมาะสมและความ

เพียงพอของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(Coefficient of determination, R^2) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.1 การทดลองไถเตรียมดินและการวัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง

นำค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง ที่บันทึกในตารางที่ 4.1 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยผลการวิเคราะห์ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab แสดงดังตารางที่ 4.2

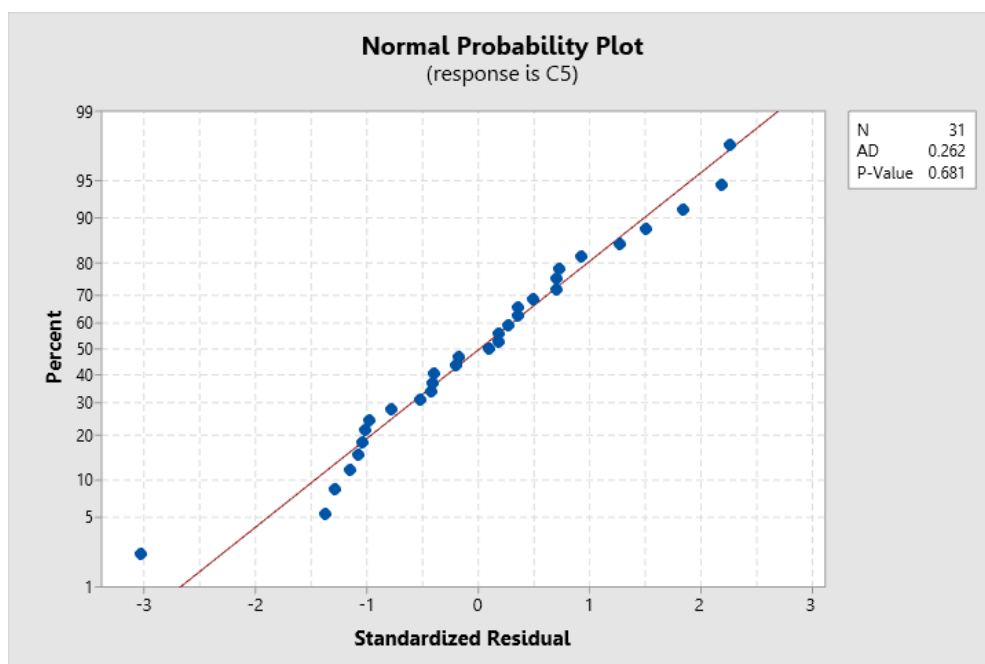
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	14	10141.6	724.40	64.81	0.000
Linear	4	8945.0	2236.26	200.07	0.000
Disk angle	1	55.6	55.64	4.98	0.040
Tilt angle	1	4.6	4.57	0.41	0.532
Cut of depth	1	6867.5	6867.47	614.42	0.000
Speed	1	2018.6	2018.57	180.60	0.000
Square	4	262.0	65.50	5.86	0.004
D*D	1	9.2	9.20	0.82	0.378
T*T	1	22.5	22.54	2.02	0.175
C*C	1	2.4	2.41	0.22	0.649
S*S	1	42.0	42.02	3.76	0.070
2-Way Interaction	6	932.3	155.38	13.90	0.000
D*T	1	20.7	20.75	1.86	0.192
D*C	1	57.0	56.99	5.10	0.038
D*S	1	44.1	44.08	3.94	0.064
T*C	1	10.1	10.06	0.90	0.357
T*S	1	17.1	17.07	1.53	0.234
C*S	1	783.4	783.35	70.08	0.000
Error	16	178.8	11.18		
Lack-of-Fit	10	151.0	15.10	3.26	0.081
Pure Error	6	27.8	4.64		
Total	30	10320.4			

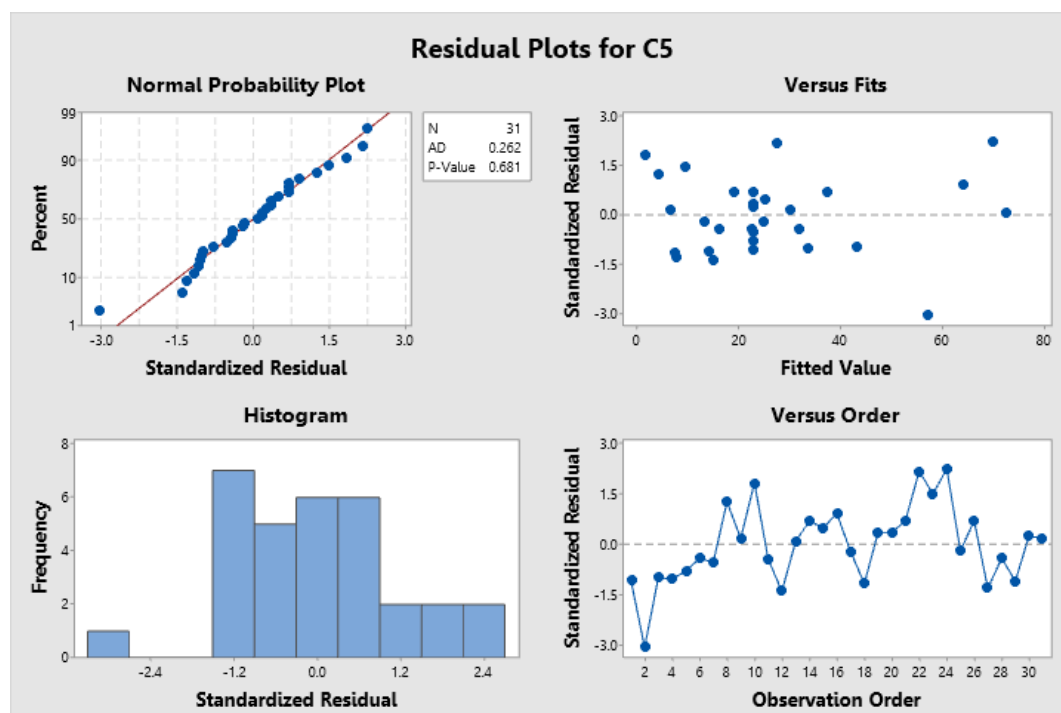
4.2.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล

การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลเป็นการทดสอบเพื่อดูความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.2 ว่าค่าที่บันทึกมีความเชื่อมั่นหรือไม่ โดยงานวิจัยนี้จะใช้ความเชื่อมั่นที่ 95% หรือระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในผลวิเคราะห์ที่ต่อเนื่องกัน

จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นกราฟความน่าจะเป็นของค่าส่วนตกค้างค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่า P-Value อยู่ที่ 0.681 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกมีความเป็นปกติ



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.3 Residual Plots ของค่าผลตอบ (ค่า Y) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม

จากข้อมูลในภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 สามารถวิเคราะห์รูปแบบความพอเพียงของข้อมูลได้ดังนี้

- (1) ข้อมูลจากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ
- (2) ข้อมูลจากแผนภูมิ Histogram ที่สามารถลากเส้นโค้งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับ Normal Curve แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ
- (3) ข้อมูลจากกราฟ Versus Fitted มีลักษณะการเรียงตัวที่ไม่แน่นอนและกระจายกระจาย แสดงว่าข้อมูลเป็นแบบสุ่มและแต่ละกลุ่มมีความแปรปรวนเท่าๆ กัน
- (4) ข้อมูลจากกราฟ Versus Order ที่มีลักษณะการกระจายทั้งด้านบนและด้านล่างที่เท่าๆ กันและไม่อยู่ในด้านใดด้านหนึ่ง แสดงว่าข้อมูลแต่ละกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน

4.3 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณคือการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยกำลังหนึ่งปัจจัยกำลังสองและอันตรกิริยา เพื่อเป็นการวิเคราะห์หาสมการถดถอย ในการพยากรณ์เพื่อหาค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง จะเกิดขึ้น ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab แสดงตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สมการการถดถอยของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.34323	98.27%	96.75%	88.34%

การวิเคราะห์หาสมการถดถอยของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 98.27 % แสดงว่าผลคำตอบที่ได้เป็นผลหรือมีอิทธิพลจากตัวแปรส่วนอีก 1.73 % เป็นผลมาจากตัวแปรอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้และค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ R-sq (adj) = 96.75 % มากกว่า 70 % ถือว่ายอมรับ

4.4 สมการการถดถอย (Regression model)

จากหัวข้อ 4.3 ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในรูปของสมการกำลังสอง (Full Quadratic) ของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง ได้ดังสมการที่ 4.1 คือ

Regression Equation in Uncoded Units

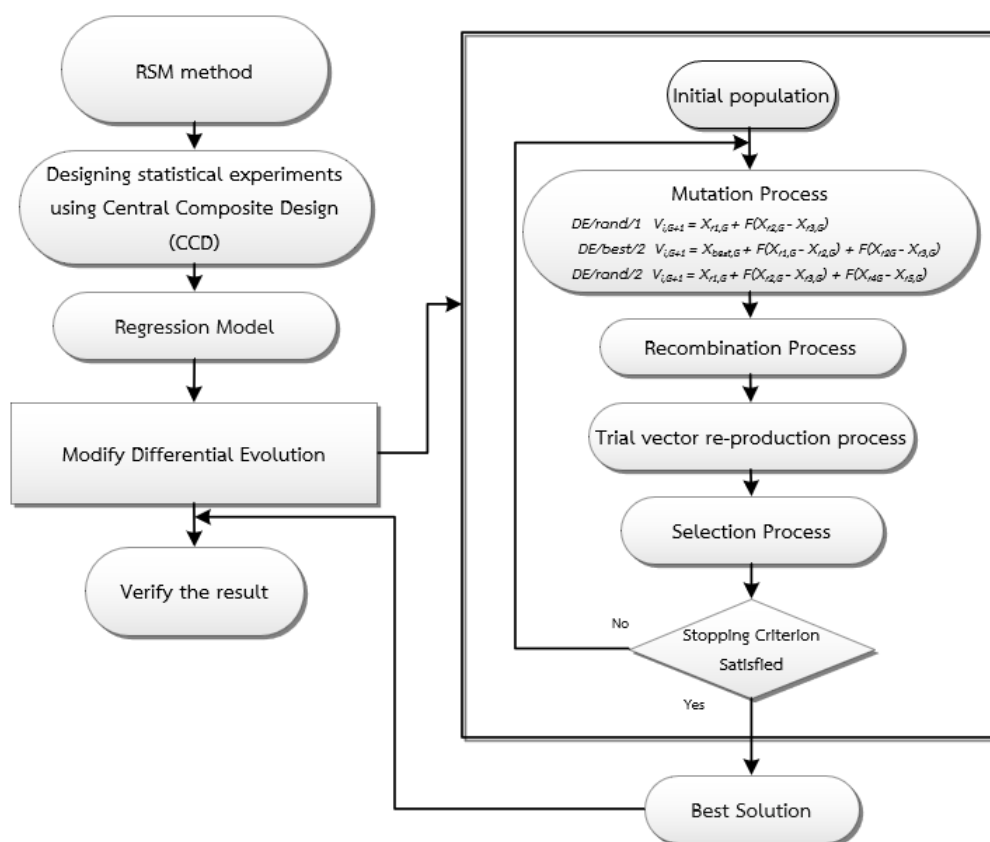
$$\begin{aligned}
 \text{Fuel used (litre)} = & -1545 + 73.3D - 11.94T + 7.32C + 16.6S - 0.836D^2 + 0.1179T^2 \\
 & + 0.0171C^2 + 1.788S^2 + 0.152D \times T - 0.1678D \times C - 0.738D \times S \\
 & + 0.0211T \times C + 0.138T \times S + 0.622C \times S
 \end{aligned} \quad (4.1)$$

จากสมการถดถอยของค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นสมการที่ใช้ในการพยากรณ์เพื่อหาค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง ที่น้อยที่สุด จะนำไปใช้ร่วมกับโมดิฟายวิธีการวิวัฒนาการโดยผลต่าง (Modify Differential evolution algorithm: MDE) ในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 5

การแก้ปัญหาด้วยวิธีการพันผิวตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

