ขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานสำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบค่าไม่ต่อเนื่อง กรณีศึกษา การจัดการความซับซ้อนในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์

โดย

นายพีรวัส นาโสก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานสำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบค่าไม่ต่อเนื่อง กรณีศึกษา การจัดการความซับซ้อนในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์

โดย

นายพีรวัส นาโสก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

HARMONY SEARCH ALGORITHM FOR DISCRETE OPTIMIZATION PROBLEMS:A CASE STUDY OF COMPLEXITY MANAGEMENT IN AUTOMOTIVE WIRING HARNESS DESIGN

By
Mr. Peerawat Nasok

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
Master of Engineering Program in Engineering Management
Department of Industrial Engineering and Management
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2015
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง " ขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานสำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบค่าไม่ต่อเนื่อง กรณีศึกษา การจัดการความซับซ้อนในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ " เสนอโดย นายพีรวัส นาโสก เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ รศ. ดร. ประจวบ กล่อมจิตร)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผศ. ดร. ทองแท่ง ทองลิ่ม)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์)

...../...../.....

57405307 : สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
คำสำคัญ : ขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสาน / การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบค่าไม่ต่อเนื่อง /
การจัดการความซับซ้อน / การออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์

พีรวัส นาโสก : ขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานสำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบค่าไม่ต่อเนื่อง กรณีศึกษา การจัดการความซับซ้อนในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ.ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์. 88 หน้า.

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ต่างๆที่มีอยู่ในรถยนต์เช่นเครื่องเล่นวิทยุ ระบบนำทาง (GPS) กล้องมองหลัง และอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีล้ำสมัยต่างๆ ถูกนำมาใช้ในรถยนต์รุ่นใหม่ๆมากขึ้นมากกว่าในอดีต ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นไม่ได้มีผลเฉพาะต่อความซับซ้อนของการประกอบชิ้นส่วนของรถยนต์เช่น ชุดสายไฟ (Wiring Harness) แต่รวมถึงต้นทุนรวมทั้งหมดของห่วงโซ่คุณค่าในอุตสาหกรรมรถยนต์ ดังนั้นปัญหาที่มีคือจะทำการออกแบบชุดสายไฟอย่างไรให้สามารถใช้ร่วมกันได้และครอบคลุมทุกความต้องการของการออกแบบ ในขณะเดียวกันก็จำเป็นต้องบำรุงรักษาต้นทุนรวมทั้งหมดของห่วงโซ่คุณค่าให้อยู่ในระดับต่ำที่สุด จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงทำการนำเสนอการประยุกต์ใช้ของขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony Search Algorithm) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในเทคนิคการแก้ปัญหาด้วยปัญญาประดิษฐ์ การศึกษาในการทำงานวิจัยนี้เริ่มจากการทบทวนความต้องการของการออกแบบที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ต้นทุนการผลิต และต้นทุนในห่วงโซ่อุปทาน เป็นต้น ดังนั้นการแก้ปัญหาจึงถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ที่จะลดต้นทุนการผลิต และต้นทุนในห่วงโซ่อุปทานให้ต่ำลง จากนั้นจึงสร้างขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสานโดยทำการออกแบบและเขียนรหัสคำสั่งด้วยภาษา VBA โดยทำการทดลองคำนวณจากข้อมูลในสถาณการณ์จริงของศูนย์การวิจัยและพัฒนาของบริษัทรถยนต์แห่งหนึ่ง ซึ่งผลลัพท์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานแบบค่าไม่ต่อเนื่องเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่สามารถลดต้นทุนจากความซับซ้อนได้ถึง 7.35% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการในปัจจุบัน และสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานแบบค่าไม่ต่อเนื่องสามารถให้ผลที่ดีในการจัดการกับปัญหาความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์ในระยะการออกแบบของบริษัทตัวอย่าง และขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหานี้ถูกเข้ารหัสในรูปแบบภาษา VBA บนโปรแกรม MS Excel ซึ่งง่ายต่อผู้ใช้งานและไม่มีต้นทุนเพิ่มเติมเกิดขึ้นในบริษัทตัวอย่างนี้

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ลายมือชื่อนักศึกษา..... ปีการศึกษา 2558
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ .....

57405307: MAJOR : ENGINEERING MANAGEMENT
KEY WORD : DISCRETE HARMONY SEARCH ALGORITHM / COMPLEXITY MANAGEMENT / AUTOMOTIVE WIRING HARNESS DESIGN

PEERAWAT NASOK: HARMONY SEARCH ALGORITHM FOR DISCRETE OPTIMIZATION PROBLEMS:A CASE STUDY OF COMPLEXITY MANAGEMENT IN AUTOMOTIVE WIRING HARNESS DESIGN. THESIS ADVISOR : CHOOSAK PORNSING, Ph.D. 88 pp.

Electronic devices in motor vehicles such as radio, GPS, back camera and other cutting-edge technologies are put to new vehicles more than before. It is not only affects to the complexity of assemblies and sub-assemblies design, such as auto wiring harness sets, but also the costs of the whole value chain of the industry. The problem at hand is how to design the common wiring harnesses which cover all of design requirements while could maintain the whole value chain costs at minimum level. Accordingly, this paper proposes an application of Harmony Search (HS) algorithm which is categorized in a group of artificial intelligence techniques. The study starts with review all relevant design requirements, manufacturing costs, and supply chain costs. The problem is formulated with the objective of minimizing the total manufacturing and supply chain costs. Then, a customized HS is designed and coded on VBA package. The computational experiment which the data are drawn from the real situation of the design center of a car-maker company is conducted. The results of the experiment showed that the harmony search algorithm was an effective tool saving the company cost as much as 7.35% by comparing the current method. Therefore as the conclusion, Discrete HS is a useful tool in design phase to cope with complexity of product of the sample company. The algorithm was coded in VBA in Excel® that easy to use for staff and no cost add to the sample company.

Department of Industrial Engineering and Management Graduate School, Silpakorn University
Student's signature ..... Academic Year 2015
Thesis Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการทำวิจัย ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทีมวิศกรออกแบบใบบริษัทกรณีศึกษาที่เสียสละเวลาในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ยิ่งในการทำวิจัยและทดลองใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจที่ผู้ทำวิจัยสร้างขึ้น และขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร. ประจวบ กล่อมจิตร และ ผศ. ดร. ทองแท่ง ทองลิ่ม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบและแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบพระคุณคณะอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและชี้นำแนวทางการศึกษาด้วยดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนเรื่องทุนการศึกษาและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้ และขอขอบคุณ พี่ เพื่อนและน้องๆที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.5 นิยามคำศัพท์ 4

2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 การจัดการความซับซ้อน (Complexity management) 5
2.2 ความสัมพันธ์และผลกระทบของความซับซ้อนกับต้นทุน (Complexity and cost relation) 7
2.3 ขั้นตอนการลดจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟ (Part no.) โดยวิธีการ Giveaway 8
2.4 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสานแบบค่าตัวแปรไม่ต่อเนื่อง 9
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

3 วิธีดำเนินการวิจัย 17
3.1 การศึกษางานวิจัย ทฤษฎี หลักการและแนวคิดพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง 17
3.2 ขั้นตอนออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ 18
3.3 การทดสอบการใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจกับกรณีศึกษา 22
3.4 การวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบผลที่ได้ของกรณีศึกษา 22
3.5 สรุปผลงานวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ 23

4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 24
4.1 สถานการณ์การออกแบบชุดสายไฟในปัจจุบันของบริษัทตัวอย่าง 24
4.2 ผลที่ได้จากกรณีศึกษา 25
4.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างการดำเนินปัจจุบันและการใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ 27
4.4 การออกแบบตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมของวิธีการค้นหาความบรรสาน 29
4.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการค้นหาความบรรสาน 32
4.6 การสรุปผลที่ได้จากการวิจัย 34

บทที่ หน้า
5 สรุปผลการวิจัย 35
5.1 สรุปผลการวิจัย 35
5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการวิจัย 36
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางปรับปรุง 36

รายการอ้างอิง 38
ภาคผนวก 39
ภาคผนวก ก 40
คู่มือการใช้งานเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ 40
ภาคผนวก ข 50
รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของเครื่องมือการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ 50
ภาคผนวก ค 62
ผลลัพท์ของการใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจของบริษัทตัวอย่าง 62
ภาคผนวก ง 76
บทความการนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการนานาชาติ 76
ภาคผนวก จ 84
การพัฒนาตนเอง 84
ประวัติผู้วิจัย 88

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงตัวอย่างแบบต่างๆของฟีเจอร์รถยนต์	6
2.2	แสดงตารางดัชนีตัวคูณราคา	8
2.3	แสดงการกำหนดดัชนีตัวคูณราคาจากข้อมูลการปริมาณสั่งซื้อ	8
2.4	แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของวิธีค้นหาความบรรสานกับการหาค่าเหมาะที่สุด	12
4.1	แสดงผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ	25
4.2	แสดงการกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นในการทดลองหาค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสม	30

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1	แสดงชุดสายไฟในรถยนต์ (Automotive wire harness)	1
1.2	แสดงตัวอย่างความหลากหลาย (Variant) ของชุดสายไฟ	2
1.3	แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย	3
2.1	แสดงแผนผังการออกแบบชุดสายไฟด้วยวิธี Giveaway	9
2.2	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความบรรสานและการหาค่าที่เหมาะที่สุด	10
2.3	แสดงแผนผังการทำงานของวิธี Harmony search	11
3.1	แสดงแผนผังภาพรวมการออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ	18
3.2	แสดงรหัสเทียม (Pseudo code) ของวิธีการค้นหาความบรรสานแบบตัวแปรค่าไม่ต่อเนื่อง	19
3.3	แสดงแผนผังการไหลของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน	21
4.1	แสดงผลการเปรียบเทียบผลรวมต้นทุนราคาชุดสายไฟ	27
4.2	แสดงผลการเปรียบเทียบเวลานำที่ใช้ในการออกแบบชุดสายไฟ	28
4.3	แสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟที่ได้หลังการออกแบบ	29
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรเริ่มต้น PAR กับต้นทุนราคาชุดสายไฟ	31
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรเริ่มต้น HMCR กับต้นทุนราคาชุดสายไฟ	31
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรเริ่มต้น HMS กับต้นทุนราคาชุดสายไฟ	32
4.7	แสดงผลการเปรียบเทียบผลรวมต้นทุนราคาชุดสายไฟ	32
4.8	แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับจำนวนหมายเลขชุดสายไฟ	33
4.9	แสดงความสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับเวลานำที่ใช้ในการประมวลผล	33
4.10	แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับประสิทธิภาพในการลู่เข้าหาคำตอบ	34

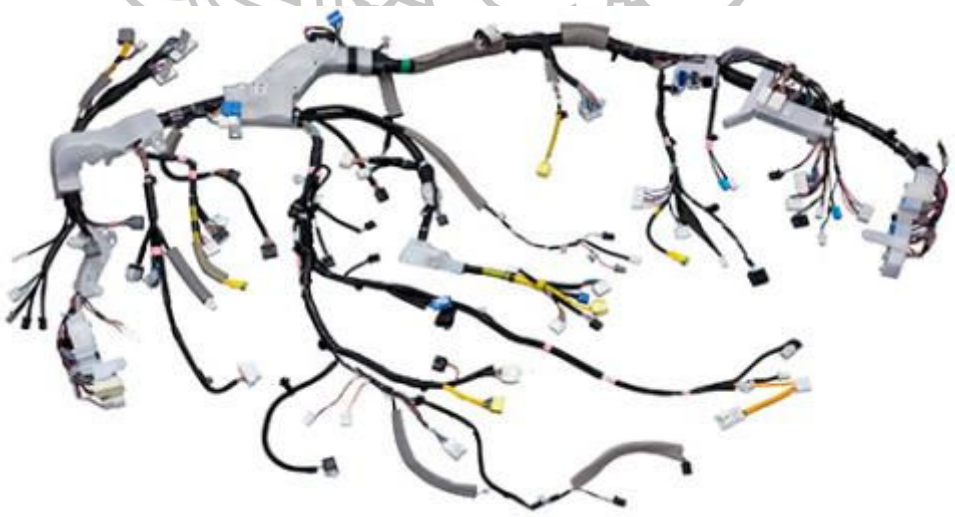
มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันตลาดรถยนต์มีการแข่งขันที่เพิ่มสูงมากขึ้นและความต้องการของลูกค้าที่คาดหวังในตัวผลิตภัณฑ์รถยนต์ที่มีสิ่งอำนวยความสะดวกที่เพียบพร้อมและต้องการให้มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตรถยนต์ต่างๆ จึงต้องการเพิ่มศักยภาพของตนในการแข่งขันในตลาดรถยนต์ให้มากขึ้น และเพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการของลูกค้าในทุกมิติเป็นผลทำให้จำนวนอุปกรณ์และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ถูกเพิ่มเติมเข้ามาในผลิตภัณฑ์รถยนต์เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงกับการออกแบบชุดสายไฟ (wire harness) ต้องมีความซับซ้อน (complexity) มากยิ่งขึ้น โดยความซับซ้อนในงานออกแบบชุดสายไฟ (wire harness complexity) หมายถึง จำนวนของหมายเลขชิ้นส่วน (part number) ของชุดสายไฟที่ถูกสร้างขึ้นมาเป็นจำนวนมากในการออกแบบระยะเริ่มต้น (initial design phase) ที่อาจจะเกิดขึ้นในทุกๆ โครงการการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ (new model) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงแบบเล็กน้อย (minor change) และจำนวนของชุดสายไฟจะมีความซับซ้อนมากขึ้นเมื่อต้องออกแบบให้ครอบคลุมกับรถยนต์ทุกรุ่น (models), เกรด (grade), สเปค (spec) ,ประเทศที่ขาย (sale destination) รวมทั้งอุปกรณ์เสริมเพิ่มเติมต่างๆ (options & accessories)

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ชุดสายไฟเป็นชิ้นส่วนหลักในรถยนต์ที่ทำหน้าที่เป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อส่งผ่านสัญญาณข้อมูลระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งเป็นตัวนำแรงดันไฟเลี้ยงเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในรถยนต์อีกด้วย



รูปที่ 1.1 แสดงชุดสายไฟในรถยนต์ (Automotive wire harness)
ที่มา : **Wiring Harness for Automobiles**, เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2558, เข้าถึงได้จาก https://www.sws.co.jp/en/product/wireharness/.

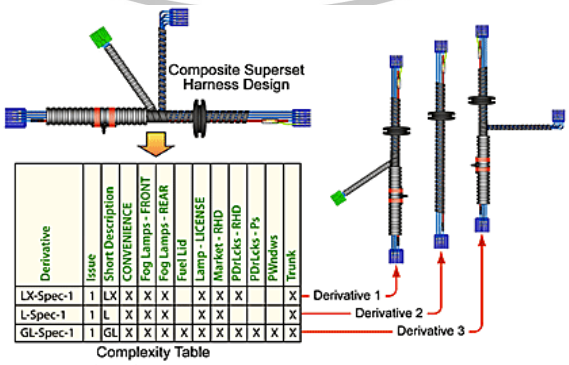
จากรูปที่ 1.1 ส่วนประกอบหลักของชุดสายไฟประกอบด้วยชิ้นส่วนของคอนเนกเตอร์ (connector), สายไฟ (electric wire), ส่วนห่อหุ้มภายนอก (outer covering), คลิป (clip) และชิ้นส่วนย่อยต่างๆ เช่น ฟิวส์ (fuse), กรอมเม็ต (grommet) เป็นต้น โดยชิ้นส่วนประกอบหลักเหล่านี้จะสามารถออกแบบและประกอบขึ้นมาอีกหลายหลายชนิดของชุดสายไฟ และเพื่อประสิทธิภาพในการประกอบชุดสายไฟเข้าไปในตัวรถยนต์ ผู้ออกแบบจึงทำการแบ่งแยกกลุ่ม (Families) ของชุดสายไฟ ตามหน่วยหน้าที่การทำงาน (unit function) โดยแบ่งตามตำแหน่งในรถยนต์ที่ชุดสานไฟถูกประกอบเข้าไปในตัวรถยนต์ เช่น ชุดสายไฟที่ต้องประกอบบนเครื่องยนต์จะถูกเรียกว่า (engine harness) เป็นต้น ในรถยนต์แต่ละรุ่น (model) จะถูกออกแบบให้มีชนิดของชุดสายไฟที่แยกย่อยแตกต่างกันออกไปอีก เช่น ในรถยนต์บางรุ่นอาจจะมีการออกแบบชุดสายไฟสำหรับซันรูฟ (sunroof harness) ขึ้นมา โดยเฉพาะตามหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ

ยกตัวอย่างรถยนต์บางรุ่นที่มี 3 ชนิดของเครื่องยนต์, 2 ชนิดชุดเกียร์, 2 ชนิดชุดเบรก, 4 ชนิดของชุดถุงลมนิรภัย และอีก 6 ชนิดของอุปกรณ์เสริม โดยถ้าตามปกติแล้ว ในรถยนต์คันนี้จะต้องมีการออกแบบชุดสายไฟขึ้นมาทั้งหมดเท่ากับ 3 x 2 x 2 x 4 x 6 = 288 ชนิดของชุดสายไฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความหลากหลาย (variant) ของชุดสายไฟค่อนข้างมาก แต่จริงๆ ในทางปฏิบัติเราสามารถลดหมายเลขชิ้นส่วน (part number) ลงได้ โดยการออกแบบให้สามารถใช้ร่วมกันได้ (commonality design) โดยการรวมหน้าที่การทำงาน (Function) ของชิ้นส่วนชุดสายไฟที่เหมือนกันให้มากที่สุด และในบางความหลายหลาย (variant) ก็ไม่ได้นำมาออกแบบเนื่องจากในรถยนต์บางความหลากหลาย (variant) ก็ไม่ได้อยู่ในแผนการตลาด

ในการออกแบบเพื่อให้ใช้ร่วมกันได้ในชุดสายไฟ บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ส่วนใหญ่ใช้วิธีดังต่อไปนี้ในการลดความซับซ้อน (complexity) ของการออกแบบชนิดชุดสายไฟ เช่น

1. การลดหรือรวมสเปคของรถยนต์ที่นำออกมาขาย โดยในขั้นตอนการออกแบบชุดสายไฟ โดยการรวมอุปกรณ์ที่เป็นออฟชั่นเสริมบางตัวเข้ามาอยู่ในออฟชั่นหลัก หรือลดออฟชั่นเสริมหรือออฟชั่นหลักบางตัวลง ซึ่งจะสามารถลดจำนวนของระบบวงจร (System circuit) ลงไปได้

2. การออกแบบชุดสายไฟให้สามารถคลอบคลุมในหลายสเปคของรถยนต์ โดยเป็นการออกแบบให้ระบบวงจรมีในทุกๆชนิดของชุดสายไฟ โดยไม่คำนึงว่าระบบวงจรนั้นจะถูกประกอบในตัวรถยนต์หรือไม่ ซึ่งวิธีการออกแบบนี้เรียกว่า “Giveaway” แต่การออกแบบในลักษณะนี้จะเกิดต้นทุนที่เสียเปล่าเกิดขึ้นเนื่องจากการใส่ชิ้นส่วนชุดสายไฟที่จะไม่ถูกใช้งานรวมเข้าไปด้วย ซึ่งต้นทุนที่เสียเปล่านี้เรียกว่า “Giveaway cost” ต้นทุนที่เกิดจากการ Giveaway จะถูกรวมไปในต้นทุนของการผลิตรถยนต์ทั้งคัน แต่จะไม่นำไปคิดในราคาขายของรถยนต์



รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างความหลากหลาย (Variant) ของชุดสายไฟ

ที่มา : Elisa Pouyanne, **Composite supersets tame wiring harness engineeringcomplexity**, เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2558, เข้าถึงได้จากhttp://www.embedded.com/print/4218314.

จากรูปที่ 1.2 ในการพิจารณาว่าชุดสายไฟที่ออกแบบอยู่จะสามารถ Giveaway ได้หรือไม่นั้น จำเป็นต้องมีการพิจารณาในหลากหลายปัจจัยซึ่งประกอบไปด้วย ต้นทุนของชุดสายไฟ (wire harness product cost) , ปริมาณการใช้งาน (usage volume), เสียงรบกวน (Rattle noise), เงื่อนไขการจัดเก็บ (option tape), มาตรฐานการออกแบบ (design standard), ความสามารถในการประกอบ (workability) เป็นต้น

ในบริษัทรถยนต์ที่ผู้วิจัยทำการศึกษานั้น การออกแบบแบบ Giveaway มีจุดประสงค์หลักเพื่อที่จะทำการลดจำนวนของ part no. ในการออกแบบให้มีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ต้นทุนในการประกอบชุดสายไฟ ต้นทุนในการจัดเก็บ ต้นทุนในการสั่งซื้อ เป็นต้น นอกจากนี้การตัดสินใจในขั้นตอนการ Giveaway ไม่ได้เป็นการตัดสินใจบนพื้นฐานของข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อมูลยอดการขาย เป็นต้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟด้วยวิธีการการ Giveaway ให้กับระบบวงจร (system circuit) ที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาถึงต้นทุนอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยใช้อัลกอลิทึ่มแบบการค้นหาแบบบรรสาน (Harmony search)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

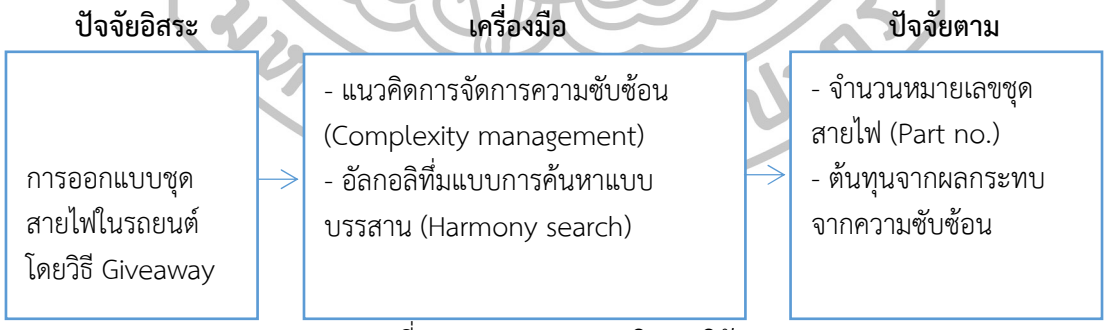
1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบทางต้นทุนของความซับซ้อนในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์

1.2.2 เพื่อศึกษาการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony search)

1.2.3 เพื่อนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟด้วยวิธี Giveaway โดยใช้ใช้อัลกอลิทึ่มแบบการค้นหาแบบบรรสาน (Harmony search)

1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำมาเป็นกรอบในการวิจัยครั้งนี้ โดยสามารถแสดงออกมาเป็นแผนภาพดังนี้



รูปที่ 1.3 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถทราบถึงต้นทุนจากผลกระทบของความซับซ้อนของการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์

1.4.2 สามารถลดปัญหาความซับซ้อนและลดต้นทุนของชิ้นส่วนชุดสายไฟในรถยนต์ของบริษัทตัวอย่างได้

1.4.3 เพื่อเป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ด้วยวิธี Giveaway โดยใช้ใช้อัลกอลิทึ่มแบบการค้นหาแบบบรรสาน (Harmony search)

1.5 นิยามคำศัพท์

เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในรายงานการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดความหมายของคำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ดังนี้

ชุดสายไฟในรถยนต์ (Automotive wire harness) หมายถึง ชิ้นส่วนหลักในรถยนต์ที่ทำหน้าที่เป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อส่งผ่านสัญญาณข้อมูลระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งเป็นตัวนำแรงดันไฟเลี้ยงเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในรถยนต์

การจัดการความซับซ้อน (Complexity management) หมายถึง การลดกระทบจากความซับซ้อนตั้งแต่ ผลกระทบในห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain), กระบวนการในสายการผลิต, และต้นทุนเพิ่มเติมจากความซับซ้อน (Extra complexity cost) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นต้นทุนทางตรง (Direct cost), ต้นทุนทางอ้อม (In-direct cost)

หมายเลขชิ้นส่วน (Part number) หมายถึง รหัสของกลุ่มตัวเลขและตัวหนังสือที่ใช้แสดงแทนชิ้นส่วนในแต่ละรูปแบบ ซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดและแทนความหมายของชิ้นส่วนได้หลากหลายเช่น แสดงถึงกลุ่มหรือชนิดของชิ้นส่วน แสดงถึงหน้าที่ (function) หรือรูปแบบการใช้งานเป็นต้นโดยใช้สำหรับอ้างอิงเพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันระหว่าง ผู้ซื้อ ผู้แทนจำหน่าย และ ผู้ผลิต ซึ่งจะเป็นรหัสรายการสินค้าต่าง ๆ เนื่องจากสินค้าบางรายการ มีชื่อเรียกเหมือนกัน แต่ ต่างกันที่ ขนาด สี และคุณลักษณะของสินค้าบางประการ

Giveaway หมายถึง วิธีการหนึ่งในการออกแบบชุดสายไฟเพื่อลดความซับซ้อน ให้สามารถคลอบคลุมในหลายสเปคของรถยนต์ โดยเป็นการออกแบบให้ระบบวงจรมีในทุกๆชนิดของชุดสายไฟ โดยไม่คำนึงว่าระบบวงจรนั้นจะถูกประกอบในตัวรถยนต์หรือไม่

ระบบวงจร (System circuit) หมายถึง ระบบวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเลกทรอนิคส์ในรถยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วยหลายๆวงจรไฟฟ้าที่มีหน้าที่แตกต่างกันแต่ที่ทำงานเกี่ยวข้องกัน

ฟีเจอร์ (Feature) หมายถึง ระบบและอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในรถยนต์ที่มีลักษณะเฉพาะเช่น ระบบช่วยนำทาง (Navigator), ระบบช่วยจอดอัตโนมัติ (Auto parking system) เป็นต้น

ดัชนีตัวคูณราคา (Lot index) หมายถึง ค่าสัมประสิทธ์ตัวคูณกับราคาพื้นฐาน (Base price) ของชิ้นส่วน โดยใช้ข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อย้อนหลังนำมาคิดเป็นอัตราการคูณ

การค้นหาความบรรสาน (Harmony search) หมายถึง วิธีการหาคำตอบซึ่งเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของนักดนตรีคือการใช้แนวทางของนักดนตรีในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้การประสานเสียงของเครื่องดนตรีที่เหมาะสมที่สุด

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและค้นขว้าหาข้อมูลจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดการความซับซ้อน (Complexity management) ในหลากหลายงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการศึกษาแนวคิดในการแก้ปัญหาและการจัดการกับความซับซ้อน รวมถึงศึกษาวิธีและขั้นตอนของแบบจำลองการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony search algorithm)

2.1 การจัดการความซับซ้อน (Complexity management)

การจัดการความซับซ้อนในผลิตภัณฑ์ (Product complexity management) ในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (Finished product) เป็นปัญหาใหญ่ที่ท้าทายกับฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์และการดำเดินการจัดการกับผลกระทบจากความซับซ้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งสิ่งที่ฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องลดปริมาณของซับซ้อนลงให้มากที่สุดเช่น ลดชนิดของรูปร่าง,โครงสร้าง ส่วนประกอบต่างๆ ให้น้อยที่สุด แต่ในขณะเดียวกันนั้นจำเป็นต้องไม่ทำให้ประสิทธิภาพและหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์นั้นลดลงไปด้วย และการจัดการกับความซับซ้อนนั้นเป็นการลดกระทบจากความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ ผลกระทบในห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain), กระบวนการในสายการผลิต, และต้นทุนเพิ่มเติมจากความซับซ้อน (Extra complexity cost) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นต้นทุนทางตรง (Direct cost), ต้นทุนทางอ้อม (In-direct cost)เป็นต้น

Wei Wei (2012) ได้แสดงให้เห็นถึงปัญหาการจัดการความซับซ้อนของชุดสายไฟโดยได้แสดงออกมาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (1)

$$C_m = \prod_{i=1}^{n} V_i \qquad (1)$$

เมื่อ V_i คือจำนวนของความแตกต่างภายใต้ข้อกำหนดฟีเจอร์ i และ n คือจำนวนของฟีเจอร์ทั้งหมดในการออกแบบ โดยปกติการคำนวนจำนวนความแตกต่างภายใต้ข้อจำกัดของฟีเจอร์จะสามารถแสดงได้เป็นเอกซ์โปแนนเชียลของสอง โดยเลขกำลังของสมการคือจำนวนฟีเจอร์ทั้งหมด เพื่อแสดงให้เห็นง่ายๆ สมมติว่าการออกแบบมีฟีเจอร์ที่ต้องครอบคลุมทั้งหมด 10 ฟีเจอร์ แต่ละฟีเจอร์มีทางที่เป็นไปได้อยู่สองทางคือ มีและไม่มี ดังนั้นแนวทางที่เป็นไปได้ในการออกแบบชุดสายไฟ ให้คลอบคลุม และแตกต่างกันสามารถออกแบบถึง $2^{10} = 1024$ แบบ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างแบบต่างๆของฟีเจอร์รถยนต์

หมายเลข	ฟีเจอร์	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
1	Navigation	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี
2	Sky roof	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี
3	Electric adjustment seat	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี
4	Auto-hold	ไม่มี	มี	มี	มี
5	Radar	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
6	LED head lamp	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี
7	Electric heating seat	มี	ไม่มี	ไม่มี	มี
8	Number of Airbags	มาก	น้อย	มาก	น้อย
9	Keyless starting	ไม่มี	มี	ไม่มี	ไม่มี
10	Blind point reminder	ไม่มี	ไม่มี	มี	ไม่มี

ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะตัดสินใจเลือกทางเลือกใดทางเลือกหนึ่งหรือหลายทางเลือกจากทางเลือกทั้งหมดที่มี เพื่อการออกแบบเพื่อแสดงถึงความซับซ้อน (Complexity) ของการออกแบบ กำหนดให้ o คือจำนวนรวมของฟีเจอร์ทั้งหมดที่ต้องออกแบบสำหรับการผลิตรถยนต์รุ่นหนึ่ง ความซับซ้อนของฟีเจอร์ o คือ

$$C_o = 2^o \tag{2}$$

ดังนั้นระดับของความซับซ้อนทั้งหมดจึงสามารถประมาณได้จาก

$$Complexity = \prod_{i=1}^{n} V_i 2^o \tag{3}$$

อย่างไรก็ตามสมการนี้อาจไม่ถูกต้องมากนักหากมีหนึ่งฟีเจอร์ที่มีให้เลือกมากกว่าสองระดับ (มี/ไม่มี) กล่าวคืออาจเป็น (เครื่องปรับอากาศ: ขนาดเล็ก/กลาง/ใหญ่)

ในทางปฏิบัติการตัดสินใจเรื่องจำนวนความแตกต่างอาจไม่แลวร้ายตามทฤษฎีนัก เพราะรถยนต์รุ่นหนึ่งๆ มักจะถูกจำกัดความแตกต่างให้ลูกค้าได้เลือก ตามตำแหน่งของตลาดที่รถยนต์รุ่นนั้นๆ ได้ถูกวางแผนทางการตลาดไว้ ในตลาดรถยนต์รุ่นหนึ่งที่ขายในยุโรป ได้ถูกออกแบบให้มีความแตกต่างตามแผนการตลาด นโยบาย ข้อบังคับและกฎหมายของตลาดยุโรป ในท้ายสุดพบว่าความซับซ้อนของชุดสายไฟยังคงมีมากถึง 30,000 แบบ

เห็นได้ชัดเจนว่าเราไม่สามารถออกแบบและจัดการชุดสายไฟ 30,000 แบบให้เป็นจริงได้ในทางปฏิบัติในเมื่อมันเป็นเพียงหนึ่งอุปกรณ์พื้นฐานในรถยนต์ ดังนั้นในทางปฏิบัตินั้นเราจำเป็นต้องดำเนินการจัดการกับความซับซ้อนของชุดสายไฟ

วิธีในการดำเนินการลดความซับซ้อนของชุดสายไฟของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์แห่งหนึ่งได้มีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ทำการลดจำนวนของฟีเจอร์เดี่ยวๆ โดยการรวบรวมหลายๆฟีเจอร์เข้าด้วยกันเป็นกลุ่มเดียว โดยที่ลูกค้าต้องทำการเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างกลุ่มที่มีฟีเจอร์รวมกันทั้งหมดกับในทางตรงกันข้ามคือไม่มีฟีเจอร์ที่ต้องการในกลุ่มนั้นเลย

2. นำชุดสายไฟที่มีระบบวงจรที่คลอบคลุมทั้งหมดมาใช้ ซึ่งหมายความว่าในระหว่างขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาชุดสายไฟนั้น จะทำการใส่ฟีเจอร์ต่างๆเข้าไปโดยไม่จำเป็นต้องคำนึงว่าลูกค้าจะต้องการฟีเจอร์นี้หรือไม่ ซึ่งบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ยังคงใส่ฟีเจอร์นั้นลงไปในชุดสายไฟ ยกตัวอย่างในกรณีการออกแบบชุดสายไฟของเบาะที่นั่ง ซึ่งเป็นการนำชุดสายไฟแบบเดียวกันมาประกอบในรถยนต์ที่มีและไม่มีเบาะที่นั่งที่สามารถปรับระดับได้ด้วยระบบไฟฟ้า โดยวิธีนี้จะทำให้ราคาของชุดสายไฟเพิ่มสูงขึ้นจากการเพิ่มฟีเจอร์ของการปรับระดับด้วยระบบไฟฟ้าลงไปในชุดสายไฟ ซึ่งการดำเนินการในลักษณะนี้ทำให้บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ต้องยอมรับในต้นทุนของสายไฟและคอนเน็คเตอร์ที่ไม่จำเป็นนี้ด้วย โดยต้นทุนที่เพิ่มขึ้นนี้เรียกว่าต้นทุนของ Giveaway

3. ทำการแยกแบบของชุดสายไฟจากกลุ่มใหญ่ออกมาเป็นชุดย่อยๆ โดยวิธีนี้ไม่ได้เป็นการลดความซับซ้อนโดยรวมแต่เป็นการที่เราสามารถลดจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟทั้งหมดลงไปได้ มันเป็นการเพิ่มแบบของชุดสายไฟขึ้นซึ่งจะทำให้การควบรวมของฟีเจอร์ลดลง แต่ส่งผลดีกว่าในการลดจำนวนของฟีเจอร์หลักๆในแต่แบบของชุดสายไฟ ยกตัวอย่างเช่นในรถยนต์คันหนึ่งจะมาการแยกแบบของชุดสายไฟหลักออกเป็น 4 แบบคือ ชุดสายไฟด้านหน้า, ชุดสายไฟด้านหลัง, ชุดสายไฟบนแผงควบคุม, และชุดสายไฟในประตูเป็นต้น

ในการดำเนินการใน 3 วิธีนี้ จะทำให้สามารถลดจำนวนแบบทั้งหมดจากการออกแบบชุดสายไฟจาก 30,000 แบบเป็น 2,000 แบบโดยประมาณ ซึ่งระดับต้นทุนของ giveaway ต้องอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

2.2 ความสัมพันธ์และผลกระทบของความซับซ้อนกับต้นทุน (Complexity and cost relation)

ในส่วนนี้ผู้วิจัยพยายามศึกษาต้นทุนที่มีผลจากการความซับซ้อนที่เกิดขึ้น ซึ่ง Marshall L.F. and D.I. Christopher, (1999) ศึกษาพบว่าสามารถแยกออกเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นทางตรง (Direct cost) และต้นทุนที่เกิดขึ้นทางอ้อม (Indirect cost) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาต้นทุนที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจากประสบการณ์ในการทำงานออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์และได้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการควบคุมต้นทุนในการผลิตรถยนต์ (Vehicle cost control) ของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์แห่งหนึ่ง รวมทั้งได้มีการศึกษาจากวิทยานิพนธ์ต่างๆของผู้ที่เคยทำวิจัยในหัวข้อดังกล่าว

ต้นทุนที่เกิดขึ้นทางตรง (Direct cost) คือต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกแบบชุดสายไฟ โดยมีผลจากการออกแบบจำนวนของหมายเลยชุดสายไฟหรือผลจากความหลากหลายของหมายเลขชุดสายไฟ ซึ่งมีผลให้เกิดต้นทุนขึ้นโดยตรงดังนี้

ต้นทุนของราคาชิ้นส่วนจากดัชนีตัวคูณราคา (Lot index) เกิดขึ้นจากขั้นตอนการทำสัญญาซื้อขายตั้งแต่ช่วงการจัดหาผู้ขาย (Suppler sourcing phase) ซึ่งเป็นข้อตกลงระหว่างบริษัทผู้ผลิตรถยนต์และบริษัทผู้ขายชิ้นส่วนในการจัดตั้งราคาการซื้อขายชิ้นส่วน โดยอาศัยข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อย้อนหลังนำมาคิดเป็นอัตราการคูณ เพื่อเป็นการรับประกันต้นทุนการเตรียมการผลิตของฝั่งผู้ขายชิ้นส่วน (Vendor tooling cost) ที่อาจจะเกิดขึ้นจากการลดความต้องการของลูกค้าในตลาดในของชิ้นส่วนบางรุ่นหรือในบางช่วงเวลา ซึ่งในความเป็นจริงนั้นทำให้บริษัทผู้ผลิตรถยนต์เสียผลประโยชน์ เนื่องจากการการชะลอตัวของตลาดรถยนต์และความเปลี่ยนแปลงความต้องการของลูกค้าที่เป็นไปอย่างรวดเร็วมีผลทำให้การปริมาณการสั่งซื้อของ

ชิ้นส่วนลดลง แต่ในทางกลับกันบริษัทผู้ผลิตรถยนต์กลับต้องซื้อราคาชิ้นส่วนที่แพงขึ้น ดังตารางของการคิดราคาแบบมีดัชนีตัวคูณราคาตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงตารางดัชนีตัวคูณราคา

ปริมาณการสั่งซื้อ (ชิ้น /part no.)	ค่าดัชนีตัวคูณราคา (Lot index)	ตัวอย่างราคาชุดสายไฟ (3,000 บาท/part no.)
0 – 24	3.5	10,500
25 – 99	1.2	3,600
100 – 249	1.02	3,060
250 – 499	1	3,000
500 – 999	0.98	2,940
1000 – 2999	0.96	2,880
3000 – 4999	0.95	2,850
5000 -	0.94	2,820

จากข้อมูลราคาของชุดสายไฟหลังจากคูณดัชนีราคาแล้ว พบว่าหากปริมาณการสั่งซื้อชุดสายไฟต่อหนึ่ง part no. ต่ำกว่า 250 ชิ้น จะทำให้ราคาชุดสายไฟเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1.02 – 3.50 เท่า ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนรวมของการสั่งซื้อชุดสายไฟสูงขึ้น

ปริมาณการสั่งซื้อที่นำมากำหนดค่าของดัชนีราคาเกิดจากการนำค่าเฉลี่ยของการสั่งซื้อชุดสายไฟต่อ 1 part no. ใน 6 เดือนก่อนหน้า มากำหนดดัชนีราคาใน 6 เดือนข้างหน้า ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามตารางที่ 2.3 ด้านล่าง

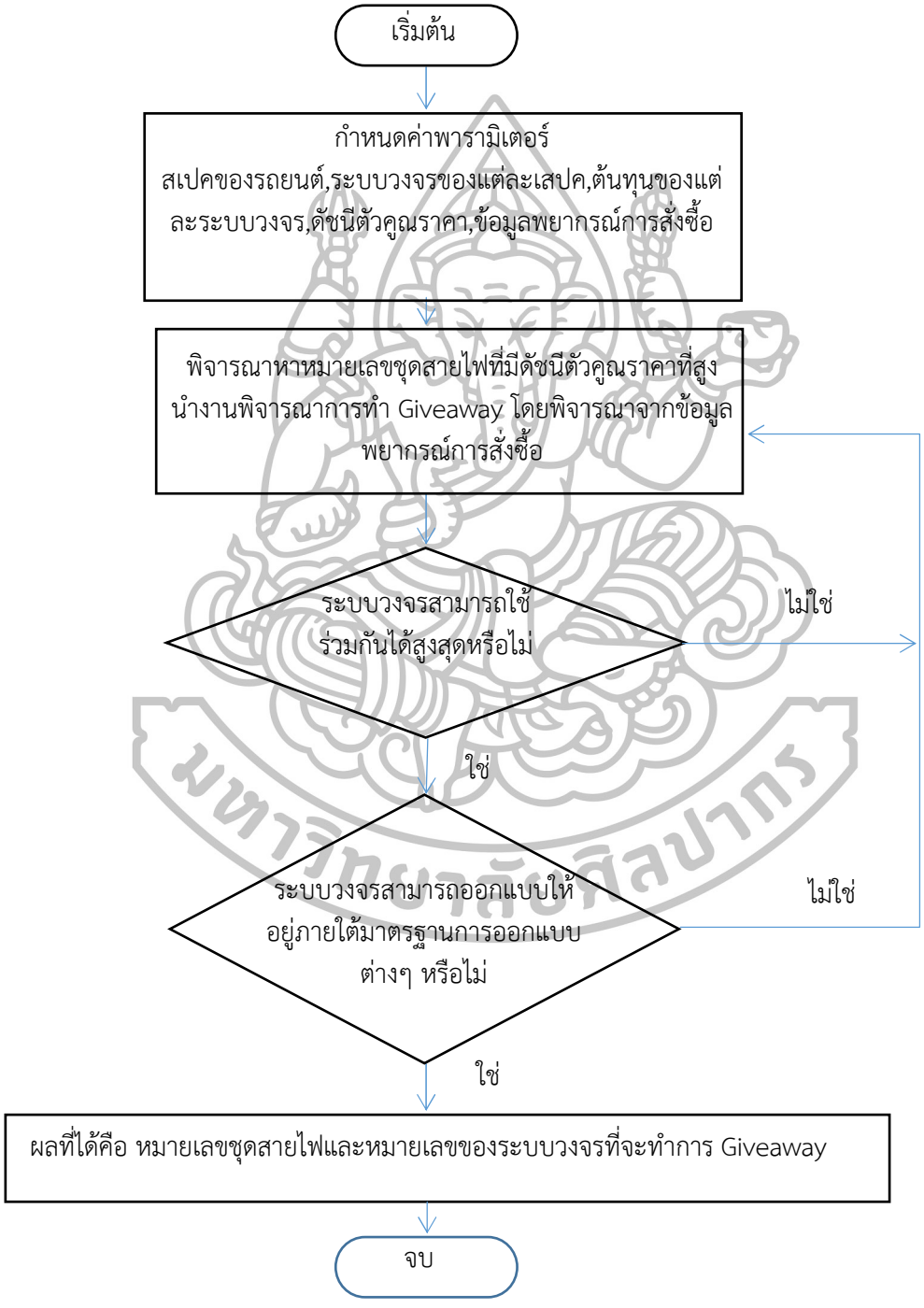
ตารางที่ 2.3 แสดงการกำหนดดัชนีตัวคูณราคาจากข้อมูลการปริมาณสั่งซื้อ

เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8	เดือนที่ 9	เดือนที่ 10	เดือนที่ 11
ค่าเฉลี่ยปริมาณการสั่งซื้อ										
			นำดัชนีตัวคูณราคามาใช้คำนวณ							

2.3 ขั้นตอนการลดจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟ (Part no.) โดยวิธีการ Giveaway

วิธีการ Giveaway เป็นการออกแบบชุดสายไฟเพื่อให้ระบบวงจร (system circuit) สามารถคลอบคลุมในหลายสเปคของรถยนต์ โดยเป็นการออกแบบให้ระบบวงจรมีในทุกๆแบบของชุดสายไฟ โดยไม่คำนึงว่าระบบวงจรนั้นจะถูกประกอบในตัวรถยนต์หรือไม่

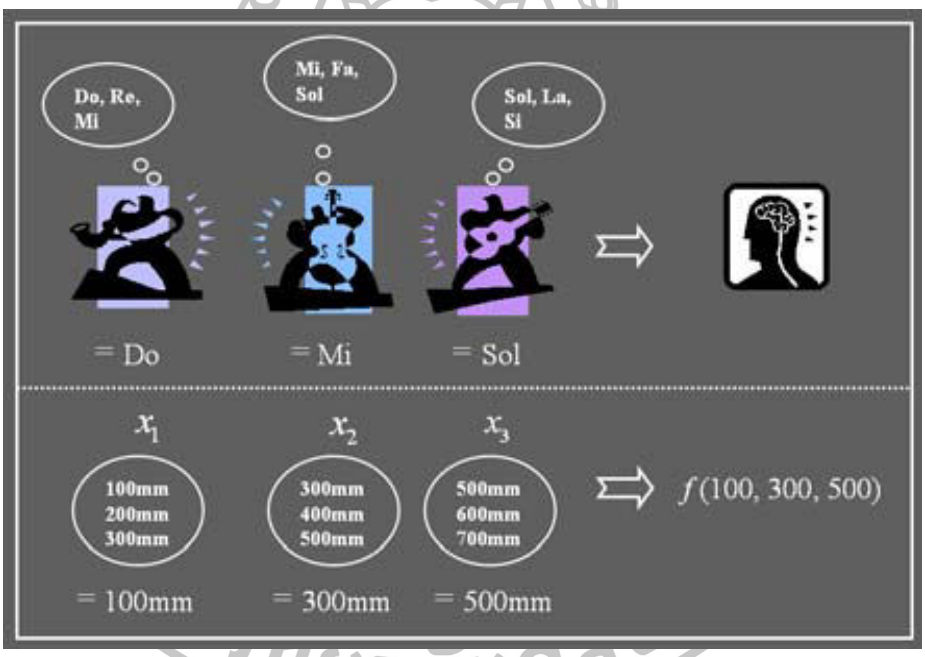
ในขั้นตอนการออกแบบจะมีการการพิจารณาการว่าจะสามารถ Giveaway ระบบวงจรไหนได้บ้างกับหมายเลข (แบบ) ชุดสายไฟใดนั้น มีขั้นตอนการพิจารณาดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังการออกแบบชุดสายไฟด้วยวิธี Giveaway

2.4 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony search algorithm)

วิธีการค้นหาความบรรสานเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของนักดนตรี คือการใช้แนวทางของนักดนตรีในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้การประสานเสียงของเครื่องดนตรีที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งนักดนตรีจะทำการปรับปรุงและแก้ไขตัวโน๊ตโดยการหาตัวโน๊ตที่ทำให้เกิดการประสานเสียงของเครื่องดนตรีเพื่อให้เกิดความไพเราะมากที่สุดซึ่งจะตัดสินจากมาตรฐานหรือระดับความไพเราะของคุณภาพเสียงที่เกิดขึ้น โดยการหาตัวโน๊ตที่เหมาะสมกับเครื่องดนตรีแต่ละชนิด เพื่อนำมาเรียบเรียงเสียงของเครื่องดนตรีแต่ละเครื่องที่มีระดับเสียงแตกต่างกันให้สอดคล้องกันและเกิดความไพเราะ ซึ่งความบรรสานคิดค้นโดย Dr. Zong Woo Geem ในปี 2001 โดยที่ Dr.Zong Woo Geem สนใจในการเล่นดนตรีและใฝ่ฝันที่จะเป็นนักดนตรีได้แนวคิดจากการแต่งเพลงของนักดนตรีในการหาตัวโน๊ตที่เหมาะสำหรับเครื่องดนตรีแต่ละชนิดในการเล่นเป็นวงดนตรีเพื่อให้เกิดความไพเราะ ความบรรสานเป็นการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดอีกวิธีหนึ่งดังรูปที่ 2.2

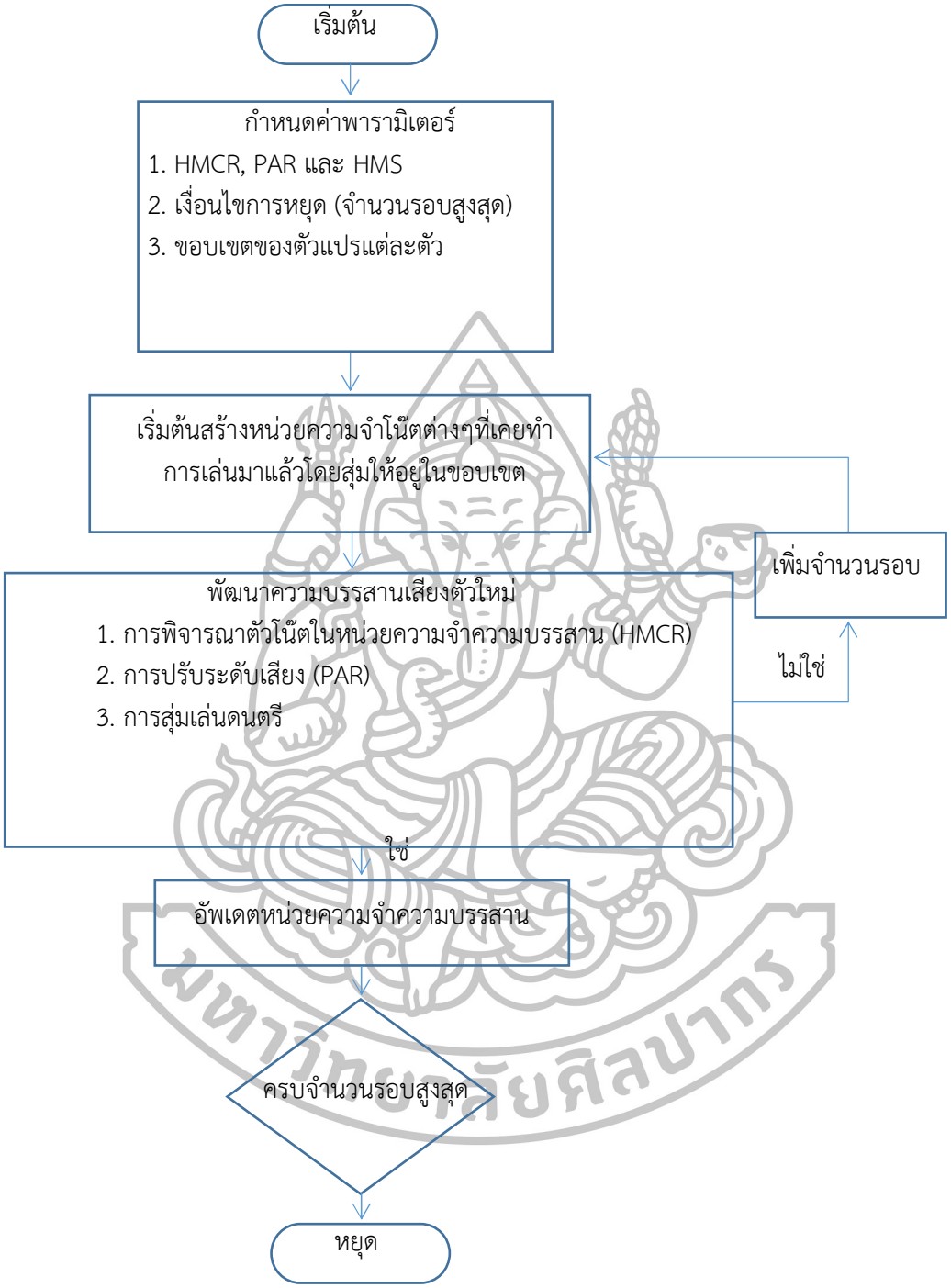


รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความบรรสานและการหาค่าที่เหมาะที่สุด

ทั่วไปแล้วนักดนตรีจะเริ่มเล่นดนตรีโดยที่ไม่ได้เตรียมตัวมาก่อนนั้นนักดนตรีจะเล่นตามแบบอย่างแบบใดแบบหนึ่งใน 3 แบบนี้

1. เลือกตัวโน๊ตจากหน่วยความจำความบรรสาน โดยพิจารณาตัวโน๊ตจากข้อมูลที่เคยเล่นมาแล้ว
2. เลือกตัวโน๊ตที่อยู่ในหน่วยความจำความบรรสาน และทำการปรับระดับเสียง
3. ทำการสุ่มเลือกตัวโน๊ตภายในขอบเขตที่กำหนด

การสร้างหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory : HM) เป็นส่วนสำคัญของวิธีการค้นหาความบรรสาน ความบรรสานตัวใหม่ที่ดีกว่าตัวเดิมจะถูกเก็บเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยความจำ ความบรรสานทำ ซ้ำ ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งค้นพบความบรรสานที่เหมาะสมที่สุดการค้นหาความบรรสานเป็นการหาคำตอบเหมาะที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงแผนผังการทำงานของวิธี Harmony search

ซึ่งวิธีค้นหาความบรรสานเป็นการหาค่าเหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (Global Optimum) ซึ่งจะได้คำตอบที่เป็นจุดต่ำที่สุด การจำลองความบรรสานของเครื่องดนตรีใช้หลักการหาตัวโน๊ตที่เหมาะสำหรับเครื่องดนตรีแต่ละชนิด

ในการเล่นเป็นวงดนตรี โดยสามารถเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของวิธีค้นหาความบรรสานกับการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของวิธีค้นหาความบรรสานกับการหาค่าเหมาะที่สุด

วิธีค้นหาความบรรสาน	การแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุด
เครื่องดนตรี	ตัวแปรตัดสินใจ
ขอบเขตระดับเสียง	ขอบเขตตัวแปร
ตัวโน๊ต	ค่าตัวแปรเหมาะที่สุด
ความไพเราะ	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์
การฝึกซ้อม	จำนวนรอบ
ประสบการณ์	เมตริกซ์หน่วยความจำ

2.5 **ขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานแบบค่าตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Harmony search)**

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการค้นหาความบรรสานจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้ 1. การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 2. การกำหนดค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรควบคุม 3. การสร้างหน่วยความจำความบรรสาน 4. การพัฒนาความบรรสานตัวใหม่ 5. การอัพเดทหน่วยความจำความบรรสาน ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดหาคำตอบ โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของวิธีการค้นหาความบรรสาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยทำการนิยามและกำหนดสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาที่ต้องการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

$$\min \text{ or } max_x f(x) \tag{4}$$

เมื่อ $x \in \mathbb{R}^n$ คือ เวคเตอร์คำตอบที่เป็นค่าจริงที่ประกอบด้วยค่า $n \geq 1$ ซึ่งกล่าวไว้โดย Nocedal, Wright (2006) อย่างไรก็ตาม เงื่อนไขบังคับของคำตอบโดยธรรมชาติก็คือ ค่าที่ขอบเขตล่างและค่าที่ขอบเขตบนของแต่ละตัวแปรตัดสินใจ ดังนั้นจึงสามารถแสดงออกมาได้ว่า

$$\min \text{ or } max\ f(x) \quad \text{subject to } x_i \in X_i, \quad \forall i \in \{1,2,..,N\} \tag{5}$$

เมื่อ $f(x)$ คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ x คือกลุ่มของตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัว x_i และ X_i คือกลุ่มของขอบเขตคำตอบที่เป็นไปได้ของตัวแปรออกแบบแต่ละตัว ซึ่งก็คือ $x_{i,lo} \leq X_i \leq x_{i,up}$ เมื่อ $x_{i,lo}$ และ $x_{i,up}$ คือขอบเขตล่างและขอบเขตบนของตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัว และ N คือจำนวนของตัวแปรที่ออกแบบ

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรควบคุมต่างๆ ดังนี้

1. กำหนดขอบเขตของคำตอบ $x_{i,lo}$ และ $x_{i,up}$ ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$x_{i,lo} \leq X_i \leq x_{i,up} \quad (6)$$

เมื่อ $i = 1,2,3 \ldots, N$ โดยที่ N คือจำนวนของตัวแปรที่ออกแบบ

2. กำหนดขนาดหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory Size: HMS) ในการสร้างหน่วยความจำบรรสาน (HM) ในตอนเริ่มต้น

ขนาดหน่วยความจำความบรรสานหรือ HMS คือพารามิเตอร์ที่กำหนดขนาดของเมตริกซ์หน่วยความจำบรรสานซึ่งเก็บคำตอบของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เอาไว้ ซึ่งจากตัวอย่างงานวิจัยที่พบจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าค่าของขนาดหน่วยความจำความบรรสานจะถูกกำหนดไว้อยู่ที่ค่าระหว่าง 10 ถึง 100 ขึ้นอยู่กับแต่ละชนิดของปัญหาที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$10 \leq HMS \leq 100 \quad (7)$$

3. กำหนดอัตราการพิจารณาหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory Consider- action Rate: $HMCR$)

อัตราการพิจารณาหน่วยความจำความบรรสานหรือ $HMCR$ คือพารามิเตอร์ที่กำหนดความน่าจะเป็นในการเลือกค่าคำตอบในหน่วยความจำบรรสาน ซึ่งจะถูกกำหนดให้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ยกตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดค่าไว้ที่ 0.75 หมายความว่าความน่าจะเป็นในการเลือกค่าคำตอบในหน่วยความจำบรรสานจะเท่ากับ 0.75 ในขณะเดียวกันความน่าจะเป็นในการจะสุ่มเลือกค่าคำตอบในขอบเขตคำตอบที่เป็นไปได้จะเท่ากับ 0.25 ค่าของอัตราการพิจารณาหน่วยความจำความบรรสานสามารถแสดงได้ดังนี้

$$0 \leq HMCR \leq 1 \quad (8)$$

4. กำหนดอัตราการปรับระดับเสียง (Pitch Adjustment Rate: PAR)

อัตราการปรับระดับเสียงหรือ PAR คือพารามิเตอร์ที่กำหนดอัตราการเลือกค่าคำตอบที่ใกล้เคียงจากหน่วยความจำบรรสาน หรืออีกนัยหนึ่งคือเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดกระบวนการว่าจะทำการปรับค่าคำตอบเดิมหรือไปเลือกค่าคำตอบที่ใกล้เคียงอื่นๆ ซึ่งกระบวนการในการปรับค่าคำตอบเดิมถูกเรียกว่า การปรับระดับเสียง (Pitch Adjustment) มีความน่าจะเป็นมีค่าเท่ากับ $(HMCR \times PAR)$ และมีความน่าจะเป็น

ที่จะเก็บค่าคำตอบเดิมโดยไม่มีการประดับเสียงเท่ากับ $(HMCR \times (1 - PAR))$ และค่าของอัตราการปรับระดับเสียงสามารถแสดงได้ดังนี้

$$0 \leq PAR \leq 1 \tag{9}$$

5. กำหนดจำนวนรอบสูงสุด (Iteration Number)

จำนวนรอบสูงสุดคือ พารามิเตอร์ที่กำหนดรอบการทำซ้ำสูงสุดในการหาคำตอบตามขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสาน และจะเป็นตัวกำหนดการหยุดในการหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory : HM) เป็นการสร้างเมตทริกซ์หน่วยความจำสำหรับคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยทำการสุ่มให้อยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนดแล้วทำการประเมินค่าความฟิต โดยการนำค่า HM มาแทนในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการที่ (10)

$$HM(j,:) = x_{i,lo} + (x_{i,up} - x_{i,lo}) \times rand(1,N) \tag{10}$$

จะได้หน่วยความจำความบรรสานดังนี้

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \tag{11}$$

เมื่อ $i = 1,2,3 \dots, N$ โดยที่ N คือจำนวนของตัวแปรที่ออกแบบ

$j = 1,2,3 \dots, HMS$

$rand$ = การสุ่มเลือกค่าคำตอบ

ขั้นตอนที่ 4 พัฒนาความบรรสานตัวใหม่ ในการพัฒนาความบรรสานตัวใหม่เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมกว่าในแต่ละรอบการทำซ้ำจะมีการดำเนินการในการหาคำตอบใหม่จาก 3 กระบวนการ คือ 1. การพิจารณาคำตอบในหน่วยความจำบรรสาน 2. การปรับระดับเสียงหรือการปรับค่าคำตอบ 3. การสุ่มเลือกค่าคำตอบใหม่จากหน่วยความจำบรรสาน

การพิจารณาคำตอบในหน่วยความจำบรรสานเป็นวิธีการในการสร้างคำตอบใหม่ (x_1') ซึ่งเป็นการเลือกค่าคำตอบใดๆก็ตามที่อยู่ในขอบเขตของ HMที่กำหนด ($x_1' - x_1^{HMS}$) และในกรณีเดียวกันของคำตอบของตัวแปรอื่นๆ ($x_2', \dots, x_N'$) ก็จะถูกเลือกด้วยวิธีการในลักษณะเดียวกัน ซึ่งพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องกำหนดไว้ก่อนล่วงหน้าคือ อัตราการพิจารณาหน่วยความจำความบรรสานหรือ $HMCR$ ซึ่งต้องถูกกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เมื่อ $HMCR$ คืออัตราการเลือกค่าคำตอบหนึ่งค่าที่ถูกบันทึกอยู่ใน

หน่วยความจำบรรสาน $\boldsymbol{HM}$ และ (1- $\boldsymbol{HMCR}$) คืออัตราของการสุ่มเลือกค่าคำตอบหนึ่งค่าที่อยู่ในช่วงเขบเขตคำตอบที่เป็นไปได้ ดังสมการที่ (12)

$$x_i' \leftarrow \begin{cases} x_i' \in \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{HMS}\} & \text{with probability } HMCR \\ x_i' \in X_i & \text{with probability } (1\text{-}HMCR) \end{cases} \quad (12)$$

กระบวนการการปรับระดับเสียงเป็นการดำเนินการโดยถูกกำหนดจากค่าพารามิเตอร์อัตราการปรับระดับเสียงหรือ $\boldsymbol{PAR}$ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ (12)

$$\text{Pitch adjusting decision for } x_i' \leftarrow \begin{cases} \text{Yes with probability of } PAR \\ \text{No with probability of } (1\text{-}PAR) \end{cases} \quad (13)$$

กระบวนการการปรับระดับเสียงจะดำเนินการหลังจากที่มีการสุ่มเลือกคำตอบหนึ่งค่าจากหน่วยความจำบรรสานเท่านั้น และสามารถทำการปรับค่าคำตอบจากค่าใกล้เคียงโดยการเพิ่มค่าของคำตอบที่แน่นอนจากความน่าจะเป็นที่ถูกกำหนดโดยค่าพารามิเตอร์ $\boldsymbol{PAR}$ ซึ่งถ้า $x_i(k) = x_i^{New}$ ดังนั้นค่าของการปรับระดับเสียงจะเท่ากับ $x_i(k+m)$ เมื่อ $m \in \{-1,1\}$

และสุดท้ายเป็นกระบวนการสุ่มเลือกค่าคำตอบในหน่วยความจำบรรสานภายในขอบเขตคำตอบที่สามารถเป็นไปได้ โดยเมื่อทำการสุ่มค่าคำตอบขึ้นมา x_i^{New} เป็นค่าคำตอบใหม่ในหน่วยความจำ $x^{New} = (x_1^{New}, \dots, x_N^{New})$ ซึ่งเป็นการสุ่มเลือกจากขอบเขตคำตอบที่ถูกกำหนดไว้แล้วตอนต้น $x_{i,lo} \leq X_i \leq x_{i,up}$ ด้วยค่าความน่าจะเป็นของ (1- $\boldsymbol{HMCR}$) และกระบวนการสุ่มเลือกค่าคำตอบยังถูกใช้ในการสร้างคำตอบเริ่มต้นในหน่วยความจำบรรสานอีกด้วย

ขั้นตอนที่ 5 อัพเดทหน่วยความจำความบรรสาน

ทำการเปรียบเทียบคำตอบในหน่วยความจำบรรสาน ซึ่งถ้าหากพบคำตอบที่เหมาะสมตัวใหม่ $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_N)$ ที่ดีกว่าตัวที่แย่ที่สุดในหน่วยความจำความบรรสาน ($\boldsymbol{HM}$) จะทำการแทนที่คำตอบตัวใหม่ลงในตัวนั้นแทน