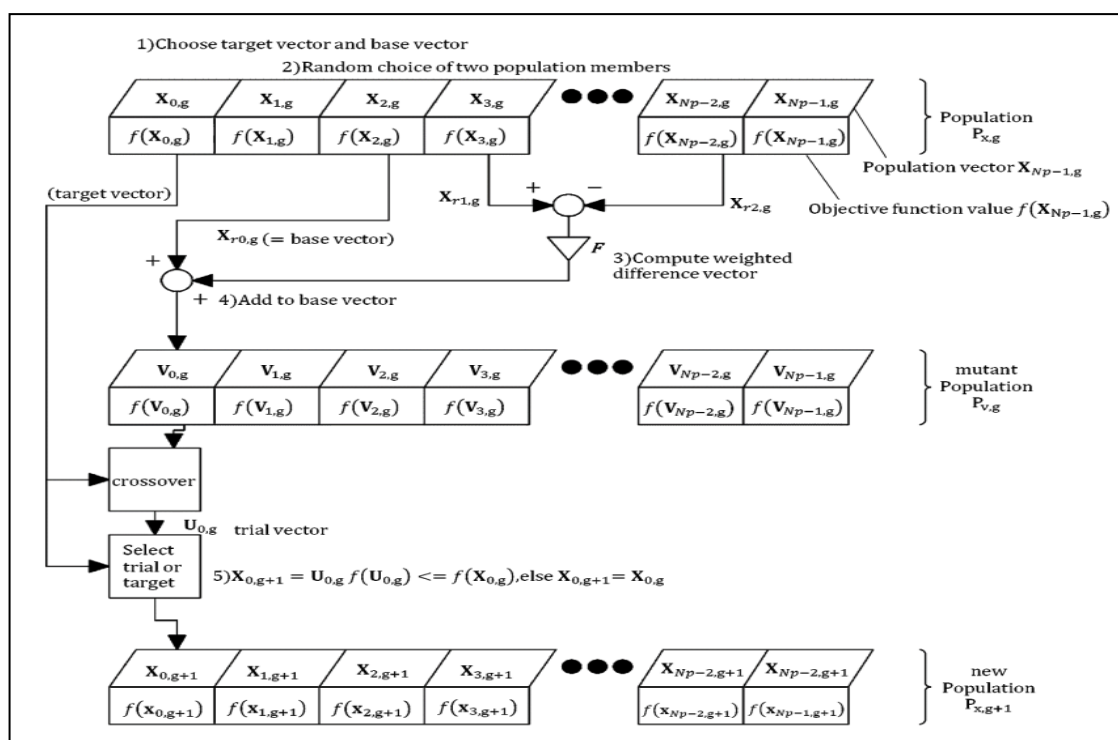
ในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับวิธีการพันผิวตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution: RSM-MDE) ในการหาคำตอบและพัฒนาสร้างคุณภาพคำตอบ โดยใช้โปรแกรม Bloodshed Dev-C++ V. 4.9.9.2 ในการประมวลผลของการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการถดถอย เพื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุด โดยเริ่มตั้งแต่การสร้างประชากรในการสร้างคำตอบเริ่มต้น การเข้าสู่กระบวนการมิวเตชัน การแลกเปลี่ยน การปรับปรุงกระบวนการสายพันธุ์ของเวกเตอร์ การคัดเลือก และการวนซ้ำในการพัฒนาคุณภาพคำตอบ จนเสร็จสิ้นการทำงานของอัลกอริทึม ซึ่งในบทที่ 4 ได้นำเสนอวิธีการ RSM ในบทนี้จะก็นำเอาวิธีการ RSM มาใช้ร่วมกับอัลกอริทึมวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีขึ้นในกระบวนการเดิมดังแสดงในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 การนำเอาวิธีการ RSM มาใช้ร่วมกับอัลกอริทึมวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

5.1 ขั้นตอนโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

การใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm: DE) ที่ได้จาก การพัฒนามาจาก Storn and Price (1997) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดของเลขจำนวนจริง ในการ หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำค่าพารามิเตอร์มาปรับใช้ในการไลเตรียมดินเพื่อให้ได้การใช้ปริมาณ น้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุด จะมีกระบวนการหาค่าตอบตามวิธีการและสมการที่ใช้ในการแก้ปัญหาตาม ผลงาน Sethanan, K. and Pitakaso, R. (2016a) ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5.2 แผนภาพการดำเนินงานตามกระบวนการของ DE

5.1.1 ขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initialization)

การสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยการสุ่มเวกเตอร์เริ่มต้น (Target Vector) เพื่อนำมาเป็นเวกเตอร์เริ่มต้นในการพัฒนาคำตอบของค่าพารามิเตอร์จริงทั้ง 4 พารามิเตอร์ ซึ่ง 1 ประชากรเริ่มต้น (Number of Population : NP) หรือ 1 โครโมโซม จะมีค่าเท่ากับหนึ่งคำตอบในการหาค่าตอบในแต่ละรอบ โดยกำหนดไว้แต่ละชุด NP คือค่าเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาในการหาค่าตอบในแต่ละชุดคำตอบ กำหนดให้เวกเตอร์เท่ากับ 1 ซึ่งในแต่ละเวกเตอร์จะทำการสุ่มทั้งหมดที่อยู่ในช่วงที่กำหนดแต่ละช่วงค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 5.1 และผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างมาเพียง 5 NP ในการสร้างคำตอบเริ่มต้น ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์แต่ละช่วง

ปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์
มุมงานไถ (D)	42 - 45
มุมไถ (T)	15 - 25
ความลึก (C)	10 - 25
ความเร็ว (S)	1 - 4

ตารางที่ 5.2 ขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initialization) ของค่าพารามิเตอร์

เวกเตอร์/ปัจจัย	มุมงานไถ	มุมไถ	ความลึก	ความเร็ว
NP1	45	19	18	2
NP2	42	14	15.2	1.8
NP3	45	25	17	4
NP4	43	17	25	1
NP5	45	15	18	1

5.1.2 ขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด (Mutation)

เป็นการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด เพื่อให้เกิดคำตอบที่แปลกแตกต่างไปจากคำตอบเริ่มต้นของเวกเตอร์เริ่มต้น เรียกว่า Weighting Factor: F เพื่อจุดประสงค์ของการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด โดยมีขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

5.1.2.1 กำหนด Target vector ($X_{i,G}$) โดยที่ $i = 1, 2, \dots, NP$

5.1.2.2 สุ่มเลือก Vector ($x_{r_1,G}, x_{r_2,G}, x_{r_3,G}$) จากเวกเตอร์เริ่มต้น (Target Vector)

โดยต้องไม่ซ้ำกับเวกเตอร์เริ่มต้นที่ถูกเลือกไปแล้ว

5.1.2.3 ทำการคำนวณหา Mutant vector ($V_{i,G+1}$) จากความสัมพันธ์ของอัลกอริทึม

A. K. Qim และคณะ, (2009) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกสมการ Mutation ที่ดีที่สุดในการหาคำตอบโดยเลือกสมการจากการทดลองจากงานวิจัยของ Chokanat และคณะ, 2019 แสดงดังสมการที่ 5.1, 5.2 และ 5.3

$$DE / rand / 1 \quad V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \quad (5.1)$$

$$DE / best / 2 \quad V_{i,G+1} = X_{best,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) + F(X_{r3,G} - X_{r4,G}) \quad (5.2)$$

$$DE / rand / 2 \quad V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) + F(X_{r4,G} - X_{r5,G}) \quad (5.3)$$

เมื่อ $V_{i,G+1}$ คือ Mutant Vector
 $X_{r1,G}, X_{r2,G}, X_{r3,G}, X_{r4,G}, X_{r5,G}$ คือ Random Vector
 F คือ Weighting Factor

ตัวอย่างการ Mutation ของกระบวนการ DE สามารถอธิบายได้ดังนี้ เช่น ในค่าคำตอบของ NP 1 สมมติว่าเราต้องการหาค่าของ Mutant Vector จาก Target Vector ด้วยกระบวนการ Mutation ในตำแหน่งที่ $X_{r1,G}, X_{r2,G}, X_{r3,G}, X_{r4,G}, X_{r5,G}$ แทนค่าลงในสูตร Mutation ในสมการที่ 5.1-5.3 จะเป็นตำแหน่งที่เกิดจากการสุ่มตำแหน่งในแถวแนวนอนเดียวกัน โดยตำแหน่งจะไม่ซ้ำกันกับตำแหน่งที่ทำการ Mutation นำค่าตัวเลขสุ่มที่ได้นำไปคำนวณในสูตร

มุมจานไถ

$$\begin{aligned} DE/rand/1 \quad V_{1,G+1} &= 42 + 0.6 (43 - 45) = 40.8 \\ DE/best/2 \quad V_{i,G+1} &= 45 + 0.6 (43 - 45) + 0.6 (45 - 43.5) = 44.7 \\ DE/rand/2 \quad V_{i,G+1} &= 42 + 0.6 (43 - 45) + 0.6 (43.5 - 45) = 39.9 \end{aligned}$$

มุมไถ

$$\begin{aligned} DE/rand/1 \quad V_{1,G+1} &= 19 + 0.6 (15 - 25) = 13 \\ DE/best/2 \quad V_{i,G+1} &= 25 + 0.6 (15 - 25) + 0.6 (25 - 16) = 21.4 \\ DE/rand/2 \quad V_{i,G+1} &= 19 + 0.6 (15 - 25) + 0.6 (16 - 19) = 11.2 \end{aligned}$$

ความลึก

$$\begin{aligned} DE/rand/1 \quad V_{1,G+1} &= 13 + 0.6 (12 - 25) = 5.2 \\ DE/best/2 \quad V_{i,G+1} &= 25 + 0.6 (12 - 25) + 0.6 (25 - 20) = 17.8 \\ DE/rand/2 \quad V_{i,G+1} &= 13 + 0.6 (12 - 25) + 0.6 (20 - 19) = 5.8 \end{aligned}$$

ความเร็ว

$$\begin{aligned} DE/rand/1 \quad V_{1,G+1} &= 4 + 0.6 (4 - 3) = 4.6 \\ DE/best/2 \quad V_{i,G+1} &= 4 + 0.6 (4 - 3) + 0.6 (3 - 2) = 4.6 \\ DE/rand/2 \quad V_{i,G+1} &= 4 + 0.6 (4 - 3) + 0.6 (2 - 1) = 5.2 \end{aligned}$$

โดยจะต้องทำการคำนวณเปลี่ยนค่าของ Target Vector ให้เป็นค่า Mutant Vector ทุกค่า จากสูตรการคำนวณ ตัวอย่างการ Mutation สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าของ Mutant Vector แต่ละค่า โดยกำหนดค่า $F = 0.60$ จากสูตรของ NP 1

ปัจจัย/เวกเตอร์	$X_{r1,G}$	$X_{r2,G}$	$X_{r3,G}$	$X_{r4,G}$	$X_{r5,G}$	DE/rand/1	DE/best/2	DE/rand/2
มุมจานไถ	42	43	45	43.5	45	40.8	44.7	39.9
มุมไถ	19	15	25	16	19	13	21.4	11.2
ความลึก	13	12	25	20	19	5.2	17.8	5.8
ความเร็ว	4	4	3	2	1	4.6	4.6	5.2

ตารางที่ 5.4 การหาค่า Mutant vector ของอัลกอริทึม NP 1

วิธีการ/ปัจจัย	มุมจานไถ	มุมไถ	ความลึก	ความเร็ว
DE/rand/1				
Target vector ($X_{i,G+1}$)	45	14	18	2
Mutant vector ($V_{i,G+1}$)	40.8	13	5.2	4.6
DE/best/2				
Target vector ($X_{i,G+1}$)	45	14	18	2
Mutant vector ($V_{i,G+1}$)	44.7	21.4	17.8	4.6
DE/rand/2				
Target vector ($X_{i,G+1}$)	45	14	18	2
Mutant vector ($V_{i,G+1}$)	39.9	11.2	5.8	5.2

จากตารางที่ 5.4 แสดงการหาค่า Mutant vector โดยการสุ่มเลือกค่า Target vector มา 3 ค่า แทนค่าลงในสมการที่ 1 แต่ค่า Target vector ที่เลือกมาต้องไม่ซ้ำกับ Target vector ที่ถูกเลือกไปแล้ว เพื่อนำมาคำนวณหาค่า Mutant vector จากนั้นนำข้อมูลในตารางที่ 5.3 มาทำขั้นตอนการแลกเปลี่ยนพิกัด (Recombination/Crossover) จนถึงขั้นตอนการคัดเลือก (Selection)

5.1.3 กระบวนการ Recombination

เมื่อทำกระบวนการ Mutation จนหมดทุกค่าของ Mutant Vector และทุกคำตอบ NP ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลาย เพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ โดยกระบวนการ Trial Vector ($U_{i,G+1}$) เพื่อมาใช้ในการตัดสินใจจากสมการที่ 5.4

$$U_{i,G+1} = \begin{cases} V_{i,j,G+1} & \text{if } \text{rand}_{i,j} \leq CR \text{ or } j = l_{rand} \\ X_{i,j,G} & \text{if } \text{rand}_{i,j} \geq CR \text{ or } j = l_{rand} \end{cases} \quad (5.4)$$

โดย	$U_{i,G+1}$	คือ Trial vector
	$V_{i,j,G+1}$	คือ Mutant vector
	$X_{i,j,G}$	คือ Target vector
	$rand_{i,j}$	คือ การสุ่มตัวเลขจำนวนจริงที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1
	CR	คือ Crossover Rate มีค่าเป็นเลขจำนวนจริงระหว่าง 0.1 ถึง 0.9 และค่า CR ในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้มีการปรับค่าแบบอัตโนมัติ โดยมีการปรับค่า CR ซึ่งมีการเพิ่มลดระดับทีละ 0.05

ถึง 0.9 และค่า CR ในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้มีการปรับค่าแบบอัตโนมัติ โดยมีการปรับค่า CR ซึ่งมีการเพิ่มลดระดับทีละ 0.05

5.1.3.1 วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ที่ใช้ในการปรับค่า CR