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดหาคำตอบ เมื่อครบจำนวนรอบสูงสุดที่ได้ถูกกำหนดไว้ในตอนเริ่มต้นจะทำการเลือกค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่อยู่ในหน่วยความจำความบรรสาน ($\boldsymbol{HM}$) มาเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wei Wei. (2012) ได้ศึกษาและออกแบบการจัดการความซับซ้อนของชุดสายไฟในรถยนต์ โดยทำการพัฒนาแบบจำลองของต้นทุนที่ประกอบไปด้วยต้นทุนของตัวผลิตภัณฑ์และต้นทุนของการผลิต โดยเป็นการ Trade off เพื่อหาระดับของต้นทุนที่เหมาะสมที่สุดระหว่างความซับซ้อนจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และต้นทุนของการผลิตที่มีผลกระทบจากความซับซ้อนของชุดสายไฟเช่น ต้นทุนการจัดการ, ต้นทุนสินค้าคงคลัง รวมถึงต้นทุนที่มองไม่เห็นต่างๆ แบบจำลองต้นทุนนี้ใช้วิธีของ Monte Carlo เพื่อพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงความต้องการของลูกค้าในอนาคต และใช้ MATLAP ในการจำลองและประมวลผล ซึ่งผลที่ได้สามารถลดจำนวนของหมายเลขชิ้นส่วน (part no.) และสามารถลดต้นทุนรวมของการผลิตลงได้ โดยแบบจำลองต้นทุนจะทำการประเมินสุ่มหาหมายเลขชิ้นส่วนของชุดสายไฟตัวแทนที่สามารถใช้กันได้และให้ต้นทุนรวมของการผลิตที่น้อยที่สุด ดังนั้นจึงสามารถกำหนดและวางแผนการสั่งซื้อหมายเลขชิ้นส่วนของชุดสายไฟได้อย่างเหมาะสม

Sharon Novak, Steven D. Eppinger. (2001) ได้ศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์กับการรวมตัวหรือรวมธุรกิจในแนวดิ่งซึ่งใช้หลักฐานที่ชัดเจนจากอุตสาหกรมรถยนต์ ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาการตัดสินใจในตัวเลือกในการจัดเตรียมชิ้นส่วนระหว่างการผลิตขึ้นภายใน (In-house production) กับการจัดหาจากภายนอก (External sourcing) โดยทำการเชื่อมโยงการตัดสินใจสองอย่างนี้เข้าด้วยกัน โดยใช้วิธีกรรมสิทธิ์ในทรัพย์สิน (Property right) ในการแสดงให้เห็นว่าความซับซ้อนในการออกแบบผลิตภัณฑ์กับการรวมตัวในแนวดิ่งของการผลิตนั้นต้องมีส่วนเติมเต็มซึ่งกันและกัน โดยผลการศึกษาพบว่า การผลิตขึ้นภายในมีแนวโน้มในการเลือกมากกว่าในกรณีที่มีความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์สูง เนื่องจากบริษัทต้องการรักษาประโยชน์จากการลงทุนในการพัฒนาทักษะกับการออกแบบที่ซับซ้อน และการวิจัยนี้ได้มีการทดสอบสมมุติฐานนี้โดยทำการสร้างแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลของการผลิตรถยนต์ Luxury segment ในอุตสาหกรรมรถยนต์ ซึ่งได้พบว่าความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์กับการรวมตัวในแนวดิ่งมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกและมีนัยสำคัญ

Lindemann, Maurer. (2007) ได้ศึกษาวิธีการจัดการกับความซับซ้อนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้นำเสนอวิธีและแนวทางที่ช่วยในการวิเคราะห์, ตีความ, และเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดในขั้นตอนการออกแบบความซับซ้อนที่มีความเกี่ยวข้องกับในหลากหลายโดเมน โดยการนำเมททริกซ์หลายโดเมนมาช่วยในการปรับปรุงการได้มาซึ่งข้อมูลต่างๆ เนื่องจากตรรกะของความซับซ้อนที่เกี่ยวพันกันนั้นสามารถทำให้ง่ายขึ้นโดยการแยกแยะออกมา นอกจากนี้ วิธีการนี้ยังสามารถเสนอความเป็นไปได้ในการจัดการระบบบนโครงข่ายของโดเมนภายใน ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์เช่นเดียวกับความเข้าใจที่ง่ายของผู้ใช้งาน เมททริกซ์หลายโดเมนทำให้สามารถที่จะพัฒนางานในหลายๆด้านได้พร้อมกัน

Marshall L.F., D.I. Christopher. (1999) ทำการศึกษาผลกระทบของต้นทุนจากความหลายหลายของตัวผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการประกอบรถยนต์โดยอ้างอิงข้อมูลจากสายการประกอบ (Assembly line) โดยผลการศึกษาพบว่าความหลากหลายของออปชั่นในการประกอบชิ้นส่วนทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในสายการผลิต (Production overhead cost), ต้นทุนในแก้ไขชิ้นงาน (Re-work cost), ต้นทุนในการจัดการระดับสินค้าคงคลัง (Inventory level cost), ต้นทุนของแรงงานเพิ่มเติม (Extra labor cost) ซึ่งผลกระทบจากต้นทุนของแรงงานเพิ่มเติมที่จำเป็นต้องเตรียมเพื่อรองรับกับสายการประกอบรถยนต์แบบรุ่นผสมผสาน (Mixed-model assembling line) นั้นมีมากขึ้นหากเปรียบเทียบกับความต้องการแรงงานจากการผลิตจริง ซึ่งเกิดเป็นต้นทุนที่สูญเปล่า และจากการจำลองลดออปชั่นการประกอบ โดยการควบรวมออปชั่นในสายการประกอบเพื่อลดระดับของการเตรียมแรงงานเพิ่มเติม ซึ่งมีทำให้ต้นทุนการผลิตภายรวมลดลงด้วยเช่นกัน

Scavarda, Schleich, and Schaffer. (2006) ได้ศึกษาในหัวข้อของการจัดการความซับซ้อนในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์และได้มุ่งเน้นในวิธีการของการวัดผลกระทบจากต้นทุนของความซับซ้อนที่เกิดขึ้นและความแตกต่างในส่วนของความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ระหว่างตลาดที่เกิดขึ้นใหม่กับตลาดที่มีอยู่แล้ว ในวิทยานิพนธ์นี้ระบุว่า เบื้องต้นของความซับซ้อนของรูปแบบค่าใช้จ่ายที่สามารถระบุต้นทุนของความซับซ้อนซึ่งเป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์และความหลากหลายที่มีนั้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่พบในตลาดเกิดใหม่ไม่ได้กำหนดโดยปัจจัยเช่นขนาดตลาดในประเทศ การพัฒนาเศรษฐกิจและการดำรงอยู่ของโรงงานผลิตในประเทศนั้นๆ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงลำดับและรายละเอียดขั้นตอนการของวิธีดำเนินงานวิจัยในการแก้ปัญหาความซับซ้อนของการออกแบบชุดสายไฟโดยใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้มีการออกแบบและสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการอออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์เพื่อให้ได้จำนวนของชุดสายไฟที่เหมาะสมที่สุดและให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด ในขั้นตอนการออกแบบระบบสนับสนุนนี้ผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสานแบบตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variable Harmony search) ซึ่งมีความเหมาะสมกับการแก้ปัญหาในกรณีตัวอย่าง จุดประสงค์หลักของบทนี้คือเพื่อให้ทราบขั้นตอนการสร้างและออกแบบรวมทั้งการกำหนดกรอบแนวคิดในการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจนี้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อที่สำคัญในขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

3.1 การศึกษางานวิจัย ทฤษฎี หลักการและแนวคิดพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง
3.2 ขั้นตอนออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ
3.3 การทดสอบการใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจกับกรณีศึกษา
3.4 การวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบผลที่ได้ของกรณีศึกษา
3.5 สรุปผลงานวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

โดยแต่ละขั้นตอนของวิธีดำเนินงานวิจัยจะประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยและรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังนี้

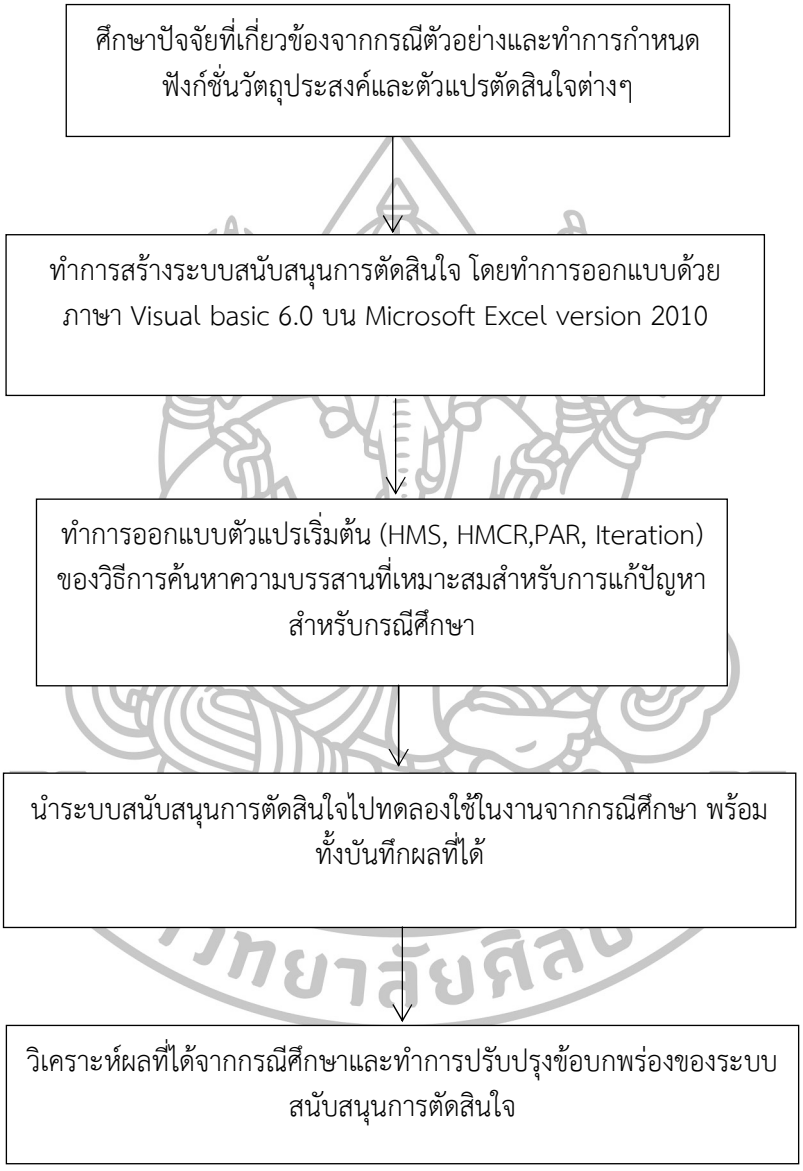
3.1 การศึกษางานวิจัย ทฤษฎี หลักการและแนวคิดพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ผู้ทำการวิจัยดำทำการศึกษาและค้นคว้างานวิจัย หลักการ ทฤษฎี และแนวคิดพื้นฐานที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งศึกษาแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้หรือนำไปปฏิบัติจริง โดยมีแนวทางการศึกษาหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ศึกษาและคนคว้าเกี่ยวกับเทคนิคการออกแบบเพื่อลดความซับซ้อนและการออกแบบเพื่อการจัดการต้นทุนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเช่นได้แก่ Design for complexity management, Design for cost optimization, Combinatorial optimization เป็นต้น โดยศึกษาให้รู้ถึงแนวคิดและแนวทางปฏิบัติเพื่อนำมาใช้ในกรณีศึกษา รวมทั้งทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยต่างๆ ที่มีการนำทฤษฎีหรือเทคนิคข้างต้นมาประยุกต์ใช้
2. ศึกษาค้นคว้างานงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony search algorithm) ทั้งแบบตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในกรณีศึกษาที่ทำการวิจัยนี้จะเป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete variables)
3. ศึกษาการดำเนินงานการออกแบบและปัจจัยที่เกี่ยวข้องของงานออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อนำไปสู่การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

3.2 ขั้นตอนออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

3.2.1 ขั้นตอนภาพรวมของการออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการออกแบบชุดสายไฟ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังภาพรวมการออกแบบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

3.2.2. รหัสเทียม (Pseudo code) ของวิธีการค้นหาความบรรสานแบบตัวแปรค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete Harmony search) สามารถแสดงได้ดังรูปภาพที่ 3.2

Start procedure
Define objective function $f(x), x = (x_1, x_2, \ldots x_n)$
Define Harmony search parameter
- HMS : Harmony memory size
- HMCR : Harmony memory consideration rate
- PAR : Pitch adjustment rate
- NI : Number of iteration
- N : Number of decision variables
- π : Set of decision variable

Generate harmony memory matrix with randomly

For NI = 1 to n = (1,2,3,...n) do
  For i = 1 to N ; N = (1,2,3,...,N) do
    If (rand(0,1) <HMCR)
    Then //memory consideration
      $\pi_{new}(i) = \pi_a(i), a \in (1,2, \ldots, HMS)$
      If (rand(0,1)<PAR then // pitch adjustment
      $\pi_{new}(i) = \pi_{new}(i) \pm 1$
      End if
    Else // random selection
      $\pi_{new}(i) = rand()$
    End if
  End for
    Update New Harmony memory if better
End for
End procedure

รูปที่ 3.2 แสดงรหัสเทียม (Pseudo code) ของวิธีการค้นหาความบรรสานแบบตัวแปรค่าไม่ต่อเนื่อง

3.2.3 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการค้นหาความบรรสาน

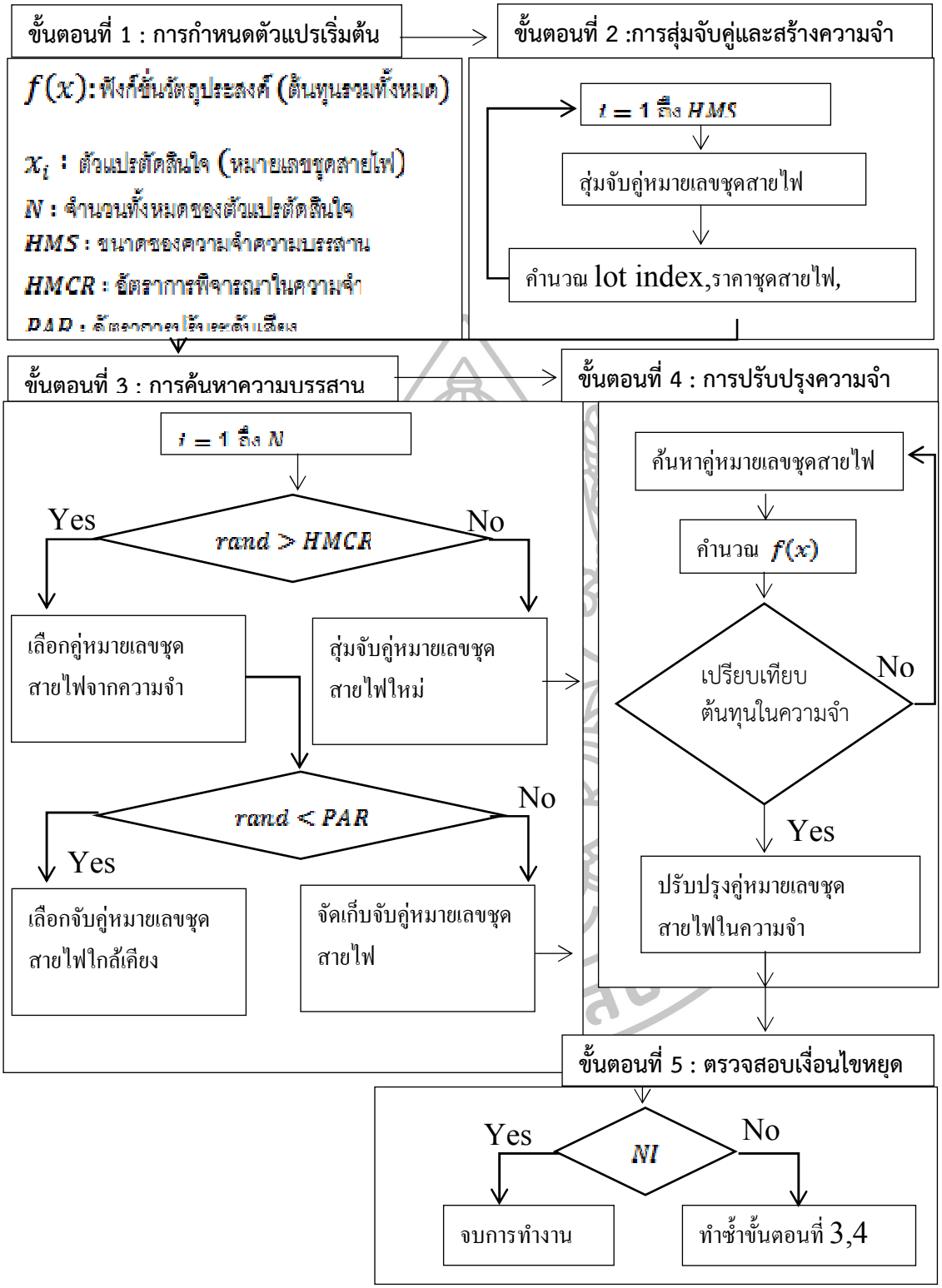
Geem ZW, Kim JH, and Loganathan GV. (2001) ขั้นตอนของวิธีการค้นหาความบรรสานประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้ 1. การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 2. การกำหนดค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรควบคุม 3. การสร้างหน่วยความจำความบรรสาน 4. การพัฒนาความบรรสานตัวใหม่ 5. การอัพเดทหน่วยความจำความบรรสาน ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดหาคำตอบ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดสมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นซึ่งประกอบด้วย

1. เมตริกซ์ความจำบรรสาน (HM: Harmony memory)
2. ขนาดของเมตริกซ์หน่วยความจำ (HMS: Harmony memory size)
3. อัตราการพิจารณาเมตริกซ์ความจำ (HMCR: Harmony memory consideration rate)
4. อัตราการปรับระดับเสียง (PAR: Pitch adjustment rate)
5. จำนวนรอบในการทำซ้ำ (Iteration)

ซึ่งหลังจากนั้นจะทำการสร้างเมตริกซ์ความจำโดยการสุ่มค่าตัวแปรแล้วคำนวณค่าผลลัพธ์ของสมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ แล้วนำค่าตัวแปรจากการสุ่มมาจัดเก็บในเมตริกซ์ความจำตามขนาดของHMS จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนของการค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดโดยมีการดำเนินการในการหาคำตอบใหม่จาก 3 กระบวนการ คือ

1. การพิจารณาคำตอบในหน่วยความจำบรรสาน
2. การปรับระดับเสียงหรือการปรับค่าคำตอบ
3. การสุ่มเลือกค่าคำตอบใหม่จากหน่วยความจำบรรสาน

หากค่าจากการสุ่มระหว่าง 0 ถึง 1 มากกว่าค่าของอัตราการพิจารณาเมตริกซ์ความจำ (HMCR) จะทำการเลือกค่าตัวแปรจากเมตริกซ์ความจำที่สร้างไว้ตอนต้น แต่หากค่าจากการสุ่มระหว่าง 0 ถึง 1 ต่ำกว่าค่าของอัตราการปรับระดับเสียง (PAR) จะทำการเลือกจากค่าตัวแปรที่ใกล้เคียงตัวถัดไปแล้วนำไปแทนค่าในสมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ และทำการวนทำซ้ำจนครบการค้นหาทุกตัวแปร จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการแทนค่าในสมการฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์หากพบว่าผลลัพธ์ดีกว่าจะทำการปรับปรุงค่าตัวแปรที่ดีกว่าในเมตริกซ์ความจำ ซึ่งตัวแปรที่แย่กว่าจะถูกลบออกไป และการทำซ้ำตามขั้นตอนทั้งหมดจะเสร็จสิ้นจนกว่าถึงค่าของจำนวนรอบในการทำซ้ำ (Iteration number) จากนั้นจะได้ค่าตัวแปรที่ดีที่สุดออกมาเป็นคำตอบในการแก้ปัญหา ซึ่งแผนผังการไหลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงแผนผังการไหลของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน

3.2.4 ขั้นตอนวิธีการออกแบบตัวแปรเริ่มต้นของวิธีการค้นหาความบรรสาน

Geem ZW (2006) กล่าวว่าเนื่องจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสานจำเป็นต้องมีการกำหนดตัวแปรเริ่มต้น (HMS, HMCR, PAR, Iteration) ให้เหมาะสมกับปัญหาของกรณีศึกษาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดี ในการออกแบบตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยอื่นๆที่ใช้การแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสานแบบค่าไม่ต่อเนื่องซึ่ง Xin-She Yang (2009) ได้ทำการศึกษาและแนะนำค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมดังนี้ ค่า HMCR อยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 0.95 และค่า PAR อยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 และค่าของ HMS อยู่ระหว่าง 10 ถึง 100 จากนั้นทำการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรเริ่มต้นตัวใดตัวหนึ่งและตัวแปรอื่นๆให้คงค่าเดิมไว้ โดยทำการทำซ้ำ 15 รอบต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปร 1 ค่า และเก็บบันทึกผลที่ได้พร้อมทำการวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าของตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมกับกรณีศึกษา จากนั้นทำการทดสอบประสทธิภาพการหาคำตอบของเครื่องมือสนับสนุนการติดสินใจนี้โดยการทดลองเปลี่ยนจำนวนของการทำซ้ำ (Iteration number) ได้แก่ 100 1000 3000 และ 5000 โดยทำการวิเคราะห์ผลลัพท์ของต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟ จำนวนหมายเลขชุดสายไฟที่ได้จากการออกแบบโดยเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ เวลานำที่ใช้ในการประมวลผล และการลู่เข้าหาคำตอบ

การกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นสำหรับขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานนั้นต้องมีการพิจารณาให้เหมาะสมกับปัญหาที่ต้องการหาคำตอบอย่างรอบคอบ เนื่องจากหากค่าของ $HMCR$ มีค่าสูงมากเข้าใกล้ 1 จะมีผลทำให้ความน่าจะเป็นในการค้นหาคำตอบใหม่ในหน่วยความจำบรรสานลดลง และในทางกลับกันหากกำหนดค่าของ $HMCR$ ต่ำมากเข้าใกล้ 0 จะมีผลทำให้การค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในหน่วยความจำบรรสานนั้นลดลง

3.3 การทดสอบการใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจกับกรณีศึกษา

ผู้ทำการวิจัยได้นำเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ไปใช้ในบริษัทกรณีศึกษาซึ่งทำหน้าที่พัฒนาและออกแบบชิ้นส่วนรถยนต์ให้กับบริษัทผลิตรถยนต์แห่งหนึ่ง โดยเครื่องมือนี้ถูกนำไปใช้ในขั้นตอนของการออกแบบด้วยวิธี Giveaway ซึ่งเป็นการลดความซับซ้อนของการออกแบบชุดสายไฟโดยการพยายามออกแบบให้สามารถลดจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟให้มากที่สุด ซึ่งจากการศึกษาในบริษัทตัวอย่างการออกแบบลักษณะนี้จะทำหลังจากการออกแบบในระยะเริ่มต้นและเห็นว่ามีแนวโน้มของหมายเลขชุดสายไฟที่เพิ่มขึ้น โดยทีมวิศวกรออกแบบทำหน้าที่ในการทดสอบการใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้ และได้มีการเปรียบเทียบผลกับการออกแบบในปัจจุบันที่ใช้ประสบการ์ของทีมวิศวกรออกแบบมาประเมินผลการทดสอบด้วย และหลังจากการทดสอบการใช้งานทางผู้ทำการวิจัยและทีมวิศวกรออกแบบได้ร่วมกันสรุปและอภิปรายผลทดสอบการใช้งานจริงในการออกแบบชุดสายไฟ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้และคำแนะนำจากทีมวิศวกรจะนำไปปรับปรุงและแก้ไขต่อไป

3.4 การวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบผลที่ได้ของกรณีศึกษา

ผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือสนับบนุนการตัดสินใจในงานออกแบบชุดสายไฟจะการวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบกับผลการออกแบบด้วยทีมวิศวกรออกแบบในปัจุบันโดยมีหัวข้อการประเมินดังต่อไปนี้

1. ต้นทุนรวมของราคาชิ้นส่วนชุดสายไฟที่เป็นต้นทุนรวมของการซื้อชุดสายไฟทั้งหมดที่ในระยะเวลา 6 เดือน

2. เวลานำที่ใช้ในการออกแบบระหว่างการออกแบบชุดสายไฟตั้งแต่จากการนำข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบมาพิจารณาจนถึงได้ผลลัพทธ์ของการออกแบบขั้นสุดท้าย

3. จำนวนของหมายเลขชุดสายไฟที่ได้หลังจากการออกแบบด้วยวิธี Giveaway

3.5 สรุปผลงานวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการศึกษาการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาความบรรสานกับปัญหาในกรณีศึกษาและผลที่ได้จากการใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ รวมถึงการเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงและพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการวิเคราะห์ผลวิจัยในครั้งนี้ได้นำข้อมูลที่ได้การดำเนินงานจริงปัจจุบันที่ได้จากบริษัทออกแบบชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่งมาประมวลผลซ้ำโดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยใช้วิธีการแก้ไขปัญหาด้วยขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony search algorithm) ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมา ซึ่งการวิเคราะห์ผลลัทธ์จากการใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและผลการเปรียบเทียบจะนำเสนอในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 สถานการณ์การออกแบบชุดสายไฟในปัจจุบันของบริษัทตัวอย่าง

4.2 ผลที่ได้จากกรณีศึกษา

4.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างการดำเนินปัจจุบันและการใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ

4.4 การออกแบบตัวแปรเริ่มต้น (PAR, HMCR, HM, Iteration) ที่เหมาะสมของวิธีการค้นหาความบรรสาน

4.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการค้นหาความบรรสาน

4.6 การสรุปผลที่ได้จากการวิจัย

4.1 สถานการณ์การออกแบบชุดสายไฟในปัจจุบันของบริษัทตัวอย่าง

ในบริษัทตัวอย่างที่ผู้ทำวิจัยได้นำมาเป็นกรณีศึกษาในการแก้ปัญหานั้นเป็นบริษัทที่ทำหน้าที่ในการออกแบบชิ้นส่วนรถยนต์และทดสอบรถยนต์ให้กับบริษัทรถยนต์แห่งหนึ่ง ซึ่งชิ้นส่วนรถยนต์ที่นำมาเป็นกรณีศึกษาคือชิ้นส่วนชุดสายไฟซึ่งมีแนวโน้มของความซับซ้อนในการออกแบบมากขึ้นตามความต้องการของระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่มากขึ้นในแต่ละปี

ซึ่งในปัจจุบันบริษัททำการออกแบบชิ้นส่วนให้กับรถยนต์รุ่นต่างๆในขนาดรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่รวมถึงรถกระบะบรรทุกขนาด 1 ตันด้วยเช่นกัน โดยในแต่ละรุ่นรถยนต์ที่ทำการออกแบบจะมีการแยกออกมาเป็นรุ่นย่อยๆตามความต้องการของแต่ละกลุ่มลูกค้าและข้อกำหนดหรือมาตรฐานต่างๆที่ในแต่ละประเทศกำหนดขึ้น ซึ่งทำให้เกิดความหลากหลายของหมายเลขชิ้นส่วนชุดสายไฟที่เกิดขึ้นหลังการออกแบบเพื่อให้คลอบคลุมทุกๆรุ่นของรถยนต์ที่จะนำออกขาย ตัวอย่างเช่นในกรณีศึกษานี้เป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดกลางมีรุ่นย่อยทั้งหมด 10 รุ่นย่อย โดยในแต่ละรุ่นย่อยๆ ฟีเจอร์ที่แตกต่างกันออกไปอีก 8 ฟีเจอร์เช่นระบบขับเคลื่อน ระบบเบรก, ระบบถุงลมนิรภัย ระบบควบคุมไฟฟ้า และอื่นๆ ซึ่งหากการอออกแบบชุดสายไฟที่ไม่ได้คำนึงถึงการออกแบบที่ให้สามารถใช้ร่วมกันได้ จะมีจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟที่ต้องออกแบบถึง $10x2^8$ ซึ่งเท่ากับ 2,560 แบบ แต่ในทางปฏิบัติการออกแบบจริงนั้นวิศกรออกแบบได้ออกแบบให้สามารถใช้ร่วมกันได้โดยใช้วิธีการ Give away และในบางแบบไม่ได้นำไปสู่การออกแบบจริงเนื่องจากเหตุผลทางการตลาด ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งสามารถทำให้จำนวนหมายเลขของชุดสายไฟที่ออกแบบได้เหลือเพียง 135 แบบ แบ่งออกเป็น ชุดสายไฟที่ประกอบในส่วนของเครื่องยนต์ 11 แบบ ชุดสายไฟที่ประกอบในห้องเครื่องยนต์ 28 แบบ ชุดสายไฟที่ประกอบในห้องโดยสาร 36 แบบ ชุดสายไฟที่ประกอบในส่วนแผงควบคุม 35 แบบ และชุดสายไฟที่ประกอบในส่วนท้ายของรถยนต์อีก 25 แบบซึ่งจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟที่มีมากขึ้นอีกในอนาคตหากมีการเปลียนแปลงรุ่นและฟิเจอร์ต่างเพิ่มขึ้น

โดยปัจจุบันทีมวิศกรออกแบบจะทำการทบทวนการออกแบบเพื่อลดจำนวนหมายเลขชุดสายไฟในทุกๆปีเพื่อลดความซับซ้อนของการออกแบบและต้องใช้ทีมวิศวกรทั้งหมด 3 คนรวมถึงวิศวกรอาวุโสที่ทำหน้าที่ตัดสินใจและตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบ ซึ่งในแต่ละครั้งที่ทำการทบทวนจะต้องใช้กำลังคนและเวลาค่อนข้างมากซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของความซับซ้อนของชุดสายไฟในแต่ละรุ่นดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงนำเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการอออกแบบชุดสายไฟนี้มาใช้เพื่อแก้ปัญหาความซับซ้อนดังกล่าว

4.2 ผลที่ได้จากกรณีศึกษา

จากข้อมูลที่นำมาเป็นกรณีศึกษา เป็นการออกแบบชุดสายไฟที่ถูกใช้ประกอบในส่วนของห้องเครื่องยนต์สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดกลางในบริษัทออกแบบรถยนต์แห่งหนึ่ง โดยปัจจุบันมีจำนวนของชุดสายไฟจากการออกแบบตั้งแต่ระยะเริ่มต้นจนถึงปัจจุบันทั้งหมด 28 หมายเลข และทำการออกแบบโดยใช้ประสบการณ์ของทีมงานวิศวกรออกแบบ ซึ่งในการออกแบบในระยะเริ่มต้นนั้นทีมงานวิศวกรออกแบบไม่ได้พิจารณาถึงต้นทุนรวมทั้งหมดที่อาจเกิดขึ้น หากเพียงแต่ทำการออกแบบชุดสายไฟให้ตรงกับสเปคและคลอบคลุมของแต่รุ่นของรถยนต์เท่านั้น

จากการนำเครื่องมือที่สนับสนุนการตัดสินใจที่การออกแบบที่ผู้ทำการวิจัยได้สร้างขึ้น นำไปทดลองใช้กับกรณีศึกษาข้างต้นพบว่าได้ผลลัพธ์ดังนี้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ

Base P/N	*Candidate P/N*	*Part price*	*Circuit cost*	*Lot index*	*Part cost*
1	7	3487	59	1.02	209,848
2	21	3137	951	0.98	2,923,621
3	10	3884	122	1.02	483,325
4	14	3238	540	0.98	1,713,550
5	19	3420	21	1.2	86,184
6	7	4441	64	1.02	289,908
7	16	4033	34	1.2	164,546
8	21	3045	1616	0.96	4,723,891
9	5	4482	37	1.2	199,001
10	14	3070	22	1.2	81,048
11	10	4171	79	1.02	336,099
12	24	3352	1339	0.96	4,308,795
13	14	3409	1410	0.96	4,614,422
14	19	3128	26	1.2	97,594
15	21	3248	760	0.98	2,419,110
16	10	4107	36	1.2	177,422
17	22	3521	915	0.98	3,157,281
18	19	4050	96	1.02	396,576
19	16	4053	40	1.2	194,544
20	21	3033	767	0.98	2,279,785
21	5	3226	131	1.02	431,058
22	7	3608	32	1.2	138,547
23	22	3101	1037	0.96	3,087,108
24	10	3493	90	1.02	320,657
25	22	3573	124	1.02	451,913
26	7	3084	422	0.98	1,275,419
27	9	2996	874	0.98	2,566,134
28	10	3283	1916	0.96	6,038,619
				Total cost	**43,127,184.86**

Cost_min	**43,127,184.86**	THB.
Running time	**8.312**	Min
P/N remain	**10**	Part no.

จากผลลัพท์ในตารางที่ 4.2 สามารถอธิบายรายละเอียดผลลัพท์จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจได้ดังนี้

1. Base P/N หมายถึงหมายเลขชิ้นส่วนของชุดสายไฟตั้งแต่การออกแบบในระยะเริ่มต้นถึงปัจจุบัน ซึ่งในกรณีศึกษานี้มีทั้งหมด 28 หมายเลข

2. Candidate P/N หมายถึงหมายเลขชุดสายไฟที่เป็นผลลัพท์ของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้แสดงออกมา โดยหมายเลขชุดสายไฟนี้สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาออกแบบด้วยวิธี Give away ได้ ยกตัวอย่างเช่นใน Candidate P/N หมายเลข 7 สามารถนำไปปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มระบบวงจรแล้วสามารถใช้แทนที่ Base P/N หมายเลข 1 ได้

3. Part price หมายถึงราคาชุดสายไฟต่อหนึ่งหมายเลขชิ้นส่วนของ Candidate P/N

4. Circuit cost หมายถึงต้นทุนของระบบวงจรที่ต้องเพิ่มเข้าไปในราคาต่อหน่วยของชุดสายไฟซึ่งจะถูกเพิ่มเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบด้วยวิธี Give away ยกตัวอย่างเช่น Base P/N หมายเลข 1 กับ Candidate P/N หมายเลข 7 มีจำนวนของระบบวงจรที่แตกต่างกันอยู่ 13 ระบบวงจรซึ่งหากต้องการออกแบบเพื่อนำ Candidate P/N หมายเลข 7 ไปใช้แทนที่ Base P/N หมายเลข 1 จะต้องเพิ่มต้นทุนของระบบวงจรที่มีความต่างกันเป็นเงิน 59 บาท

5. Lot index หมายถึงดัชนีตัวคูณราคา ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้อธิบายรายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 2

6. Part cost หมายถึงต้นทุนราคาของชุดสายไฟหนึ่งหมายเลขที่ต้องทำการสั่งซื้อทั้งหมดตามปริมาณการสั่งซื้อในระยะเวลา 6 เดือน ยกตัวอย่างเช่น การนำ Candidate P/N หมายเลข 7 ไปใช้แทนที่ Base P/N หมายเลข 1 จะมีต้นทุนราคาของชุดสายไฟที่ต้องสั่งซื้อทั้งหมดในระยะเวลา 6 เดือนเท่ากับ 209,848 บาท

7. Total cost หมายถึงต้นทุนรวมของราคาชุดสายไฟทั้งหมดที่ต้องถูกสั่งซื้อในระยะเวลา 6 เดือนของทุกหมายเลขชุดสายไฟหลังการออกแบบด้วยวิธี Give away

8. Cost_min หมายถึงต้นทุนรวมของราคาชุดสายไฟทั้งหมดที่ต่ำที่สุดที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้

9. Running time หมายถึงเวลานำที่ใช้ในการประมวลผลของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้

10. P/N remain หมายถึงจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟของ Candidate P/N ที่สามารถนำไปใช้แทนที่ Base P/N ได้

และจากผลลัพท์ของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จำนวนหมายเลขชุดสายไฟที่มีการออกแบบทั้งหมดจาก 28 หมายเลขสามารถลดลงสูงสุด 10 หมายเลข หรือคิดเป็นจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟที่ลดลง 64.3%
2. ต้นทุนรวมทั้งหมดของการสั่งซื้อชุดสายไฟเพื่อนำมาประกอบในรถยนต์ตามข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อล่วงหน้า 6 เดือน มีต้นทุนรวมทั้งหมด 43,127,184 บาทสำหรับชุดสายไฟ 10 หมายเลข ซึ่งหากเป็นต้นทุนรวมทั้งหมดสำหรับชุดสายไฟ 28 หมายเลขจะเป็น 58,325,246 บาท ซึ่งการใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้จะสามารถทำให้ทีมวิศวกรออกแบบลดต้นทุนได้ถึง 15,198,062 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 7.35% และหากคิดเป็นต้นทุนที่ลดลงต่อรถยนต์ 1 คัน เท่ากับ 270.3 บาทต่อรถยนต์ 1 คัน
3. เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในออกแบบนี้ใช้เวลาทั้งหมด 8.3 นาทีในประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ โดยมีการกำหนดตัวแปรเริ่มต้นของวิธีการค้นหาความบรรสานดังนี้ HMS=10,HMCR=0.95,PAR=0.5 และจำนวนรอบทำซ้ำ (Iteration) 1,000 รอบ

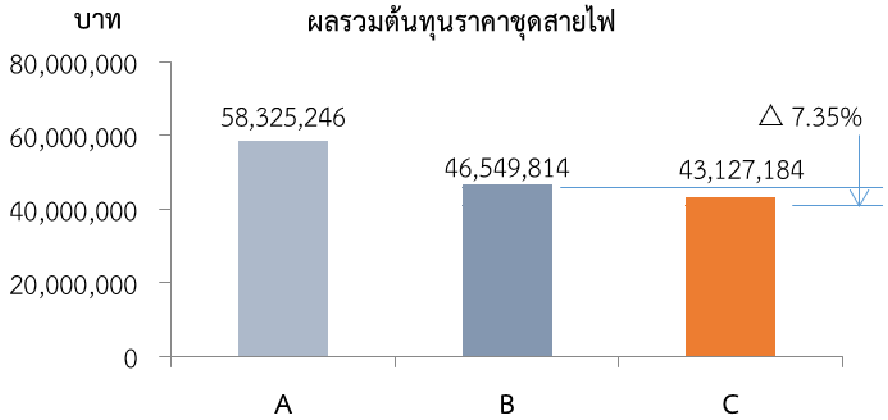
4.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างการดำเนินปัจจุบันและการใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายผลการเปรียบเทียบผลรวมต้นทุนรวมของราคาชุดสายไฟ เวลานำที่ใช้ในการออกแบบและจำนวนของหมายเลข (Part no.)ชุดสายไฟ โดยผลจากการดำเนินงานจริงในปัจจุบันเป็นผลจากบริษัทออกแบบชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง ซึ่งเป็นการออกแบบชุดสายไฟที่ใช้ในส่วนของห้องเครื่องยนต์สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดกลาง โดยมีจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟที่ออกแบบไว้ในปัจจุบันทั้งหมด 28 หมายเลขซึ่งออกแบบให้สามารถนำไปประกอบในรถยนต์คลอบคลุมทั้งหมด 10 รุ่นตามสเปคของรถยนต์ในแต่ละรุ่น และในการดำเนินการออกแบบในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษามีสมาชิกในทีมวิศวกรออกแบบทั้งสิ้น 3 คนที่ทำหน้าที่รับผิดชอบการออกแบบ ซึ่งวิธีการตัดสินใจและการตรวจสอบความถูกต้องในการออกแบบนั้นจะอาศัยการตัดสินใจของวิศวกรในตำแหน่งอาวุโสซึ่งมีประสบการณ์ในการออกแบบมากกว่าเป็นคนตรวจสอบขั้นสุดท้าย ซึ่งผลการเปรียบเทียบจะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟ

ต้นทุนรวมของราคาชิ้นส่วนชุดสายไฟที่ผู้วิจัยนำมาเปรียบเทียบผลนี้เป็นต้นทุนรวมของการซื้อชุดสายไฟทั้งหมดที่จะนำมาประกอบในระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งราคาต่อชุดสายไฟในแต่ละหมายเลขจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปริมาณของวงจรในชุดสายไฟ อัตราคูณดัชนีการสั่งซื้อของแต่ละหมายเลขชุดสายไฟซึ่งแตกต่างกันออกไปตามจำนวนการสั่งซื้อรวม 6 เดือนและต้นทุนการจัดการเนื่องจากออกแบบให้มีการ Give away ที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาไปถึงต้นทุนการจัดการอื่น ๆ เช่น ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนการจัดเก็บ เป็นต้น เนื่องจากการต้นทุนดังกล่าวอยู่นอกเหนือขอบเขตความรับผิดชอบของผู้ทำวิจัยในบริษัทกรณีศึกษาจึงขอละเว้นไว้

ผลรวมของต้นทุนชุดสายไฟจากการออกแบบในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาพบว่าเท่ากับ 46,549,814 บาทในรอบการสั่งซื้อ 6 เดือนสำหรับการสั่งซื้อชุดสายไฟทั้งหมด 28 หมายเลข และหลังจากผู้ทำวิจัยได้นำระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบมาทดลองใช้เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟที่น้อยที่สุดซึ่งพบว่าต้นทุนที่ได้เท่ากับ 43,127,184 บาท ซึ่งลดลงคิดเป็น 26.06% จากต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟในปัจจุบัน และหากเปรียบเทียบผลจากการออกแบบในปัจจุบันโดยทีมวิศวกรกับผลจากการออกแบบโดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจพบว่าต้นทุนลดลง 3,422,630 บาท ลดลงคิดเป็น 7.35% ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟแท่งเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.1



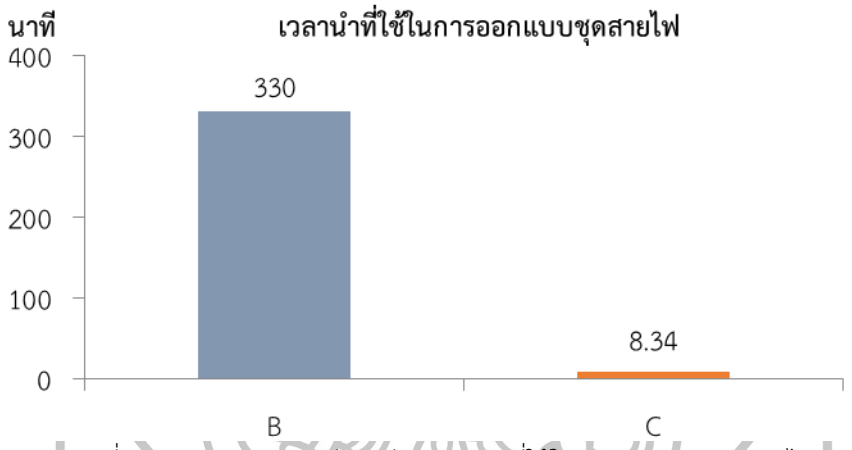
รูปที่ 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบผลรวมต้นทุนราคาชุดสายไฟ

หมายเหตุ A คือผลการออกแบบตั้งแต่ในระยะเริ่มต้น B คือผลจากการออกแบบในปัจจุบันโดยทีมวิศวกร C คือผลจากการออกแบบโดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบเวลานำที่ใช้ในการออกแบบชุดสายไฟ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายผลการเปรียบเทียบเวลานำที่ใช้ในการออกแบบระหว่างการออกแบบชุดสายไฟในปัจจุบันที่ใช้ทีมวิศวกรออกแบบทำการออกแบบตามมาตรฐานการทำงานปัจจุบันกับเวลานำที่ใช้ในการออกแบบด้วยระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ผู้ทำวิจัยสร้างขึ้น โดยเริ่มจากการนำข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบมาพิจารณาจนถึงได้ผลลัพธ์ของการออกแบบขั้นสุดท้าย

จากการศึกษาในบริษัทกรณีศึกษาพบว่าในการออกแบบชุดสายไฟแบบ Give away สำหรับชุดสายไฟ 28 หมายเลขนั้นทีมวิศวกรจะใช้เวลานำในการออกแบบทั้งสิ้น 330 นาทีหรือใช้เวลา 5.5 ชั่วโมง ซึ่งในการพิจารณา give away และคำนวณต้นทุนราคาชุดสายไฟในแต่ละหมายเลขจะใช้เวลา 11.8 นาที/หมายเลขชุดสายไฟ และผลของเวลานำที่ใช้ในการประมวลผลของระบบสนับสนุนการตัดสินใจพบว่าใช้ทั้งสิ้น 8.3 นาที หรือใช้เวลา 30 วินาที/หมายเลขชุดสายไฟ ซึ่งหากเปรียบเทียบเวลานำที่ใช้ในการออกแบบแล้วสามารถลดลงคิดเป็น 97.5% จากเวลานำที่ใช้ในการออกแบบในปัจจุบัน ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟแท่งเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.2



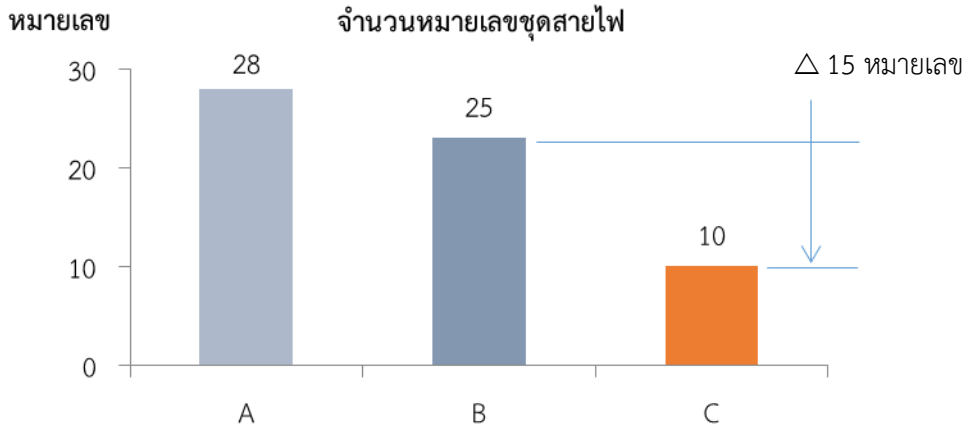
รูปที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบเวลานำที่ใช้ในการออกแบบชุดสายไฟ

หมายเหตุ B คือผลจาการออกแบบในปัจจุบันโดยทีมวิศวกร C คือผลจากการออกแบบโดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

4.3.3 ผลการเปรียบเทียบจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟ

การลดความซับซ้อนของการออกแบบชุดสายไฟนั้นก็คือการลดจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟจากการออกแบบ โดยในบริษัทกรณีศึกษาพยายามให้จำนวนของหมายเลขชุดสายไฟนั้นให้มีน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้เนื่องจากจำนวนของชุดสายไฟที่มากขึ้นทำให้ต้นทุนที่ใช้ในการออกแบบและตุ้นทุนต่างๆที่ใช้ในการจัดการความซับซ้อนทั้งที่มองเห็นและมองไม่เห็นจะมีมากขึ้นด้วยเช่นกัน และผลเปรียบเทียบจำนวนหมายเลขของชุดสายไฟหลังการออกแบบโดยทีมวิศกรออกแบบกับการทดลองนำระบบสนับสนุนการตัดสินใจไปใช้ พบว่า จำนวนหมายเลขของชุดสายไฟที่ออกแบบโดยทีมวิศกรออกแบบนั้นจะสามารถลดจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟจาก 28 หมายเลขลดลงเป็น 23 หมายเลขหรือหมายถึงลดลง 5 หมายเลขชุดสายไฟ และหากออกแบบโดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจพบว่าจากหมายเลขชุดสายไฟ 28 หมายเลขลดลงเป็น 10 หมายเลขหรือหมายถึงลดลง 18 หมายเลข และหากเปรียบเทียบผลจากการออกแบบในปัจจุบันโดยทีมวิศวกรกับผลจากการออกแบบโดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ พบว่าจำนวนหมายเลขชุด

สายไฟลดลง 15 หมายเลข ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของการลดจำนวนหมายเลขชุดสายจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจนั้นมีประสิทธภาพมากกว่าการดำเนินการออกแบบในปัจจุบัน ดังกราฟแท่งเปรียบเทียบในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟที่ได้หลังการออกแบบ

หมายเหตุ A คือผลการออกแบบตั้งแต่ในระยะเริ่มต้น B คือผลจาการออกแบบในปัจจุบันโดยทีมวิศวกร C คือผลจากการออกแบบโดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

4.4 การออกแบบตัวแปรเริ่มต้น (PAR, HMCR, HM, Iteration) ที่เหมาะสมของวิธีการค้นหาความบรรสาน

การกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นสำหรับวิธีการค้นหาความบรรสานจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบในแต่ละปัญหาที่แตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยของตัวแปรตัดสินใจต่างๆและความซับซ้อนของปัญหาที่แตกต่างกัน ซึ่งกล่าวไว้โดย Geem ZW. (2006).

ดังนั้นในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมของวิธีการค้นหาความบรรสานซึ่ง Xin She Yang. (2009) ได้ทำการศึกษาการทำงานของวิธีการค้นหาความบรรสานพบว่า ค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมควรมีค่าดังต่อไปนี้

1. ค่าตัวแปร HMCR ควรอยู่ในช่วงระหว่างค่า 0.7 – 0.95 ซึ่งพบว่าหากค่า HMCR มีค่าที่ต่ำอาจจะทำให้ช่วงการเลือกคำตอบที่ดีที่สุดในความจำบรรสานถูกจำกัดลงและทำให้การลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) ทำได้ช้าลงด้วย ซึ่งหากค่าตัวแปร HMCR มีค่าที่สูงมาก (ใกล้เคียง 1.0) อาจจะทำใหช่วงการหาคำตอบที่ดีที่สุดในความจำบรรสานกว้างมากจนเกินไปมีผลให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าและอาจนำไปสู่การหาคำตอบที่ผิดผลาด

2. ค่าตัวแปร PAR ควรอยู่ในช่วงระหว่างค่า 0.1 – 0.5 เนื่องจากค่าตัวแปร PAR เป็นตัวควบคุมปริมาณการปรับค่าการหาคำตอบ ซึ่งหากค่าตัวแปร PAR มีค่าที่ต่ำทำให้ช่วงการหาคำตอบที่แคบและทำให้การลู่เข้าหาคำตอบช้าลง และในทางกลับกันหากค่าตัวแปร PAR มีค่าที่สูงมากจะทำให้เกิดช่วงในการหาคำตอบที่กว้างซึ่งอาจจะได้คำตอบที่กระจายตัวอยู่รอบๆคำตอบที่ดีที่สุด

จากนั้นผู้ทำการวิจัยได้กำหนดและออกแบบค่าตัวแปรเริ่มต้นต่างๆเพื่อนำไปทดลองหาคำตอบกับเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ โดยทำการแบ่งช่วงของค่าตัวแปรเริ่มต้นต่างๆ แล้วทำการทดลองหาคำตอบไปโดยเปลี่ยนค่าตัวแปรเริ่มต้น (PAR, HMCR, HM) ไปทีละค่า ซึ่งทำการ

ทดลองซ้ำ 15 รอบต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรเริ่มต้น 1 ค่า และตัดสินใจผลลัพท์จากค่าผลรวมต้นราคาชุดสายไฟดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

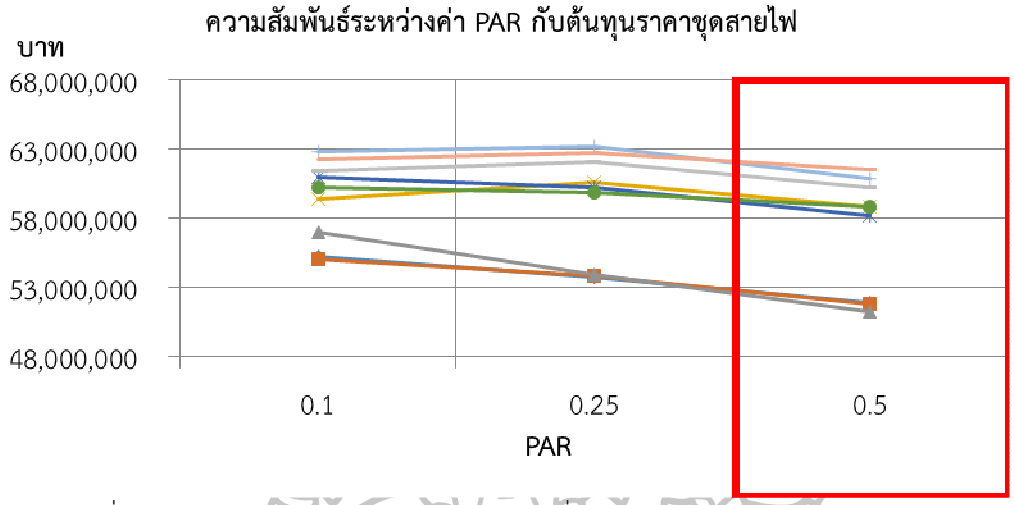
ตารางที่ 4.2 แสดงการกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นในการทดลองหาค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสม

HMS	PAR	HMCR
10	0.1	0.7
		0.8
		0.95
	0.25	0.7
		0.8
		0.95
	0.5	0.7
		0.8
		0.95
50	0.1	0.7
		0.8
		0.95
	0.25	0.7
		0.8
		0.95
	0.5	0.7
		0.8
		0.95
100	0.1	0.7
		0.8
		0.95
	0.25	0.7
		0.8
		0.95
	0.5	0.7
		0.8
		0.95

จำนวนรอบทำซ้ำ (n) = 15 รอบ/ตัวแปรเริ่มต้น 1 ค่า

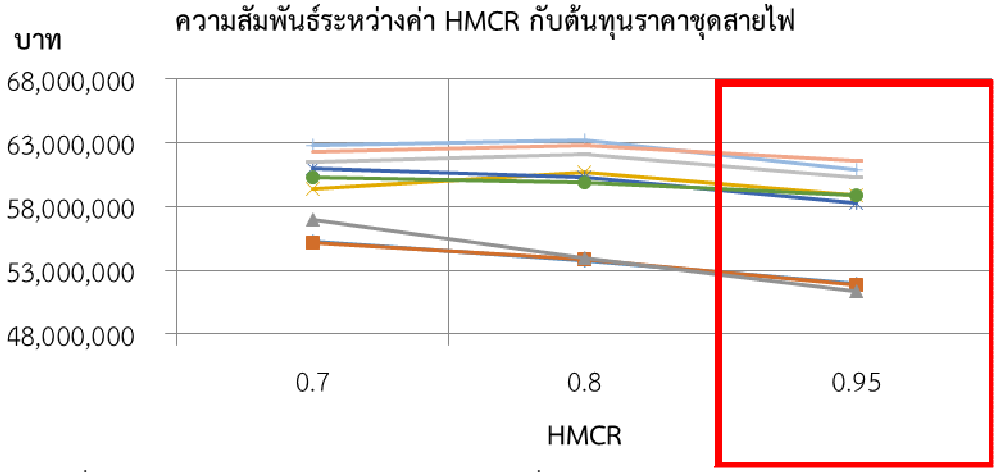
ผลการทดลองหาค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการสร้างเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟได้ผลลัพท์ดังนี้

ผลการทดลองค่าตัวแปรเริ่มต้น PAR ที่ 0.1, 0.25 และ 0.5 พบว่าที่ค่า 0.5 มีแนวโน้มที่ทำให้ได้ค่าคำตอบของต้นทุนชุดสายไฟที่ต่ำที่สุด ดังรูปกราฟที่ 4.4



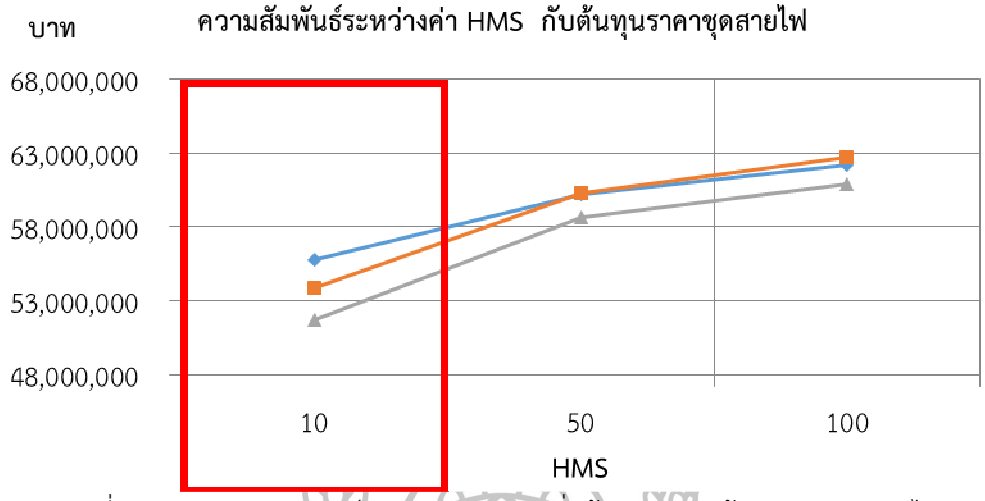
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรเริ่มต้น PAR กับต้นทุนราคาชุดสายไฟ

ผลการทดลองค่าตัวแปรเริ่มต้น HMCR ที่ 0.7, 0.8 และ 0.95 พบว่าที่ค่า 0.95 มีแนวโน้มที่ทำให้ได้ค่าคำตอบของต้นทุนชุดสายไฟที่ต่ำที่สุด ดังรูปกราฟที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรเริ่มต้น HMCR กับต้นทุนราคาชุดสายไฟ

ผลการทดลองค่าตัวแปรเริ่มต้น HMS ที่ 10, 50 และ 100 พบว่าที่ค่า 10 มีแนวโน้มที่ทำให้ได้ค่าคำตอบของต้นทุนชุดสายไฟที่ต่ำที่สุด ดังรูปกราฟที่ 4.6



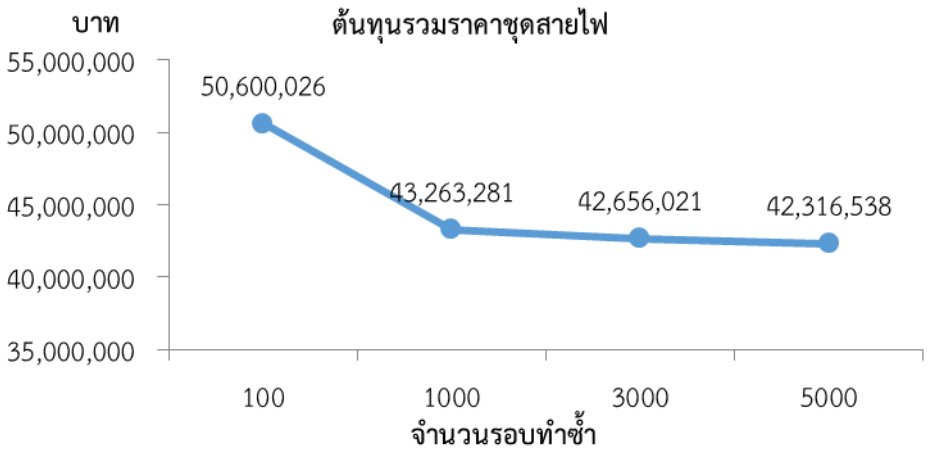
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรเริ่มต้น HMS กับต้นทุนราคาชุดสายไฟ

จากผลลัพท์จากการทดลองข้างต้นพบว่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาด้วยวิธีค้นหาความบรรสานสำหรับเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟคือ PAR = 0.5, HMCR = 0.95 และ HMS = 10 ซึ่งจากผลลัพทธ์แสดงให้เห็นแนวโน้มของต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟที่ต่ำที่สุด และค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมเหล่านี้จะนำไปใช้ในการแก้ปัญหาของกรณีศึกษา

4.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการค้นหาความบรรสาน

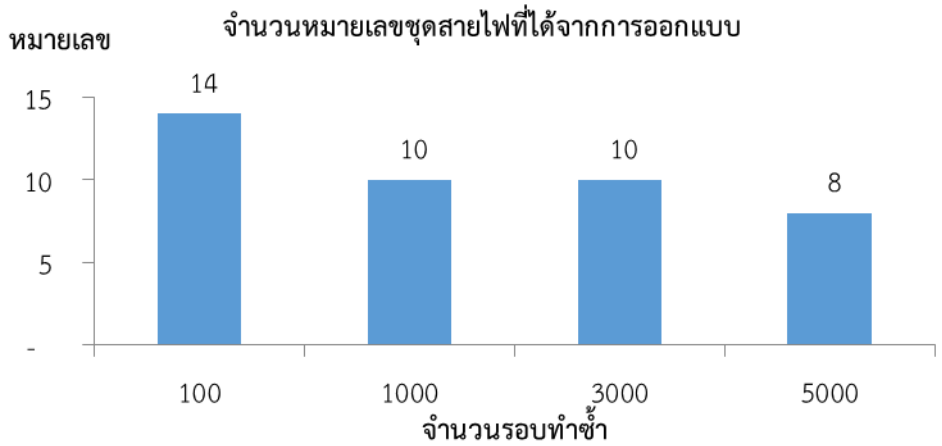
ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟโดยนำค่าค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้นมาใช้ ซึ่งจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าการทำซ้ำ (Iteration) โดยเริ่มจาก 100 รอบ 1000 รอบ 3000 รอบ และ 5000 รอบ เพื่อหาจำนวนรอบทำซ้ำที่เหมาะสมกับปัญหาของกรณีศึกษา โดยเปรียบเทียบจากผลลัพท์ของต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟ จำนวนหมายเลขชุดสายไฟที่ได้จากการออกแบบโดยเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ เวลานำที่ใช้ในการประมวลผลและการลู่เข้าหาคำตอบ ซึ่งได้ผลลัพท์ดังนี้

ผลความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับผลลัพท์ต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟ พบว่าจำนวนรอบการทำซ้ำที่มากกว่า 1000 รอบขึ้นไปแสดงให้เห็นแนวโน้มของต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟที่ลดลงและเริ่มมีค่าที่คงที่ซึ่งเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังรูปกราฟที่ 4.7



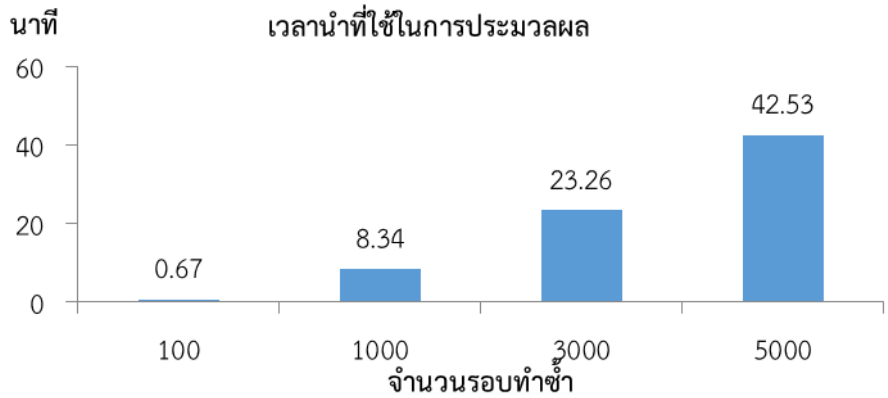
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับผลลัพท์ต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟ

ผลความสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับผลลัพท์จำนวนหมายเลขชุดสายไฟที่ได้จากการออกแบบ พบว่าจำนวนรอบการทำซ้ำที่มากกว่า 1000 รอบขึ้นไปแสองให้เห็นแนวโน้องของจำนวนหมายเลขชุดสายไฟที่ลดลงและไม่เปลียนแปลงมากนัก ดังรูปกราฟที่ 4.8