โดยหากทำการเปรียบเทียบค่าของ Trial Vector กับค่า CR(Crossover Rate) โดยการเปรียบเทียบทุกตำแหน่งที่อยู่ใน Target Vector ของแต่ละค่าของ NP โดยที่ค่าของ Trial Vector เป็นตารางตัวเลขสุ่ม 0 - 1 โดยหากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าของ Trial Vector มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ CR จะทำให้การเลือกในตำแหน่งนั้นๆ เป็นค่าของ Mutant Vector ตามเงื่อนไขในสมการที่ 5.4 หากมีค่ามากกว่าค่าของ CR ให้ใช้ค่า Target Vector ค่าเดิมสมการที่ 5.4 จากตารางที่ 5.4 จะทำการสุ่มตัวเลข 0 - 1 แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่า CR 0.80 ถ้าค่าสุ่มน้อยกว่า 0.80 Trial Vector จะมาจากค่า Mutant Vector แต่ถ้าตัวเลขสุ่มมีค่ามากกว่า CR 0.80 ค่า Trial Vector จะมาจากค่า Target Vector ตามเงื่อนไขในสมการ

ตารางที่ 5.5 การหาค่า Recombination ซึ่งจะได้ค่า Trial vector โดยกำหนดค่า CR = 0.80 (NP 1)

	มุมจานไถ (D)	มุมไถ (T)	ความลึก (C)	ความเร็ว (S)
Target vector ($X_{i,G+1}$)	45	14	18	2
Mutant vector ($V_{i,G+1}$)	42	22.4	15.2	1.8
CR 0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
rand(0-1)	0.65	0.97	0.30	0.61
Trial vector ($U_{i,G}$)	42	14	15.2	1.8

จากตารางที่ 5.5 แสดงผลของการ Recombination โดยเปรียบเทียบกับค่า CR ดังสมการที่ 5.4 ซึ่งถ้าค่า Target vector random น้อยกว่าหรือเท่ากับค่า CR ให้เลือกค่าของ Mutant vector แต่ถ้าค่า Target vector random มากกว่าค่า CR ให้เลือกค่า Target vector เช่น มุมจานไถมีค่า Target vector random เท่ากับ 0.65 ซึ่งน้อยกว่าค่า CR คือ 0.80 ให้เลือกค่าของ Mutant vector เท่ากับ 42 แต่ถ้ามุมไถมีค่า Target vector random เท่ากับ 0.97 ซึ่งมากกว่าค่า CR คือ 0.80 ให้เลือกค่าของ Target vector เท่ากับ 14 เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 การหาค่า Trial vector ค่า CR = 0.80 (NP 1)

	มุมงานไถ (D)	มุมไถ (T)	ความลึก (C)	ความเร็ว (S)
Trial vector (U _i ,G)	42	14	15.2	1.8

จากตารางที่ 5.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ โดยพิจารณาค่า Trial Vector ได้ค่ามุมงานไถ 42 องศา มุมไถ 14 องศา ความลึก 15.2 ความเร็ว 1.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อได้ค่า Trial Vector นำค่าพารามิเตอร์ไปปรับปรุงกระบวนการเพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่ดีที่สุดในขั้นตอนถัดไป

5.1.4 วิธีการปรับปรุงกระบวนการสายพันธุ์ของเวกเตอร์ (Trial vector re-production process)

การประยุกต์กระบวนการเข้าสู่กระบวนการครอสโอเวอร์ โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการครอสโอเวอร์ซึ่งเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่า และแยกออกมาอย่างหลากหลายเพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ โดยกระบวนการครอสโอเวอร์จะมีวิธีการประยุกต์กระบวนการด้วยกัน 2 แบบ คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ (Vector transition process) กระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ (Vector exchange process)

5.1.4.1 กระบวนการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ (Vector transition process)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ (Vector transition process) จะเป็นการสุ่มตัวเลขสมมุติขึ้นมา แล้วนำตัวเลขที่ทำการสุ่มไปแทนในตำแหน่งที่ต้องการ ดังตัวอย่างได้ทำการสุ่มตัวเลขสมมุติมา 2 ปัจจัย 2 ตำแหน่ง ได้ปัจจัย มุมงานไถ และความลึก ได้ค่า 44.4 และ 42.8 จากนั้นนำค่าที่สุ่มได้มาแทนตำแหน่งที่ NP1 และ NP4 แสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แสดงกระบวนการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์แบบ transition

ปัจจัย/เวกเตอร์	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5
Original Vector					
มุมงานไถ	44.4	44.2	44.8	42.8	42.4
มุมไถ	12.8	25.2	13	15.4	12.8
ความลึก	22	19.2	12.6	20.6	22
ความเร็ว	3.8	1.6	3.4	4.2	3.8
Accompany Vector					
มุมงานไถ	45	44.2	44.8	43	47.4
มุมไถ	12.8	25.2	13	15.4	12.8
ความลึก	15.8	19.2	12.6	11.2	22
ความเร็ว	3.8	1.6	3.4	4.2	3.8

5.1.4.2 กระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ (Vector exchange process)

กระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ (Vector exchange process) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ (1) การสุ่มเลือกสองจุดแลกเปลี่ยนในเวกเตอร์ทดลอง (2) สุ่มตำแหน่งเวกเตอร์ทดลองใน NP และ (3) การแลกเปลี่ยนมูลค่าในตำแหน่งที่เลือก แสดงในตารางที่ 5.8 จุดแลกเปลี่ยนที่เลือกคือ NP2 exchange NP1 และ NP5 exchange NP4 ตำแหน่งสุ่มใน NP2 คือความลึกของการตัดและ NP5 คือมุมของดิสก์ ค่าในตำแหน่ง NP2 (19.2) จะถูกแลกเปลี่ยนกับค่าในตำแหน่ง 1 (22) และตำแหน่ง NP5 (47.4) จะถูกแลกเปลี่ยนกับค่าในตำแหน่ง 4 (41.8) ดังนั้นค่าใหม่ในตำแหน่งความลึกของการตัด NP2 คือ 22 และค่าใหม่ในมุมดิสก์ตำแหน่ง NP5 คือ 41.8

ตารางที่ 5.8 แสดงกระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ แบบ exchange

ปัจจัย/เวกเตอร์	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5
Original Vector					
มุมจานไถ	44.4	44.2	44.8	42.8	42.4
มุมไถ	12.8	25.2	13	15.4	12.8
ความลึก	22	19.2	12.6	20.6	19.2
ความเร็ว	3.8	1.6	3.4	4.2	3.8
Accompany Vector					
มุมจานไถ	44.4	44.2	44.8	42.4 ← 42.8	
มุมไถ	15.8	25	18	15.4	17.8
ความลึก	19.2 ← 22		12.6	20.6	22
ความเร็ว	3.8	1.6	3.4	4.2	3.8

จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในสมการ Regression model ต่อไป

5.1.5 ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection)

เป็นการเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีเปรียบเทียบค่า Function value ของ Trial vector กับ Target vector ซึ่งในกรณีที่ค่า Function value ของ Trial vector ดีกว่า Target vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial vector ในรุ่นต่อไป (A. K. Qim และคณะ, 2009) ดังสมการที่ 5.4 ซึ่งจะได้รุ่นถัดไปในการหาคำตอบที่ดีที่สุดดังตารางที่ 5.6 ถึง 5.7

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,j,G} & \text{if } f(U_{i,j,G}) \leq f(X_{i,j,G}) \\ X_{i,j,G} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.5)$$

โดยที่ $X_{i,G+1}$ เป็น target vector รุ่นถัดไป

ในกระบวนการขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) โดยในงานวิจัยนี้ใช้เพื่อหาค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุดในการไถเตรียมดิน ในกระบวนการ Selection เราจะเปรียบเทียบการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุดในกระบวนการการสร้างคำตอบเริ่มต้น Number of Population (NP) และกระบวนการ Recombination เมื่อได้คำตอบทั้งสองกระบวนการแล้วเราจะทำการเปรียบเทียบจากผลของคำตอบที่สามารถทำให้สมการวัตถุประสงค์ด้านต่ำที่สุดจะทำการเลือกโครโมโซมนั้นเป็นคำตอบเพื่อจะถูกนำไปหาคำตอบในรุ่นต่อไป

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ Selection จะดำเนินการซ้ำ เริ่มต้นด้วยการนำโครโมโซมที่ได้รับจากการคัดเลือกในกระบวนการ Selection มาเป็นคำตอบเริ่มต้น จากนั้นเข้าสู่กระบวนการ Mutation, Recombination และ Selection ตามลำดับ จนครบทุก NP

ตารางที่ 5.9 ตัวอย่างการคัดเลือกประชากรในปัญหา Minimize ของ NP1-5

NP	Target Vector (ลิตร)	Trial Vector (ลิตร)	Selection (ลิตร)
1	50.88	130.81	50.88
2	47.91	52.79	47.91
3	136.29	65.16	65.16
4	20.02	169.55	20.02
5	40.43	149.60	40.43

จากตารางที่ 5.9 นำมาเปรียบเทียบค่า Function value ของ Trial vector กับ Target vector โดยเปรียบเทียบทีละค่า เช่น NP 3 ผลของค่า Trial vector มีค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าค่า Target vector ดังนั้นจึงเลือกค่า Trial vector เพื่อเป็นรุ่นถัดไปในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

5.1.6 การวนซ้ำ (Iteration) ดำเนินการทำซ้ำจากขั้นตอนที่ 5.1.3 ถึง 5.1.5

การวนซ้ำ (iteration) ตรวจสอบว่าการทำงานครบตามจำนวนรอบตามที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบก็กลับเข้าสู่ขั้นตอนมิวเทชันในขั้นตอนที่ 5.1.2 และเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนค่าในฟังก์ชันเวกเตอร์ในขั้นตอนที่ 5.1.3 และวิธีการปรับปรุงกระบวนการสายพันธุ์ของเวกเตอร์ในขั้นตอนที่ 5.1.4 ต่อจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการคัดเลือกตามขั้นตอนที่ 5.1.5 ต่อจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์คำตอบที่ดีที่สุดกับชุดคำตอบเดิมและผลลัพธ์คำตอบที่ดีที่สุดของชุดคำตอบใหม่ เก็บผลลัพธ์คำตอบที่ดี

ที่สุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามขั้นตอนที่ 5.1.6 จนกว่าจะครบตามเงื่อนไข ถือว่าสิ้นสุดการทำงาน และรายงานผลลัพธ์คำตอบที่ดีที่สุด

5.2 รูปแบบการปรับปรุง Response Surface Method – Modify Differential Evolution (RSM-MDE) เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัย

ในการโมดิฟายวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (MDE) ในการแก้ปัญหาจะมีรูปแบบการทดลอง 9 รูปแบบ เนื่องจาก RSM-MDE ได้มีการปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ ที่ทำการปรับปรุงค่า Weighting Factor (F) และค่าของ Crossover Rate (CR) ให้ปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ การปรับปรุงกระบวนการ Recombination ซึ่งเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาและกระบวนการ Selection การรบกวนคำตอบในการคัดเลือกประชากรรุ่นถัดไป ทางผู้วิจัยจะทำการทดลองทั้ง 9 รูปแบบเพื่อนำค่าที่ได้ผลดีที่สุดมาเป็นคำตอบของกรณีศึกษาดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 การทดสอบการปรับปรุงกระบวนการ Response Surface Method – Modify Differential Evolution (RSM - MDE)

RSM-MDE 1	Modify Differential Evolution (<i>DE/rand/1</i>)
RSM-MDE 2	Modify Differential Evolution (<i>DE/rand/1</i>) and vector transition process
RSM-MDE 3	Modify Differential Evolution (<i>DE/rand/1</i>) and vector exchange process
RSM-MDE 4	Modify Differential Evolution (<i>DE/best/2</i>)
RSM-MDE 5	Modify Differential Evolution (<i>DE/best/2</i>) and vector transition process
RSM-MDE 6	Modify Differential Evolution (<i>DE/best/2</i>) and vector exchange process
RSM-MDE 7	Modify Differential Evolution (<i>DE/rand/2</i>)
RSM-MDE 8	Modify Differential Evolution (<i>DE/rand/2</i>) and vector transition process
RSM-MDE 9	Modify Differential Evolution (<i>DE/rand/2</i>) and vector exchange process

5.3 การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution: RSM-MDE) ด้วยโปรแกรม Dev-C++

ในการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์การใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุด ผู้วิจัยได้พัฒนาเขียนโปรแกรมวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง หรือ โปรแกรม RSM-MDE ลงในซอฟต์แวร์โปรแกรม DEV C ++ เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนดในสมการถดถอย (Regression model) ที่ได้ข้อมูลจากการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) โดยใช้ โปรแกรม Minitab ในค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ มุมจานไถ มุมไถ ความลึก และความเร็ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำสมการถดถอยไปลงในโปรแกรม RSM-MDE โดยกำหนดสมการวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่กำหนดใช้สำหรับการปรับพารามิเตอร์ ดังสมการที่ 5.4 และ ข้อจำกัดที่ 5.4.1-5.4.4

objective function

$$\begin{aligned} \text{FuelUsed} = & -1545 + 73.3 X_1 - 11.94 X_2 + 7.32 X_3 + 16.6 X_4 - 0.836 X_1^2 + 0.1179 X_2^2 \\ & + 0.0171 X_3^2 + 1.788 X_4^2 + 0.152 X_1 \times X_2 - 0.1678 X_1 \times X_3 - 0.738 X_1 \times X_4 \\ & + 0.0211 X_2 \times X_3 + 0.138 X_2 \times X_4 + 0.622 X_3 \times X_4 \end{aligned} \quad (5.4)$$

constraints

$$42 \text{ deg} \leq X_1 \leq 45 \text{ deg} \quad (5.4.1)$$

$$15 \text{ deg} \leq X_2 \leq 25 \text{ deg} \quad (5.4.2)$$

$$10 \text{ mm} \leq X_3 \leq 25 \text{ mm} \quad (5.4.3)$$

$$1 \text{ km/h} \leq X_4 \leq 4 \text{ km/h} \quad (5.4.4)$$

โดย	X1	คือ มุมจานไถ (D) หน่วย องศา
	X2	คือ มุมไถ (T) หน่วย องศา
	X3	คือ ความลึก (C) หน่วย เซนติเมตร
	X4	คือ ความเร็ว (S) หน่วย กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5.4 ผลการทดลองจากวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution: RSM-MDE) โดยใช้โปรแกรม Bloodshed Dev-C++ ในการประมวลผลของการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการไถเตรียมดิน

การเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบตามรูปแบบวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ผู้วิจัยออกแบบให้มีการปรับค่า F แบบอัตโนมัติ ซึ่งค่าคงที่ระหว่าง 0.3 ถึง 2 และ ในสมการที่ (5.1) และออกแบบให้มีการปรับค่า Cr ซึ่งค่าคงที่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.9 ในสมการที่ (5.2) ทั้งค่า F และ CR มีการเพิ่มลดระดับทีละ 0.05 ในขั้นตอนกระบวนการวิวัฒนาการ

และขั้นตอนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดเวกเตอร์ และในส่วนของการกำหนดจำนวนประชากรในการสร้างคำตอบ (NP) และจำนวนการวนซ้ำหาคำตอบ (Iteration) ในการปรับค่าทั้งสองให้มีความเหมาะสมต่อการหาผลลัพธ์คำตอบและการใช้ทรัพยากรจากการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ เราได้กำหนดจำนวนประชากรในการสร้างคำตอบเท่ากับ 50 และจำนวนการวนซ้ำหาคำตอบเท่ากับ 100 โดยนำผลการทดลองจะนำเสนอตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ผลการทดลองวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการพันผิวดตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิวิธนาการโดยใช้ผลต่าง โดยกำหนดค่า NP 50 Iteration 100 รอบ

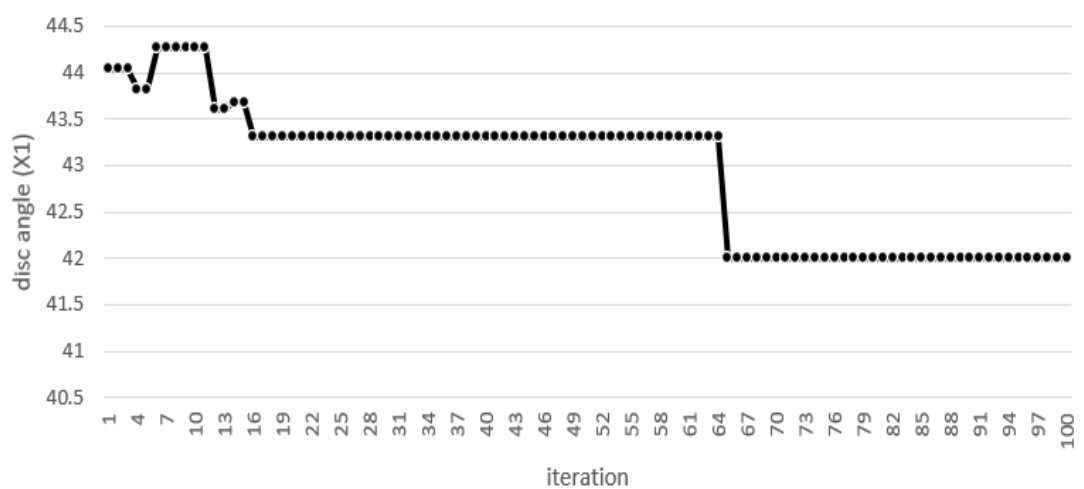
ผลการทดลอง (ลิตร)								
RSM-MDE 1	RSM-MDE 2	RSM-MDE 3	RSM-MDE 4	RSM-MDE 5	RSM-MDE 6	RSM-MDE 7	RSM-MDE 8	RSM-MDE 9
1.295	1.286	1.291	1.279	1.269	1.278	1.285	1.279	1.282

ตารางที่ 5.12 ผลลัพธ์ค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ RSM-MDE-5

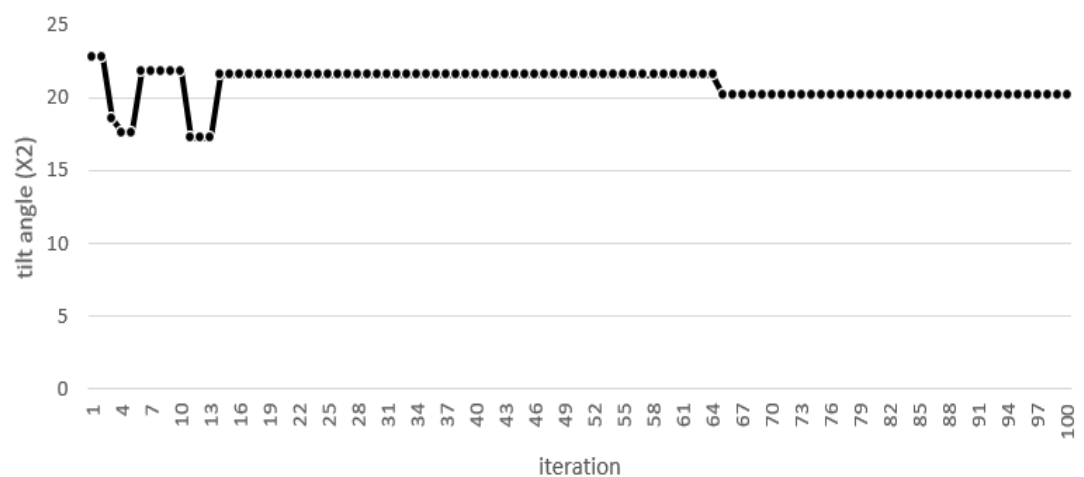
เงื่อนไข	ปัจจัย	หน่วย	ผล
ค่าพารามิเตอร์	มุมจานไถ	องศา	42
	มุมไถ	องศา	20.25
	ความลึก	ซม.	10
	ความเร็ว	กิโลเมตร/ชั่วโมง	2.53
ค่าที่ต่ำที่สุด	Fuel used	ลิตร	1.269

จากตารางที่ 5.12 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจาก RSM-MDE ค่าการค้นหาค่าจะแสดงในรูปที่ 5.3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์แต่ละตัวมีมุมดิสก์มุมเอียงความลึกตัดและความเร็วและรูปที่ 5.4 แสดงคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับโปรแกรม RSM-MDE 5 สามารถสร้างคำตอบที่ต่ำที่สุดคือ 1.269 ลิตร ในการทำซ้ำที่ 65

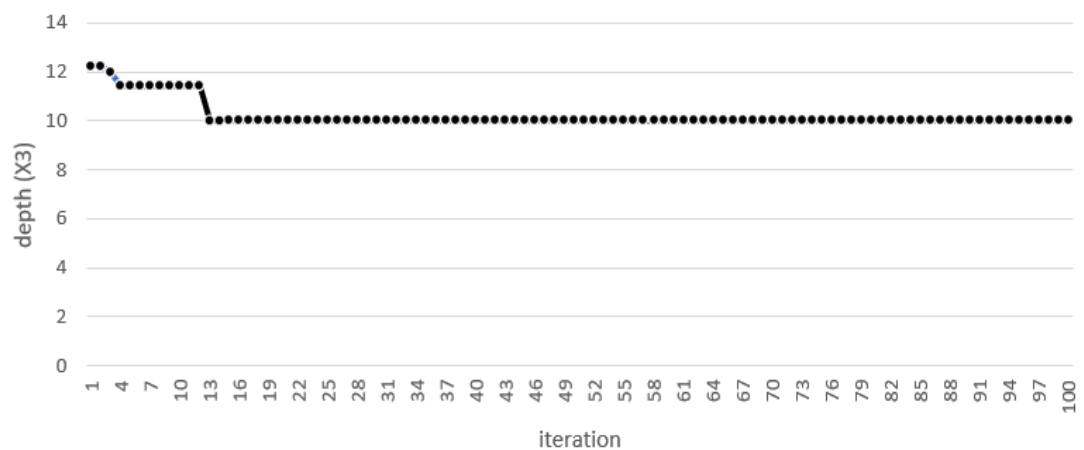
มุมจานไถ (X1)



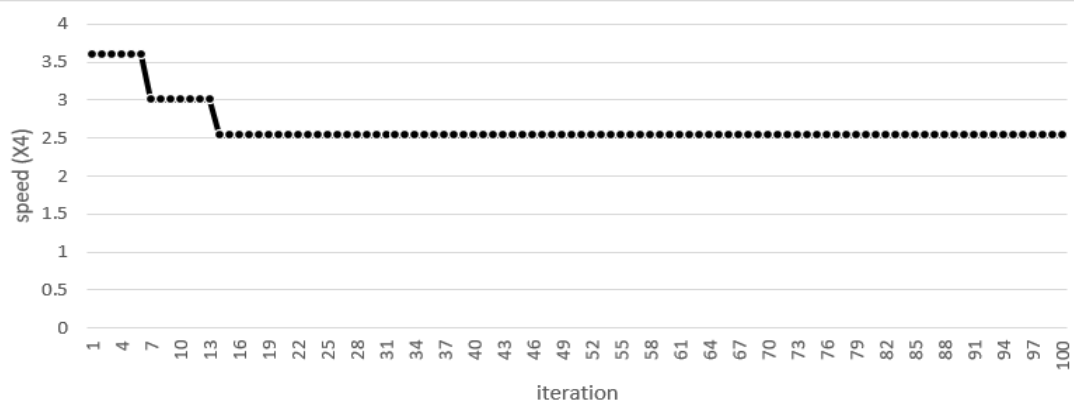
มุมไถ (X2)



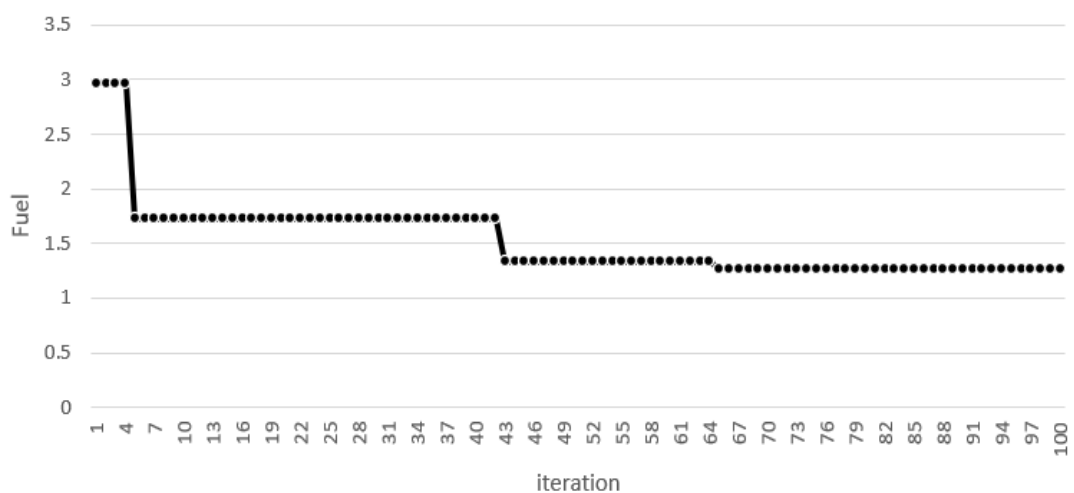
ความลึก (X3)



ความเร็ว (X4)