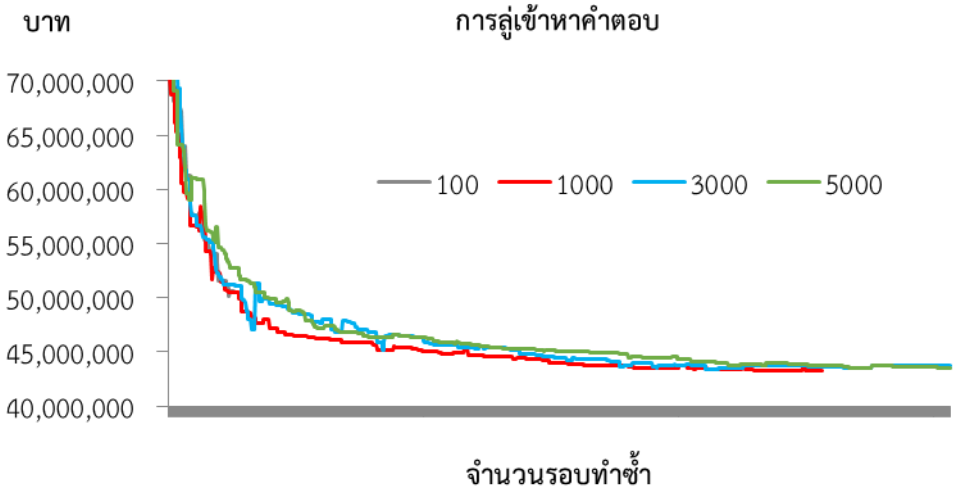
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับจำนวนหมายเลขชุดสายไฟ

ผลความสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับเวลานำที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าจำนวนรอบการทำซ้ำที่มากขึ้นก็จะส่งผลโดยตรงให้เวลานำที่ใช้ในการประมวลผลมากขึ้นไปด้วย ดังรูปกราฟที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับเวลานำที่ใช้ในการประมวลผล

ผลความสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับประสิทธิภาพในการลู่เข้าหาคำตอบ พบว่า จำนวนรอบการทำซ้ำที่ 1000 รอบจะสามารถลู่เข้าหาคำตอบได้ดีที่สุด ดังรูปกราฟที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการทำซ้ำกับประสิทธิภาพในการลู่เข้าหาคำตอบ

4.6 การสรุปผลที่ได้จากการวิจัย

จากการทดลองหาค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาของกรณีศึกษาสรุปได้ว่า การกำหนดค่า PAR = 0.5, HMCR = 0.95 และ HMS = 10 แสดงให้เห็นแนวโน้มของต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟที่ต่ำที่สุด และจำนวนรอบของการทำซ้ำที่ 1000 รอบจะได้ประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้ดีที่สุด

และจากการนำเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้ไปใช้ในการออกแบบชุดสายไฟสามารถทำให้ลดต้นทุนได้ถึง 3,422,630 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 7.35% และเวลานำที่ใช้ในการออกแบบแล้วสามารถลดลงคิดเป็น 97.5%

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากการแข่งขันที่สูงมากขึ้นในตลาดรถยนต์และความต้องการของลูกค้าที่ต้องการรถยนต์ที่มีฟังก์ชั่นการทำงานที่เพียบพร้อมและอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งด้วยเหตุผลนี้ทำให้การออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ซึ่งทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อการทำงานระหว่างอุปกรณ์ต่างๆในรถยนต์มีความซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นในงานออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ทีมวิศวกรออกแบบในปัจจุบันจึงต้องทำการออกแบบเพื่อลดจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟให้น้อยที่สุดตั้งแต่การออกแบบในระยะเริ่มต้นและทั้งในระหว่างการออกแบบในช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Product life cycle) ซึ่งในปัจจุบันทีมวิศวรออกแบบในบริษัทกรณีศึกษาได้ใช้หลักการออกแบบที่ให้สามารถใช้ร่วมกันได้ (Commonality design) ซึ่งในการออกแบบเพื่อให้ใช้ร่วมกันได้ทีมวิศวกรออกแบบใด้ใช้วิธีการออกแบบแบบ Giveaway โดยเป็นการออกแบบให้สามารถควบรวมหมายเลขชุดไฟหนึ่งที่มีระบบวงจรใกล้เคียงกันกับหมายเลขชุดสายไฟอีกตัวหนึ่ง โดยทำการเผื่อระบบวงจรที่จะไม่ถูกใช้ไปด้วย ซึ่งไม่คำนึงว่าระบบวงจรนั้นจะถูกประกอบในตัวรถยนต์หรือไม่ แต่ในการออกแบบในปัจจุบันทีมวิศวรออกแบบได้ออกแบบโดยอาศัยประสบการณ์และมาตรฐานการออกแบบที่มีมา ซึ่งการศึกษาพบว่าทีมวิศวกรออกแบบไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นจากความซับซ้อนในการออกแบบเช่น ต้นทุนของระบบวงจรที่ถูกเพิ่มเข้าไปซึ่งเกิดจากการออกแบบด้วยวิธี Giveaway (Giveaway cost) ต้นทุนรวมของราคาชุดสายไฟทั้งหมดจากการสั่งซื้อมาประกอบในรถยนต์ ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นในงานประกอบชุดสายไฟ และต้นทุนในการจัดการ ซึ่งด้วยเหตุผลนี้ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างเครื่องมือที่สนับสนุนการตัดสินในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์ขึ้นโดยคาดหวังผลลัพท์ของการออกแบบที่ให้จำนวนของหมายเลขชุดสายไฟที่น้อยที่สุดและให้ต้นทุนรวมทั้งหมดต่ำที่สุด เพื่อประกอบการตัดสินใจในการออกแบบด้วยวิธี Giveaway ของทีมวิศวกรออกแบบ โดยในการสร้างเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานแบบค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete Harmony Search) และได้นำขั้นตอนวิธีการดังกล่าวมาสร้างเครื่องมือสนับนุนในการตัดสินใจ ซึ่งสร้างโดยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาภาษา Visual basic 6.0 บน Microsoft Excel version 2010 และทำการออกแบบและทดสอบตัวแปรเริ่มต้นให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาของกรณีศึกษา จากนั้นจึงนำเครื่องมือที่สนับสนุนการตัดสินในการออกแบบให้ทีมวิศกรออกแบบสามารถนำไปใช้ในงานออกแบบชุดสายไฟ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ต้นทุนรวมทั้งหมดของการสั่งซื้อชุดสายไฟเพื่อนำมาประกอบในรถยนต์ตามข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อล่วงหน้า 6 เดือนการใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้จะสามารถทำให้ทีมวิศวกรออกแบบลดต้นทุนได้ถึง 3,422,630 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 7.35% และหากคิดเป็นต้นทุนที่ลดลงต่อรถยนต์ 1 คัน เท่ากับ 270.3 บาทต่อรถยนต์ 1 คัน โดยการนำเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบนี้ ทางบริษัทกรณีศึกษาไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆเพิ่มเติม

5.1.2 จากผลที่ได้ของการนำเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟไปใช้ในกรณีศึกษา พบว่าสามารถลดจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟลง 64.30% จากการจำนวนชุดสายไฟที่ออกแบบมาตั้งแต่ระยะเริ่มต้น และสามารถลดลงจากที่มีการออกแบบโดยทีมวิศวกรออกแบบของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งการที่สามารถลดจำนวนหมายเลขชุดสายไฟลงทำให้ปัญหาที่เกิดจากการออกแบบที่ซับซ้อนลดลง เนื่องจากจำนวนแบบชุดสายไฟที่ใช้ประกอบในรถยนต์มีจำนวนน้อยลงดังนั้นการจัดการความซับซ้อนในงานออกแบบและการจัดการความซับซ้อนในงานประกอบชุดสายไฟจะสามารถทำได้ดีขึ้น

5.1.3 เวลานำที่ใช้ในการออกแบบระหว่างการออกแบบชุดสายไฟในปัจจุบันที่ใช้ทีมวิศวกรออกแบบทำการออกแบบตามมาตรฐานการทำงานปัจจุบันกับเวลานำที่ใช้ในการออกแบบด้วยระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ผู้ทำวิจัยสร้างขึ้น โดยเริ่มจากการนำข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบมาพิจารณาจนถึงได้ผลลัพทธ์ของการออกแบบขั้นสุดท้าย พบว่าเวลานำที่ใช้ในการออกแบบสามารถลดลงคิดเป็น 97.5% จากเวลานำที่ใช้ในการออกแบบในปัจจุบัน ซึ่งเวลานำที่ใช้ในการออกแบบของทีมวิศวกรออกแบบส่วนใหญ่ใช้ไปกับการพิจารณาระบบวงจรในแต่ละหมายเลขชุดสายไฟที่จะสามารถใช้แทนกันได้ในการออกแบบด้วยวิธี Giveaway ซึ่งเป็นการพิจารณาไปทีละหมายเลขชุดสายไฟจนครบทั้งหมด

5.1.4 จากการทดลองเพื่อออกแบบออกแบบตัวแปรเริ่มต้น (PAR, HMCR, HM, Iteration) ที่เหมาะสมของวิธีการค้นหาความบรรสานสำหรับการสร้างเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ พบว่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมคือ PAR = 0.5, HMCR = 0.95 และ HMS = 10 ซึ่งจากผลลัพทธ์แสดงให้เห็นแนวโน้มของต้นทุนรวมราคาชุดสายไฟที่ต่ำที่สุด และจำนวนรอบของการทำซ้ำที่ 1000 รอบจะได้ประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้ดีที่สุด

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการวิจัย

5.2.1 เนื่องจากผู้**ทำ**การวิจัยไม่ได้มีความรู้และเชี่ยวชาญในการโปรแกรมด้วยภาษา Visual basic ซึ่งทำให้ใช้เวลานานในการศึกษาและสร้างเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบครั้งนี้

5.2.2 เนื่องจากข้อกำกัดและนโยบายการป้องกันข้อมูลที่เป็นความลับของบริษัทกรณีศึกษา ทำให้การศึกษาและนำเสนอข้อมูลการทำวิจัยครั้งนี้อยู่ในขอบเขตที่กำจัดและจำเป็นต้องได้รับการยอมรับในการแผยแพร่ข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษา

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางปรับปรุง

5.3.1 เนื่องจากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟนี้ไม่ได้พิจารณาข้อจำกัดทางเทคนิคในการออกแบบที่อาจเกิดขึ้นจากการออกแบบด้วยวิธี Giveaway เช่น ระบบวงจรบางระบบที่ไม่สามารถ Giveaway ได้เนื่องจากอาจเกิดปัญหาสัญญาณรบกวนระหว่างระบบวงจร และบางระบบวงจรที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยที่มีมาตรฐานเข้มงวดในการออกแบบ ดังนั้นแนวทางปรับปรุงต่อไปอาจจะต้องพิจารณาข้อจำกัดทางเทคนิคในการออกแบบเหล่านี้ด้วย

5.3.2 ในการทำวิจัยครั้งนี้ไม่ได้นำต้นทุนอื่นๆที่เกี่ยวข้องทางด้านต้นการขนส่ง (Logistic cost) เช่น ต้นทุนการจัดการคลังสินค้า ต้นทุนสินค้าคงคลัง เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยครั้งต่อไปควรคำนึงถึงต้นทุนเหล่านี้ด้วยเช่นกัน

5.3.3 ทำการขยายผลงานวิจัยในครั้งต่อไป โดยการนำเครื่องมือสนับบสนุนการตัดสินใจในการออกแบบนี้ไปใช้กับชุดสายไฟในชนิดอื่นๆของรถยนต์เช่น ชุดสายไฟในบริเวณแผงควบคุม ชุดสายไฟบนเครื่องยนต์ และชุดสายไฟในบริเวณตัวถังรถยนต์ เป็นต้น หรือการนำเครื่องมือสนับบสนุนการตัดสินใจในการออกแบบนี้ไปทดลองใช้กับชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์อื่นๆที่มีความซับซ้อนในการออกแบบเช่นเดียวกัน

5.3.4 ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการจับคู่ชุดสายไฟเพื่อทำ Giveaway ให้ครบในหมายเลขชุดสายไฟทั้งหมดเนื่องจากเป็นการทดลองให้วิธีการค้นหาความบรรสานได้หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในเวลาที่จำกัด ซึ่งหากในการทำวิจัยในครั้งต่อไป อาจทำการทดลองเพิ่มเติมโดยทดลองให้เกิดการจับคู่ชุดสายไฟเพื่อทำ Giveaway ให้ครบในหมายเลขชุดสายไฟทั้งหมดเพื่อดูผลลัพท์ของคำตอบที่เหมาะสมที่ได้และจะใช้เวลาทั้งหมดในการหาคำตอบนานเท่าไหร่

5.3.5 ในงานวิจัยครั้งต่อไปอาจจะทดลองนำปัญหานี้ไปหาคำตอบโดยใช้ Algorithm อื่นๆ และทำการเปรียบเทียบผลลัทพ์ที่ได้จาก Algorithm ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือก Algorithm ที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ไขปัญหาความซับซ้อนในการออกแบบ

รายการอ้างอิง

Geem ZW, Kim JH, and Loganathan GV. (2001). “A new heuristic optimization algorithm: Harmony search.” **Simulation**, 76 (February):60-68.

Geem ZW. (2006). “Optimal cost design of water distribution networks using harmony search”**Engineering Optimization**, 38 (December):259-280.

Marshall, L.F., D.I. Christopher. (1999). “The Impact of Product Variety on Automobile Assembly Operations: Empirical Evidence and Simulation Analysis.” **Management Science**, 45 (February):771-786.

Nocedal, J. and Wright, S.J. (2006). **Numerical Optimization** 2nd ed. New York, NY: Springer.

Sharon Novak, Steven D. Eppinger. (2001). “Sourcing By Design: Product Complexity and the Supply Chain” **Management Science ©2001 INFORMS,** (January):189–204.

Scavarda, Schleich, and Schaffer. (2006). **Managing complexity in automotive production** In proceeding of 19th International Conference on Production Research, Chile, July 29 – August 02, 2007.

U. Lindemann, M. Maurer (2007). **Facing Multi-Domain Complexity in Product Development** Proceedings of the 17th CIRP Design Conference. The Future of Product Development, pp. 351-361.

Wei Wei. (2012). “Complexity management of vehicle wiring harnesses: An optimized model to analyze trade-offs between product and manufacturing costs.” Mechanical, Automotive, and Materials Engineering University of Windsor.

Xin-She Yang. (2009). **“Harmony Search as a Metaheuristic Algorithm”** in: Music-Inspired Harmony Search Algorithm: Theory and Applications (Editor Z. W. Geem), Studies in Computational Intelligence, Springer Berlin, vol. 191, pp. 1-14.

น้ำเพชร สินสุพรรณ์ และ ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์ (2554). “การแก้ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าเหมาะที่สุดโดยใช้วิธีการค้นหาความบรรสาน” **วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม** พระจอมเกล้าพระนครเหนือ (กรกฎาคม – ธันวาคม):20-29.

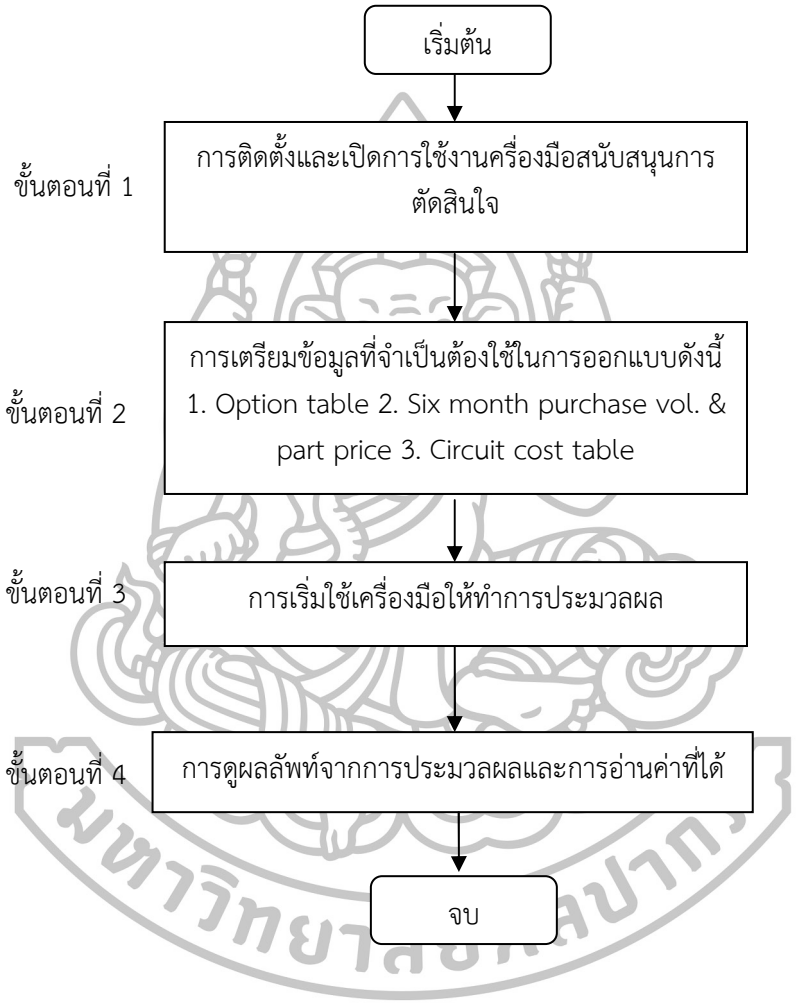
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์

ในภาคผนวก ก นี้จะอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนวิธีการใช้งานเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์นี้ รวมทั้งอธิบายการอ่านผลที่ได้และการนำผลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบ

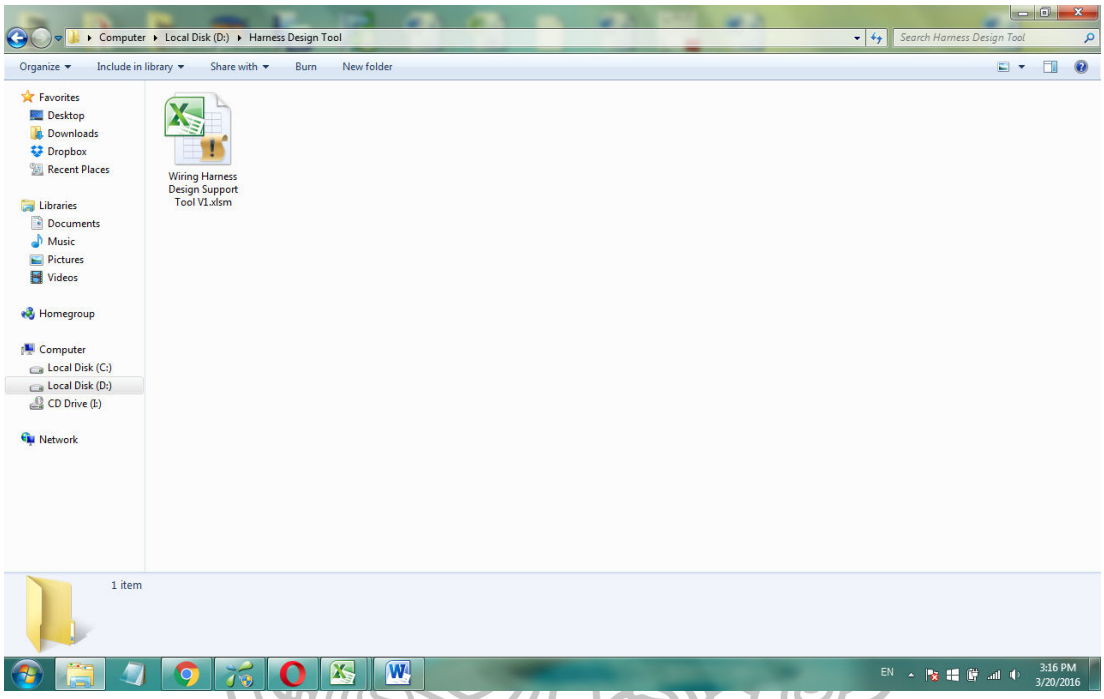
แผนผังขั้นตอนภาพรวมการใช้งานสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ ก-1 แสดงแผนผังขั้นตอนภาพรวมการใช้งานเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ

ขั้นตอนที่ 1 การติดตั้งและเปิดการใช้งานเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ

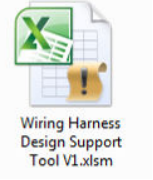
ขั้นตอนที่ 1-1 ทำการคัดลอกและบันทึกไฟล์ Microsoft Excel ที่ชื่อ “Wiring Harness Design Support Tool V1.xlsm” จาก CD-ROM ที่แนบมาไว้ในไดรฟ์จัดเก็บข้อมูลที่ต้องการเช่น จัดเก็บในไดรฟ์ D:\ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ ก-2



รูปที่ ก-2 แสดงการจัดเก็บไฟล์ของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ

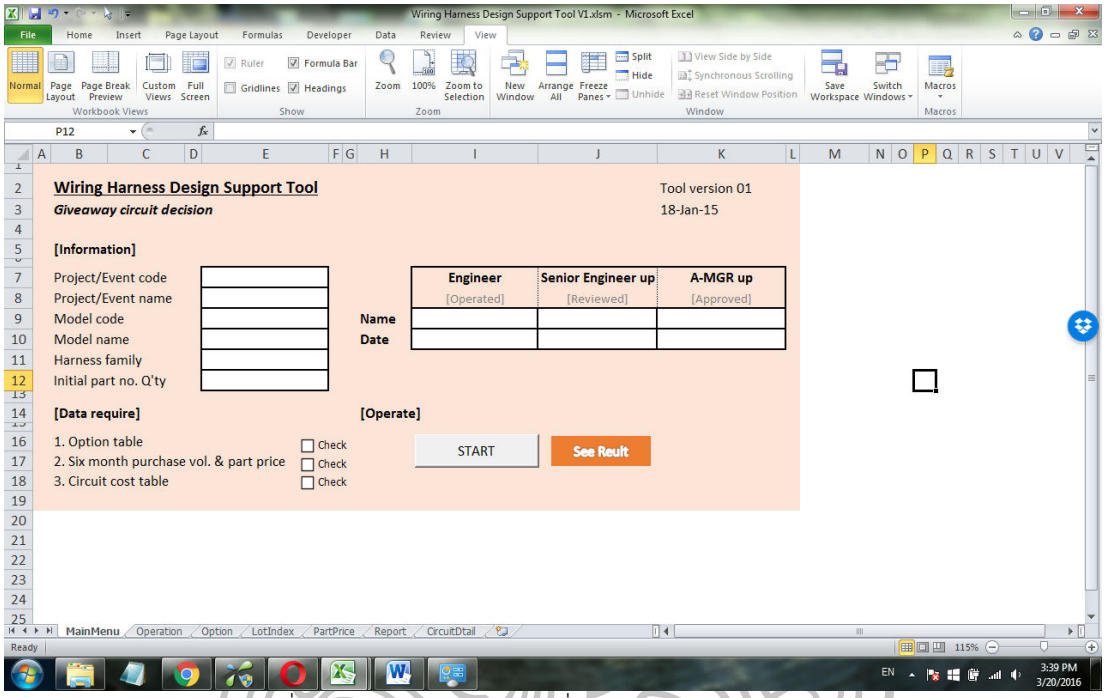
หมายเหตุ เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจสามารถรองรับการใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Window XP Service pack 3 เป็นต้นไป และสามารถใช้งานบนโปรแกรม Microsoft Excel Version 2003 เป็นต้นไป เสปคและรุ่นคอมพิวเตอร์ขั้นต่ำที่แนะนำสำหรับการใช้งานเครื่องมือนี้ให้มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมคือ CPU 1.5 GHz Multi core CPU, RAM 2 GB ขึ้นไป, พื้นที่จัดเก็บ 500 MB ขึ้นไป,เครื่องอ่านแผ่น DVD ไดรฟ์

ขั้นตอนที่ 1-2 ทำการดับเบิลคลิกที่ไอคอนไฟล์ชื่อ “Wiring Harness Design Support Tool V1.xlsm” เพื่อทำการเปิดไฟล์เพื่อเริ่มการใช้งานเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ



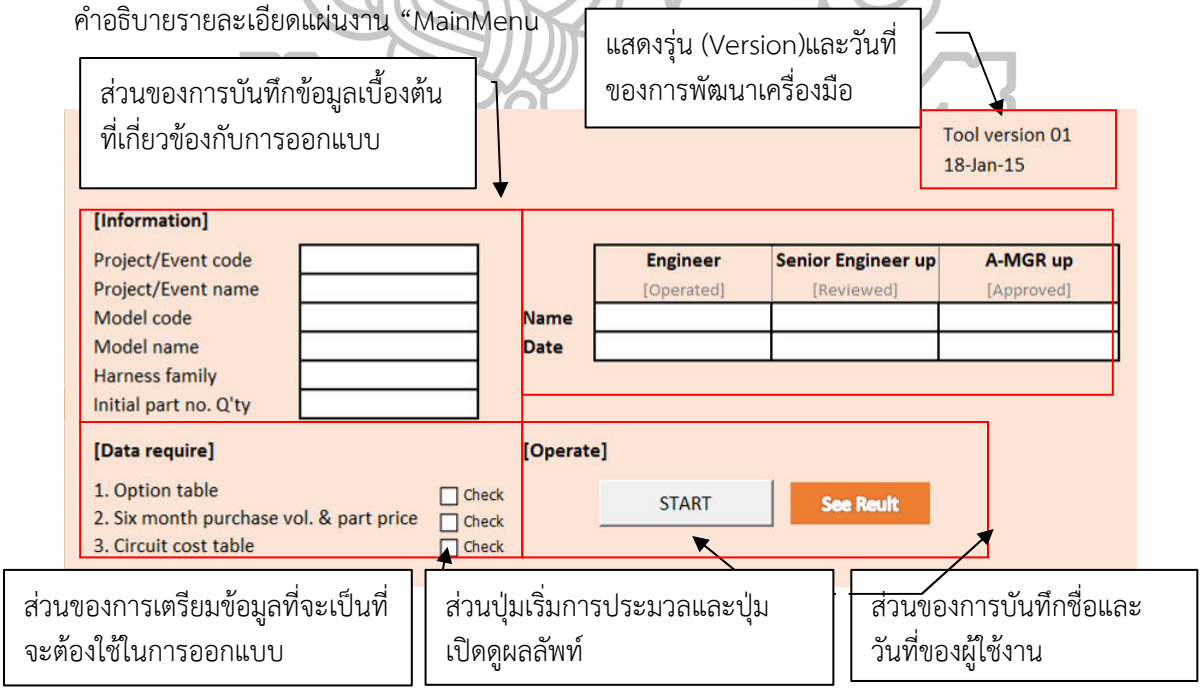
รูปที่ ก-2 แสดงไอคอนไฟล์ของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ

ขั้นตอนที่ 1-3 เมื่อไฟล์ Microsoft Excel ชื่อ “Wiring Harness Design Support Tool V1.xlsm” ถูกเปิดขึ้นมาจะแสดงหน้าตาของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจดังรูปที่ ก-3 โดยให้ทำการคลิกเลือกแผ่นงานที่ชื่อว่า “MainMenu” ซึ่งเป็นหน้าเริ่มต้นการใช้งาน



รูปที่ ก-3 แสดงหน้าตาของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ

คำอธิบายรายละเอียดแผ่นงาน “MainMenu



รูปที่ ก-4 แสดงคำอธิบายรายละเอียดแผ่นงาน “MainMenu”

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบ

ขั้นตอนที่ 2-1 ทำการกรอกข้อมูลเพื่อบันทึกข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโดยในแต่ละหัวข้อบันทึกสามารถอธิบายได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Project/Event code คือ หมายเลขหรือกลุ่มคำเฉพาะที่ใช้เป็นตัวแทนชื่องานของการออกแบบ
Project/Event name คือ ชื่องานของการออกแบบตามโปรเจ็คที่ได้รับมอบหมาย
Model code คือ หมายเลขหรือกลุ่มคำเฉพาะที่ใช้เป็นตัวแทนชื่อรุ่นของรุ่นยนต์ที่กำลังทำการออกแบบ
Model name คือ ชื่อรุ่นของรุ่นยนต์ที่กำลังทำการออกแบบ
Harness family คือ ชื่อกลุ่มชุดสายไฟเช่น ENGINE HARN หมายถึง ชุดสายไฟที่ประกอบในบริเวณห้องเครื่องยนต์
Initial part no. Q'ty คือ จำนวนหมายเลขชุดสายไฟตั้งต้นทั้งหมดที่นำมาประมวลผล

ตัวอย่างการกรอกข้อมูลเพื่อบันทึกข้อมูลเบื้องต้นสามารถแสดงดังรูปที่ ก-5

[Information]

Project/Event code	AB000
Project/Event name	THI 2016
Model code	C2016
Model name	C-model
Harness family	ENGINE ROOM
Initial part no. Q'ty	28

รูปที่ ก-5 แสดงตัวอย่างการกรอกข้อมูลเพื่อบันทึกข้อมูลเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 2-2 ผู้ใช้งานทำการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบโดยใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้ ซึ่งไฟล์ข้อมูลที่จำเป็นมีดังต่อไปนี้

1. Option table คือ ตารางที่แสดงความสัมพันธ์ของหมายเลขชุดสายไฟกับแต่ละระบบวงจร

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	PARTS NO	DIFFERENICE	AA1	AA2	AA3	AA4	AA5	AA6	AA7	AA8	AA9	AA10	AA11	AA12	AA13	AA14	AA15
2			ENG_CONT_S2G_THI	ENG_CONT_S2G_THI_CNG	SUPPORT_S2G_THI_CNG	ENG_CONT_M1G_THI	FUEL_PUMP	STARTER_S2G_MT	STARTER_S2G_MT_with_PUSH	STARTER_S2G_DX	STARTER_S2G_DX_with_PUSH	STARTER_M1G_MT	STARTER_M1G_MT_with_PUSH	STARTER_M1G_DX	STARTER_M1G_DX_with_PUSH	CLUTCH_SW_LHD_with_PUSH	CLUTCH_SW_RHD_with_PUSH
3	1	[illegible]	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	2	[illegible]	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	[illegible]	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	4	[illegible]	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	5	[illegible]	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	6	[illegible]	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	7	[illegible]	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8	[illegible]	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	9	[illegible]	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
12	10	[illegible]	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

รูปที่ ก-6 แสดงตัวอย่างข้อมูล Option table

2. Six month purchase vol. & part price คือ ข้อมูลการสั่งซื้อในระยะเวลา 6 เดือนและราคาชุดสายไฟต่อหน่วยของในแต่ละหมายเลข

	A	B	C	D	E
1	PARTS NO	PATR NAME	Volume	Base price	BasePrice*Lot index
2	1	CGN_S2G_CVT_KYLS_HALO_FENDR_AIMER_ABSLESS	53	3387	3454.7
3	2	RHD_S2G_M/T_KYLS_HALO_FENDR_AIMER_ABSLESS	829	4636	4543.3
4	3	JPN_M1G_CVT_KYLS_HALO_FENDR_AIMER_VDC	114	3711	3785.2
5	4	JPN_M1G_CVT_IKEY_HALO_DOOR_AIMER_VDC	526	3133	3070.3
6	5	JPN_M1G_CVT_IKEY_XENO_DOOR_AIMER_VDC	9	4603	16110.5
7	6	RHD_S2G_M/T_KYLS_HALO_FENDR_AIMER	58	4428	4516.6
8	7	RHD_S2G_M/T_KYLS_HALO_DOOR_AIMER	6	3715	13002.5
9	8	RHD_S2G_CVT_IKEY_HALO_FENDR_AIMER	1494	4506	4325.8
10	9	RHD_S2G_CVT_KYLS_HALO_DOOR_AIMER	28	4224	5068.8
11	10	RHD_S2G_CVT_IKEY_HALO_DOOR_AIMER	8	3769	13191.5

รูปที่ ก-7 แสดงตัวอย่างข้อมูล Six month purchase vol. & part price

3. Circuit cost table คือ ข้อมูลต้นทุนของแต่ละระบบวงจร

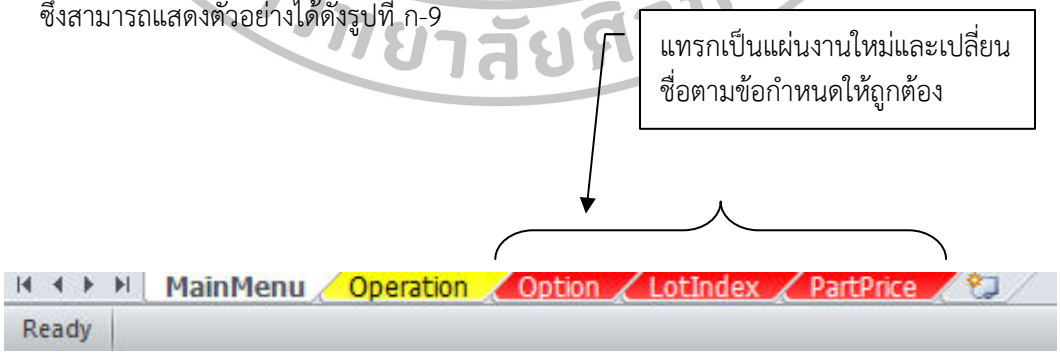
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	AA1	AA2	AA3	AA4	AA5	AA6	AA7	AA8	AA9	AA10
	ENG_CONT_S2G_THI	ENG_CONT_S2G_THI_CNG	SUPPORT_S2G_THI_CNG	ENG_CONT_M1G_THI	FUEL_PUMP	STARTER_S2G_MT	STARTER_S2G_MT_with_PUSH	STARTER_S2G_DX	STARTER_S2G_DX_with_PUSH	STARTER_M1G_MT
	27.00	8.00	23.00	17.00	9.00	17.00	12.00	12.00	20.00	11.00

รูปที่ ก-8 แสดงตัวอย่างข้อมูล Six month purchase vol. & part price

จากนั้นทำการคัดเลือกไฟล์ข้อมูลข้างต้นจากไฟล์ข้อมูลเดิมที่มีอยู่มาแทรกเป็นแผ่นงานใหม่ของไฟล์เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้ โดยจำเป็นต้องเปลี่ยนชื่อของแผ่นงานให้ตรงตามข้อกำหนดดังนี้

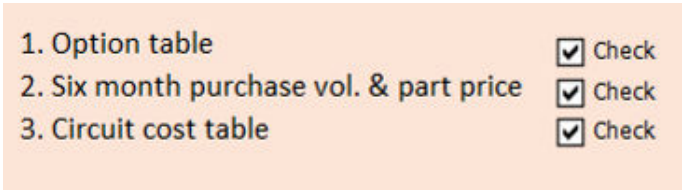
1. ข้อมูล Option table ตั้งชื่อแผ่นงานเป็น “Option”
2. ข้อมูล Six month purchase vol. & part price ตั้งชื่อแผ่นงานเป็น “LotIndex”
3. ข้อมูล Circuit cost table ตั้งชื่อแผ่นงานเป็น “PartPrice”

ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ ก-9



รูปที่ ก-9 แสดงการจัดเตรียมแผ่นงานข้อมูลที่จำเป็น

จากนั้นเปิดแผ่นงาน “MainMenu” เพื่อคลิกว่าการจัดเตรียมและตรวจสอบความถูกต้องของแผ่นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในรูป ก-10



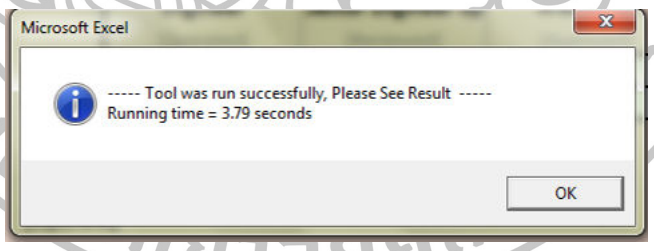
รูปที่ ก-10 แสดงตัวอย่างการจัดเตรียมและตรวจสอบความถูกต้องของแผ่นงาน

ขั้นตอนที่ 3 การเริ่มใช้เครื่องมือให้ทำการประมวลผล

ขั้นตอนที่ 3-1 หลังจากการทำการจัดเตรียมและตรวจสอบความถูกต้องของแผ่นงาน จากนั้นเปิดมาที่หน้าแผ่นงาน “MainMenu” และทำการคลิกที่ปุ่ม “START” ดังแสดงในรูปที่ ก-11

รูปที่ ก-11 แสดงการคลิกที่ปุ่ม Start เริ่มการประมวลผล

ขั้นตอนที่ 3-2 จากนั้นเครื่องมือจะทำการประมวลผลจนเสร็จสิ้นจะแสดงหน้าต่างดังรูป ก-12 ซึ่งจะแสดงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลทั้งหมดในหน่วยวินาที



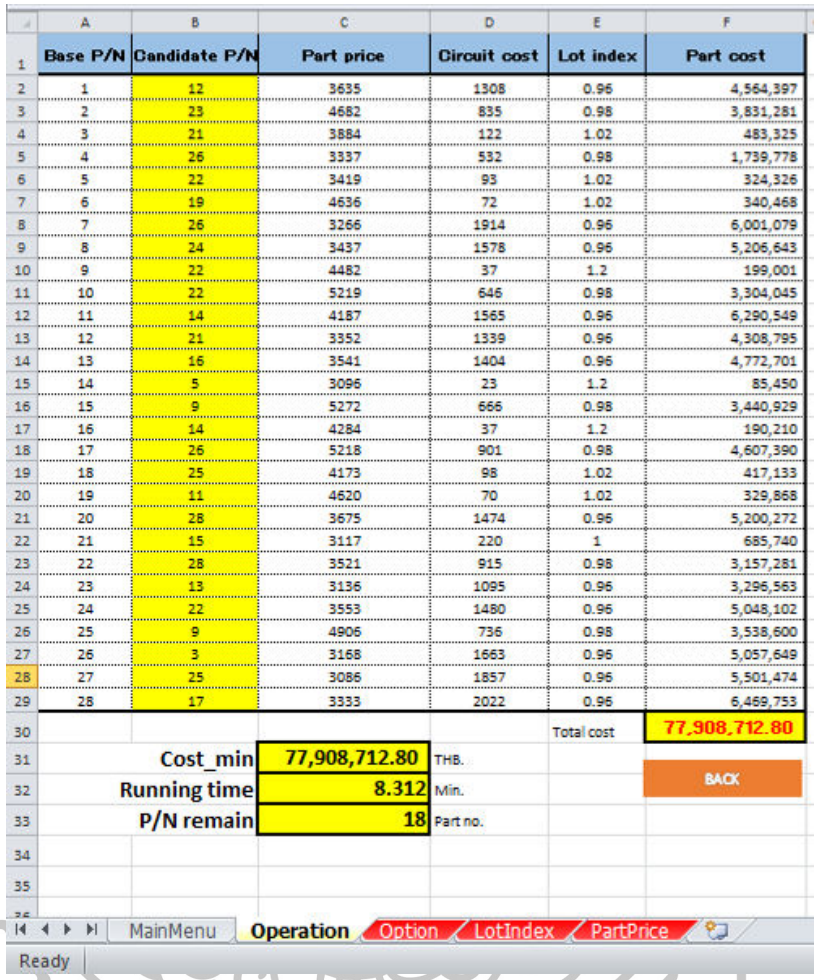
รูปที่ ก-12 แสดงการประมวลผลจนเสร็จสิ้น

ขั้นตอนที่ 4 การดูผลลัพท์จากการประมวลผลและการอ่านค่าที่ได้

ขั้นตอนที่ 4-1 หลังจากเครื่องมือทำการประมวลผลจนเสร็จสิ้นแล้วให้ทำการคลิกที่ปุ่ม “See Result” เพื่อไปยังหน้าที่แสดงผลลัพท์ดังรูปที่ ก-13

รูปที่ ก-13 แสดงการคลิกที่ปุ่ม “See Result” เพื่อแสดงผลลัพท์

หน้าแผ่นงานแสดงผลลัพท์การประมวลผลของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจสามาถแสดงได้ดังตัวอย่างในรูป ก-14



	A	B	C	D	E	F
1	Base P/N	Candidate P/N	Part price	Circuit cost	Lot index	Part cost
2	1	12	3635	1308	0.96	4,564,397
3	2	23	4682	835	0.98	3,831,281
4	3	21	3884	122	1.02	483,325
5	4	26	3337	532	0.98	1,739,778
6	5	22	3419	93	1.02	324,326
7	6	19	4636	72	1.02	340,468
8	7	26	3266	1914	0.96	6,001,079
9	8	24	3437	1578	0.96	5,206,643
10	9	22	4482	37	1.2	199,001
11	10	22	5219	646	0.98	3,304,045
12	11	14	4187	1565	0.96	6,290,549
13	12	21	3352	1339	0.96	4,308,795
14	13	16	3541	1404	0.96	4,772,701
15	14	5	3096	23	1.2	85,450
16	15	9	5272	666	0.98	3,440,929
17	16	14	4284	37	1.2	190,210
18	17	26	5218	901	0.98	4,607,390
19	18	25	4173	98	1.02	417,133
20	19	11	4620	70	1.02	329,868
21	20	28	3675	1474	0.96	5,200,272
22	21	15	3117	220	1	685,740
23	22	28	3521	915	0.98	3,157,281
24	23	13	3136	1095	0.96	3,296,563
25	24	22	3553	1480	0.96	5,048,102
26	25	9	4906	736	0.98	3,538,600
27	26	3	3168	1663	0.96	5,057,649
28	27	25	3086	1857	0.96	5,501,474
29	28	17	3333	2022	0.96	6,469,753
30					Total cost	77,908,712.80
31		Cost_min	77,908,712.80	THB.		BACK
32		Running time	8.312	Min.		
33		P/N remain	18	Part no.		
34						
35						

MainMenu | Operation | Option | LotIndex | PartPrice

Ready

รูปที่ ก-14 แสดงตัวอย่างแสดงผลลัพท์การประมวลผล

จากผลลัพท์ในขั้นตอนที่ 4-1 สามารถอธิบายรายละเอียดผลลัพท์จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจได้ดังนี้

1. Base P/N หมายถึงหมายเลขชิ้นส่วนของชุดสายไฟตั้งแต่การออกแบบในระยะเริ่มต้นถึงปัจจุบัน

2. Candidate P/N หมายถึงหมายเลขชุดสายไฟที่เป็นผลลัพท์ของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้แสดงออกมา โดยหมายเลขชุดสายไฟนี้สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาออกแบบด้วยวิธี Give away ได้

3. Part price หมายถึงราคาชุดสายไฟต่อหนึ่งหมายเลขชิ้นส่วนของ Candidate P/N

4. Circuit cost หมายถึงต้นทุนของระบบวงจรที่ต้องเพิ่มเข้าไปในราคาต่อหน่วยของชุดสายไฟซึ่งจะถูกเพิ่มเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบด้วยวิธี Give away

5. Lot index หมายถึงดัชนีตัวคูณราคา ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้อธิบายรายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 2

6. Part cost หมายถึงต้นทุนราคาของชุดสายไฟหนึ่งหมายเลขที่ต้องทำการสั่งซื้อทั้งหมดตามปริมาณการสั่งซื้อในระยะเวลา 6 เดือน

7. Total cost หมายถึงต้นทุนรวมของราคาชุดสายไฟทั้งหมดที่ต้องถูกสั่งซื้อในระยะเวลา 6 เดือน ของทุกหมายเลขชุดสายไฟหลังการออกแบบด้วยวิธี Give away

8. Cost_min หมายถึงต้นทุนรวมของราคาชุดสายไฟทั้งหมดที่ต่ำที่สุดที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้

9. Running time หมายถึงเวลานำที่ใช้ในการประมวลผลของเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจนี้ โดยแสดงเป็นหน่วยนาที

10. P/N remain หมายถึงจำนวนของหมายเลขชุดสายไฟของ Candidate P/N ทีสามารถนำไปใช้แทนที่ Base P/N ได้

ภาคผนวก ข

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของเครื่องมือการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟในรถยนต์

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสาน

```
Public Function Cals(Node1 As String, Node2 As String) As String
    For i = 1 To 383
        If Sheets("PartPrice").Cells(i, 1).Value = Node1 Or Sheets("PartPrice").Cells(i, 1).Value =
Node2 Then
            Cals = Sheets("PartPrice").Cells(i, 94).Value
        End If
    Next i
End Function
Public Function SherchVolum(Node1 As String, Node2 As String) As String
SherchVolum = Sheets("LotIndex").Cells(Node1 + 1, 3).Value +
Sheets("LotIndex").Cells(Node2 + 1, 3).Value
End Function
Public Function SherchLotIndex(Rand As Double) As Double
If Rand >= 0 And Rand <= 20 Then
    SherchLotIndex = 3.5
ElseIf Rand > 20 And Rand <= 40 Then
    SherchLotIndex = 1.2
ElseIf Rand > 40 And Rand <= 150 Then
    SherchLotIndex = 1.02
ElseIf Rand > 150 And Rand <= 400 Then
    SherchLotIndex = 1
ElseIf Rand > 400 And Rand <= 1000 Then
    SherchLotIndex = 0.98
ElseIf Rand > 1000 Then
    SherchLotIndex = 0.96
Else
SherchLotIndex = 1000 '¡Ñ¹ Error
End If

End Function
Function Intest(ByRef node() As Integer) As Double
Dim N As Integer
Dim Mix1 As String
Dim Mix2 As String
Dim sumtotle As Double
For i = 1 To 28
  Sheets("Operation").Cells(i + 1, 2).Value = node(i)
```

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสาน (ต่อ)

```
Next i
For N = 1 To UBound(node)
    Mix1 = Cells(N + 1, 1).Value & "," & Cells(N + 1, 2).Value
    Mix2 = Cells(N + 1, 2).Value & "," & Cells(N + 1, 1).Value
Sheets("Operation").Cells(N + 1, 3).Value = Cals(Mix1, Mix2)
Sheets("Operation").Cells(N + 1, 4).Value = SherchVolum(Cells(N + 1, 1).Value, Cells(N + 1,
2).Value)
Sheets("Operation").Cells(N + 1, 5).Value = SherchLotIndex(Sheets("Operation").Cells(N + 1,
4).Value)
   Sheets("Operation").Cells(N + 1, 6).Value = Sheets("Operation").Cells(N + 1, 3).Value *
Sheets("Operation").Cells(N + 1, 4).Value * Sheets("Operation").Cells(N + 1, 5).Value
   sumtotle = sumtotle + Sheets("Operation").Cells(N + 1, 6).Value
Next N
Sheets("Operation").Cells(UBound(node) + 2, 6).Value = sumtotle
Intest = sumtotle
End Function

Public Sub Hamony()
Dim LoopMin() As Double
Dim HM() As String
Dim Sol As Double
Dim d1 As Integer
Dim x(28) As Integer
Dim Ass As Double
Dim a As Integer

Dim StartTime As Double
Dim SecondsElapsed As Double
'Remember time when macro starts
  StartTime = Timer

HMS = Sheets("Operation").Range("L2").Value: HMCR = Sheets("Operation").Range("J2").Value:
PAR = Sheets("Operation").Range("K2").Value: Maximp =
Sheets("Operation").Range("M2").Value
ReDim HM(HMS, 28)
ReDim LoopMin(Maximp)
```

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสาน (ต่อ)

```
For i = 1 To HMS
  For j = 1 To 28
loop1:
    HM(i, j) = RandomB(1, 28)
    x(j) = HM(i, j)
       If HM(i, j) = j Then
          GoTo loop1
       End If
  Next j
Ass = Intest(x)
HM(i, 0) = Ass
Next i

For i = 1 To Maximp
    For j = 1 To 28
              If Rnd >= HMCR Then
loop2:
 'Random Searching
            x(j) = RandomB(1, 28)
            If x(j) = j Then
               GoTo loop2
           End If
        Else
'Harmony Memory Considering
            d1 = RandomB(1, CInt(HMS))
     x(j) = HM(d1, j)
       If Rnd <= PAR Then
         ' Pitch Adjusting
       d1 = RandomB(1, CBool(HMS)) / 28
          If Rnd > 0.5 Then
           x(j) = x(j) + d1
          Else
          x(j) = x(j) - d1
           End If
```

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสาน (ต่อ)

```
  End If
        End If
    Next j

    Sol = Intest(x)
If Sol <= 0 Then
MsgBox "1111"
End If

hmax_num = 1: hmax = HM(1, 0)
For a = 2 To HMS
If CDbl(HM(a, 0)) > 0 Then
  If CDbl(HM(a, 0)) > CDbl(hmax) Then
    hmax_num = a
    hmax = HM(a, 0)
  End If
End If
Next a

If CDbl(Sol) < CDbl(hmax) Then
For j = 1 To 28
    HM(hmax_num, j) = x(j)
  Next j
  HM(hmax_num, 0) = Sol
End If

hmin_num = 1: hmin = HM(1, 0)
For a = 2 To HMS
If CDbl(HM(a, 0)) > 0 Then
  If CDbl(HM(a, 0)) < CDbl(hmin) Then
    hmin_num = a

  hmin = HM(a, 0)
    Sheets("Operation").Cells(i + 1, 7).Value = i
    Sheets("Operation").Cells(i + 1, 8).Value = hmin
```

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสาน (ต่อ)

```
  End If
End If

Next a
    For a = 1 To 28
        Sheets("Operation").Cells(a + 1, 2).Value = HM(hmin_num, a)
    Next a
     Sheets("Operation").Cells(30, 6).Value = HM(hmin_num, 0)
Next i

hmin_num = 1: hmin = HM(1, 0)
For a = 2 To HMS
If CDbl(HM(a, 0)) > 0 Then
  If CDbl(HM(a, 0)) < CDbl(hmin) Then
    hmin_num = a
    hmin = HM(a, 0)
    Sheets("Operation").Cells(i + 1, 7).Value = i
    Sheets("Operation").Cells(i + 1, 8).Value = hmin
  End If
End If

Next a

  For a = 1 To 28
        Sheets("Operation").Cells(a + 1, 2).Value = HM(hmin_num, a)
    Next a
     Sheets("Operation").Cells(30, 6).Value = HM(hmin_num, 0)
'Determine how many seconds code took to run
  SecondsElapsed = Round(Timer - StartTime, 2)
  Sheets("Operation").Cells(21, 12).Value = SecondsElapsed
'Notify user in seconds
  MsgBox "----- Tool was run successfully, Please See Result  -----                    " & "
Running time = " & SecondsElapsed & " seconds", vbInformation

End Sub
```

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสาน (ต่อ)

```
Public Function RandomB(lowerbound As Integer, upperbound As Integer) As Integer
RandomB = Int((upperbound - lowerbound + 1) * Rnd + lowerbound)
End Function
```

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนจับคู่ชุดสายไฟและการคำนวณ Lot index

```
Sub PartPrice()
Dim i, j, k As Integer
Dim counti, countj, countk, countn As Integer
Dim a, b As Integer
Dim p, q As Integer

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
Range(Cells(5, 1), Cells(10000, 10000)).clear
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
counti = 0
countj = 0
For i = 1 To 500 'Check low i and collum j of Part in OptionTable
       If Worksheets("Option").Cells(2 + i, 1).Value <> 0 Then
        counti = counti + 1
       Else
        Exit For
       End If
Next i
For j = 1 To 500
       If Worksheets("Option").Cells(4, 2 + j).Value = 1 Or Worksheets("Option").Cells(4, 2 +
j).Value = -1 Or Worksheets("Option").Cells(4, 2 + j).Text = "0" Then
        countj = countj + 1
       Else
        Exit For
       End If
Next j

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'compare part
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''

For i = 1 To counti          '1
'countk = counti - i
For k = i + 1 To counti  '1+1
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
```

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนจับคู่ชุดสายไฟและการคำนวณ Lot index (ต่อ)

```
 b = 0
 For a = 1 To 1500
        If Worksheets("PartPrice").Cells(5 + a, 2).Value = 1 Or Worksheets("PartPrice").Cells(5
+ a, 2).Value = -1 Or Worksheets("PartPrice").Cells(5 + a, 2).Text = 0 Then
           b = b + 1
        Else
          Exit For
        End If
 Next a
```

```
    For j = 1 To countj

            Worksheets("PartPrice").Cells(6 + b, 1 + j).Value = (Worksheets("Option").Cells(2 +
i, 2 + j).Value - Worksheets("Option").Cells(2 + k, 2 + j).Value)

    Next j
```

```
    '
    '
    '
    '

 Cells(6 + b, 1).Value = i & "," & k    ' Node&BasePrice
 If Worksheets("LotIndex").Cells(1 + i, 5).Value < Worksheets("LotIndex").Cells(1 + k, 5).Value
Then
    Worksheets("PartPrice").Cells(6 + b, 4 + countj).Value = Worksheets("LotIndex").Cells(1 +
i, 4).Value
    Cells(6 + b, 3 + countj) = i
    Cells(6 + b, 6 + countj) = "i"
 Else
     Worksheets("PartPrice").Cells(6 + b, 4 + countj).Value = Worksheets("LotIndex").Cells(1 +
k, 4).Value
      Cells(6 + b, 3 + countj) = k
      Cells(6 + b, 6 + countj) = "k"
 End If
```

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนจับคู่ชุดสายไฟและการคำนวณ Lot index (ต่อ)

```
   Next k
Next i
Cells(5, 2 + countj) = "Total NG"
Cells(5, 3 + countj) = "Node"
Cells(5, 5 + countj) = "Circuit price"
Cells(5, 6 + countj) = "Total price"
Cells(5, 4 + countj) = "Base price"
Cells(5, 1) = "Node"

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''


b = 0
For a = 1 To 1000
          If Worksheets("PartPrice").Cells(5 + a, 1) <> 0 Then
           b = b + 1
          Else
           Exit For
          End If
Next a
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
For i = 1 To b
 countn = 0
 p = 0
 q = 0
   For j = 1 To countj
      If Cells(5 + i, 1 + j) <> 0 Then
         countn = countn + 1
      End If

        If Cells(5 + i, 1 + j).Value = -1 Then
           p = p + Cells(3, 1 + j).Value
       End If

       If Cells(5 + i, 1 + j).Value = 1 Then
```

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนจับคู่ชุดสายไฟและการคำนวณ Lot index (ต่อ)

```
        q = q + Cells(3, 1 + j).Value
        End If
   Next j
  Cells(5 + i, 2 + countj).Value = countn 'Total NG

  If Cells(5 + i, 6 + countj).Text = "i" Then
  Cells(5 + i, 5 + countj).Value = p
  Else
  Cells(5 + i, 5 + countj).Value = q
  End If
Cells(5 + i, 6 + countj).clear
Next i
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
For a = 0 To b
Cells(6 + a, 6 + countj).Value = Cells(6 + a, 5 + countj).Value + Cells(6 + a, 4 +
countj).Value
Next a
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''


End Sub

Sub clear()

Range(Cells(5, 1), Cells(10000, 10000)).clear

End Sub

Sub LotIndex()
Dim i, j, k As Integer
Dim count As Integer

count = 0
For i = 1 To 500
      If Cells(1 + i, 3).Value <> 0 Then
          count = count + 1
      End If
```

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของขั้นตอนจับคู่ชุดสายไฟและการคำนวณ Lot index (ต่อ)

```
Next i

    For i = 1 To count

      If Cells(1 + i, 3).Value <= 20 Then
         Cells(1 + i, 5).Value = Cells(1 + i, 4).Value * 3.5
      ElseIf Cells(1 + i, 3).Value <= 40 Then
         Cells(1 + i, 5).Value = Cells(1 + i, 4).Value * 1.2
      ElseIf Cells(1 + i, 3).Value <= 150 Then
         Cells(1 + i, 5).Value = Cells(1 + i, 4).Value * 1.02
      ElseIf Cells(1 + i, 3).Value <= 400 Then
         Cells(1 + i, 5).Value = Cells(1 + i, 4).Value * 1
      ElseIf Cells(1 + i, 3).Value <= 1000 Then
         Cells(1 + i, 5).Value = Cells(1 + i, 4).Value * 0.98
      ElseIf Cells(1 + i, 3).Value >= 1000 Then
         Cells(1 + i, 5).Value = Cells(1 + i, 4).Value * 0.96
      End If
    Next i
End Sub
```

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ค

ผลลัพท์ของการใช้เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจของบริษัทตัวอย่าง

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ

Base P/N	Candidate P/N	Part price	Circuit cost	Lot index	Part cost
1	12	3635	1308	0.96	4,564,397
2	23	4682	835	0.98	3,831,281
3	21	3884	122	1.02	483,325
4	26	3337	532	0.98	1,739,778
5	22	3419	93	1.02	324,326
6	19	4636	72	1.02	340,468
7	26	3266	1914	0.96	6,001,079
8	24	3437	1578	0.96	5,206,643
9	22	4482	37	1.2	199,001
10	22	5219	646	0.98	3,304,045
11	14	4187	1565	0.96	6,290,549
12	21	3352	1339	0.96	4,308,795
13	16	3541	1404	0.96	4,772,701
14	5	3096	23	1.2	85,450
15	9	5272	666	0.98	3,440,929
16	14	4284	37	1.2	190,210
17	26	5218	901	0.98	4,607,390
18	25	4173	98	1.02	417,133
19	11	4620	70	1.02	329,868
20	28	3675	1474	0.96	5,200,272
21	15	3117	220	1	685,740
22	28	3521	915	0.98	3,157,281
23	13	3136	1095	0.96	3,296,563
24	22	3553	1480	0.96	5,048,102
25	9	4906	736	0.98	3,538,600
26	3	3168	1663	0.96	5,057,649
27	25	3086	1857	0.96	5,501,474
28	17	3333	2022	0.96	6,469,753
				Total cost	77,908,712.80

Cost_min	77,908,712.80	THB.
Running time	8.312	Min.
P/N remain	18	Part no.

BACK

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

PARTS NO	PATR NAME	Volume	Base price	BasePrice*Lot index
1	CCM_S2G_CVT_KYLS_HALO_FENDR_AIMER_ABSLESS	53	3387	3454.7
2	RHD_S2G_M/T_KYLS_HALO_FENDR_AIMER_ABSLESS	829	4636	4543.3
3	JPN_M1G_CVT_KYLS_HALO_FENDR_AIMER_VDC	114	3711	3785.2
4	JPN_M1G_CVT_IKEY_HALO_DOOR_AIMER_VDC	526	3133	3070.3
5	JPN_M1G_CVT_IKEY_XENO_DOOR_AIMER_VDC	9	4603	16110.5
6	RHD_S2G_M/T_KYLS_HALO_FENDR_AIMER	58	4428	4516.6
7	RHD_S2G_M/T_KYLS_HALO_DOOR_AIMER	6	3715	13002.5
8	RHD_S2G_CVT_IKEY_HALO_FENDR_AIMER	1494	4506	4325.8
9	RHD_S2G_CVT_KYLS_HALO_DOOR_AIMER	28	4224	5068.8
10	RHD_S2G_CVT_IKEY_HALO_DOOR_AIMER	8	3769	13191.5
11	RHD_M1G_CVT_IKEY_HALO_DOOR_AIMER	71	4075	4156.5
12	RHD_M1G_CVT_IKEY_XENO_DOOR_AIMER	1255	3776	3625.0
13	ASR_M1G_M/T_KYLS_HALO_DOOR_AIMER_VDC	1396	3317	3184.3
14	ASR_M1G_CVT_KYLS_HALO_DOOR_AIMER_VDC	14	2910	10185.0
15	ASR_M1G_CVT_IKEY_XENO_DOOR_AIMER_VDC	638	5082	4980.4
16	LHD_S2G_M/T_KYLS_HALO_FENDR	28	3933	4719.6
17	LHD_S2G_M/T_KYLS_HALO_DOOR	889	5082	4980.4
18	LHD_S2G_CVT_KYLS_HALO_FENDR	84	3975	4054.5
19	LHD_S2G_CVT_IKEY_HALO_FENDR	12	3142	10997.0
20	LHD_S2G_CVT_KYLS_HALO_DOOR	645	3516	3445.7
21	LHD_S2G_CVT_IKEY_HALO_DOOR	122	2961	3020.2
22	LHD_M1G_M/T_KYLS_HALO_DOOR	26	3409	4090.8
23	LHD_M1G_CVT_KYLS_HALO_FENDR	1011	3002	2881.9
24	LHD_M1G_CVT_IKEY_HALO_DOOR	84	3257	3322.1
25	LHD_M1G_CVT_IKEY_XENO_DOOR_AIMER	98	4775	4870.5
26	CCM_S2G_CVT_KYLS_HALO_FENDR_AIMER_ABSLESS_CNG	408	2920	2861.6
27	RHD_S2G_M/T_KYLS_HALO_FENDR_AIMER_ABSLESS_CNG	846	2832	2775.4
28	RHD_S2G_CVT_KYLS_HALO_DOOR_AIMER_CNG	1908	3185	3057.6

Volume	Lot index
0 ~ 20	3.5
21 ~ 40	1.2
41 ~ 150	1.02
151 ~ 400	1
401 ~ 1,000	0.98
1001 ~	0.96

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

AA20-AX	AA20-BX	AA20-CX	AA30-AX	AF10-AX	AH20-AX	AH20-BX	AH20-CX	AH20-DX	AH30-AX	AH30-BX	AH30-CX	AH30-DX	AL10-AX
ENG_CONT_S2G_THI	ENG_CONT_S2G_THI_CNG	SUPPORT_S2G_THI_CNG	ENG_CONT_M1G_THI	FUEL_PUMP	STARTER_S2G_MT	STARTER_S2G_MT_with_PUSH	STARTER_S2G_DX	STARTER_S2G_DX_with_PUSH	STARTER_M1G_MT	STARTER_M1G_MT_with_PUSH	STARTER_M1G_DX	STARTER_M1G_DX_with_PUSH	CLUTCH_SW_LHD_with_PUSH
27.00	8.00	23.00	17.00	9.00	17.00	12.00	12.00	20.00	11.00	9.00	9.00	27.00	12.00

Node	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total N	Node	Base pri	Circuit pri	Total pri
1,2	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	10	1	3387	74	3461
1,3	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	13	1	3387	147	3534
1,4	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	21	4	3133	145	3278
1,5	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	25	1	3387	286	3673
1,6	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	11	1	3387	87	3474
1,7	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	13	1	3387	100	3487
1,8	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	8	1	3387	84	3471
1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	3387	61	3448
1,10	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	11	1	3387	112	3499
1,11	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	20	1	3387	211	3598
1,12	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	24	1	3387	248	3635
1,13	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	23	13	3317	168	3485
1,14	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	16	1	3387	164	3551
1,15	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	27	1	3387	308	3695
1,16	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	17	1	3387	164	3551
1,17	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	19	1	3387	177	3564
1,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	3387	109	3496
1,19	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	14	1	3387	141	3528
1,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	20	3516	85	3601
1,21	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	16	21	2961	114	3075
1,22	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	29	1	3387	280	3667
1,23	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	20	23	3002	157	3159
1,24	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	26	24	3257	190	3447
1,25	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	28	1	3387	290	3677
1,26	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	26	2920	27	2947
1,27	1	-1	-1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	13	27	2832	103	2935
1,28	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	28	3185	43	3228
2,3	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	21	3	3711	150	3861
2,4	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	29	4	3133	207	3340
2,5	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	33	2	4636	350	4986
2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	4428	20	4448
2,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	4636	46	4682
2,8	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	16	8	4506	115	4621
2,9	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	15	2	4636	137	4773
2,10	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	19	2	4636	176	4812
2,11	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	28	11	4075	207	4282
2,12	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	32	12	3776	235	4011
2,13	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	19	13	3317	148	3465
2,14	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	24	2	4636	228	4864
2,15	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	35	2	4636	372	5008
2,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	2	4636	147	4783
2,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	2	4636	160	4796
2,18	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	20	18	3975	143	4118
2,19	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	22	2	4636	205	4841
2,20	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	22	20	3516	159	3675
2,21	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	24	21	2961	176	3137
2,22	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	31	22	3409	235	3644
2,23	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	28	23	3002	219	3221
2,24	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	34	24	3257	252	3509
2,25	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	36	2	4636	354	4990
2,26	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	13	26	2920	101	3021
2,27	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	27	2832	27	2859
2,28	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	18	28	3185	117	3302
3,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	10	4	3133	66	3199
3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	14	3	3711	148	3859