ภาพที่ 5.3 ประสิทธิภาพของแต่ละพารามิเตอร์วิธี RSM-MDE 5



ภาพที่ 5.4 ผลลัพธ์การทดสอบวิธี RSM-MDE 5

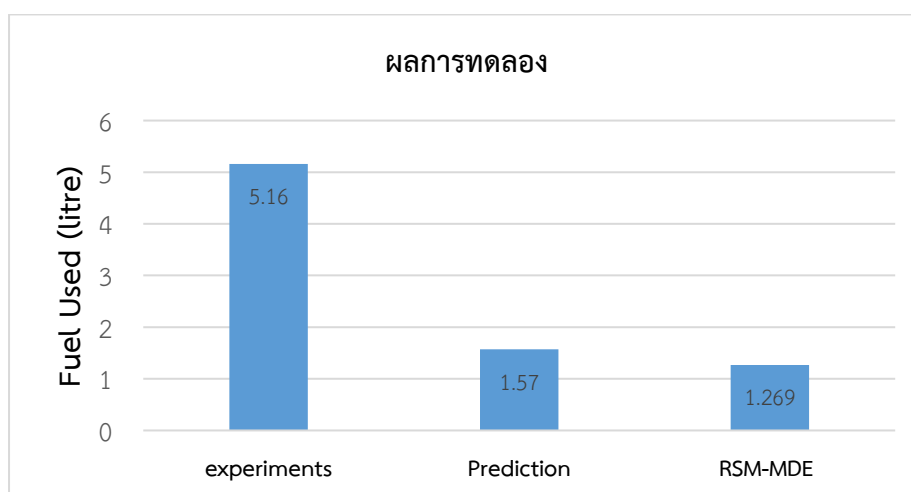
5.5 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองผลลัพธ์ของการทดสอบจากการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) มีค่าต่ำสุดที่ 5.16 ลิตร ค่าการทำนายต่ำสุดคือ 1.57 ลิตร จากสมการ 4.1 สำหรับวิธี RSM-MDE โดยใช้การพัฒนาโปรแกรม RSM-MDE 5 ค่าต่ำสุดคือ 1.269 ลิตร เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการทดลอง การคาดการณ์ของการทำนายและวิธีการพื้นผิวตอบสนอง ร่วมกับโมเดลฟิสิกส์วิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง แสดงในตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของแต่ละผลลัพธ์ของการทดสอบ

วิธีการปัจจัย	X1	X2	X3	X4	ผลการทดลอง (ลิตร)
experiments	45	25	10	1	5.16
Prediction	42	25	10	1	1.57
RSM-MDE 5	42	20.25	10	2.53	1.269

จากตารางที่ 5.13 พบว่า RSM-MDE 5 สร้างการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่า 75.58 % และ 19.74 % จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองและผลการทำนายจาก Minitab แสดงความแตกต่างดังภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีการ RSM-MDE 5

บทที่ 6

การทดสอบใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการฟื้นผิวดอบสนองร่วมกับ โมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการฟื้นผิวดอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจากการกำหนดสมการในบทที่ 5 ผู้วิจัยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากวิธีการ RSM-MDE 5 เพื่อทดสอบจริงและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากวิธี RSM-MDE 5 สำหรับค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุดสำหรับการไถเตรียมดิน ชนิดแบบจานไถ ซึ่งทำซ้ำสำหรับการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง ในการทดสอบผู้วิจัยได้นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้คือ มุมจานไถ 42 องศา มุมไถ 20.25 องศา ความลึก 10 เซนติเมตร และความเร็ว 2.53 กิโลเมตร/ชั่วโมง แสดงภาพการทดลองในภาพที่ 6.1-6.3 และแสดงผลลัพธ์การทดสอบในตารางที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 การปรับค่าพารามิเตอร์จากวิธีการ RSM-MDE 5



ภาพที่ 6.2 การทดลองค่าพารามิเตอร์จากวิธีการ RSM-MDE 5 ทั้งหมด 30 ครั้ง



ภาพที่ 6.3 การวัดความกว้างในการไถแต่ละรอบ



ภาพที่ 6.4 การวัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองจากการปรับค่าพารามิเตอร์จากวิธีการ RSM-MDE 5

การทดลอง	มุมจานไถ	มุมไถ	ความลึก	ความเร็ว	Fuel used (litre)
1	42.0	20.25	10	2.53	1.270
2	42.0	20.25	10	2.53	1.280
3	42.0	20.25	10	2.53	1.275
4	42.0	20.25	10	2.53	1.275
5	42.0	20.25	10	2.53	1.280
6	42.0	20.25	10	2.53	1.285
7	42.0	20.25	10	2.53	1.275
8	42.0	20.25	10	2.53	1.275
9	42.0	20.25	10	2.53	1.265
10	42.0	20.25	10	2.53	1.270

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองจากการปรับค่าพารามิเตอร์จากวิธีการ RSM-MDE 5 (ต่อ)

การทดลอง	มุมจานไถ	มุมไถ	ความลึก	ความเร็ว	Fuel used (litre)
11	42.0	20.25	10	2.53	1.275
12	42.0	20.25	10	2.53	1.270
13	42.0	20.25	10	2.53	1.275
14	42.0	20.25	10	2.53	1.270
15	42.0	20.25	10	2.53	1.275
16	42.0	20.25	10	2.53	1.270
17	42.0	20.25	10	2.53	1.270
18	42.0	20.25	10	2.53	1.275
19	42.0	20.25	10	2.53	1.275
20	42.0	20.25	10	2.53	1.270
21	42.0	20.25	10	2.53	1.265
22	42.0	20.25	10	2.53	1.280
23	42.0	20.25	10	2.53	1.275
24	42.0	20.25	10	2.53	1.285
25	42.0	20.25	10	2.53	1.275
26	42.0	20.25	10	2.53	1.275
27	42.0	20.25	10	2.53	1.280
28	42.0	20.25	10	2.53	1.275
29	42.0	20.25	10	2.53	1.265
30	42.0	20.25	10	2.53	1.270
เฉลี่ย					1.27

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 6.1 วิธีการพื้นผิวดตอบสนองร่วมกับโมดิฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสามารถหาค่าพารามิเตอร์ การใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงได้น้อยที่สุด ซึ่งผลการทดลองซ้ำจำนวน 30 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.27 ลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากวิธี RSM-MDE 5 คือ 1.269 ลิตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความต่างเท่ากับ 0.078 % ผลเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 6.2 และแสดงเปอร์เซ็นต์ความต่างจากการเปรียบเทียบผลการทดลองวิธีที่ได้จาก RSM-MDE 5 ด้วยสมการที่ 7.1

$$\%diff = \frac{F_u^{Exp} - F_u^{DE}}{F_u^{Exp}} \times 100\% \quad (7.1)$$

โดย F_u^{Exp} คือ การใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลองจริง
 F_u^{DE} คือ การใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง ด้วยวิธี RSM-MDE

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีที่ได้จาก RSM-MDE 5 ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม

พารามิเตอร์	หน่วย	ผล	ค่าการใช้ปริมาณน้ำมัน เชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด (ลิตร)		% difference
			การทดลอง	RSM-MDE 5	
มูมจันไถ	องศา	42	1.270	1.269	0.078
มูมไถ	องศา	20.25			
ความลึก	ซม.	10			
ความเร็ว	กิโลเมตร/ชั่วโมง	2.53			

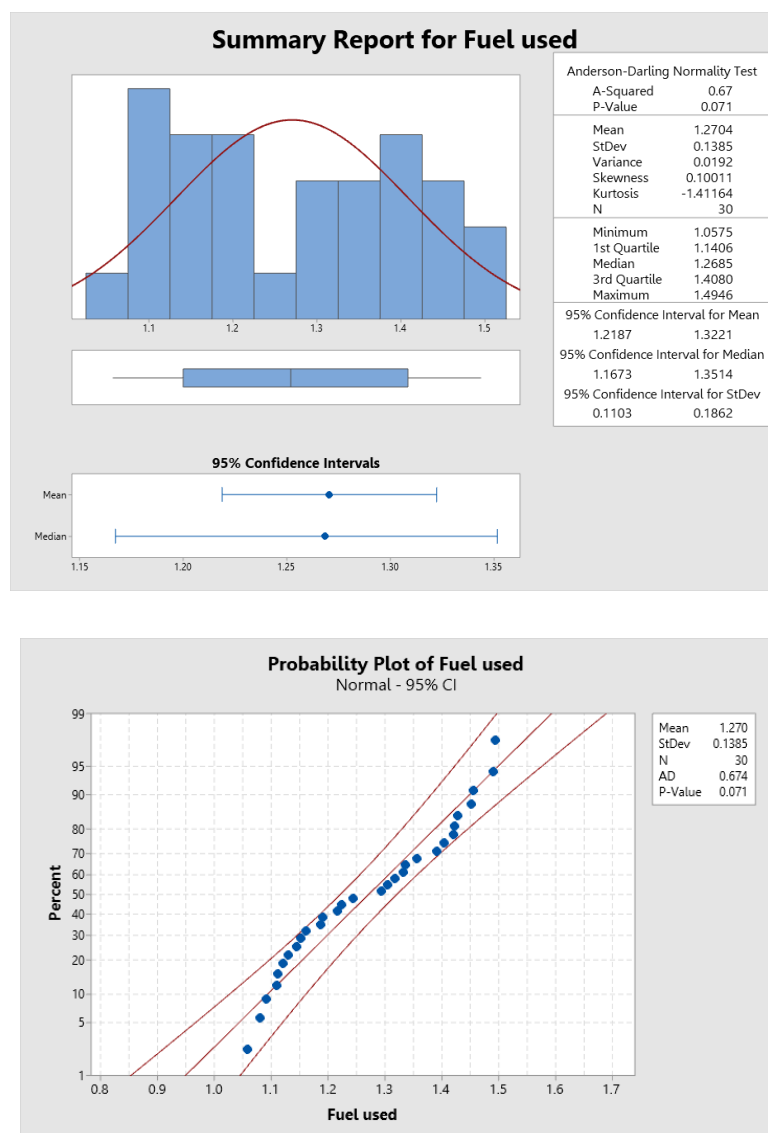
ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองจากในตารางที่ 6.1 เพื่อใช้ในการทดสอบระดับความเชื่อมั่นและสมมติฐานทางสถิติของข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไป

6.1 การทดสอบสมมติฐานข้อมูลการใช้ใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์หาข้อมูลทางสถิติหาค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความแปรปรวน และค่าความเชื่อมั่นได้จากการนำข้อมูลการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง จากข้อมูลในตารางที่ 6.1 สามารถสรุปได้ดังนี้

- (1) แผนภาพฮิสโตแกรมมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ
- (2) ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.071 มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($\alpha=0.05$)
- (3) ค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 1.2704 และค่ามัธยฐาน (Median) เท่ากับ 1.2685
- (4) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.1385

จากข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์ทั้ง 4 ข้อ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ แสดงการวิเคราะห์ในภาพที่ 6.5

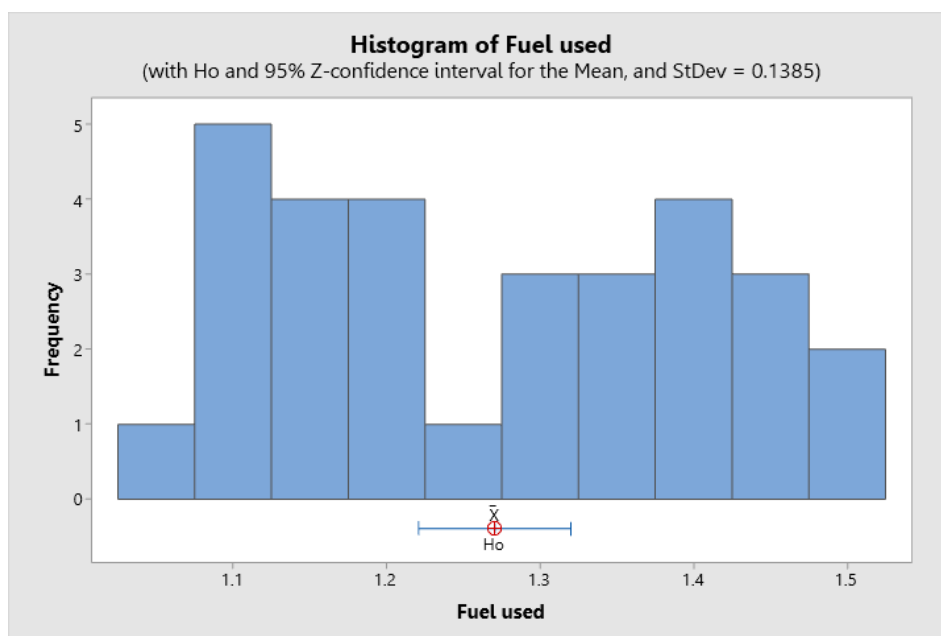


ภาพที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลและ Summary Report for Fuel used

หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้วิจัยทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ย สำหรับกรณีที่ทราบค่าแปรปรวน (Z test) โดยกำหนดค่าเป้าหมายที่ 1.27 ซึ่งค่าเป้าหมายนี้กำหนดมาจากวิธีการ RSM-MDE 5 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.1385 โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จึงสามารถกำหนดสมมติฐานการทดสอบได้ดังนี้คือ

$H_0 : \mu$ ค่าเฉลี่ยของการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 1.27 ลิตร

$H_1 : \mu$ ค่าเฉลี่ยของการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าไม่เท่ากับ 1.27 ลิตร



Test

Null hypothesis $H_0: \mu = 1.27$

Alternative hypothesis $H_1: \mu \neq 1.27$

Z-Value P-Value

0.02 0.986

ภาพที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ P- Value

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในภาพที่ 6.6 พบว่า ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.986 ซึ่ง มากกว่าระดับนัยสำคัญ จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 และปฏิเสธสมมติฐาน H_1 คือค่าเฉลี่ยของการใช้ใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 1.27 ลิตร ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

6.2 การวิเคราะห์ค่าวิธีการหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC)

หลักจากกระบวนการทดสอบจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจากการ RSM-MDE 5 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสอบถามลักษณะดินที่ได้หลังจากการไถตามค่าพารามิเตอร์(ภาคผนวก ก) และนำแบบสอบถามไปให้กับผู้เชี่ยวชาญทางด้านการเพาะปลูก ทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างข้อความถามกับวัตถุประสงค์ (IOC: Index of item-objective congruence) โดยรายชื่อผู้เชี่ยวชาญดังนี้