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

AA20-AX	AA20-BX	AA20-CX	AA30-AX	AF10-AX	AH20-AX	AH20-BX	AH20-CX	AH20-DX	AH30-AX	AH30-BX	AH30-CX	AH30-DX	AL10-AX
ENG_CONT_S2G_THI	ENG_CONT_S2G_THI_CNG	SUPPORT_S2G_THI_CNG	ENG_CONT_M1G_THI	FUEL_PUMP	STARTER_S2G_MT	STARTER_S2G_MT_with_PUSH	STARTER_S2G_DX	STARTER_S2G_DX_with_PUSH	STARTER_M1G_MT	STARTER_M1G_MT_with_PUSH	STARTER_M1G_DX	STARTER_M1G_DX_with_PUSH	CLUTCH_SW_LHD_with_PUSH
27.00	8.00	23.00	17.00	9.00	17.00	12.00	12.00	20.00	11.00	9.00	9.00	27.00	12.00

Node	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total N	Node	Base pri	Circuit pri	Total pri
3,6	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	22	3	3711	163	3874
3,7	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	24	3	3711	176	3887
3,8	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	19	3	3711	160	3871
3,9	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	16	3	3711	134	3845
3,10	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	20	3	3711	173	3884
3,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	15	3	3711	140	3851
3,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	19	12	3776	161	3937
3,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	16	13	3317	140	3457
3,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3	3711	68	3779
3,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	20	3	3711	221	3932
3,16	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	26	3	3711	225	3936
3,17	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	28	3	3711	238	3949
3,18	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	21	3	3711	182	3893
3,19	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	23	3	3711	202	3913
3,20	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	23	20	3516	217	3733
3,21	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	25	21	2961	234	3195
3,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	24	3	3711	209	3920
3,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	23	3002	136	3138
3,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	21	24	3257	178	3435
3,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	23	3	3711	219	3930
3,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	14	26	2920	147	3067
3,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	22	27	2832	211	3043
3,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	17	28	3185	148	3333
4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	3133	37	3170
4,6	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	30	4	3133	220	3353
4,7	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	28	4	3133	204	3337
4,8	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	17	4	3133	125	3258
4,9	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	20	4	3133	162	3295
4,10	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	14	4	3133	109	3242
4,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	3133	29	3162
4,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	4	3133	66	3199
4,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	20	4	3133	158	3291
4,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	13	4	3133	105	3238
4,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	4	3133	110	3243
4,16	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	32	4	3133	258	3391
4,17	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	30	4	3133	242	3375
4,18	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	27	4	3133	215	3348
4,19	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	23	4	3133	190	3323
4,20	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	25	4	3133	199	3332
4,21	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	21	21	2961	238	3199
4,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	24	4	3133	193	3326
4,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	21	23	3002	223	3225
4,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	4	3133	113	3246
4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	4	3133	131	3264
4,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	22	26	2920	249	3169
4,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	30	27	2832	313	3145
4,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	21	28	3185	221	3406
5,6	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	34	6	4428	350	4778
5,7	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	32	7	3715	337	4052
5,8	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	21	8	4506	235	4741
5,9	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	24	9	4224	258	4482
5,10	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	18	10	3769	207	3976
5,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	11	4075	104	4179
5,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12	3776	67	3843
5,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	24	13	3317	250	3567
5,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	17	14	2910	186	3096
5,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	15	5082	51	5133
5,16	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	34	16	3933	351	4284
5,17	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	32	17	5082	338	5420
5,18	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	29	18	3975	306	4281

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

AA20-AX	AA20-BX	AA20-CX	AA30-AX	AF10-AX	AH20-AX	AH20-BX	AH20-CX	AH20-DX	AH30-AX	AH30-BX	AH30-CX	AH30-DX	AL10-AX
ENG_CONT_S2G_THI	ENG_CONT_S2G_THI_CNG	SUPPORT_S2G_THI_CNG	ENG_CONT_M1G_THI	FUEL_PUMP	STARTER_S2G_MT	STARTER_S2G_MT_with_PUSH	STARTER_S2G_DX	STARTER_S2G_DX_with_PUSH	STARTER_M1G_MT	STARTER_M1G_MT_with_PUSH	STARTER_M1G_DX	STARTER_M1G_DX_with_PUSH	CLUTCH_SW_LHD_with_PUSH
27.00	8.00	23.00	17.00	9.00	17.00	12.00	12.00	20.00	11.00	9.00	9.00	27.00	12.00

Node	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total N	Node	Base pri	Circuit pri	Total pri
5,19	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	25	19	3142	278	3420
5,20	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	27	20	3516	293	3809
5,21	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	23	21	2961	265	3226
5,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	26	22	3409	262	3671
5,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	23	23	3002	250	3252
5,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	24	3257	162	3419
5,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	25	4775	125	4900
5,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	26	26	2920	286	3206
5,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	34	27	2832	350	3182
5,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	25	28	3185	258	3443
6,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	4428	13	4441
6,8	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	15	8	4506	115	4621
6,9	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	12	6	4428	104	4532
6,10	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	18	6	4428	163	4591
6,11	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	27	11	4075	207	4282
6,12	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	31	12	3776	235	4011
6,13	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	18	13	3317	141	3458
6,14	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	23	6	4428	208	4636
6,15	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	36	6	4428	372	4800
6,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	6	4428	114	4542
6,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	6	4428	127	4555
6,18	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	17	18	3975	123	4098
6,19	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	21	6	4428	192	4620
6,20	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	19	20	3516	139	3655
6,21	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	23	21	2961	176	3137
6,22	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	28	22	3409	215	3624
6,23	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	25	23	3002	199	3201
6,24	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	33	24	3257	252	3509
6,25	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	35	6	4428	341	4769
6,26	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	14	26	2920	114	3034
6,27	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	27	2832	60	2892
6,28	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	15	28	3185	97	3282
7,8	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	17	8	4506	128	4634
7,9	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	10	9	4224	54	4278
7,10	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	16	7	3715	150	3865
7,11	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	25	11	4075	191	4266
7,12	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	29	12	3776	219	3995
7,13	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	16	13	3317	125	3442
7,14	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	21	14	2910	143	3053
7,15	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	34	15	5082	232	5314
7,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	16	3933	100	4033
7,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	17	5082	87	5169
7,18	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	19	18	3975	136	4111
7,19	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	23	19	3142	173	3315
7,20	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	17	20	3516	123	3639
7,21	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	21	21	2961	160	3121
7,22	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	26	22	3409	199	3608
7,23	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	27	23	3002	212	3214
7,24	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	31	24	3257	236	3493
7,25	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	33	25	4775	254	5029
7,26	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	16	26	2920	127	3047
7,27	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	27	2832	73	2905
7,28	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	13	28	3185	81	3266
8,9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	11	8	4506	101	4607
8,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	4506	28	4534
8,11	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	14	11	4075	112	4187
8,12	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	18	12	3776	140	3916
8,13	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	29	13	3317	240	3557
8,14	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	22	8	4506	205	4711
8,15	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	23	8	4506	257	4763

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

AA20-AX	AA20-BX	AA20-CX	AA30-AX	AF10-AX	AH20-AX	AH20-BX	AH20-CX	AH20-DX	AH30-AX	AH30-BX	AH30-CX	AH30-DX	AL10-AX
ENG_CONT_S2G_THI	ENG_CONT_S2G_THI_CNG	SUPPORT_S2G_THI_CNG	ENG_CONT_M1G_THI	FUEL_PUMP	STARTER_S2G_MT	STARTER_S2G_MT_with_PUSH	STARTER_S2G_DX	STARTER_S2G_DX_with_PUSH	STARTER_M1G_MT	STARTER_M1G_MT_with_PUSH	STARTER_M1G_DX	STARTER_M1G_DX_with_PUSH	CLUTCH_SW_LHD_with_PUSH
27.00	8.00	23.00	17.00	9.00	17.00	12.00	12.00	20.00	11.00	9.00	9.00	27.00	12.00

Node	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total N	Node	Base pri	Circuit pri	Total pri
8,16	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	19	8	4506	168	4674
8,17	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	21	8	4506	181	4687
8,18	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	14	18	3975	116	4091
8,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	4506	80	4586
8,20	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	16	20	3516	132	3648
8,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	21	2961	84	3045
8,22	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	31	22	3409	253	3662
8,23	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	22	23	3002	192	3194
8,24	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	22	24	3257	180	3437
8,25	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	24	8	4506	249	4755
8,26	1	-1	-1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	11	26	2920	111	3031
8,27	1	-1	-1	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	19	27	2832	175	3007
8,28	1	-1	-1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	14	28	3185	114	3299
9,10	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	8	9	4224	71	4295
9,11	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	17	11	4075	149	4224
9,12	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	21	12	3776	177	3953
9,13	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	20	13	3317	165	3482
9,14	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	13	9	4224	116	4340
9,15	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	26	15	5082	190	5272
9,16	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	16	16	3933	139	4072
9,17	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	14	17	5082	126	5208
9,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	18	3975	82	4057
9,19	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	15	9	4224	129	4353
9,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	20	3516	69	3585
9,21	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	13	21	2961	118	3079
9,22	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	24	22	3409	202	3611
9,23	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	19	23	3002	170	3172
9,24	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	23	24	3257	194	3451
9,25	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	25	25	4775	212	4987
9,26	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	26	2920	88	3008
9,27	1	-1	-1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	18	27	2832	164	2996
9,28	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	28	3185	27	3212
10,11	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	11	11	4075	96	4171
10,12	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	15	12	3776	124	3900
10,13	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	26	13	3317	224	3541
10,14	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	19	14	2910	160	3070
10,15	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	20	15	5082	137	5219
10,16	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	20	16	3933	174	4107
10,17	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	18	17	5082	161	5243
10,18	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	15	18	3975	129	4104
10,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	19	3142	81	3223
10,20	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	13	20	3516	116	3632
10,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	21	2961	68	3029
10,22	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	28	22	3409	237	3646
10,23	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	23	23	3002	205	3207
10,24	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	19	24	3257	164	3421
10,25	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	21	25	4775	182	4957
10,26	1	-1	-1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	14	26	2920	139	3059
10,27	1	-1	-1	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	22	27	2832	203	3035
10,28	1	-1	-1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	11	28	3185	98	3283
11,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	12	3776	28	3804
11,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	19	13	3317	175	3492
11,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	12	11	4075	105	4180
11,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	11	4075	110	4185
11,16	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	29	11	4075	245	4320
11,17	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	27	11	4075	229	4304
11,18	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	24	18	3975	228	4203
11,19	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	20	11	4075	177	4252
11,20	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	22	20	3516	215	3731
11,21	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	18	21	2961	187	3148

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

AA20-AX	AA20-BX	AA20-CX	AA30-AX	AF10-AX	AH20-AX	AH20-BX	AH20-CX	AH20-DX	AH30-AX	AH30-BX	AH30-CX	AH30-DX	AL10-AX
ENG_CONT_S2G_THI	ENG_CONT_S2G_THI_CNG	SUPPORT_S2G_THI_CNG	ENG_CONT_M1G_THI	FUEL_PUMP	STARTER_S2G_MT	STARTER_S2G_MT_with_PUSH	STARTER_S2G_DX	STARTER_S2G_DX_with_PUSH	STARTER_M1G_MT	STARTER_M1G_MT_with_PUSH	STARTER_M1G_DX	STARTER_M1G_DX_with_PUSH	CLUTCH_SW_LHD_with_PUSH
27.00	8.00	23.00	17.00	9.00	17.00	12.00	12.00	20.00	11.00	9.00	9.00	27.00	12.00

Node	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total N	Node	Base pri	Circuit pri	Total pri
11,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	19	22	3409	168	3577
11,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	16	23	3002	156	3158
11,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	3257	68	3325
11,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	4075	102	4177
11,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	21	26	2920	211	3131
11,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	29	27	2832	275	3107
11,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	18	28	3185	170	3355
12,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	23	13	3317	212	3529
12,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	16	12	3776	133	3909
12,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12	3776	73	3849
12,16	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	31	12	3776	263	4039
12,17	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	29	12	3776	247	4023
12,18	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	26	12	3776	220	3996
12,19	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	22	12	3776	195	3971
12,20	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	24	20	3516	242	3758
12,21	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	20	21	2961	214	3175
12,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	21	12	3776	182	3958
12,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	18	23	3002	183	3185
12,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	24	3257	95	3352
12,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	12	3776	65	3841
12,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	25	26	2920	248	3168
12,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	33	27	2832	312	3144
12,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	22	28	3185	207	3392
13,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	11	13	3317	92	3409
13,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	24	13	3317	256	3573
13,16	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	28	13	3317	240	3557
13,17	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	26	13	3317	224	3541
13,18	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	29	13	3317	242	3559
13,19	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	33	13	3317	282	3599
13,20	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	27	13	3317	226	3543
13,21	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	31	21	2961	275	3236
13,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	13	3317	143	3460
13,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	21	23	3002	179	3181
13,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	25	13	3317	236	3553
13,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	27	13	3317	254	3571
13,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	24	26	2920	217	3137
13,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	20	27	2832	199	3031
13,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	21	28	3185	169	3354
14,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	15	15	5082	98	5180
14,16	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	27	16	3933	243	4176
14,17	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	25	17	5082	230	5312
14,18	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	22	18	3975	198	4173
14,19	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	26	14	2910	218	3128
14,20	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	20	20	3516	185	3701
14,21	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	24	21	2961	222	3183
14,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	19	22	3409	158	3567
14,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	23	3002	117	3119
14,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	16	24	3257	131	3388
14,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	20	25	4775	168	4943
14,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	17	26	2920	164	3084
14,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	25	27	2832	228	3060
14,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	14	28	3185	116	3301
15,16	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	36	16	3933	373	4306
15,17	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	34	17	5082	360	5442
15,18	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	31	18	3975	328	4303
15,19	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	27	15	5082	208	5290
15,20	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	29	20	3516	315	3831
15,21	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	25	21	2961	287	3248
15,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	26	22	3409	268	3677
15,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	23	23	3002	256	3258

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

AA20-AX	AA20-BX	AA20-CX	AA30-AX	AF10-AX	AH20-AX	AH20-BX	AH20-CX	AH20-DX	AH30-AX	AH30-BX	AH30-CX	AH30-DX	AL10-AX
ENG_CONT_S2G_THI	ENG_CONT_S2G_THI_CNG	SUPPORT_S2G_THI_CNG	ENG_CONT_M1G_THI	FUEL_PUMP	STARTER_S2G_MT	STARTER_S2G_MT_with_PUSH	STARTER_S2G_DX	STARTER_S2G_DX_with_PUSH	STARTER_M1G_MT	STARTER_M1G_MT_with_PUSH	STARTER_M1G_DX	STARTER_M1G_DX_with_PUSH	CLUTCH_SW_LHD_with_PUSH
27.00	8.00	23.00	17.00	9.00	17.00	12.00	12.00	20.00	11.00	9.00	9.00	27.00	12.00

Node	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total N	Node	Base pri	Circuit pri	Total pri
15,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	24	3257	149	3406
15,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	25	4775	131	4906
15,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	28	26	2920	308	3228
15,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	36	27	2832	372	3204
15,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	27	28	3185	280	3465
16,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	16	3933	13	3946
16,18	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	7	18	3975	55	4030
16,19	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	13	16	3933	120	4053
16,20	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	9	20	3516	71	3587
16,21	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	15	21	2961	131	3092
16,22	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	16	22	3409	128	3537
16,23	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	15	23	3002	131	3133
16,24	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	25	24	3257	207	3464
16,25	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	27	16	3933	269	4202
16,26	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	20	26	2920	191	3111
16,27	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	27	2832	174	3006
16,28	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	19	28	3185	159	3344
17,18	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	9	18	3975	68	4043
17,19	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	15	17	5082	136	5218
17,20	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	7	20	3516	55	3571
17,21	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	13	21	2961	115	3076
17,22	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	14	22	3409	112	3521
17,23	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	17	23	3002	144	3146
17,24	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	23	24	3257	191	3448
17,25	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	25	25	4775	209	4984
17,26	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	22	26	2920	204	3124
17,27	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	27	2832	187	3019
17,28	1	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	17	28	3185	143	3328
18,19	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	8	18	3975	75	4050
18,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	20	3516	16	3532
18,21	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	10	21	2961	88	3049
18,22	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	19	18	3975	171	4146
18,23	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	10	23	3002	88	3090
18,24	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	20	24	3257	164	3421
18,25	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	22	18	3975	224	4199
18,26	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	26	2920	136	3056
18,27	1	-1	-1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	23	27	2832	212	3044
18,28	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	28	3185	104	3289
19,20	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	10	20	3516	91	3607
19,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	21	2961	16	2977
19,22	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	25	22	3409	212	3621
19,23	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	16	23	3002	151	3153
19,24	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	14	24	3257	112	3369
19,25	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	16	25	4775	130	4905
19,26	1	-1	-1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	17	26	2920	168	3088
19,27	1	-1	-1	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	25	27	2832	232	3064
19,28	1	-1	-1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	18	28	3185	156	3341
20,21	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	8	21	2961	72	3033
20,22	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	17	20	3516	158	3674
20,23	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	12	23	3002	101	3103
20,24	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	18	24	3257	148	3405
20,25	1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	20	20	3516	211	3727
20,26	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	26	2920	149	3069
20,27	1	-1	-1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	25	27	2832	225	3057
20,28	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	28	3185	88	3273
21,22	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	23	21	2961	218	3179
21,23	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	18	23	3002	164	3166
21,24	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	12	21	2961	138	3099
21,25	1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	14	21	2961	156	3117
21,26	1	-1	-1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	19	26	2920	181	3101

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

AA20-AX	AA20-BX	AA20-CX	AA30-AX	AF10-AX	AH20-AX	AH20-BX	AH20-CX	AH20-DX	AH30-AX	AH30-BX	AH30-CX	AH30-DX	AL10-AX
ENG_CONT_S2G_THI	ENG_CONT_S2G_THI_CNG	SUPPORT_S2G_THI_CNG	ENG_CONT_M1G_THI	FUEL_PUMP	STARTER_S2G_MT	STARTER_S2G_MT_with_PUSH	STARTER_S2G_DX	STARTER_S2G_DX_with_PUSH	STARTER_M1G_MT	STARTER_M1G_MT_with_PUSH	STARTER_M1G_DX	STARTER_M1G_DX_with_PUSH	CLUTCH_SW_LHD_with_PUSH
27.00	8.00	23.00	17.00	9.00	17.00	12.00	12.00	20.00	11.00	9.00	9.00	27.00	12.00

Node	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total N	Node	Base pri	Circuit pri	Total pri
21,27	1	-1	-1	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	27	27	2832	245	3077
21,28	1	-1	-1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	16	21	2961	149	3110
22,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	11	23	3002	99	3101
22,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	15	24	3257	126	3383
22,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	17	22	3409	164	3573
22,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	30	26	2920	280	3200
22,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	32	27	2832	299	3131
22,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	25	28	3185	219	3404
23,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	12	23	3002	134	3136
23,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	14	23	3002	152	3154
23,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	21	26	2920	190	3110
23,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	29	27	2832	254	3086
23,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	20	23	3002	174	3176
24,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	24	3257	37	3294
24,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	27	26	2920	272	3192
24,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	35	27	2832	336	3168
24,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	24	28	3185	231	3416
25,26	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	29	26	2920	290	3210
25,27	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	37	27	2832	354	3186
25,28	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	26	28	3185	249	3434
26,27	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	10	27	2832	76	2908
26,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	26	2920	61	2981
27,28	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	15	27	2832	137	2969

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

Max_loop = 100
Repeat n= 15
Cost_min

HMS	PAR	n	HMCR 0.70	HMCR 0.80	HMCR 0.95
10	0.1	1	58,120,765	54,836,696	56,132,910
		2	54,930,315	51,277,202	50,687,942
		3	53,010,732	52,807,807	51,551,548
		4	52,913,020	51,516,697	52,386,470
		5	60,701,657	56,132,910	48,878,662
		6	51,081,209	51,519,344	51,608,279
		7	54,059,916	56,904,995	51,608,279
		8	58,851,015	49,691,865	51,976,762
		9	57,826,976	56,438,671	55,885,710
		10	55,211,531	54,391,762	51,122,083
		11	62,049,056	53,799,982	54,654,962
		12	57,789,711	55,825,562	49,034,197
		13	47,454,515	52,607,641	53,958,902
		14	47,454,515	56,009,776	48,690,692
		15	57,627,942	52,667,597	50,942,265
	0.25	1	55,705,389	56,445,707	54,782,330
		2	55,278,513	59,216,267	51,961,046
		3	59,393,340	52,571,222	51,151,367
		4	58,808,612	51,722,514	47,401,763
		5	58,808,612	51,722,514	52,605,081
		6	55,101,316	51,461,927	50,358,589
		7	55,799,942	51,461,927	49,179,835
		8	51,381,425	51,519,875	49,179,835
		9	57,453,631	53,564,420	53,324,226
		10	54,332,062	53,801,156	50,361,190
		11	61,580,786	50,980,949	51,830,517
		12	52,471,448	52,563,699	52,196,335
		13	57,631,921	53,588,120	52,044,896
		14	56,288,464	61,185,068	50,199,645
		15	56,288,464	54,270,231	49,399,005
	0.5	1	52,605,081	54,192,885	50,614,378
		2	59,849,943	52,594,448	50,407,271
		3	60,038,135	53,323,459	55,366,843
		4	58,404,510	53,518,383	55,366,843
		5	57,404,527	60,724,908	51,735,036
		6	52,808,491	54,823,006	51,976,248
		7	55,821,976	58,167,496	49,244,450
		8	55,757,372	52,680,138	50,962,455
		9	54,461,614	52,164,501	50,260,312
		10	59,334,383	53,430,215	50,618,473
		11	58,363,551	55,886,476	49,231,946
		12	58,363,551	48,918,685	51,779,189
		13	55,257,302	51,120,414	49,517,216
		14	58,370,665	57,782,383	51,342,157
		15	58,370,665	49,639,819	51,342,157

Max_loop = 100
Repeat n= 15
Running time

HMS	PAR	n	HMCR 0.7	HMCR 0.8	HMCR 0.95
10	0.1	1	26.3	32.67	29.73
		2	31.93	32.76	33.96
		3	32.73	35.16	33.42
		4	34.24	33.84	33.59
		5	34.26	33.26	33.77
		6	31.98	38.44	43.01
		7	26.18	41.56	38.83
		8	29.39	43.27	37.57
		9	32.21	43.98	37.33
		10	31.73	43.7	40.29
		11	32.6	44.07	39.45
		12	35.58	42.63	44.16
		13	32.21	43.34	40.95
		14	35.97	41.26	40.62
		15	41.12	41.79	39.47
	0.25	1	26.83	45.18	39.56
		2	32.5	44.41	41.48
		3	32.39	44.12	42.38
		4	45.04	46.18	48.44
		5	44.59	44.41	44.74
		6	39.87	40.39	37.75
		7	36.93	40.86	37.5
		8	37.47	41.56	37.75
		9	39.11	40.86	37.8
		10	37.46	41.07	37.8
		11	39.92	40.43	37.51
		12	42.39	37.93	37.58
		13	40.88	37.67	37.55
		14	39.78	37.64	37.7
		15	40.95	37.75	37.8
	0.5	1	44.77	41.71	39.11
		2	43.37	42.43	41.62
		3	46.8	42.03	37.08
		4	43.62	39.05	41.31
		5	41.25	41.42	39.45
		6	37.66	37.92	38.02
		7	37.64	37.97	37.77
		8	37.45	37.92	37.94
		9	37.34	37.83	37.9
		10	37.62	37.92	37.75
		11	37.67	37.94	37.75
		12	37.61	37.95	37.72
		13	38.62	37.92	39.09
		14	37.89	37.94	39.36
		15	37.82	37.95	39.22

Max_loop = 100
Repeat n= 15
P/N remain

HMS	PAR	n	HMCR 0.7	HMCR 0.8	HMCR 0.95
10	0.1	1	16	17	16
		2	14	15	17
		3	15	13	16
		4	15	16	16
		5	16	16	13
		6	16	13	16
		7	16	16	11
		8	16	15	15
		9	15	15	15
		10	14	12	18
		11	19	17	14
		12	15	14	13
		13	13	17	15
		14	15	17	16
		15	15	17	12
	0.25	1	18	17	15
		2	18	18	18
		3	18	17	16
		4	17	15	18
		5	18	15	17
		6	18	16	15
		7	19	16	16
		8	16	16	16
		9	17	16	15
		10	16	18	14
		11	17	15	15
		12	13	15	13
		13	16	15	16
		14	17	15	13
		15	17	16	13
	0.5	1	15	15	15
		2	15	16	15
		3	18	15	16
		4	16	18	18
		5	16	18	15
		6	16	14	13
		7	17	15	14
		8	14	16	16
		9	16	14	14
		10	15	17	14
		11	17	15	14
		12	14	15	14
		13	13	15	15
		14	17	16	16
		15	15	13	15

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

Max_loop = 100
Repeat n= 15
Cost_min

HMS	PAR	n	HMCR 0.70	HMCR 0.80	HMCR 0.95
50	0.1	1	57,677,742	61,763,099	58,736,360
		2	59,263,143	62,996,982	60,063,712
		3	55,524,022	62,121,440	55,415,180
		4	56,095,395	59,884,255	62,782,137
		5	59,751,529	59,737,498	62,697,707
		6	56,905,579	57,594,906	56,731,049
		7	61,524,214	61,250,587	58,920,704
		8	58,997,076	59,550,785	58,566,629
		9	63,240,312	64,769,786	56,748,049
		10	59,189,465	59,627,498	55,706,078
		11	57,448,163	55,308,532	57,775,481
		12	63,512,267	57,887,475	59,080,240
		13	63,567,870	62,788,143	60,805,383
		14	56,575,121	60,131,481	57,639,357
		15	61,958,144	64,632,155	61,740,858
	0.25	1	55,956,741	60,791,442	53,677,583
		2	62,805,882	61,376,512	57,598,580
		3	62,355,128	57,692,797	59,975,801
		4	57,534,289	57,168,757	58,420,023
		5	59,662,132	65,492,904	56,783,180
		6	55,384,101	52,899,185	59,413,155
		7	61,335,881	59,378,459	57,668,846
		8	58,392,125	64,443,537	58,195,252
		9	65,258,840	62,492,152	59,327,796
		10	57,355,824	62,755,632	59,176,733
		11	63,888,184	59,865,674	57,575,583
		12	64,904,595	58,848,843	56,863,790
		13	65,043,832	63,061,645	56,712,312
		14	64,311,109	61,276,533	64,126,554
		15	60,739,170	56,479,965	57,931,380
	0.5	1	62,501,706	56,747,209	58,834,218
		2	57,843,742	61,387,017	57,907,418
		3	66,689,788	65,797,245	63,055,841
		4	60,095,446	60,833,139	59,559,222
		5	63,624,174	60,880,031	57,344,486
		6	61,973,592	64,169,426	59,506,794
		7	57,084,624	60,241,883	59,378,436
		8	53,031,543	63,085,090	60,288,534
		9	63,033,558	57,825,186	61,880,992
		10	61,434,309	63,248,659	57,469,104
		11	63,608,835	57,224,879	54,314,867
		12	58,688,977	55,055,788	58,322,532
		13	58,043,504	58,029,065	56,542,617
		14	58,065,110	53,134,721	57,424,008
		15	58,563,605	60,649,813	61,741,562

Max_loop = 100
Repeat n= 15
Running time

HMS	PAR	n	HMCR 0.7	HMCR 0.8	HMCR 0.95
50	0.1	1	40.43	55.57	55.16
		2	37.71	55.52	55.36
		3	37.94	55.55	55.01
		4	39.69	55.52	55.21
		5	39.43	54.18	55.27
		6	53.52	54.01	55.02
		7	53.26	54.01	55.07
		8	53.4	54.02	55.38
		9	55.03	53.96	54.97
		10	56.63	53.74	55.21
		11	55.49	53.99	54.88
		12	55.25	53.93	54.89
		13	55.29	53.3	55.25
		14	55.55	53.6	55.02
		15	55.5	53.66	55.41
	0.25	1	55.08	55.15	51.12
		2	54.87	54.97	51.2
		3	54.7	54.77	51.03
		4	54.97	55.19	51.23
		5	55.05	54.84	51.09
		6	54.84	55.11	51.17
		7	55.08	54.75	50.96
		8	54.77	54.86	51.29
		9	54.74	54.8	51.18
		10	54.64	54.62	51.23
		11	55.21	54.72	51.25
		12	54.8	51.31	51.36
		13	55.04	51.25	51.31
		14	54.7	51.12	51.11
		15	54.85	51.36	51.18
	0.5	1	38.62	42.9	43.3
		2	51.25	45.39	45.57
		3	51.15	45.68	45.94
		4	51.42	44.68	45.48
		5	51.26	45.6	44.8
		6	51.11	45.63	46.1
		7	47.9	45.86	45.19
		8	33.49	40.7	44.38
		9	42.79	45.43	42.11
		10	44.29	45.66	45.72
		11	45.13	45.68	46.16
		12	46.08	45.79	37.13
		13	46.32	46.08	39.47
		14	46.69	45.46	45.46
		15	46.71	42.79	44.57

Max_loop = 100
Repeat n= 15
P/N remain

HMS	PAR	n	HMCR 0.7	HMCR 0.8	HMCR 0.95
50	0.1	1	17	14	16
		2	14	16	16
		3	15	16	17
		4	15	17	17
		5	15	13	18
		6	15	15	15
		7	16	17	15
		8	15	16	14
		9	19	14	16
		10	15	17	16
		11	15	16	14
		12	16	15	14
		13	16	17	14
		14	16	14	14
		15	16	17	17
	0.25	1	15	16	15
		2	17	15	18
		3	15	16	12
		4	13	17	14
		5	18	15	14
		6	16	16	17
		7	17	17	13
		8	16	17	15
		9	17	17	18
		10	15	16	15
		11	15	17	16
		12	16	15	16
		13	18	16	17
		14	18	18	18
		15	16	15	15
	0.5	1	15	14	18
		2	17	17	16
		3	16	17	17
		4	17	17	13
		5	17	15	16
		6	17	20	16
		7	17	17	16
		8	15	17	14
		9	14	16	16
		10	17	15	17
		11	17	18	16
		12	17	17	16
		13	16	15	16
		14	15	16	16
		15	16	17	17

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

Max_loop = 100
Repeat n= 15
Cost_min

HMS	PAR	n	HMCR 0.70	HMCR 0.80	HMCR 0.95
100	0.1	1	61,996,975	64,673,765	62,693,079
		2	64,863,782	63,875,004	61,640,743
		3	61,736,257	59,580,572	60,631,474
		4	62,704,913	59,434,133	61,141,014
		5	62,134,696	61,912,205	60,912,227
		6	58,567,726	63,372,321	62,844,094
		7	60,831,339	60,785,415	55,102,611
		8	68,031,042	65,175,531	62,581,470
		9	57,036,240	65,034,171	62,564,244
		10	63,350,716	65,305,589	61,136,796
		11	66,200,273	63,178,620	59,075,737
		12	65,958,702	63,469,539	66,367,280
		13	64,856,001	65,807,366	60,239,986
		14	61,099,723	66,094,684	60,239,986
		15	62,913,345	60,479,217	56,427,517
	0.25	1	61,358,760	58,641,071	62,983,499
		2	63,132,276	64,544,315	61,123,821
		3	62,488,441	61,204,210	63,677,494
		4	63,350,669	60,828,435	61,209,812
		5	63,774,815	65,150,512	60,357,531
		6	64,281,226	62,489,806	63,387,573
		7	65,643,593	60,813,668	61,534,910
		8	61,537,834	67,550,928	59,896,571
		9	61,644,244	61,213,798	59,896,571
		10	58,333,657	67,896,185	59,790,706
		11	56,284,730	62,135,761	62,345,062
		12	61,681,182	62,206,814	62,884,737
		13	64,745,979	58,183,855	61,897,859
		14	64,421,577	66,018,486	60,720,974
		15	62,184,951	62,438,937	62,096,970
	0.5	1	63,766,047	61,292,998	55,264,218
		2	57,204,094	62,756,629	61,564,044
		3	58,383,624	58,582,020	57,999,718
		4	58,178,904	65,186,786	59,478,220
		5	66,124,075	62,363,300	59,806,752
		6	61,238,509	61,169,050	59,127,725
		7	61,804,436	63,537,588	57,136,021
		8	61,584,097	65,014,562	63,249,335
		9	65,460,071	61,556,669	59,529,791
		10	65,460,071	60,718,958	60,075,181
		11	59,202,407	63,456,760	58,855,314
		12	63,881,112	60,312,329	64,696,622
		13	57,933,639	57,562,517	60,315,357
		14	63,639,450	63,241,278	64,386,944
		15	58,067,840	64,471,693	62,804,917

Max_loop = 100
Repeat n= 15
Running time

HMS	PAR	n	HMCR 0.7	HMCR 0.8	HMCR 0.95
100	0.1	1	54.2	52.02	68.42
		2	59.22	59.41	71.25
		3	61.32	60.23	71.07
		4	60.86	58.83	70.96
		5	62.23	59.29	70.89
		6	61.82	68.25	71.21
		7	59.92	68.25	71.07
		8	61.56	68.5	71.51
		9	56.8	68.61	71.09
		10	58.39	68.28	71.07
		11	61.73	68.36	70.98
		12	61.21	69.83	70.95
		13	61.87	70.84	71.29
		14	63.01	71.14	71.04
		15	60.78	71.21	71.21
	0.25	1	67.98	62.86	52.62
		2	71.14	56.32	54.79
		3	79.99	56.05	54.84
		4	71.94	54.93	56.7
		5	71.82	63.04	55.78
		6	71.32	55.11	61.48
		7	71.48	57.67	54.84
		8	71.59	64.51	58.91
		9	71.21	63.49	62.27
		10	71.38	54.62	56.8
		11	71.39	53.26	60.78
		12	71.98	61.52	58.8
		13	57.67	60.44	55.92
		14	57.27	62.13	55.47
		15	58.88	64.04	57.08
	0.5	1	52.99	52.45	68.75
		2	58.05	52.62	71.12
		3	64.91	62.52	71.07
		4	58.27	62.29	82.62
		5	64.22	62.55	70.92
		6	62.14	68.62	71.03
		7	60.25	70.9	69.09
		8	59.53	70.76	68.98
		9	64.19	84.8	56.43
		10	56.75	70.92	56.39
		11	60.8	68.58	68.8
		12	53.77	70.95	71.42
		13	64.73	68.89	71.23
		14	55.1	68.9	74.12
		15	54.74	71.2	70.62

Max_loop = 100
Repeat n= 15
P/N remain

HMS	PAR	n	HMCR 0.7	HMCR 0.8	HMCR 0.95
100	0.1	1	18	16	18
		2	17	18	15
		3	18	15	16
		4	18	17	18
		5	18	14	16
		6	16	15	14
		7	19	13	16
		8	18	17	17
		9	17	18	16
		10	16	16	16
		11	18	13	17
		12	18	16	17
		13	14	15	16
		14	15	15	16
		15	15	15	16
	0.25	1	16	17	16
		2	16	19	18
		3	15	17	18
		4	17	15	16
		5	16	15	17
		6	16	16	16
		7	16	16	17
		8	16	17	16
		9	18	16	17
		10	14	17	18
		11	18	15	16
		12	16	15	17
		13	20	15	18
		14	18	15	17
		15	17	18	14
	0.5	1	17	17	17
		2	15	16	15
		3	14	18	15
		4	15	18	16
		5	17	16	15
		6	15	18	18
		7	17	16	18
		8	16	17	18
		9	18	16	17
		10	15	16	15
		11	15	17	15
		12	17	18	18
		13	17	18	16
		14	17	16	18
		15	16	16	17

ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบชุดสายไฟ (ต่อ)

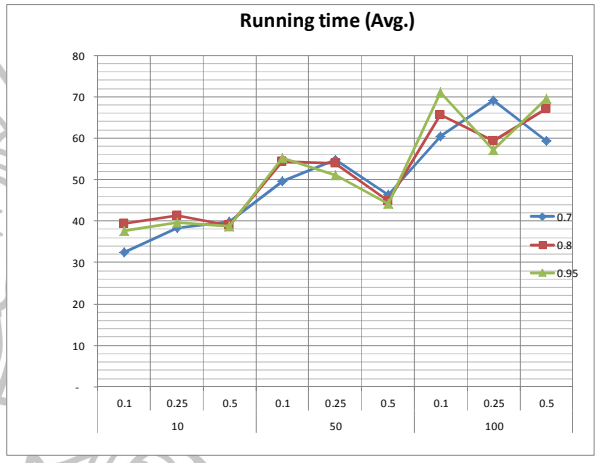
Summary

Cost_Min (Avg.)

HMS	PAR	HMCR		
		0.7	0.8	0.95
10	0.1	55,272,192	53,761,900	51,941,311
	0.25	55,111,167	53,869,168	51,851,272
	0.5	57,014,118	53,931,148	51,317,665
50	0.1	59,415,336	60,669,641	58,893,928
	0.25	60,995,189	60,268,269	58,229,771
	0.5	60,285,501	59,887,277	58,904,709
100	0.1	62,818,782	63,211,875	60,906,551
	0.25	62,324,262	62,754,452	61,586,939
	0.5	61,461,892	62,081,542	60,286,011

Running time (Avg.)

HMS	PAR	HMCR		
		0.7	0.8	0.95
10	0.1	33	39	38
	0.25	38	41	40
	0.5	40	39	39
50	0.1	50	54	55
	0.25	55	54	51
	0.5	46	45	44
100	0.1	60	66	71
	0.25	69	59	57
	0.5	59	67	70

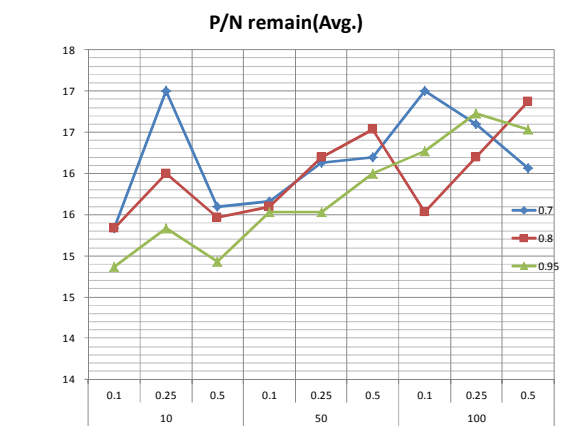


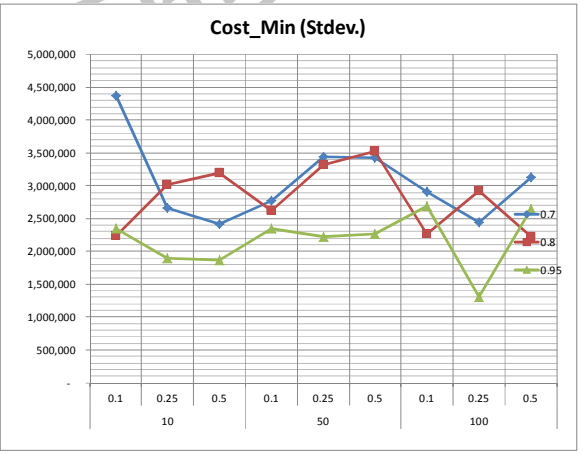
P/N remain (Avg.)

HMS	PAR	HMCR		
		0.7	0.8	0.95
10	0.1	15	15	15
	0.25	17	16	15
	0.5	16	15	15
50	0.1	16	16	16
	0.25	16	16	16
	0.5	16	17	16
100	0.1	17	16	16
	0.25	17	16	17
	0.5	16	17	17

Cost_Min (Stdev.)

HMS	PAR	HMCR		
		0.7	0.8	0.95
10	0.1	4,365,516	2,232,549	######
	0.25	2,655,613	3,010,563	######
	0.5	2,415,832	3,188,428	######
50	0.1	2,769,131	2,620,078	######
	0.25	3,434,844	3,317,131	######
	0.5	3,424,422	3,517,506	######
100	0.1	2,901,083	2,264,313	######
	0.25	2,446,506	2,927,186	######
	0.5	3,131,049	2,223,805	######





ภาคผนวก ง

บทความการนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการนานาชาติ

Automotive Wiring Harness Complexity Management Using Harmony Search Algorithm

Peerawat Nasok[1*], Pattrawach Tharawachcharak[1], Choosak Pornsing[1], and Apichat Soonthornwipat [2]

[1]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000 Thailand.
[2]Mitrphol Bio-Power (DC) Co.,Ltd., Suphanburi 72180 Thailand.
[*]Corresponding author: aumpeerawat@hotmail.com

Abstract

Electronic devices in motor vehicles such as radio, GPS, back camera and other cutting-edge technologies are put to new vehicles more than before. It does not only affect the complexity of assemblies and sub-assembly design, such as auto wiring harness sets, but also the costs of the whole value chain of the industry. The problem at hand is how to design the common wiring harnesses which cover all of design requirements while could maintain the whole value chain costs at minimum level. Accordingly, this paper proposes an application of Harmony Search (HS) algorithm which is categorized in a group of artificial intelligence techniques. The study starts with review all relevant design requirements, manufacturing costs, and supply chain costs. The problem is formulated with the objective of minimizing the total manufacturing and supply chain costs. Then, a customized HS is designed and coded on VBA package. The computational experiment which the data are drawn from the real situation of the design center of a car-maker company is conducted. The results show that the Discrete HS is a useful tool in the design phase to cope with complexity of product of the sample company. The algorithm is coded in VBA in Excel® that is easy to use to the staff and no cost is added to the sample company.

Keywords: design complexity, optimization, harmony search, artificial intelligence

Introduction

As the furious competition in automotive market, car makers are faced the problem of how to serve customers' needs in all segments. This requirement brings the car makers to provide a wide variety of vehicles to customers in all segments and sub-segments. As a result, the car makers confront with the complexity management in all their business processes. One of the complexity management issues that presents in this circumstance is product complexity management. Product complexity relates to the variety of and within the products or services the company offers to customers (Stephen

and Perumal, 2009). The product complexity problem can be managed by carefully designing in design phase (Pasche, 2008).

A sample company is a car maker who owns a design center in Thailand. The company's responsibility is to design automotive wiring harness sets for all models that sold in this region. The automotive wiring harness is the main part of the vehicle electronic circuit network. The main components consist of connectors, wires, outer packages, and other cable ties. Fig. 1 shows the general form of automotive wiring harness set that contains of main components, clamps, cable lacing, sleeves, and electrical tape. The wiring harness serves the following functions: (i) the correct transmission of electrical signals, (ii) ensure that the connection is reliable in all working conditions, (iii) supply of the designed current value to the devices, and (iv) prevention of electromagnetic interference to the surrounding circuits while excluding electrical short circuit (giveaway).

In design phase, the automotive wiring harness designers have to design the common wiring harness sets that serve all vehicle models while other relevant costs are minimized. In the case of utmost peculiar sets (1 type of wiring harness set per 1 car model), the cost of production is raised while the cost part acquiring is lessened. For example, there are 3 car models, 2 types of gearbox, 2 types of brake systems, and 4 types of airbags, in case of utmost peculiar sets, we need to design 3×2×2×4×6 = 288 wiring harness sets. In this study, the cost of production concerns to assembly cost (giveaway cost) and quality control cost. The cost of part acquiring concerns to purchase cost (because the price of part is lower for larger order quantity) and inventory management cost. In the past, the sample company deploys the expertise of design supervisor in order to make decision that how many common wiring harness sets should have been designed. Moreover, no one knows the actual optimum number of common sets and how much the total cost is. Accordingly, in this study, we are interested in developing a decision support tool for the automotive wiring harness design department to support the design engineers who need to make decision on this matter.

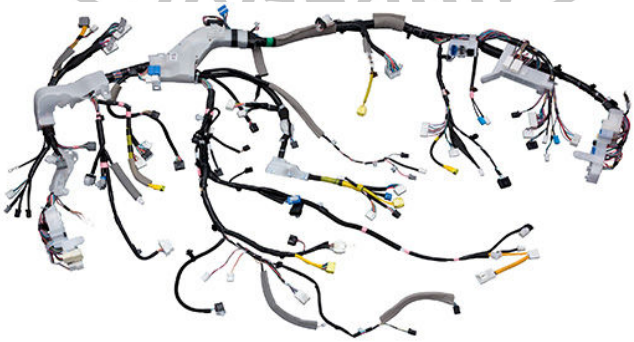


Figure 1 Automotive Wiring Harness

Resource: www.sws.co.jp

Objectives

1. To design a decision support tool in order to support design engineers in a sample company who need to make a decision on a number of common automotive wiring harness sets designing.

2. To show how to apply the state-of-the art artificial intelligence method—harmony search algorithm—in the circumstance of the study.

Significance of the Study

1. This study first introduces the harmony search algorithm in complexity management in the circumstance of automotive wiring harness design.

2. The output of the study yields the sample company the decision support tool that can be deployed incorporate with the expertise of design engineers and supervisor in order to make a good decision in design phase.

Research Methodology

The study starts with collecting all relevant costs both in production and acquiring. The production cost, i.e. giveaway cost, can be illustrated by an example next. Suppose we need to design a wiring harness set that cover all functions for 3 car models as shown in Fig. 2. The GL-Spec-1 is the top model among the three models. In automotive assembly production, we need to giveaway of some functions for the lower models. For example, we need to giveaway functions of Fuel Lid, PDrLicks-Ps, and PWindows for production of LX-Spec-1. This giveaway costs our production because the operators need to cut, modify, and re-tie the wiring harness set before using in automotive assembly production line. Nonetheless, in case of acquiring cost, we can save the ordering cost on the common wiring harness set because we can order a supplier as a larger quantity of wiring harness sets (as a mass production concept). On the other side, three peculiar wiring harness sets much cost us on acquiring cost and inventory management cost because we need to control 3 stock keeping units in our inventory. However, it saves us on giveaway cost significantly.

The year of the study, the company faced the complexity problem of 87 functions of automotive wiring harness which are divided into 37 function groups for 28 car models (includes sub-models). The combinations may explode to 90,132 peculiar wiring harness sets (due to the limited space of this paper, we omitted to describe the problem at hand in details). Obviously, the human decision could not consider all combinations in order to find good sets of common wiring harness sets which yield the lowest total cost. Accordingly, we deployed a harmony search algorithm for this problem.

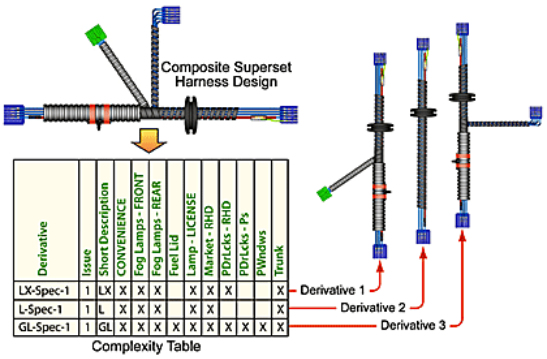


Figure 2 Example of the variant of automotive wiring harness

Resource: www.embedded.com

Harmony Search (HS) algorithm was first introduced by Geem et al. (2000). It mimics the improvisation process of music players. Fig. 2 shows the structure of the harmony memory (HM) that is the core part of the HS (Lee and Geem, 2005). There are three instruments: guitar, double bass, and trumpet. There existing certain amount of preferable pitches in each musician's memory: guitar, {Do, Mi, Sol}; double bass, {Re, Mi, Sol}; trumpet, {La, Si, Sol}. If the guitarist randomly plays {Do} out of the memory {Do, Mi, Sol}, double bassist {Sol} out of the memory {Re, Mi, Sol}, and trumpet player {Si} out of {La, Si, Sol}, that makes the new memory of (Di, Sol, Si). And if the new memory yields better solution than the existing memory in the HM, the new memory is included in the HM and the worst harmony is discarded from the HM. This is analogous to an optimization problem that represent in vector of variables and solutions, as shown in Fig 2. The procedure is repeated until certain termination criterion is satisfied. The general procedure of HS consists of steps 1-5, as follows:

Step 1: Initialize the optimization problem and algorithm parameters.

Step 2: Initialize the harmony memory (HM).

Step 3: Improvise a new harmony memory for the HM.

Step 4: Update the HM.

Step 5: Repeat step 3 and 4 until the termination criterion has been satisfied.

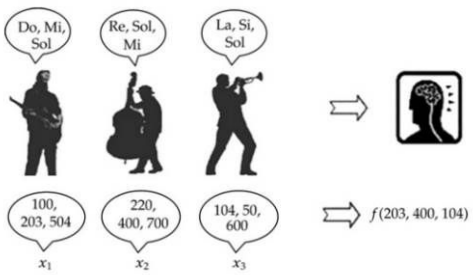


Figure 2 Structure of Harmony Memory in HS Algorithm

Resource: www.mathworks.com

The problem at hand falls in unconstrained optimization problem which can be formulated as,

$$\min_{x} f(x) \tag{1}$$

where $x \in \mathbb{R}^n$ is a real vector with $n \geq 1$ components (Nocedal and Wright, 2006). However, the natural constraints are the upper bound and lower bound of each decision variables. Thus, it can be expressed as,

$$\min f(x) \quad \text{subject to } x_i \in X_i, \quad \forall i \in \{1,2,..,N\} \tag{2}$$

Where $f(x)$ is the objective function, x is the set of each decision variable (x_i); X_i is the set of the possible range of values for each design variable, that is $x_{i,lo} \leq X_i \leq x_{i,up}$, where $x_{i,lo}$ and $x_{i,up}$ are the lower and the upper bounds for each decision variable; and N is the number of design variables. The harmony memory can be expressed as a matrix, as shown in (3)

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \cdots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \tag{3}$$

To improvise the new harmony, it needs to execute on three rules: (i) memory consideration, (ii) pitch adjustment, and (iii) random selection. The memory consideration is a method of new vector generating (x_1') which is chosen from any value in the specified HM range ($x_1' - x_1^{HMS}$). Value of other decision variables ($x_2', \ldots, x_N'$) are chosen in the same manner. The parameter that need to be predefined in this step is harmony memory consideration rate (HMCR). It must be varies between 0 and 1. While HMCR is the rate of choosing one value from the historical values stored in the HM, the (1-HMCR) is the rate of randomly selecting one value from the possible range of values.

$$x_i' \leftarrow \begin{cases} x_i' \in \{x_i^1, x_i^2, \ldots, x_i^{HMS}\} & \text{with probability HMCR} \\ x_i' \in X_i & \text{with probability (1-HMCR)} \end{cases} \tag{4}$$

Then, the pitch adjustment rule, this operation employs the pitch adjusting rate (PAR) parameter, as shown below,

$$\text{Pitch adjusting decision for } x_i' \leftarrow \begin{cases} \text{Yes with probability of PAR} \\ \text{No with probability of (1-PAR)} \end{cases} \tag{5}$$

If the pitch adjustment decision for x_i' is Yes, then it is replaced as follows:

$$x_1' \leftarrow x_i' \pm r \cdot bw \tag{6}$$

where bw is an arbitrary distance bandwidth, r is a random number generated using uniform distribution between 0 and 1.

Finally, the random selection is applied to each variable of the new harmony vector in turn. If the new harmony vector is better than the worst harmony in the HM, in term of objective function, the new harmony is counted into the HM and discards the worst one.

The algorithm was coded in VBA and executed on Windows 8 operating system with 1.7 GHz, core i5 CPU and 8 GB of RAM. The data test was drawn from real data of the sample company. Due to the confidential information, the detailed description of the data is not permitted.

Results

The case simulation was conducted on a number of combinations of relevant parameters: HMS (10, 50, 100), PAR (0.1, 0.25, 05), and HMCR (0.7, 0.8, 0.95), in order to find a good combination for the case problem. Each of combination was run 15 times with 1,000 iterations for comparing the average of them. The results are shown in Table 1.

The best combination is written in bold, at cost of 51,317,665 baht, under the combination of 10 of HMS, 0.5 of PAR, and 0.95 of HMCR. Then, by using this combination to find the best one, we executed it again for 15 times to get the best result. It is found that the best design was 10 part number of wiring harness sets. It came up with a cost of 43,127,184.86 baht and running time of 8.312 min.

Discussions

The cost of complexity management that got from HS algorithm was compared to current situation of the sample company. The technique the company applies is using expertise of design supervisor and design engineer. Because they neglect the cost of giveaway and focus on only part acquiring (cheaper by the dozen), they propose 5 wiring harness sets for all car models.

Table 1 Minimum Cost of Automotive Wiring Harness Design Using HS Algorithm

HMS	PAR	HMCR		
		0.7	0.8	0.95
10	0.1	55,272,192[1]	53,761,900	51,941,311
	0.25	55,111,167	53,869,168	51,851,272
	0.5	57,014,118	53,931,148	**51,317,665**
50	0.1	59,415,336	60,669,641	58,893,928
	0.25	60,995,189	60,268,269	58,229,771
	0.5	60,285,501	59,887,277	58,904,709
100	0.1	62,818,782	63,211,875	60,906,551
	0.25	62,324,262	62,754,452	61,586,939
	0.5	61,461,892	62,081,542	60,286,011

[1] in Baht

However, if we deploy the cost function which consider all relevant costs: part acquiring, giveaway cost, supply chain cost, etc. The cost that the design team generated was 46,549,814 baht. Obviously, the HM can lessen the total cost more than 7.35%. Furthermore, this decision support tool had no cost to the company since it can be added to a personal computer in the company.

Suggestions

Though, this design project did not consider some engineering constrains which may occur. For example, some giveaway functions may not be allowed in the technique because it might cause on other electronic devices work improperly. As a result, we plan to conduct further research to apply the HM on constrained optimization problem for this matter.

Conclusions

This research proposed a decision support tool that deployed the state-of-the art technology of artificial intelligence, harmony search algorithm. The concept of automotive wiring harness set design was described. In the past, the design engineers spent much time to design the best combinations of wiring harness sets. Owing to its complexity, it was suitable to make use of the decision support tool. The method of customizing the harmony search algorithm for this problem has been illustrated. The results of the experiment showed that the harmony search algorithm was an effective tool saving the company cost as much as 7.35% by comparing the current method.

Acknowledgment

The authors would like to thank the supervisor, engineers, and staff for their contributions to this research project. We also thank the anonymous reviewer for their recommendations.

References

Geem, Z.W., Kim, J.H., and Loganathan, G.V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation*, *76*(2), 60-68.

Hobday, M. (1998). Product complexity, innovation and industrial organization. *Research Policy*, 26, 689-720.

Lee, K.S. and Geem, Z.W. (2005). A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194, 3902-3922.

Nocedal, J. and Wright, S.J. (2006) *Numerical Optimization* (2nd ed.). New York, NY: Springer.

Pasche, M. (2008). PRODUCT COMPLEXITY REDUCTION–NOT ONLY A STRATEGY ISSUE. In Linköping Electronic Conference Proceedings.

Stephen, S.A. and Perumal, A.: Waging War on Complexity Cost. McGraw-Hill, New York (2009).

ภาคผนวก จ

การพัฒนาตนเอง

ผู้ทำวิจัยได้เข้าร่วมการประชุมวิชาการและได้นำเสนอผลงานวิจัยที่จัดขึ้นในระหว่างปี 2558 – 2559 ทั้งหมด 2 การประชุมวิชาการดังนี้

1. การประชุมวิชาการด้านการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 6 โดยจัดขึ้นวันที่ 12 พฤษภาคม 2558

2. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชื่น ครั้งที่ 3 ปี 2559 โดยจัดขึ้นวันที่ 26 พฤษภาคม 2559

โดยมีรายละเอียดดังนี้

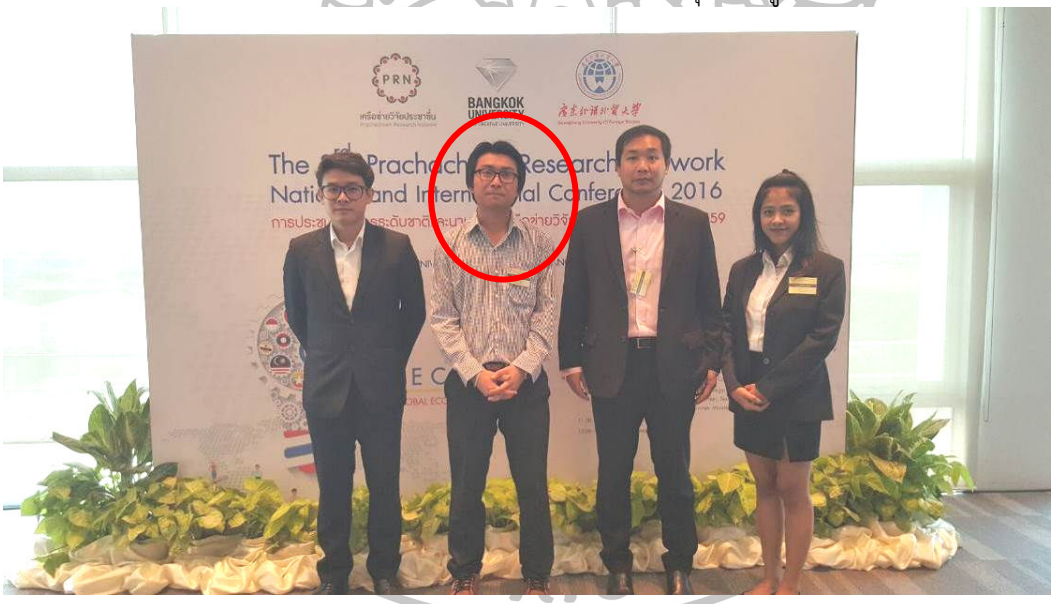
1. การประชุมวิชาการด้านการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 6 วันที่ 12 พฤษภาคม 2558 ณ โรงแรม รามาการ์เด้นส์ กรุงเทพฯ เวลา 08.30 – 16.30 น.

CIOD 2015::Conference on Industrial Operations Development 2015

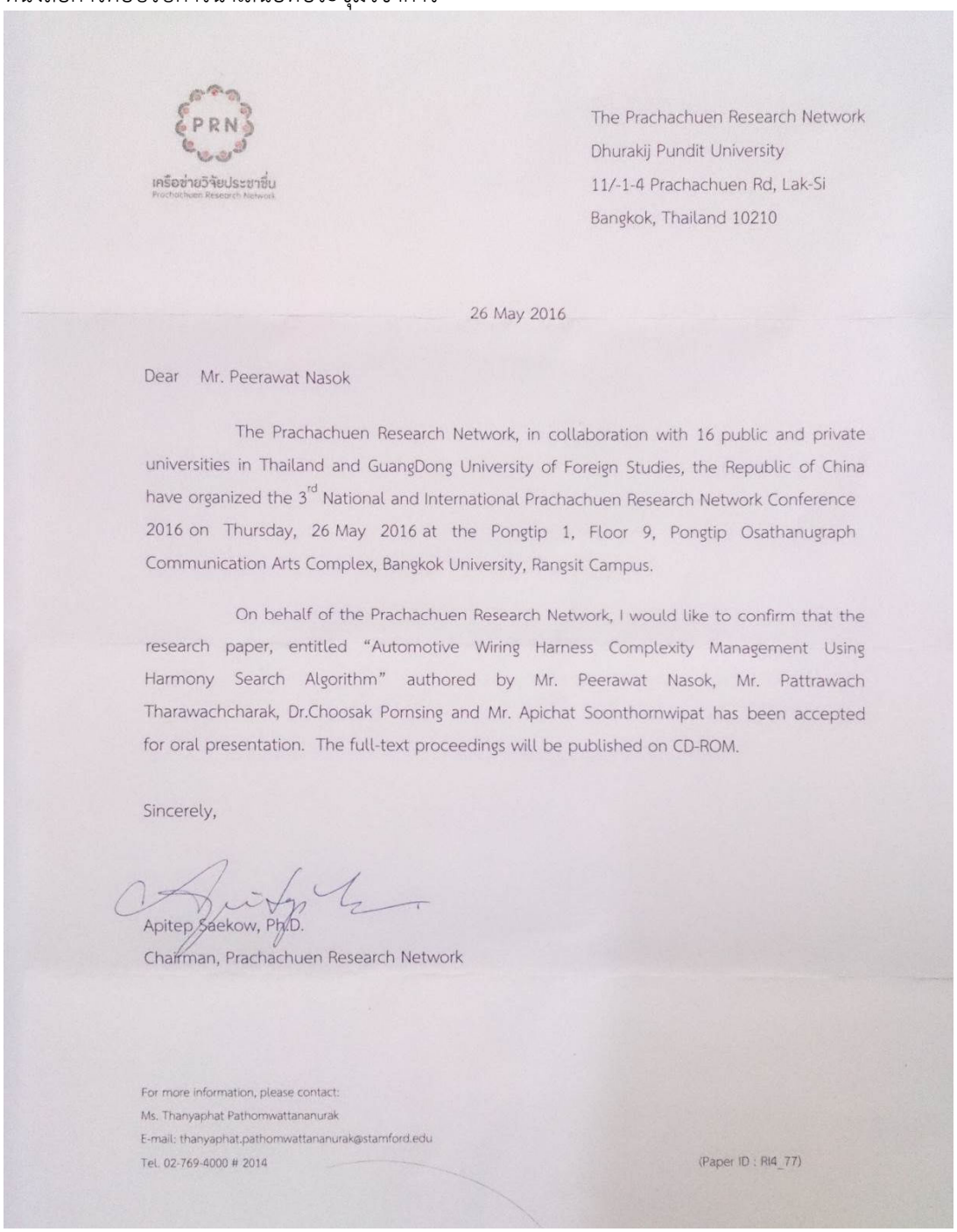
จัดโดยภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

2. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชื่น ครั้งที่ 3 ปี 2559 โดยจัดขึ้นวันที่ 26 พฤษภาคม 2559 ณ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ศูนย์รังสิต

จัดโดยสถาบันส่งเสริมการวิจัยและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ศูนย์รังสิต



หนังสือการตอบรับการนำเสนอที่ประชุมวิชาการ



PRN
เครือข่ายวิจัยประชาชื่น
Prachachuen Research Network

The Prachachuen Research Network
Dhurakij Pundit University
11/-1-4 Prachachuen Rd, Lak-Si
Bangkok, Thailand 10210

26 May 2016

Dear Mr. Peerawat Nasok

The Prachachuen Research Network, in collaboration with 16 public and private universities in Thailand and GuangDong University of Foreign Studies, the Republic of China have organized the 3rd National and International Prachachuen Research Network Conference 2016 on Thursday, 26 May 2016 at the Pongtip 1, Floor 9, Pongtip Osathanugraph Communication Arts Complex, Bangkok University, Rangsit Campus.

On behalf of the Prachachuen Research Network, I would like to confirm that the research paper, entitled "Automotive Wiring Harness Complexity Management Using Harmony Search Algorithm" authored by Mr. Peerawat Nasok, Mr. Pattrawach Tharawachcharak, Dr.Choosak Pornsing and Mr. Apichat Soonthornwipat has been accepted for oral presentation. The full-text proceedings will be published on CD-ROM.

Sincerely,

Apitep Saekow, Ph.D.
Chairman, Prachachuen Research Network

For more information, please contact:
Ms. Thanyaphat Pathomwattananurak
E-mail: thanyaphat.pathomwattananurak@stamford.edu
Tel. 02-769-4000 # 2014

(Paper ID : RI4_77)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายพีรวัส นาโสก
ที่อยู่	588/138 หมู่บ้านราชพฤกษ์ ถ.ทหัยราษฎร์ แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร 10510
ที่ทำงาน	บริษัท นิสสัน เอเชียมอเตอร์ แปซิฟิค จำกัด
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2549	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2558	ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2549 – 25557	บริษัท เอปสัน พรีซิชั่น จำกัด ตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมกระบวนการ
พ.ศ. 2557 – ปัจจุบัน	บริษัท นิสสัน เอเชียมอเตอร์ แปซิฟิค จำกัด ตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายออกแบบและพัฒนา

มหาวิทยาลัยศิลปากร