- (1) คุณอินทัช อนุพรรณสว่าง กรรมการผู้จัดการ บริษัทรวมสินไทยแทรกเตอร์ (Yanmar)
- (2) คุณปัทมา คุณปลูก พนักงานฝ่ายบริการ บริษัทรวมสินไทยแทรกเตอร์ (Yanmar)
- (3) คุณทองพูล โอภาพ พนักงานช่างบริการ บริษัทรวมสินไทยแทรกเตอร์ (Yanmar)
- (4) คุณประคอง สุขหส์ชา ผู้จัดการฝ่ายบริการ บริษัทคูโบต้าเจริญชัย (Kubota)

- (5) คุณสมศักดิ์ บรรจงปรุ ผู้จัดการฝ่ายขายและการตลาด บริษัทคูโบต้าเจริญชัย (Kubota)
 (6) คุณพีระศักดิ์ บุญพา พนักงานฝ่ายการตลาด บริษัทคูโบต้าเจริญชัย (Kubota)
 (7) คุณโอวาท ยุทธธรรม นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 4 (อุบลราชธานี)

ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม หรือค่าสอดคล้องระหว่างข้อคำถาม กับวัตถุประสงค์หรือเนื้อ ในการตรวจพิจารณาข้อคำถาม ดังนี้

- ให้คะแนน +1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ลักษณะดินที่มีคุณภาพ
 ให้คะแนน 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ลักษณะดินที่มีคุณภาพ
 ให้คะแนน -1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ไม่ตรงตามลักษณะดินที่มีคุณภาพ

แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ ทำการคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC จากสมการที่ 6.1

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (6.1)$$

กำหนดให้ IOC คือ ดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ คือ ผลรวมของคะแนนผู้เชี่ยวชาญ

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

การแปลผล IOC จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 ถ้า IOC มากกว่า 0.5 ขึ้นไป แสดงว่าข้อคำถามนั้นมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ สามารถนำไปใช้ได้ ถ้า IOC น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์ ผู้วิจัยได้แสดงการคำนวณและการแปลผลค่า IOC จากผู้เชี่ยวชาญแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 การแปลผลค่า IOC จากผู้เชี่ยวชาญ

ข้อ	คะแนนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ							รวม	ค่า IOC	สรุปผล
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7			
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	7	1.00	ใช้ได้
2	0	+1	0	+1	+1	+1	+1	5	0.71	ใช้ได้
3	+1	+1	0	+1	+1	+1	+1	6	0.85	ใช้ได้
4	0	-1	-1	-1	0	+1	+1	-1	-1.40	ใช้ไม่ได้
5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	7	1.00	ใช้ได้
6	0	+1	0	+1	+1	0	+1	4	0.57	ใช้ได้
7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-7	-1.00	ใช้ไม่ได้

จากตารางที่ 6.3 สรุปผลค่า IOC ที่มีค่ามากกว่า 0.5 ได้แก่ข้อ 1, 2, 3, 5, และ 6 แสดงว่าคำถามมีดัชนีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ลักษณะดินที่มีคุณภาพ ส่วนข้อ 4 และ 7 มีค่าน้อยกว่า 0.5 แสดงว่าไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์ลักษณะดินที่มีคุณภาพ

เมื่อได้คำถามจำนวน 5 ข้อจากผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยได้สร้างแบบวัดลักษณะดินที่มีคุณภาพ (ภาคผนวก ข) ซึ่งมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประเมินค่า (Rating scale) 10 ระดับ ตั้งแต่ ระดับ 1 (ลักษณะคุณภาพดินไม่ดี) ถึงระดับ 10 (ลักษณะคุณภาพดินดี) แสดงตัวอย่างแบบสอบถามในภาพที่ 6.7

ข้อ 1 ลักษณะดินกลบวัชพืชและกำจัด (ย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ย)									
									
ระดับคะแนน									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ภาพที่ 6.7 แสดงตัวอย่างแบบสอบถามลักษณะดินที่มีคุณภาพ

ผู้วิจัยแปลผลคะแนนแบบวัดลักษณะดินที่มีคุณภาพ ใช้เกณฑ์การแปลผลค่าเฉลี่ยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับคุณภาพดินไม่ดี ระดับคุณภาพดินพอใช้ และระดับคุณภาพดินดี โดยใช้สูตรคำนวณความกว้างของอันตรภาคชั้นดังสมการที่ 6.2

$$\begin{aligned} \text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} &= \frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนระดับ}} \\ &= \frac{10 - 1}{3} = 3.00 \end{aligned} \quad (6.2)$$

ดังนั้นจะได้เกณฑ์ในการแปลผลคะแนนดังนี้

1.00 - 4.00	คะแนน หมายถึง มีระดับลักษณะดินที่มีคุณภาพดินไม่ดี
4.01 - 7.00	คะแนน หมายถึง มีระดับลักษณะดินที่มีคุณภาพดินพอใช้
7.01 - 10.00	คะแนน หมายถึง มีระดับลักษณะดินที่มีคุณภาพดินดี

ผู้วิจัยนำแบบสอบถามใช้กับผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำมาหาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถแสดงในภาพที่ 6.8

Cronbach's Alpha

Alpha
0.8684

ภาพที่ 6.8 ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ Cronbach's Alpha Coefficient

ผลการวิเคราะห์ที่ได้มาจากโปรแกรม Minitab ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามชุดนี้เท่ากับ 0.868 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.7 ขึ้นไป แสดงว่าข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์มีความเชื่อมั่นสูง

เมื่อได้ข้อมูลลักษณะดินที่มีคุณภาพที่ต้องการจากผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยได้ทำแบบสอบถามเกษตรกรในความต้องการดินที่เหมาะสมหลังการไถเตรียมดิน ด้วยการทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ตามวิธีการ RSM-MDE และตรวจสอบคุณภาพดิน แสดงดังภาพที่ 6.9



ภาพที่ 6.9 การทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ตามวิธีการ RSM-MDE และตรวจสอบคุณภาพดิน

หลังจากนั้นให้กลุ่มเกษตรกรทำการประเมินผล โดยเป็นมาตรฐานประเมินค่า (Rating scale) 10 ระดับ ตั้งแต่ ระดับ 1 (คุณภาพดินไม่ดี) ถึงระดับ 10 (คุณภาพดินดี) จากการสำรวจแบบสอบถาม กลุ่มเกษตรกรจำนวน 30 ราย โดยแบ่งกลุ่มแต่ละจังหวัดดังนี้

- (1) จังหวัดมุกดาหาร
 - (1.1) อำเภอดอนตาล 2 ราย
 - (1.2) อำเภอเมืองมุกดาหาร 2 ราย
 - (1.3) อำเภอนิคมน้ำสวาย 2 ราย
- (2) จังหวัดอำนาจเจริญ
 - (2.1) อำเภอชานุมาน 2 ราย
- (3) จังหวัดร้อยเอ็ด
 - (3.1) อำเภอโพนทอง 2 ราย
 - (3.2) อำเภอหนองพอก 2 ราย
 - (3.3) อำเภอเมยวดี 2 ราย
- (4) จังหวัดกาฬสินธุ์
 - (4.1) อำเภอนามน 3 ราย
 - (4.2) อำเภอกุฉินารายณ์ 3 ราย
 - (4.3) อำเภอห้วยเม็ก 2 ราย
 - (4.4) อำเภอหนองกุงศรี 2 ราย
 - (4.5) กิ่งอำเภอสหัสขันธ์ 2 ราย
- (5) จังหวัดมหาสารคาม
 - (5.1) อำเภอโกสุมพิสัย 2 ราย

(6) จังหวัดยโสธร

(6.1) อำเภอเลิงนกทา 2 ราย

จากการประเมินสามารถแสดงผลคะแนนลักษณะดินที่มีคุณภาพ ในตารางที่ 6.4 ดังนี้

ตารางที่ 6.4 ผลคะแนนลักษณะดินที่มีคุณภาพ

คำอธิบาย	1.00 - 4.00	4.01 - 7.00	7.01 - 10.00	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
1. ลักษณะดินกลบวัชพืชและกำจัด (ย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ย)	-	-	10	10	0.00	คุณภาพดินดี
2. ลักษณะดินมีความชื้นในดิน เหมาะสม	-	-	10	9.4	0.52	คุณภาพดินดี
3. ลักษณะดินถ่ายเทอากาศได้ดี (ดินที่ร้อน*และเย็นเร็ว) *ดินร้อน ดินที่ผ่านการไถ	-	-	10	9.5	0.53	คุณภาพดินดี
4. ลักษณะดินย่อยและร่วนซุย เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ พืชได้ดี	-	-	10	10	0.00	คุณภาพดินดี
5. ความลึกดินประมาณ 10 – 15 เซนติเมตร ดินจะแร่ธาตุและ อินทรีย์วัตถุที่มีความอุดมสมบูรณ์	-	-	10	9.4	0.52	คุณภาพดินดี
รวม				9.7	0.31	คุณภาพดินดี

ดังนั้นจะได้เกณฑ์ในการแปลผลคะแนนดังนี้

1.00 - 4.00	คะแนน หมายถึง มีระดับลักษณะดินที่มีคุณภาพดินไม่ดี
4.01 - 7.00	คะแนน หมายถึง มีระดับลักษณะดินที่มีคุณภาพดินพอใช้
7.01 - 10.00	คะแนน หมายถึง มีระดับลักษณะดินที่มีคุณภาพดินดี

จากตารางที่ 6.4 ได้ค่าเฉลี่ยคะแนนลักษณะดินที่มีคุณภาพเท่ากับ ระดับ 9.7 แสดงว่าการ ทดลองตามการตั้งค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี RSM-MDE 5 สามารถลดการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงและ มีคุณภาพดินที่ดี ตามความต้องการของเกษตรกร

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยนำเสนอวิธีการพื้นผิวดตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Response Surface Method – Modify Differential Evolution : RSM-MDE) โดยวัตถุประสงค์คือการหาค่าของพารามิเตอร์ให้มีการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด มีวิธีการดำเนินงานวิจัยมี 4 ขั้นตอนคือ (1) การค้นหาจำนวนพารามิเตอร์และระดับพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของรถแทรกเตอร์ (2) ใช้วิธีการพื้นผิวดตอบสนอง (RSM) ในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และ (3) วิธีการพื้นผิวดตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (RSM-MDE) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (4) ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอน (3)

ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงวิธีวิวัฒนาการโดยผลต่าง (DE) ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคที่มีประสิทธิภาพที่สุดที่นำมาประยุกต์ใช้กับการเพิ่มประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง โดยวิธีการ DE มีขั้นตอน 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) Initial population 2) Mutation Process 3) Recombination Process และ 4) selection ผู้วิจัยทำการเพิ่มขั้นตอน Trial vector re-production process ซึ่งอยู่ระหว่าง Recombination Process กับ selection ดังนั้นจะมีขั้นตอน 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) Initial population 2) Mutation Process 3) Recombination Process 4) Trial vector re-production process และ 5) selection ในการปรับปรุงกระบวนการ Recombination ออกแบบให้เลือกใช้ 2 แบบ (1) กระบวนการเปลี่ยนเวกเตอร์ และ (2) กระบวนการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์

ผลลัพธ์ของการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวดตอบสนอง (RSM) ค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงได้ค่าต่ำสุดคือ 1.57 ลิตร และวิธีการพื้นผิวดตอบสนองร่วมกับโมติฟายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (RSM-MDE) ได้ค่าการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดคือ 1.269 ลิตร เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธี RSM กับ RSM-MDE พบว่าวิธี RSM-MDE สามารถหาค่าปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงได้ต่ำกว่าวิธี RSM เท่ากับ 19.74% และเมื่อนำผลจากวิธีการ RSM-MDE โดยมีค่าพารามิเตอร์มุมจานไถ 42 องศา, มุมไถ 20.25 องศา, ความลึก 10 เซนติเมตร, และความเร็วรถไถ 2.53 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทำการทดลองซ้ำจำนวน 30 ครั้ง พบว่าได้ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 1.27 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี RSM-MDE มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกันเพียง 0.078% แสดงให้เห็นว่าสามารถลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงให้กับประเทศจากเดิมต้นทุนในการเพาะปลูกอ้อยเท่ากับ 115 บาท/ไร่ ลดลงเหลือเพียง 30 บาท/ไร่ ในการเพาะปลูกอ้อย คิดเป็น 73.91 % และผู้วิจัยได้ทำทดสอบคุณภาพของดิน ด้วยการสอบถามปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพดินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน จากนั้นทำการสำรวจแบบสอบถามกับเกษตรกรจำนวน 30 ราย เพื่อประเมินคุณภาพดินโดยเป็นมาตรฐานประเมินค่า (Rating scale) 10 ระดับ ตั้งแต่ ระดับ 1 (คุณภาพดินไม่ดี) ถึงระดับ 10 (คุณภาพดินดี) จากการประเมินจากเกษตรกรได้

ค่าเฉลี่ยคะแนนเท่ากับ ระดับ 9.7 แสดงว่าการทดลองตามการตั้งค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี RSM-MDE สามารถลดการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงและมีคุณภาพดินที่ดี ตามความต้องการของเกษตรกร

7.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการพัฒนาและทำการศึกษา ในการแก้ปัญหาสำหรับการเลือกใช้ใช้เครื่องมือไถเตรียมดิน ในอนาคตควรจะมีมุ่งเน้นทำการศึกษา ดังนี้

7.2.1 ศึกษาวิธีอื่นวิธีอื่น ๆ เพื่อพัฒนาการสร้างความตอบและปรับปรุงคำตอบในการแก้ไขปัญหา

7.2.2 ศึกษาปัจจัยความแตกต่างที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการทดลองเช่น สภาพอากาศและคุณภาพดิน ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการไถเตรียมดินและกำจัดวัชพืชที่ไม่ต้องการออกจากดินมากยิ่งขึ้น

7.2.3 ศึกษาปัจจัยอื่น เช่น พื้นที่และความหนาแน่นของดิน เพื่อพัฒนาในการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับพื้นที่และความหนาแน่นของดิน

7.2.4 ศึกษาเครื่องมือการไถเตรียมดินประเภทอื่น สำหรับการทดลองแต่ละพื้นที่และความหนาแน่นของดิน ชนิดของดิน

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- จรัส ทรัพย์เสรี. DOE Central Composite Design. [www.tpa.or.th/ publisher/pdfFileDownloadS/FQ145_p72-74.pdf](http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/FQ145_p72-74.pdf). 22 มีนาคม, 2562.
- ชูศักดิ์ คงคานนท์. เกษตรกรรม. e-book.ram.edu/e-book/g/GE253(50)/GE253-9.pdf. 14 กุมภาพันธ์, 2562.
- นพดล ศิริเพชร. การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อกำหนดเขตเหมาะสมที่สุดสำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ.พ.ศ.2562. <https://www.nstda.or.th/th/105-nstda-r-and-d/nac2014/729-big-data-zoning>. 22 มีนาคม, 2562.
- พงศธร จันทรสุขจำเริญ. การศึกษาปัจจัยของกระบวนการกลึง CNC ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน เหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 และความคุ้มค่าในการเลือกใช้เม็ดมีดกลึง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2559.
- รัตนอุตสาหกรรมการเกษตร. ไถหัวหมู และไถยกร่อง. <http://www.ratanagroup.com/>. 22 มีนาคม, 2562.
- วรทัศน์ อินทรคัมพร. วิวัฒนาการการเกษตร. http://agecon-extens.agri.cmu.ac.th/Course_online/Course/352103/2.pdf. 22 มีนาคม, 2562.
- Abdalla, Omer A. and et al. “Effect of Disc and Tilt Angles of Disc Plough on Tractor Performance Under Clay Soil”, **Current Research in Agricultural Sciences**. 1(3): 83–94; October, 2014.
- Abon El Ela.and et al. “Optimal power flow using differential Evolution algorithm”, **Electric Power Systems Research**. 80(7): 878-885; July, 2010.
- Abu-Hamdeh. and et al. “A Nonlinear 3D Finite Element Analysis of the Soil Forces Acting on a Disk Plow”, **Soil and Tillage Research**. 74(2): 115–124; December, 2003.
- Adeyemo, J. and Otieno, F. “Differential evolution algorithm for solving Multi-objective crop planning model”, **Agricultural water management**. 97(6): 848-856; June, 2010.
- Ahmadi, H. and Mollazade, K. (2009). “Effect of Plowing Depth and Soil Moisture Content on Reduced Secondary Tillage”, **Agricultural Engineering International:The CIGR Journal of Scientific Research and Development**. 11: 1–9; August, 2009.
- Ahmadi, I. “Development and assessment of a draft force calculator for disk plow using the laws of classical mechanics”, **Soil and Tillage Research**. 163: 32-40; November, 2016.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Ajit K. and et al. **Engineering Principles of Agricultural Machines, Second Edition.** Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineer, 2013.
- Almaliki, S. “Simulation of draft force for three types of plow using response surface method under various field conditions”, **Iraqi Journal of Agricultural Sciences.** 49(6): 1123–1131; December, 2019.
- Arvidsson. and et al. “Specific Draught for Mouldboard Plough, Chisel Plough and Disc Harrow at Different Water Contents”, **Soil and Tillage Research.** 79(2): 221-231; December, 2004.
- BAINER, ROY, R. A. KEPNER. and E. L. BARGER. **Principles of Farm Machinery.** New York: Soil Science, 1956.
- Bhattacharya. and et al. “Optimization of Laccase Production Using Response Surface Methodology Coupled with Differential Evolution”, **New Biotechnology.** 28(1): 31–39; January, 2011.
- Bin, Q. and et al. “Scheduling multi-objective job shop using a memetic algorithm based on differential evolution”, **International Journal of Advanced Manufacturing and Technology.** 35(9–10): 1014–1027; January, 2008.
- Blum, C. and Fouldm, L. R. “Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison”, **ACM Computing Surveys.** 35(3): 268-308; September, 2003.
- Bouamama, S. and et al. “An algorithm based on ant colony optimization for the minimum connected dominating set problem”, **Applied Soft Computing.** 80: 672–686; July, 2019.
- Camposeco-Negrete, C. “Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA”, **Journal of Cleaner Production.** 91: 109-117; March, 2015.
- Cao E., and Lai M, “The open vehicle routing problem with fuzzy demands”, **Expert Systems with Applications.** 37(3): 2405-2411; March, 2010.
- Chokanat, P. and et al. “Methodology to Solve a Special Case of the Vehicle Routing Problem: A Case Study in the Raw Milk Transportation System”, **AgriEngineering.** 1(1): 75–93; February, 2019.
- Cruz L. and et al. “Efficient Differential Evolution algorithms for multimodal optimal control problems”, **Applied Soft Computing.** 3(2): 122; September, 2003.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Gaitonde, V.N. and et al. “Multiresponse optimization in wire electric discharge machining (WEDM) of HCHCr steel by integrating response surface methodology (RSM) with differential evolution (DE)”, **Computational Methods and Production Engineering**. 1: 199-221; June, 2017.
- Gill, W.R. and et al. “The Effect of Geometric Parameters on Disk Forces”, **TRANSACTIONS of the ASAE**. 23(2): 266-269; January, 1980.
- Gupta, P. and Shukla, K. “Design and development of mini tractor operated wavy disc type PTO powered tillage implement”, **The Pharma Innovation Journal**. 6(11): 621-627; October, 2017.
- Hh, Q. and et al. “Energy analysis model of various tillage and fertilizer treatments on corn silage production”, **Canada Agriculture Engineering**. 28(2): 101-105; February, 1986.
- Homkhiew, C. and et al. “Optimizing the formulation of polypropylene and rubberwood flour composites for moisture resistance by mixture design”, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**. 33(9): 810-823; January, 2014.
- Huan X., and Jiechang W. “Differential Evolution Algorithm for the Optimization of the Vehicle Routing Problem in Logistics”, **International Conference on Computational Intelligence and Security**. P 48-51. China: Guangzhou, 2012.
- Ibrahmi, A. and et al. “Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation”, **Computers and Electronics in Agriculture**. 117: 258-267; September, 2015.
- Ibnu Hafidz Arief. **Computer Assisted History Matching: A Comprehensive Study of Methodology**. Master’s Thesis: University of Stavanger, 2013.
- Kheiralla, A.F. and et al. “Modelling of power and energy requirements for tillage implements operating in Serdang sandy clay loam, Malaysia”, **Soil and Tillage Research**. 78(1): 21-34; July, 2004.
- Kudabo, E. and Gbadamosi, L. “Effects of forward speed on the performance of disc plough”, **Multidisciplinary Scientific Journal**. 4: 25-32; March, 2012.
- Kuila, P. and jana, P.K. “A novel differential evolution based clustering Algorithm for wireless sensor networks”, **Applied Soft Computing**. 25: 414-425; December, 2014.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Kumar, A.A. and et al. “Embedded digital draft force and wheel slip indicator for tillage research”, **Computers and Electronics in Agriculture**. 127: 38-49; September, 2016.
- Kumar, S. “Assessment of power, energy and torque of powered disc through soil”, **Journal of Agricultural Engineering**. 53(3): 1-9; February, 2017.
- Latchoumi, T.P. and et al. “Particle Swarm Optimization approach for waterjet cavitation peening”, **Measurement**. 141: 184-189; July, 2019.
- Lai Mi., and Cao E. “An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows”, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. 23(2): 188-195; March, 2010.
- Ling W. and et al. “Minimizing the total flow time in a flow shop with blocking by using hybrid harmony search algorithms”, **Expert Systems with Applications**. 37(12): 7929-7936; December, 2010.
- McKyes, E. and Maswaure, J. “Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil”, **Soil and Tillage Research**. 43(3-4): 195–204; November, 1997.
- Mehrvar, A. and et al. “Optimization of electrochemical machining process parameters: Combining response surface methodology and differential evolution algorithm”, **Proc IMechE Part E: J Process Mechanical Engineering**. 231: 1114–1126; June, 2016.
- Montgomery, D.C. **Design and Analysis of Experiments**. 8th ed. New York: Wiley, 2012.
- Morad, M.M. and et al. “Optimization of disk plow performance under egyptian conditions”, **farm machinery and power**. 25(1): 15–37; January, 2008.
- Naderloo, L. and et al. “Tillage depth and forward speed effects on draft of three primary tillage implements in clay loam soil”, **Journal of Food, Agriculture & Environment**. 7(3-4): 382-385; October, 2009.
- Nalavade, P.P. and et al. “Performance of Free Rolling and Powered Tillage Discs”, **Soil and Tillage Research**. 109(2): 87-93; August, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Nee, C.Y. and et al. “Optimal process parameters for minimizing the surface roughness in CNC lathe machining of Co28Cr6Mo medical alloy using differential evolution”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. 97: 1541–1555; April, 2018.
- O’Dogherty, M.J. and et al. “A Geometrical Analysis of Inclined and Tilted Spherical Plough Discs”, **Journal of Agricultural Engineering Research**. 63(3): 205-217; March, 1996.
- Okoko, P. and et al. “Draft and power requirements for some tillage implements operating in clay loam soil”, **AgricEngInt: CIGR Journal**. 20(1): 95–102; March, 2018.
- Osman, A.N. and et al. “Effect of tilt angle of disk plough on some soil physical properties, work rate and wheel slippage under light clay soil”, **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**. 4(2): 29–35; May, 2011.
- Owende, P.M.O. and Ward, S.M. “Characteristic loading of light mouldboard ploughs at slow speeds”, **Journal of Terramechanics**. 33(1): 29-53; January, 1996.
- Price, K. and et al. **Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization (Natural Computing Series)**. New York: Springer, 2005.
- R. D. Grisso, M. and et al. “Tillage Implement Forces Operating in Silty Clay Loam”, **Trans. ASAE**. 39(6): 1977–1982; March, 1996.
- Ranjbarian, S. and et al. “Performance of tractor and tillage implements in clay soil”, **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. 16(2): 154-162; April, 2017.
- Salokhe, V.M. and et al. “Field testing of a PTO powered disk tiller”, **Journal of Terramechanics**. 31(2): 139-152; March, 1994.
- Santana, J.C.C. and et al. “Optimization of vacuum cooling treatment of postharvest broccoli using response surface methodology combined with genetic algorithm technique”, **Computers and Electronics in Agriculture**. 144: 209-215; January, 2018.
- Sethanan, K. and Pitakaso, R. “Differential evolution algorithms for scheduling raw milk transportation”, **Computers and Electronics in Agriculture**. 121: 245-259; February, 2016.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sharma, S. and Rangaiah, G.P. “An improved multi-objective differential evolution with a termination criterion for optimizing chemical processes”, **Computers & Chemical Engineering**. 56: 155-173; September, 2013.
- Soni, P. and et al. “Modification of a mouldboard plough surface using arrays of polyethylene protuberances”, **Journal of Terramechanics**. 44(6): 411-422; December, 2007.
- Sousa, M.N. and et al. “Differential Evolution Algorithm and Response Surface Methodology Applied to Turning Process Optimization”, **Materials Science Forum**. 727–728: 1854–1859; August, 2012.
- Storn, R. and Price, K. “Differential Evolution - A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces”, **Journal of Global Optimization**. 11: 341–359; December, 1997.
- Wang, J. and et al. “Techno-Economic Challenges of Fuel Cell Commercialization”, **Engineering**. 4(3): 352-360; June, 2018.
- Yanmar. (2015). **Products**. https://www.yanmar.com/media/th/2019/catalog/ym351a_ym357a.pdf. 22 มีนาคม, 2562.
- Zhang, R. and et al. “A hybrid differential evolution algorithm for job shop scheduling problems with expected total tardiness criterion”, **Applied Soft Computing**. 13(3): 1448-1458; March, 2013.

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- จรัส ทรัพย์เสรี. DOE Central Composite Design. [www.tpa.or.th/ publisher/pdfFileDownloadS/FQ145_p72-74.pdf](http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/FQ145_p72-74.pdf). 22 มีนาคม, 2562.
- ชูศักดิ์ คงคานนท์. เกษตรกรรม. e-book.ram.edu/e-book/g/GE253(50)/GE253-9.pdf. 14 กุมภาพันธ์, 2562.
- นพดล ศิริเพชร. การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อกำหนดเขตเหมาะสมที่สุดสำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ.พ.ศ.2562. <https://www.nstda.or.th/th/105-nstda-r-and-d/nac2014/729-big-data-zoning>. 22 มีนาคม, 2562.
- พงศธร จันทรสุขจำเริญ. การศึกษาปัจจัยของกระบวนการกลึง CNC ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน เหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 และความคุ้มค่าในการเลือกใช้เม็ดมีดกลึง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2559.
- รัตนอุตสาหกรรมการเกษตร. ไถหัวหมู และไถยกร่อง. <http://www.ratanagroup.com/>. 22 มีนาคม, 2562.
- วรทัศน์ อินทรคัมพร. วิวัฒนาการการเกษตร. http://agecon-extens.agri.cmu.ac.th/Course_online/Course/352103/2.pdf. 22 มีนาคม, 2562.
- Abdalla, Omer A. and et al. “Effect of Disc and Tilt Angles of Disc Plough on Tractor Performance Under Clay Soil”, **Current Research in Agricultural Sciences**. 1(3): 83–94; October, 2014.
- Abon El Ela.and et al. “Optimal power flow using differential Evolution algorithm”, **Electric Power Systems Research**. 80(7): 878-885; July, 2010.
- Abu-Hamdeh. and et al. “A Nonlinear 3D Finite Element Analysis of the Soil Forces Acting on a Disk Plow”, **Soil and Tillage Research**. 74(2): 115–124; December, 2003.
- Adeyemo, J. and Otieno, F. “Differential evolution algorithm for solving Multi-objective crop planning model”, **Agricultural water management**. 97(6): 848-856; June, 2010.
- Ahmadi, H. and Mollazade, K. (2009). “Effect of Plowing Depth and Soil Moisture Content on Reduced Secondary Tillage”, **Agricultural Engineering International:The CIGR Journal of Scientific Research and Development**. 11: 1–9; August, 2009.
- Ahmadi, I. “Development and assessment of a draft force calculator for disk plow using the laws of classical mechanics”, **Soil and Tillage Research**. 163: 32-40; November, 2016.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Ajit K. and et al. **Engineering Principles of Agricultural Machines, Second Edition.** Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineer, 2013.
- Almaliki, S. “Simulation of draft force for three types of plow using response surface method under various field conditions”, **Iraqi Journal of Agricultural Sciences.** 49(6): 1123–1131; December, 2019.
- Arvidsson. and et al. “Specific Draught for Mouldboard Plough, Chisel Plough and Disc Harrow at Different Water Contents”, **Soil and Tillage Research.** 79(2): 221-231; December, 2004.
- BAINER, ROY, R. A. KEPNER. and E. L. BARGER. **Principles of Farm Machinery.** New York: Soil Science, 1956.
- Bhattacharya. and et al. “Optimization of Laccase Production Using Response Surface Methodology Coupled with Differential Evolution”, **New Biotechnology.** 28(1): 31–39; January, 2011.
- Bin, Q. and et al. “Scheduling multi-objective job shop using a memetic algorithm based on differential evolution”, **International Journal of Advanced Manufacturing and Technology.** 35(9–10): 1014–1027; January, 2008.
- Blum, C. and Fouldm, L. R. “Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison”, **ACM Computing Surveys.** 35(3): 268-308; September, 2003.
- Bouamama, S. and et al. “An algorithm based on ant colony optimization for the minimum connected dominating set problem”, **Applied Soft Computing.** 80: 672–686; July, 2019.
- Camposeco-Negrete, C. “Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA”, **Journal of Cleaner Production.** 91: 109-117; March, 2015.
- Cao E., and Lai M, “The open vehicle routing problem with fuzzy demands”, **Expert Systems with Applications.** 37(3): 2405-2411; March, 2010.
- Chokanat, P. and et al. “Methodology to Solve a Special Case of the Vehicle Routing Problem: A Case Study in the Raw Milk Transportation System”, **AgriEngineering.** 1(1): 75–93; February, 2019.
- Cruz L. and et al. “Efficient Differential Evolution algorithms for multimodal optimal control problems”, **Applied Soft Computing.** 3(2): 122; September, 2003.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Gaitonde, V.N. and et al. “Multiresponse optimization in wire electric discharge machining (WEDM) of HCHCr steel by integrating response surface methodology (RSM) with differential evolution (DE)”, **Computational Methods and Production Engineering**. 1: 199-221; June, 2017.
- Gill, W.R. and et al. “The Effect of Geometric Parameters on Disk Forces”, **TRANSACTIONS of the ASAE**. 23(2): 266-269; January, 1980.
- Gupta, P. and Shukla, K. “Design and development of mini tractor operated wavy disc type PTO powered tillage implement”, **The Pharma Innovation Journal**. 6(11): 621-627; October, 2017.
- Hh, Q. and et al. “Energy analysis model of various tillage and fertilizer treatments on corn silage production”, **Canada Agriculture Engineering**. 28(2): 101-105; February, 1986.
- Homkhiew, C. and et al. “Optimizing the formulation of polypropylene and rubberwood flour composites for moisture resistance by mixture design”, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**. 33(9): 810-823; January, 2014.
- Huan X., and Jiechang W. “Differential Evolution Algorithm for the Optimization of the Vehicle Routing Problem in Logistics”, **International Conference on Computational Intelligence and Security**. P 48-51. China: Guangzhou, 2012.
- Ibrahmi, A. and et al. “Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation”, **Computers and Electronics in Agriculture**. 117: 258-267; September, 2015.
- Ibnu Hafidz Arief. **Computer Assisted History Matching: A Comprehensive Study of Methodology**. Master’s Thesis: University of Stavanger, 2013.
- Kheiralla, A.F. and et al. “Modelling of power and energy requirements for tillage implements operating in Serdang sandy clay loam, Malaysia”, **Soil and Tillage Research**. 78(1): 21-34; July, 2004.
- Kudabo, E. and Gbadamosi, L. “Effects of forward speed on the performance of disc plough”, **Multidisciplinary Scientific Journal**. 4: 25-32; March, 2012.
- Kuila, P. and jana, P.K. “A novel differential evolution based clustering Algorithm for wireless sensor networks”, **Applied Soft Computing**. 25: 414-425; December, 2014.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Kumar, A.A. and et al. “Embedded digital draft force and wheel slip indicator for tillage research”, **Computers and Electronics in Agriculture**. 127: 38-49; September, 2016.
- Kumar, S. “Assessment of power, energy and torque of powered disc through soil”, **Journal of Agricultural Engineering**. 53(3): 1-9; February, 2017.
- Latchoumi, T.P. and et al. “Particle Swarm Optimization approach for waterjet cavitation peening”, **Measurement**. 141: 184-189; July, 2019.
- Lai Mi., and Cao E. “An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows”, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. 23(2): 188-195; March, 2010.
- Ling W. and et al. “Minimizing the total flow time in a flow shop with blocking by using hybrid harmony search algorithms”, **Expert Systems with Applications**. 37(12): 7929-7936; December, 2010.
- McKyes, E. and Maswaure, J. “Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil”, **Soil and Tillage Research**. 43(3-4): 195–204; November, 1997.
- Mehrvar, A. and et al. “Optimization of electrochemical machining process parameters: Combining response surface methodology and differential evolution algorithm”, **Proc IMechE Part E: J Process Mechanical Engineering**. 231: 1114–1126; June, 2016.
- Montgomery, D.C. **Design and Analysis of Experiments**. 8th ed. New York: Wiley, 2012.
- Morad, M.M. and et al. “Optimization of disk plow performance under egyptian conditions”, **farm machinery and power**. 25(1): 15–37; January, 2008.
- Naderloo, L. and et al. “Tillage depth and forward speed effects on draft of three primary tillage implements in clay loam soil”, **Journal of Food, Agriculture & Environment**. 7(3-4): 382-385; October, 2009.
- Nalavade, P.P. and et al. “Performance of Free Rolling and Powered Tillage Discs”, **Soil and Tillage Research**. 109(2): 87-93; August, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Nee, C.Y. and et al. “Optimal process parameters for minimizing the surface roughness in CNC lathe machining of Co28Cr6Mo medical alloy using differential evolution”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. 97: 1541–1555; April, 2018.
- O’Dogherty, M.J. and et al. “A Geometrical Analysis of Inclined and Tilted Spherical Plough Discs”, **Journal of Agricultural Engineering Research**. 63(3): 205-217; March, 1996.
- Okoko, P. and et al. “Draft and power requirements for some tillage implements operating in clay loam soil”, **AgricEngInt: CIGR Journal**. 20(1): 95–102; March, 2018.
- Osman, A.N. and et al. “Effect of tilt angle of disk plough on some soil physical properties, work rate and wheel slippage under light clay soil”, **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**. 4(2): 29–35; May, 2011.
- Owende, P.M.O. and Ward, S.M. “Characteristic loading of light mouldboard ploughs at slow speeds”, **Journal of Terramechanics**. 33(1): 29-53; January, 1996.
- Price, K. and et al. **Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization (Natural Computing Series)**. New York: Springer, 2005.
- R. D. Grisso, M. and et al. “Tillage Implement Forces Operating in Silty Clay Loam”, **Trans. ASAE**. 39(6): 1977–1982; March, 1996.
- Ranjbarian, S. and et al. “Performance of tractor and tillage implements in clay soil”, **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. 16(2): 154-162; April, 2017.
- Salokhe, V.M. and et al. “Field testing of a PTO powered disk tiller”, **Journal of Terramechanics**. 31(2): 139-152; March, 1994.
- Santana, J.C.C. and et al. “Optimization of vacuum cooling treatment of postharvest broccoli using response surface methodology combined with genetic algorithm technique”, **Computers and Electronics in Agriculture**. 144: 209-215; January, 2018.
- Sethanan, K. and Pitakaso, R. “Differential evolution algorithms for scheduling raw milk transportation”, **Computers and Electronics in Agriculture**. 121: 245-259; February, 2016.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sharma, S. and Rangaiah, G.P. “An improved multi-objective differential evolution with a termination criterion for optimizing chemical processes”, **Computers & Chemical Engineering**. 56: 155-173; September, 2013.
- Soni, P. and et al. “Modification of a mouldboard plough surface using arrays of polyethylene protuberances”, **Journal of Terramechanics**. 44(6): 411-422; December, 2007.
- Sousa, M.N. and et al. “Differential Evolution Algorithm and Response Surface Methodology Applied to Turning Process Optimization”, **Materials Science Forum**. 727–728: 1854–1859; August, 2012.
- Storn, R. and Price, K. “Differential Evolution - A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces”, **Journal of Global Optimization**. 11: 341–359; December, 1997.
- Wang, J. and et al. “Techno-Economic Challenges of Fuel Cell Commercialization”, **Engineering**. 4(3): 352-360; June, 2018.
- Yanmar. (2015). **Products**. https://www.yanmar.com/media/th/2019/catalog/ym351a_ym357a.pdf. 22 มีนาคม, 2562.
- Zhang, R. and et al. “A hybrid differential evolution algorithm for job shop scheduling problems with expected total tardiness criterion”, **Applied Soft Computing**. 13(3): 1448-1458; March, 2013.

ภาคผนวก ข
แบบสำรวจลักษณะดินหลังการไถเตรียม เพื่อการเพาะปลูกอ้อย
ตามต้องการของเกษตรกร

แบบสำรวจลักษณะดินหลังการไถเตรียม เพื่อการเพาะปลูกอ้อย ตามต้องการของเกษตรกร
เกณฑ์ในการแปลผลคะแนนดังนี้

- 1.00 - 4.00 คะแนน หมายถึง มีระดับคุณภาพดินไม่ดี
4.01 - 7.00 คะแนน หมายถึง มีระดับคุณภาพดินพอใช้
7.01 - 10.00 คะแนน หมายถึง มีระดับคุณภาพดินดี

ข้อ 1 ลักษณะดินกลบวัชพืชและกำจัด (ย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ย)									
									
ระดับคะแนน									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ข้อ 2 ลักษณะดินมีความชื้นในดินเหมาะสม									
									
ระดับคะแนน									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ข้อ 3 ลักษณะดินถ่ายเทอากาศได้ดี (ดินที่ร้อนและเย็นเร็ว)*ดินร่วน ดินที่ผ่านการไถ



ระดับคะแนน

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

ข้อ 4 ลักษณะดินย่อยและร่วนซุย เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดี



ระดับคะแนน

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

ข้อ 5 ความลึกดินประมาณ 10 – 15 เซนติเมตร ดินจะร่วนซุยและอินทรีย์วัตถุที่มีความอุดมสมบูรณ์



ระดับคะแนน

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายณนตกิจ ศรีโชค
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2540 - 2543 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างกลโรงงาน แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี พ.ศ. 2543 - 2545 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเทคนิคการผลิต แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี พ.ศ. 2545 - 2547 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี พ.ศ. 2553 - 2555 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2545-2555 ครูอัตราจ้าง แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี พ.ศ. 2555-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ตำแหน่ง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมการผลิต
สถานที่ทำงาน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี