

การออกแบบโมดูลาร์สำหรับสร้างโมดูลเครื่องจักรด้วยวิธีค่าความสัมพันธ์การ  
เชื่อมโยง วิธีการวิเคราะห์การเกิดซ้ำ และสัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต

MODULAR DESIGN FOR MACHINE-MODULE DEVELOPING WITH  
CONNECTION CORRELATION METHOD, REPEATING ANALYSIS  
METHOD and SILHOUETTE COEFFICIENTS



ทงศักดิ์ คงสินธุ์  
TANONGSAK KONGSIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2565

KMITL-2023-EN-D-218-023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODULAR DESIGN FOR MACHINE-MODULE DEVELOPING WITH CONNECTION  
CORRELATION METHOD, REPEATING ANALYSIS METHOD and SILHOUETTE  
COEFFICIENTS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABAN  
2022  
KMITL-2023-EN-D-218-023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโมดูลาร์สำหรับสร้างโมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมโยง วิธีการวิเคราะห์การเกิดซ้ำ และสัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต
นักศึกษา	นายทงศักดิ์ คงสินธุ์
รหัสนักศึกษา	60601194
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาการจัดกลุ่มชิ้นส่วนเครื่องจักรให้เป็นโมดูลที่ส่งผลต่อกระบวนการออกแบบ ซึ่งเครื่องจักรที่ผ่านวิธีโมดูลาร์สามารถผลิตได้ง่ายกว่าไม่ผ่านวิธีโมดูลาร์ การศึกษานี้ได้สร้างเมทริกซ์ความคล้ายและความแตกต่างของชิ้นส่วนที่พัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกด้วยแนวคิดใหม่จากการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ Connection Correlation Method (CCM) ของชิ้นส่วน จากนั้นวิเคราะห์การเชื่อมโยงด้วย Complete Linkage หรือ Single Linkage เพื่อสร้าง Dendrograms และเพื่อลดไบเอดจากนักออกแบบในการเลือกจำนวนโมดูล (k-value) จึงนำเสนอวิธีการใหม่ 2 วิธี คือ วิธีการวิเคราะห์การเกิดซ้ำ และ สัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต เพื่อเลือกค่า k-value แทนนักออกแบบ โดยมีผลลัพธ์ 1) เครื่องผสมดิน 75 ชิ้น มีโมดูลได้ 4 โมดูล โดยวิธี CCM กับค่าเมทริกซ์ความแตกต่างและการเชื่อมโยงวิธี Complete Linkage หลังจากนั้นเลือกจำนวนโมดูลวิธีการวิเคราะห์การเกิดซ้ำ ได้ระยะความสัมพันธ์ 2.996 และมีโมดูลได้ 7 โมดูล โดยวิธี CCM กับค่าเมทริกซ์ความแตกต่างและการเชื่อมโยงวิธี Complete Linkage หลังจากนั้นเลือกจำนวนโมดูลวิธี สัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต ได้ค่าระยะความสัมพันธ์ 2.331 2) ระบบขนถ่ายอัตโนมัติ 40 ชิ้น มีโมดูลได้ 7 โมดูล โดยวิธี CCM กับค่าเมทริกซ์ความแตกต่างและการเชื่อมโยงวิธี Complete Linkage หลังจากนั้นเลือกจำนวนโมดูลวิธีการวิเคราะห์การเกิดซ้ำ ได้ระยะความสัมพันธ์ 2.269 และมีโมดูลได้ 5 โมดูล โดยวิธี CCM กับค่าเมทริกซ์ความแตกต่างและการเชื่อมโยงวิธี Complete Linkage หลังจากนั้นเลือกจำนวนโมดูลวิธี สัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต ได้ระยะความสัมพันธ์ 2.473 และ 3) ชุดส่งกำลังเครื่องพิมพ์อุตสาหกรรม 105 ชิ้น มีโมดูลได้ 4 โมดูล โดยวิธี CCM กับค่าเมทริกซ์ความแตกต่างและการเชื่อมโยงวิธี Complete Linkage หลังจากนั้นเลือกจำนวนโมดูลวิธีการวิเคราะห์การเกิดซ้ำ ได้ค่าระยะความสัมพันธ์ 3.292 และมีโมดูลได้ 7 โมดูล โดยวิธี CCM กับค่าเมทริกซ์ความแตกต่างและการเชื่อมโยงวิธี Complete Linkage หลังจากนั้นเลือกจำนวนโมดูลวิธี สัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต ได้ระยะความสัมพันธ์ 2.797 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DSM วิธีการใหม่มีข้อดี 2 ประการคือ 1) สามารถพิจารณาความสัมพันธ์จากเงื่อนไขการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนทั้งหมด 4 แบบ เช่น Bonded Rough Separation และ Frictionless ของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ส่งผลต่อค่าความสัมพันธ์ในขั้นตอนการสร้างเมทริกซ์ตั้งต้นที่ดีขึ้น (Similarity Matrix หรือ Dissimilarity Matrix) และ 2) ขจัดอคติของนักออกแบบเครื่องจักรที่ขึ้นอยู่กับประสบการณ์การทำงานของนักออกแบบแต่ละคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	MODULAR DESIGN FOR MACHINE-MODULE DEVELOPING WITH CONNECTION CORRELATION METHOD, REPEATING ANALYSIS METHOD and SILHOUETTE COEFFICIENTS
<b>Student</b>	Mr. Tanongsak Kongsin
<b>Student ID.</b>	60601194
<b>Degree</b>	Doctor of Engineering
<b>Program</b>	Industrial Engineering
<b>Year</b>	2022
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Sakon Klongboonjit

### ABSTRACT

This thesis is to study how to cluster machine elements into modules which effect on machine design process. That means the machine with modular design can be simpler manufactured than it without modular design. In this study, the similarity matrix and the dissimilarity matrix are first developed with new idea of the connection correlation method (CCM). Next, these matrices are analyzed with simple methods of Complete Linkage or Single Linkage so that the Dendrograms of machine elements are generated. To cope with bias in selecting the group number (the k-value), two interesting methods of the repeating method and silhouette coefficients are introduced to decide the k-value. By following this new modularization process, 1) The 75 elements soil mixing machine are clustered into 4 modules with CCM of the dissimilarity matrix and complete Linkage together with the repeating method at the relations distance value of 2.996 and 7 modules with CCM of the dissimilarity matrix and complete Linkage together with the silhouette coefficients at the relations distance value of 2.331, 2) The 40 elements automated conveyor system are clustered into 7 modules with CCM of the dissimilarity matrix and complete Linkage together with the repeating method at the relations distance value of 2.269 and 5 modules with CCM of the dissimilarity matrix and complete Linkage together with the silhouette coefficients at the relations distance value of 2.473 and 3) The 105 elements industrial printer powertrain set are clustered into 4 modules with CCM of the dissimilarity matrix and complete Linkage together with the repeating method at the relations distance value of 3.292 and 7 modules with CCM of the dissimilarity matrix and complete Linkage together with the silhouette coefficients at the relations distance value of 2.797. Compare with the conventional DSM, this new method has two benefits of 1) Including 4 assembly interconnection conditions of surface contacts, bonded, rough, separation and frictionless during machine elements relation values generating step to receive the good beginning matrix (Similarity matrix or Dissimilarity matrix) and 2) Eliminating machine designers' bias that depend on each designer work experience.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้คำปรึกษากับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่เอื้ออำนวย ช่วยเหลือ สำหรับสถานที่ในการปฏิบัติงานและให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ  
สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี  
คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ทองศักดิ์ คงสินธุ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1.1 การสร้างเงื่อนไขแรงผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs).....	3
2.1.2 วิธีการวัดค่าความคล้ายและความต่าง (Similarity and Dissimilarity) .....	4
2.1.3 การเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลข (Complete Linkage และ Single Linkage).....	9
2.1.4 การเลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection) .....	11
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วน.....	13
2.2.1 ความสัมพันธ์ในการประกอบชิ้นส่วน.....	17
2.2.3 การระบุจำนวนกลุ่มชิ้นส่วน.....	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 การศึกษาข้อมูลชิ้นส่วนเครื่องจักรของกรณีศึกษา (3D-Models).....	23
3.2 การศึกษาวิธีการผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs).....	25
3.2.1 วิธีการหาค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน (Connection Correlation Method: CCM).....	25

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างพื้นผิวชิ้นส่วน (Connection of Component).....	28
3.3 การศึกษาวิธีการวัดค่าความคล้ายและความแตกต่าง (Similarity and Dissimilarity).....	29
3.3.1 การวัดค่าความคล้ายคลึงโดยใช้วิธี Spearman's Rank Correlation.....	30
3.3.2 การวัดค่าความคล้ายคลึงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แจ็คการ์ด (Jaccard Coefficient).....	32
3.4 การศึกษาการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลขแบบเป็นลำดับชั้น (Hierarchical Clustering).....	34
3.4.1 การสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยเทคนิค Complete Linkage.....	35
3.4.2 การสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยเทคนิค Single Linkage.....	37
3.5 การศึกษาวิธีการสร้างเส้นตัดลำดับชั้น (Cutting Lines) บน Dendrogram .....	39
3.6 การศึกษาวิธีการเลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection) .....	42
3.6.1 ระบุจำนวนโมดูลด้วยวิธีการเกิดซ้ำ (Repeating Method).....	42
3.6.2 ระบุจำนวนโมดูลด้วยค่าความสอดคล้อง (Natural Values).....	43
3.7 การสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ .....	51
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	52
4.1 ผลการศึกษากับกรณีศึกษาที่ 1.....	52
4.1.1 ผลลัพธ์การวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนจากระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข.....	52
4.1.2 ผลลัพธ์ลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ จากระเบียบวิธีที่ได้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด.....	56
4.1.3 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ.....	61
4.1.4 สรุปผลการสร้างโมดูลเครื่องจักร.....	62
4.2 ผลการศึกษากับกรณีศึกษาที่ 2.....	69
4.2.1 ผลลัพธ์การวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนจากระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข.....	69
4.2.2 ผลลัพธ์ลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ จากระเบียบวิธีที่ได้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด.....	73
4.2.3 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ.....	78
4.2.4 สรุปผลการสร้างโมดูลเครื่องจักร.....	80
4.3 ผลการศึกษากับกรณีศึกษาที่ 3.....	86

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 ผลลัพธ์การวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนจากระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข.....	86
4.3.2 ผลลัพธ์ลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ จากระเบียบวิธีที่ได้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด.....	91
4.3.3 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ.....	95
4.3.4 สรุปผลการสร้างโมดูลเครื่องจักร.....	97
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	104
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	104
5.1.1 ผลของค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนจากวิธีการที่ผลักดันให้เกิดโมดูลเครื่องจักร.....	104
5.1.2 อิทธิพลของค่าความคล้ายและความแตกต่างที่ส่งผลต่อโมดูลเครื่องจักร.....	104
5.1.3 ผลของการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลขแบบเป็นลำดับชั้นที่ส่งผลต่อโมดูลเครื่องจักร.....	104
5.1.4 อิทธิพลของเส้นตัดลำดับชั้นที่ส่งผลต่อจำนวนโมดูลเครื่องจักร.....	104
5.1.5 ผลของการเลือกจำนวนโมดูลจากเส้นตัดลำดับชั้น.....	105
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาในอนาคต.....	105
เอกสารอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	221

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ชิ้นส่วน ที่เกิดขึ้นจาก MDF .....	4
3.1 ขั้นตอนการวิจัยบนเงื่อนไขการประกอบชิ้นส่วน (Assembly of Component).....	22
3.2 ขั้นตอนการวิจัยบนเงื่อนไขเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน (Connection of Component)..	22
3.3 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	23
3.4 สรุปกรณีศึกษาที่นำมาใช้กับงานวิจัยนี้.....	25
3.5 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วน A กับ B ด้วยวิธี CCM.....	27
3.6 ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อการประกอบระหว่างชิ้นส่วน (CCM Matrix).....	27
3.7 ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน.....	28
3.8 ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์การประกอบระหว่างชิ้นส่วน.....	29
3.9 ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน.....	30
3.10 ผลลัพธ์ค่า Rank Average (Rx).....	30
3.11 ผลลัพธ์ค่า Rank Average (Ry).....	31
3.12 การคำนวณค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity) .....	31
3.13 ผลลัพธ์ค่าความคล้าย (Similarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด.....	31
3.14 ผลลัพธ์ค่าความแตกต่าง (Dissimilarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด.....	32
3.15 จำนวนผลลัพธ์เลขฐานสองของ x กับ y .....	32
3.16 การคำนวณค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity).....	33
3.17 ผลลัพธ์ค่าความคล้ายคลึงกัน (Similarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด.....	33
3.18 ผลลัพธ์ค่าความแตกต่าง (Dissimilarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด.....	33
3.19 ขั้นตอนการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน.....	34
3.20 ผลลัพธ์ค่าระยะห่าง (Distance) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด.....	34
3.21 ผลลัพธ์ค่าความคล้าย (Similarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด.....	39
3.22 สรุปผลจำนวนชิ้นส่วนจากการตัดลำดับชั้นบน Dendrogram.....	41
3.23 ผลลัพธ์จำนวนชิ้นส่วนจากการตัดลำดับชั้นบน Dendrogram.....	41
3.24 กำหนดชื่อโมดูลชิ้นส่วนที่เกิดขึ้น.....	42
3.25 ผลลัพธ์จากการเลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Repeating Method.....	43
3.26 การเลือกจำนวนโมดูลจากการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method).....	43
3.27 ขั้นตอนการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (1 กับ 3) และ (1 กับ 2).....	45
3.28 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน.....	45
3.29 ขั้นตอนการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (2 กับ 3) และ (2 กับ 1).....	46
3.30 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน.....	46
3.31 ขั้นตอนการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (3 กับ 1) และ (3 กับ 2).....	47

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.32 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน.....	47
3.33 ขั้นตอนคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (4 กับ 1) (4 กับ 3) และ (4 กับ 5).....	48
3.34 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน.....	48
3.35 ขั้นตอนคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (5 กับ 1) (5 กับ 3) และ (5 กับ 4).....	49
3.36 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน.....	49
3.37 ขั้นตอนการคำนวณค่าเฉลี่ยของ (Mean Silhouette).....	49
3.38 ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยซิลลูเอ็ต (Silhouette Coefficients).....	50
3.39 ตารางผลลัพธ์เฉลี่ยซิลลูเอ็ต(Silhouette Coefficients).....	51
4.1 สรุประดับเส้นตัดด้วยวิธีการทั้งหมด 8 วิธี ของกรณีศึกษาที่ 1.....	56
4.2 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 1 ด้วยวิธี Repeating Method.....	62
4.3 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 1 ด้วยวิธี Average Silhouette.....	62
4.4 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 1 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Repeating Method.....	65
4.5 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 1 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Average Silhouette.....	68
4.6 สรุปรายละเอียดของโมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 1.....	69
4.7 สรุประดับเส้นตัดด้วยวิธีการทั้งหมด 8 วิธี ของกรณีศึกษาที่ 2.....	73
4.8 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 2 ด้วยวิธี Repeating Method.....	79
4.9 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 2 ด้วยวิธี Average Silhouette.....	80
4.10 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 2 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Repeating Method.....	82
4.11 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 2 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Average Silhouette.....	85
4.12 สรุปรายละเอียดของโมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 2.....	86
4.13 สรุประดับเส้นตัดด้วยวิธีการทั้งหมด 8 วิธี ของกรณีศึกษาที่ 3.....	90
4.14 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 3 ด้วยวิธี Repeating Method.....	96
4.15 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 3 ด้วยวิธี Average Silhouette.....	97
4.16 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 3 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Repeating Method.....	99
4.17 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 3 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Average Silhouette.....	103
4.18 สรุปรายละเอียดของโมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 3.....	103

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เมทริกซ์ความสัมพันธ์จากวิธีการ MDFs .....	3
2.2 เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวชิ้นส่วน 2 ชิ้น.....	4
2.3 เมื่อค่าความคล้ายคลึงเป็น + 1 หมายถึงตัวแปร 2 ตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน....	5
2.4 เมื่อค่าความคล้ายคลึงเป็น - 1 หมายถึงตัวแปร 2 ตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม	6
2.5 เมื่อค่าความคล้ายคลึงเป็น 0 หมายถึงตัวแปร 2 ตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน.....	6
2.6 สรุปค่า Spearman's Rank Correlation Coefficient ที่ -1 ถึง 1 .....	7
2.7 ค่าความสัมพันธ์จากวิธีแจ็กการ์ด (Jaccard Coefficient).....	9
2.8 อธิบายถึงค่าระยะห่างการเชื่อมโยงเชิงตัวเลข.....	11
2.9 ตัวอย่าง Dendrograms โดยวิธี Single Link และ Complete Link .....	12
2.10 แสดงเส้นตัด (Cutting lines) บนแผนภาพ Dendrograms .....	12
2.11 ตัวอย่างค่าระยะห่างการเชื่อมโยงเชิงตัวเลขที่ระบุถึงจำนวนโมดูลได้.....	13
2.12 แสดงจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม (Optimal Number of Clusters).....	14
2.13 ขั้นตอนการแยกโมดูลของงานวิจัย.....	15
2.14 ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มโมดูลในกรณีศึกษา Gear Oil Pump .....	16
2.15 ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มโมดูลในกรณีศึกษา Bicycle .....	16
2.16 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	17
2.17 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มเครื่องจักร.....	18
2.18 โครงสร้างการประกอบชิ้นส่วน.....	19
2.19 กระบวนการพิจารณาข้อมูลชิ้นส่วนและข้อมูลความสัมพันธ์.....	19
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	21
3.2 กรณีศึกษาที่ 1 เครื่องผสมดิน (Soil Mixing Machine).....	23
3.3 กรณีศึกษาที่ 2 ระบบขนถ่ายอัตโนมัติ (Automated Conveyor System).....	24
3.4 กรณีศึกษาที่ 3 ชุดส่งกำลังเครื่องพิมพ์อุตสาหกรรม (Industrial Printer Powertrain Set).....	24
3.5 เงื่อนไขการประกอบแบบ Bonded.....	25
3.6 เงื่อนไขการประกอบแบบ Rough.....	26
3.7 เงื่อนไขการประกอบแบบ Separation.....	26
3.8 เงื่อนไขการประกอบแบบ Frictionless.....	26
3.9 การเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน (Connection of Component).....	28
3.10 ความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนจากการประกอบ.....	29
3.11 ความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนจากการเชื่อมต่อระหว่างผิว.....	29
3.12 การพิจารณาค่าความคล้ายด้วยวิธี Spearman's Rank Correlation.....	30

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 การพิจารณาค่าความคล้ายด้วยวิธี Jaccard Coefficient.....	32
3.14 วิธีการรวมกลุ่มแบบ Complete Linkage.....	35
3.15 ขั้นตอนการสร้างแผนภาพ Dendrogram จากค่า Dissimilarity.....	36
3.16 ผลลัพธ์แผนภาพ Dendrogram จากค่า Dissimilarity.....	37
3.17 วิธีการรวมกลุ่มแบบ Single linkage.....	37
3.18 ขั้นตอนการสร้างแผนภาพ Dendrogram จากค่า Dissimilarity.....	38
3.19 ผลลัพธ์แผนภาพ Dendrogram จากค่า Dissimilarity.....	39
3.20 เส้นตัด (Cutting lines) ที่ระดับ L01 มีค่า 2.346.....	40
3.21 เส้นตัด (Cutting lines) ที่ระดับ L02 มีค่า 0.907.....	40
3.22 เส้นตัด (Cutting lines) ที่ระดับ L03 มีค่า 0.701.....	41
3.23 เส้นตัด (Cutting lines) ที่ระดับ L02 จะได้ 3 โมดูล.....	44
3.24 คู่ขึ้นส่วน (1 กับ 3) และ (1 กับ 2).....	45
3.25 คู่ขึ้นส่วน (2 กับ 3) และ (2 กับ 1).....	46
3.26 คู่ขึ้นส่วน (3 กับ 1) และ (3 กับ 2).....	47
3.27 คู่ขึ้นส่วน (4 กับ 1) (4 กับ 3) และ (4 กับ 5).....	48
3.28 คู่ขึ้นส่วน (5 กับ 1) (5 กับ 3) และ (5 กับ 4).....	49
3.29 แสดงค่าความสอดคล้องของขึ้นส่วน.....	50
4.1 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSC เปรียบเทียบกับวิธี JSC ในกรณีศึกษาที่ 1.....	52
4.2 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDC เปรียบเทียบกับวิธี JDC ในกรณีศึกษาที่ 1.....	53
4.3 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSS เปรียบเทียบกับวิธี JSS ในกรณีศึกษาที่ 1.....	53
4.4 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDS เปรียบเทียบกับวิธี JDS ในกรณีศึกษาที่ 1.....	54
4.5 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Spearman's rank Coefficient (S)...	54
4.6 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Jaccard Coefficient (J).....	55
4.7 การเปรียบเทียบค่าลำดับชั้นจากวิธีการทั้งหมดในกรณีศึกษาที่ 1.....	55
4.8 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L01 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	56
4.9 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L02 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	57
4.10 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L02 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	57
4.11 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L04 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	58
4.12 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L05 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	58
4.13 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L06 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	59
4.14 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L07 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	59
4.15 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L08 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	60

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L09 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	60
4.17 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L10 ในกรณีศึกษาที่ 1.....	61
4.18 ค่าการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) ในกรณีศึกษาที่ 1.....	61
4.19 ค่าเฉลี่ยซิลูเอตต์ (Average Silhouette) ในกรณีศึกษาที่ 1.....	62
4.20 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	63
4.21 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	63
4.22 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	63
4.23 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	64
4.24 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	64
4.25 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	65
4.26 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	66
4.27 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	66
4.28 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	66
4.29 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	67
4.30 โมดูลที่ 5 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	67
4.31 โมดูลที่ 6 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	67
4.32 โมดูลที่ 7 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1.....	68
4.33 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSC เปรียบเทียบกับวิธี JSC ในกรณีศึกษาที่ 2.....	69
4.34 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDC เปรียบเทียบกับวิธี JDC ในกรณีศึกษาที่ 2.....	70
4.35 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSS เปรียบเทียบกับวิธี JSS ในกรณีศึกษาที่ 2.....	70
4.36 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDS เปรียบเทียบกับวิธี JDS ในกรณีศึกษาที่ 2.....	71
4.37 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Spearman's rank Coefficient (S)..	71
4.38 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Jaccard Coefficient (J).....	72
4.39 การเปรียบเทียบค่าลำดับชั้นจากวิธีการทั้งหมดในกรณีศึกษาที่ 2.....	72
4.40 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L01 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	74
4.41 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L02 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	74
4.42 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L03 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	75
4.43 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L04 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	75
4.44 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L05 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	76
4.45 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L06 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	76
4.46 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L07 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	77
4.47 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L08 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	77

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.48 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L09 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	78
4.49 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L10 ในกรณีศึกษาที่ 2.....	78
4.50 ค่าการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) ในกรณีศึกษาที่ 2.....	79
4.51 ค่าเฉลี่ยซิลูเอตต์ (Average Silhouette) ในกรณีศึกษาที่ 2.....	79
4.52 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	80
4.53 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	81
4.54 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	81
4.55 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	81
4.56 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	82
4.57 โมดูลที่ 5 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	82
4.58 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	83
4.59 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	83
4.60 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	83
4.61 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	84
4.62 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	84
4.63 โมดูลที่ 5 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	84
4.64 โมดูลที่ 6 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	85
4.65 โมดูลที่ 7 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2.....	85
4.66 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSC เปรียบเทียบกับวิธี JSC ในกรณีศึกษาที่ 3.....	86
4.67 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDC เปรียบเทียบกับวิธี JDC ในกรณีศึกษาที่ 3.....	87
4.68 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSS เปรียบเทียบกับวิธี JSS ในกรณีศึกษาที่ 3.....	87
4.69 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDS เปรียบเทียบกับวิธี JDS ในกรณีศึกษาที่ 3.....	88
4.70 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Spearman's rank Coefficient (S)..	88
4.71 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Jaccard Coefficient (J).....	89
4.72 การเปรียบเทียบค่าลำดับชั้นจากวิธีการทั้งหมดในกรณีศึกษาที่ 3.....	89
4.73 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L01 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	91
4.74 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L02 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	91
4.75 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L03 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	92
4.76 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L04 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	92
4.77 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L05 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	93
4.78 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L06 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	93
4.79 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L07 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	94

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.80 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L08 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	94
4.81 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L09 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	95
4.82 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L10 ในกรณีศึกษาที่ 3.....	95
4.83 ค่าการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) ในกรณีศึกษาที่ 3.....	96
4.84 ค่าเฉลี่ยซิลูเอตต์ (Average Silhouette) ในกรณีศึกษาที่ 3.....	96
4.85 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	97
4.86 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	98
4.87 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	98
4.88 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	98
4.89 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	99
4.90 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	100
4.91 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	100
4.92 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	101
4.93 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	101
4.94 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	101
4.95 โมดูลที่ 5 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	102
4.96 โมดูลที่ 6 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	102
4.97 โมดูลที่ 7 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3.....	102

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในโลกปัจจุบันนี้ความต้องการสินค้าและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภคและความต้องการของตลาด จึงส่งผลให้ผู้ผลิตจะต้องเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตให้สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงส่งผลให้นักออกแบบจะต้องพัฒนาและการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรให้มีความสามารถที่รองรับต่อกระบวนการผลิตในช่วงเวลาที่จำกัด เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการโดยไม่อาศัยการตัดสินใจของนักออกแบบที่ใช้ประสบการณ์เป็นหลักสำคัญในการออกแบบโมดูลเครื่องจักร[1] เพราะฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อเครื่องจักร เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการของลูกค้าและช่วยเพิ่มศักยภาพภายในกระบวนการผลิตได้

ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรโดยทั่วไปใช้วิธีการประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าด้วยกันโดยไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงในอนาคต ที่เกิดขึ้นจากความต้องการของลูกค้าที่ไม่คงที่ ส่งผลให้การออกแบบเครื่องจักรด้วยวิธีการทำให้เป็นโมดูล (Modularization) จะมีความซับซ้อนน้อยกว่าเครื่องจักรที่ถูกออกแบบโดยไม่ใช้วิธีการนี้[2] ซึ่งวิธีการทำให้เป็นโมดูลมีเป้าหมายเพื่อช่วยในการผลิต (Manufacturing) การซ่อมบำรุง (Maintenance) ความสามารถการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reusability) ความสามารถในการบริหารการเปลี่ยนแปลง (Variant Management) และการทดแทนหน้าที่การทำงาน (Functional Replacement)[3] การใช้เทคนิคนี้เพื่อสร้างโมดูลในปัจจุบันจะพิจารณาจากเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างผิวสัมผัสชิ้นส่วนเป็นหลัก ซึ่งไม่เพียงพอต่อเงื่อนไขสำหรับการออกแบบโมดูลเครื่องจักรการสร้างเงื่อนไขที่สามารถผลักดันให้เกิดโมดูลสำหรับการออกแบบเครื่องจักรและการกำหนดจำนวนโมดูลเครื่องจักรเป็นส่วนสำคัญต่อการออกแบบเครื่องจักรให้มีความสามารถเปลี่ยนแปลงได้

ดังนั้นความต้องการเครื่องมือหรือเทคนิคที่สามารถช่วยให้การออกแบบเครื่องจักรเป็นโมดูล (Modularization of Machines) ด้วยวิธีการที่สามารถพิจารณาสมาชิกของโมดูลจากเงื่อนไขการประกอบและการพิจารณาจำนวนโมดูลจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างโมดูล ที่สามารถช่วยให้นักออกแบบมีเครื่องมือช่วยในการออกแบบโมดูล ซึ่งวิธีการนี้เป็นเทคนิคใหม่ที่เข้ามาช่วยนักออกแบบในการออกแบบเครื่องจักรให้รองรับต่อการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อพัฒนาระเบียบวิธีใหม่ในการออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูล (Module) ตามทฤษฎีโมดูลาร์ดีไซน์ (Modular Design) ซึ่งเป็นการออกแบบโดยแบ่งชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร ออกเป็นโมดูล หลังจากนั้นนำโมดูลกลับมาประกอบเข้าด้วยกันจะเกิดเป็นโมดูลาร์ซิสเต็ม (Modular System)

## 1.3 สมมติฐานการศึกษา

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยต่าง ๆ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังต่อไปนี้

1. สามารถออกแบบเครื่องจักรที่เปลี่ยนแปลงโมดูล (Module) ได้
2. โมดูลเครื่องจักรที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกัน เช่น มีความสัมพันธ์ในการประกอบ หรือมีความสัมพันธ์ระหว่างการจับยึดของชิ้นส่วน ฯลฯ
3. โมดูลเครื่องจักรที่ออกแบบขึ้นจะอยู่บนพื้นฐานของเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วน

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. สร้างระเบียบวิธีการใหม่ในการออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูล โดยพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของทฤษฎีโมดูลาร์ดีไซน์ (Modular Design) คือรูปแบบการออกแบบที่แบ่งระบบต่างๆ ออกเป็นส่วนย่อยๆ หรือมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนรูปแบบได้
2. สร้างระเบียบวิธีการใหม่ในการตั้งเงื่อนไขความสัมพันธ์ และ/หรือ เงื่อนไขการตัดสินใจพิจารณาจำนวนโมดูลในการจัดกลุ่มชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรจะถูกประยุกต์ใช้กับ 3 กรณีศึกษา ได้แก่ เครื่องผสมดิน (Soil Mixing Machine) ระบบขนถ่ายอัตโนมัติ (Automated Conveyor System) และชุดส่งกำลังเครื่องพิมพ์อุตสาหกรรม (Industrial Printer Powertrain Set)

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ทำการศึกษาข้อมูลชิ้นส่วนเครื่องจักรของกรณีศึกษา (3D-Models)
2. ทำการศึกษาวิธีการผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs)
3. ทำการศึกษาวิธีการวัดค่าความคล้ายและความต่าง (Similarity and Dissimilarity)
4. ทำการศึกษาการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลขแบบเป็นลำดับชั้น (Hierarchical Clustering)
5. ทำการศึกษาวิธีการสร้างเส้นตัดลำดับชั้น (Cutting lines)
6. ทำการศึกษาวิธีการเลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection)
7. ทำการสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระเบียบวิธีใหม่สำหรับการสร้างโมดูลเครื่องจักรที่สามารถสร้างโมดูลจากเงื่อนไขความสัมพันธ์จากการออกแบบการถอดประกอบชิ้นส่วน และเป็นเครื่องมือช่วยในการจัดกลุ่มชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักรเพื่อเพิ่มความสามารถในการออกแบบให้เป็นส่วนย่อย ๆ ได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระเบียบวิธีการใหม่ในการจัดกลุ่มชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักร ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 2.1 การสร้างเงื่อนไขแรงผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs)
- 2.2 วิธีการวัดค่าความคล้ายและความต่าง (Similarity and Dissimilarity Measures)
- 2.3 การเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลข (Complete Linkage and Single Linkage)
- 2.4 การเลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection)
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 การสร้างเงื่อนไขแรงผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs)

ความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนประกอบจะเกิดขึ้นจากส่วนประกอบของแรงขับเคลื่อนเฉพาะจากชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่สร้างแรงผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs) โดยรูปแบบความสัมพันธ์และน้ำหนักของค่า MDFs รวมถึงไปถึงความสัมพันธ์ที่ครอบคลุมกับส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจักรจะมีความแตกต่างกัน โดยสามารถนำมาอธิบายได้โดยการสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ได้[1] ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.1

$$\text{MDFs.C} = \begin{bmatrix} 1 & c_{12} & \dots & c_{1(n-1)} & c_{1n} \\ & 1 & \dots & c_{2(n-1)} & c_{2n} \\ & & \dots & \vdots & \vdots \\ & & & 1 & c_{(n-1)n} \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.1 เมทริกซ์ความสัมพันธ์จากวิธีการ MDFs[1]

การสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.1 จะขึ้นอยู่กับออกแบบเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ชิ้นส่วน ที่ต้องการการพิจารณาความสามารถในการผลักดันให้เกิดโมดูลเครื่องจักรเพื่อเป็นไปตามวิธีการผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs) ที่ระบุโดยนักออกแบบดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ชิ้นส่วน ที่เกิดขึ้นจาก MDF[1]

MDFs	Types of interaction between two components			
	strong	medium	weak	none
Function				
Geometric Position				
Connection				
Material				

งานวิจัยนี้อาศัยเงื่อนไขการเชื่อมต่อ (Connection) โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขของพื้นผิวชิ้นส่วนทั้งสองส่วน (Interface Condition)[2] ซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกตั้งชื่อว่าวิธีการหาค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน (Connection Correlation Method: CCM) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.2

Interface condition	Description
Frictionless	The separation and free sliding are allowed through the interface.
Frictional	The separation is allowed and the sliding occurs with a certain magnitude of friction coefficient once the shear stress is exceeded by a certain amount.
Rough	The separation exists but the sliding is not allowed. Merely an infinite friction coefficient is applied.
Bonded	Neither separation nor sliding is allowed.

รูปที่ 2.2 เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวชิ้นส่วน 2 ชิ้น[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 มีเงื่อนไขความสัมพันธ์ทั้งหมด 4 รูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบจะพิจารณาความสัมพันธ์ที่ต่างกันไป โดยจะมุ่งเน้นถึงการประกอบระหว่างผิวชิ้นส่วนเป็นสำคัญ[3] สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- Bonded หมายถึง ชิ้นส่วน A กับ B ยึดติดกันและไม่สามารถเคลื่อนที่ได้[4, 5] กำหนดให้เป็นตัวแปร Y11 ของเงื่อนไข Bonded

- Rough หมายถึง ชิ้นส่วน A กับ B ประกอบเข้าด้วยกันและเกิดช่องว่างระหว่างกัน[6, 7] กำหนดให้เป็นตัวแปร Y12 ของเงื่อนไข Rough

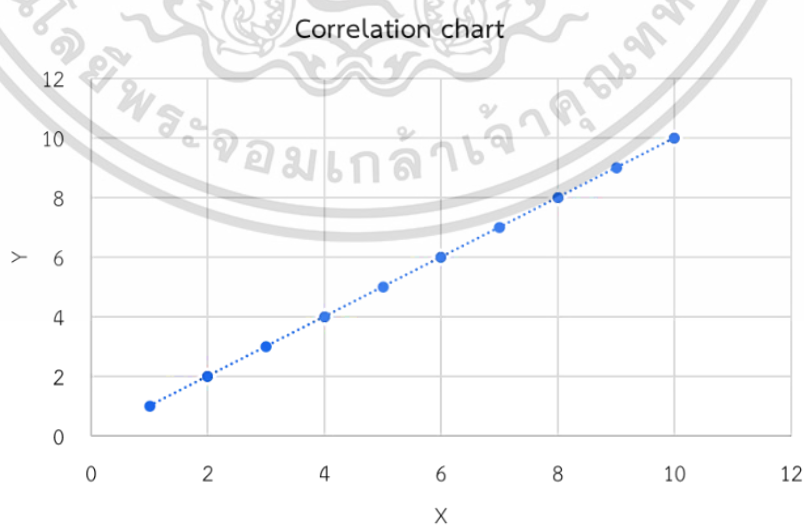
- Separation/Frictional หมายถึง ชิ้นส่วน A กับ B ประกอบเข้าด้วยกันสามารถเลื่อนไถลระหว่างกันได้โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเกิดขึ้น[3] กำหนดให้เป็นตัวแปร Y21 ของเงื่อนไข Separation

- Frictionless หมายถึง ชิ้นส่วน A กับ B ประกอบเข้าด้วยกันสามารถเลื่อนไถลระหว่างกันได้โดยไม่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเกิดขึ้น และมีช่องว่างระหว่างกันได้โดยอิสระ[3] กำหนดให้เป็นตัวแปร Y22

### 2.1.2 วิธีการวัดค่าความคล้ายและความต่าง (Similarity and Dissimilarity)

การวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนจะต้องอาศัยค่าความคล้ายคลึง (Similarity) และค่าความแตกต่าง (Dissimilarity) ระหว่างความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนเครื่องจักร[8] โดยค่าความคล้ายคลึงเป็นค่าที่แสดงถึงความคล้ายระหว่างคู่ของชิ้นส่วนที่มีความคล้ายคลึงกันมากน้อยเพียงใด[9] โดยอาศัยสมการวัดระยะห่างของความสัมพันธ์ระหว่างคู่ชิ้นส่วนซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ 2 วิธี คือ

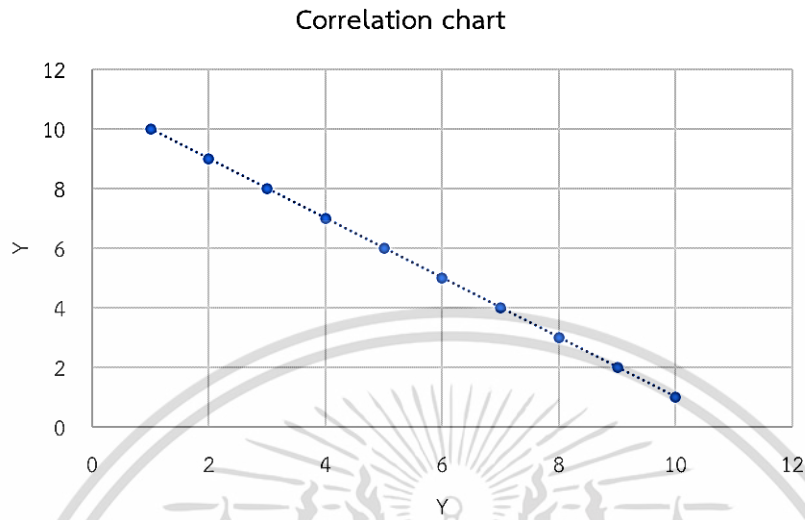
1) วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงด้วยวิธี Spearman's Rank Correlation Coefficient เป็นการคำนวณหาการระยะทางความสัมพันธ์ของชิ้นส่วน 2 ชิ้น[10] ที่อยู่ในรูปแบบของการวัดระดับ (Ordinal Scale) โดยปกติแล้วจะมีค่าอยู่ที่ระหว่าง -1 ถึง 1 [11] ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้



**รูปที่ 2.3** เมื่อค่าความคล้ายคลึงเป็น + 1 หมายถึงตัวแปร 2 ตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

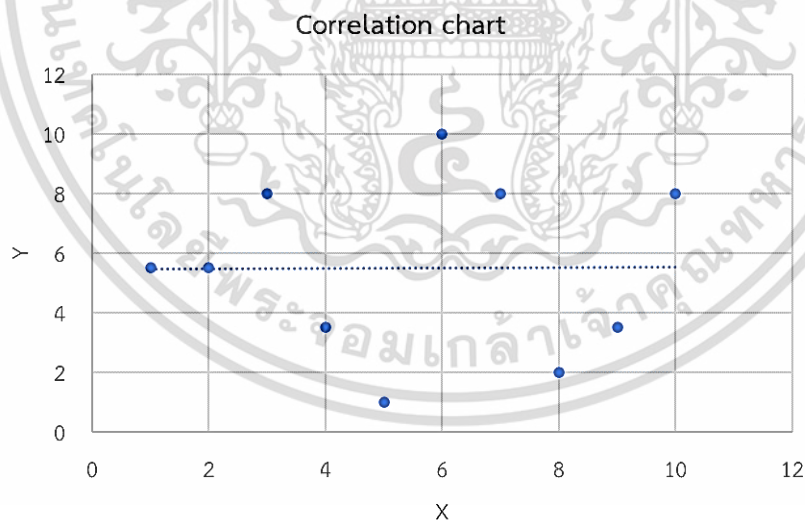
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 เมื่อผลลัพธ์ของค่าความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ชั้นส่วน A กับ B มีค่าผลลัพธ์เข้าใกล้ 1 หมายความว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 2.4 เมื่อค่าความคล้ายคลึงเป็น -1 หมายถึงตัวแปร 2 ตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม

จากรูปที่ 2.4 เมื่อผลลัพธ์ของค่าความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ชั้นส่วน A กับ B มีค่าผลลัพธ์เข้าใกล้ -1 หมายความว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกัน

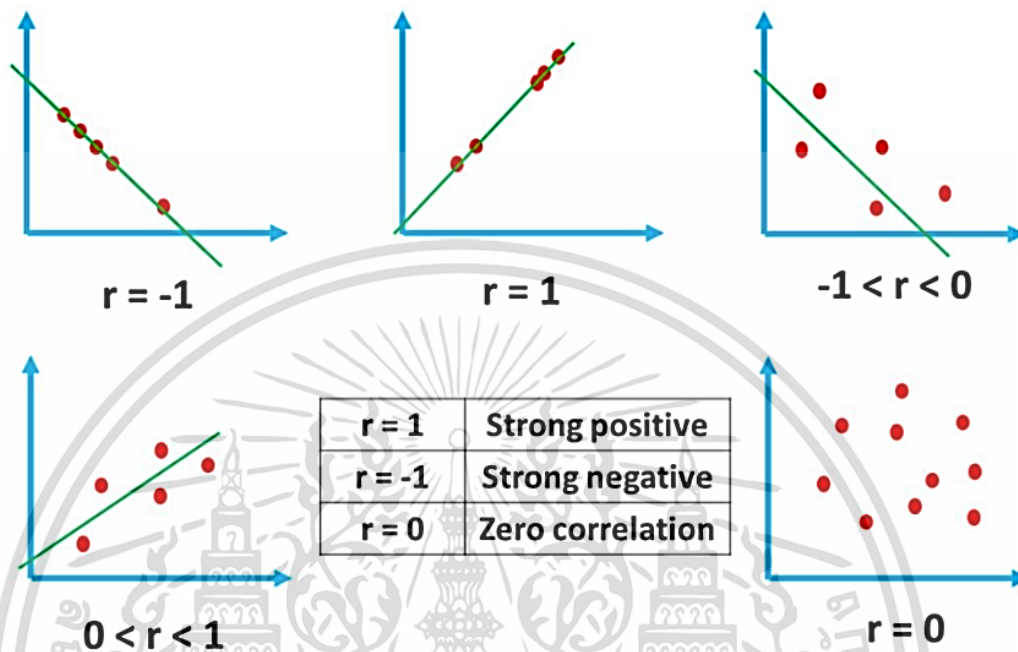


รูปที่ 2.5 เมื่อค่าความคล้ายคลึงเป็น 0 หมายถึงตัวแปร 2 ตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน

จากรูปที่ 2.5 เมื่อผลลัพธ์ของค่าความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ชั้นส่วน A กับ B มีค่าผลลัพธ์เข้าใกล้ 0 หมายความว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี Spearman's Rank Correlation Coefficient จะมีความหมายที่ต่างกันอย่างอันเกิดจากค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีมากกว่าหนึ่งตัวแปรที่ส่งผลต่อการกำหนดค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนโดยสรุปรายละเอียดได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6 [12]



รูปที่ 2.6 สรุปค่า Spearman's Rank Correlation Coefficient ที่ -1 ถึง 1 [12]

จากรูปที่ 2.6 แสดงถึงผลลัพธ์ของวิธีการที่ถูกพัฒนาจากเทคนิคของ Pearson Correlation Coefficient ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่นิยมนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลมากที่สุดวิธีหนึ่ง [13] ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson Correlation เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลในลักษณะแบบเส้นตรงเท่านั้น [14] จึงขาดความน่าเชื่อถือในกรณีข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นมิได้มีลักษณะความสัมพันธ์แบบเส้นตรง โดยใช้วิธีการนี้สามารถวัดระยะความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร จากค่าจริงของตัวแปร Y และ X ซึ่งเป็นข้อมูลแบบ Parametric โดยอาศัยสมการที่ 2.1 [15] ซึ่งวิธีการนี้ถูกตั้งชื่อตาม Karl Pearson ซึ่งเป็นนักสถิติชั้นนำของอังกฤษในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 และต้นศตวรรษที่ 20 ที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาสูตรสำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันได้รับการออกแบบให้ใช้ร่วมกับตัวแปรที่เป็นการแจกแจงแบบปกติ อย่างไรก็ตามการนำมาใช้งานกับข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติในทางปฏิบัติ [16] จะใช้วิธีการที่ถูกพัฒนาโดย Spearman ซึ่งนักจิตวิทยาชาวอังกฤษผู้มีอิทธิพลในปี 1904 โดยสเปียร์แมนแนะนำให้ใช้การจัดอันดับ (Rank) ของค่า Y และจัดอันดับ (Rank) ของค่า X ซึ่งเป็นข้อมูลแบบ Nonparametric [17] หลังจากนั้นใช้การจัดอันดับเหล่านี้แทนค่าจริงของ Y และ X ลงไปในสูตรการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

จากวิธี Spearman's Rank Correlation Coefficient สามารถนำมาคำนวณค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity) ของ 2 ตัวแปรได้โดยอาศัยสมการที่ 2.1 [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Sc_{Sim}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (R_x - \bar{R}_x)(R_y - \bar{R}_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_x - \bar{R}_x)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_y - \bar{R}_y)^2}} \quad (2.1)$$

สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ย Rank การจัดอันดับจากมากไปหาน้อย (Rank Descending) ของตัวแปร X โดยอาศัยสมการที่ 2.2 [12]

$$R_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{rank_{xi}} \quad (2.2)$$

สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ย Rank การจัดอันดับจากมากไปหาน้อย (Rank Descending) ของตัวแปร Y โดยอาศัยสมการที่ 2.3 [12]

$$R_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{rank_{yi}} \quad (2.3)$$

จากวิธีการ Spearman's Rank Correlation Coefficient สามารถนำมาคำนวณค่าความแตกต่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Dissimilarity) ของ 2 ตัวแปรได้โดยอาศัยสมการที่ 2.4 [18]

$$D_{Dis}(x, y) = 1 - Sc_{Sim}(x, y) \quad (2.4)$$

โดยที่

- $Sc_{Sim}(x,y)$  = ค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity)
- $D_{Dis}(x,y)$  = ค่าความแตกต่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Dissimilarity)
- $R_x$  = ค่าเฉลี่ยของ  $rank_{xi}$
- $R_y$  = ค่าเฉลี่ยของ  $rank_{yi}$

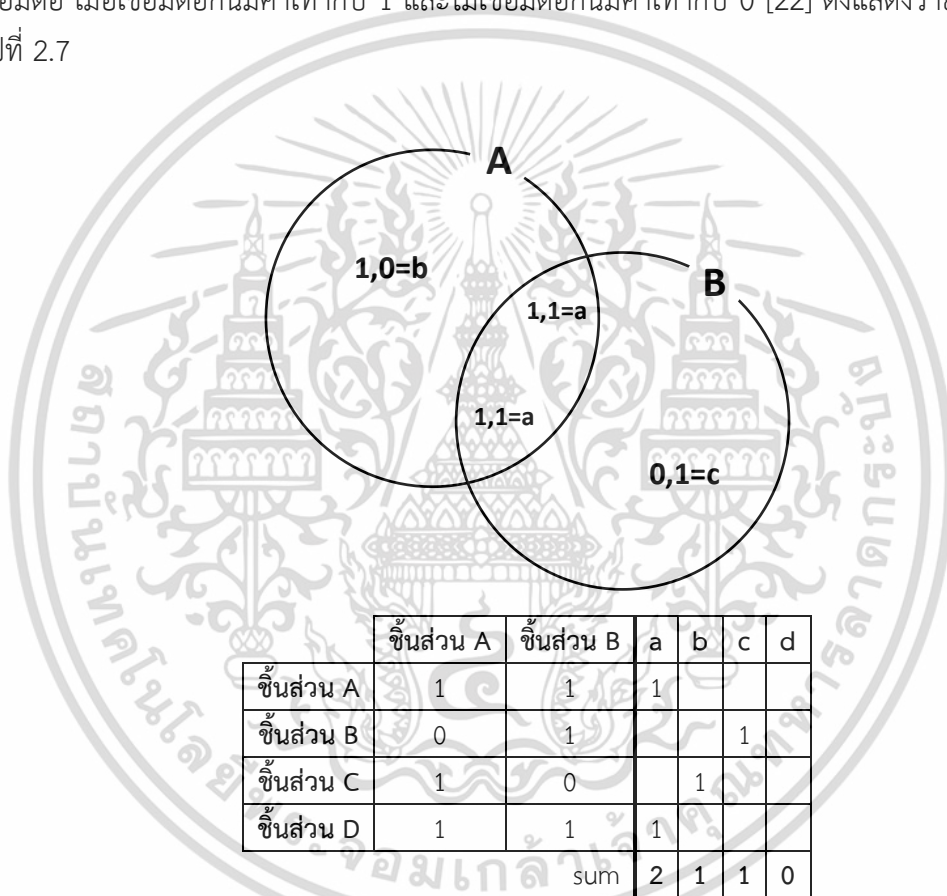
2) วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงด้วยวิธีแจ็กการ์ด (Jaccard Coefficient) จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วน 2 ตัวแปร ที่อยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง (Binary Data) [19] ที่ถูกพิจารณาจากเงื่อนไขความสัมพันธ์โดยใช้วิธีการออกแบบโครงสร้างเมทริกซ์ (Design Structure Matrix, DSM) [20] หลังจากนั้นสามารถสร้างผลลัพธ์เลขฐานสองได้โดยอาศัยตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 จำนวนผลลัพธ์เลขฐานสองของ X กับ Y [11]

		Object X		
		Outcome	1	0
Object Y	1	a (1,1)	b (1,0)	a + b
	0	c (0,1)	d (0,0)	c + d
		a + c	b + d	

จากตารางที่ 2.1 สามารถแสดงตัวอย่างการหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity) โดยพิจารณาเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่าง A กับ B [21] จากความสัมพันธ์ระหว่างผิวเชื่อมต่อ เมื่อเชื่อมต่อกันมีค่าเท่ากับ 1 และไม่เชื่อมต่อกันมีค่าเท่ากับ 0 [22] ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ค่าความสัมพันธ์จากวิธีแจ็กการ์ด (Jaccard Coefficient)

จากรูปที่ 2.6 สามารถคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนด้วยวิธีแจ็กการ์ด (Jaccard Coefficient) โดยอาศัยสมการที่ 2.5 [23]

$$J_{Sim}(x, y) = \frac{a}{a + b + c} \tag{2.5}$$

จากวิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ด้วยแจ็กการ์ด (Jaccard Coefficient) สามารถหาค่าความแตกต่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Dissimilarity) ของ 2 ตัวแปรได้โดยอาศัยสมการที่ 2.6 [24]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J_{Dis}(x, y) = 1 - Jsim(m, n) \quad (2.6)$$

โดยที่

$Jsim(x, y)$	= ค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity)
$Jdis(x, y)$	= ค่าความแตกต่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Dissimilarity)
x	= ชิ้นส่วนที่ x
y	= ชิ้นส่วนที่ y

### 2.1.3 การเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลข (Complete Linkage และ Single Linkage)

การจัดกลุ่มโดยไม่ต้องระบุจำนวนกลุ่มของการจัดกลุ่มก่อน ส่วนมากจะใช้การวิเคราะห์แบบเป็นขั้นตอน ซึ่งวิธีการที่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายคือวิธีการ Agglomerative Hierarchical Cluster เป็นเทคนิคการจัดกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับขั้นเชิงตัวเลข[25] โดยอาศัยวิธีการเชื่อมโยงข้อมูลด้วยวิธีที่เป็นที่นิยมใช้กับข้อมูลที่มีความซับซ้อนคือวิธีการ Complete Linkage และ Single Linkage[26] ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงวิธีการหลักที่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนพื้นฐานดังต่อไปนี้

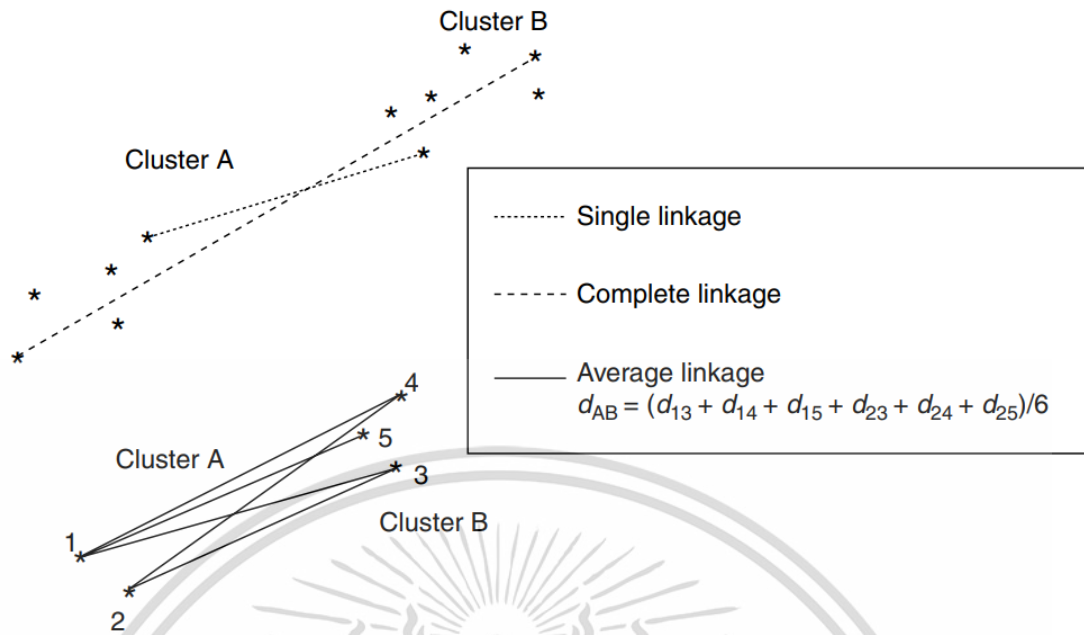
ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ข้อมูลแต่ละข้อมูลคือคลัสเตอร์เริ่มต้นของโครงสร้างลำดับขั้นเชิงตัวเลข โดยมีจำนวนข้อมูลต่ำกว่า 200 ข้อมูล โดยไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่มหรือทราบว่าตัวแปรใดหรือข้อมูลใดอยู่กลุ่มใดมาก่อน

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักรที่มีขนาดเมทริกซ์  $N \times N$  จากชุดข้อมูลชิ้นส่วนที่ผ่านการคำนวณระยะห่างของแต่ละจุดของชุดข้อมูล โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธี Spearman's Rank Correlation Coefficient และ Jaccard Coefficient เพื่อคำนวณค่าดังกล่าว

ขั้นตอนที่ 3 สร้างกราฟต้นไม้โครแกรม (Dendrogram) จากเมทริกซ์ความสัมพันธ์โดยใช้วิธีเชื่อมโยงข้อมูลด้วยเทคนิค Complete Linkage และ Single Linkage เพื่อแสดงการเชื่อมโยงของข้อมูลและรูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่สามารถเป็นไปได้[27]

ขั้นตอนที่ 4 เลือกระดับค่าความสัมพันธ์จากต้นไม้โครแกรม ที่ส่งผลต่อรูปแบบโมดูล (K-Value Selection) เครื่องจักรจากความต้องการของนักออกแบบที่เป็นไปได้

จากขั้นตอนการพื้นฐานการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลขเป็นเป็นปัจจัยหลักของกระบวนการจัดเรียงและกำหนดรูปแบบของเส้นเชื่อมโยงระหว่างชิ้นส่วนเครื่องจักร โดยใช้ค่าจากเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนเพื่อคำนวณระยะห่างระหว่างโมดูลดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 อธิบายถึงค่าระยะห่างการเชื่อมโยงเชิงตัวเลข[20]

จากรูปที่ 2.8 แสดงถึงค่าระยะห่างระหว่างโมดูลโดยการหาค่าตำแหน่งของสมาชิกที่มากที่สุดวิธีการนี้เรียกว่า Complete Linkage และการหาค่าตำแหน่งของสมาชิกที่น้อยที่สุดวิธีการนี้เรียกว่า Single Linkage ทั้ง 2 วิธีการสามารถคำนวณได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้[19]

สามารถคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างการเชื่อมโยงเชิงตัวเลขด้วยวิธี Complete Linkage โดยอาศัยสมการที่ 2.7 [23]

$$D(C_i, C_j) = \max_{x \in C_i, y \in C_j} d(x, y) \tag{2.7}$$

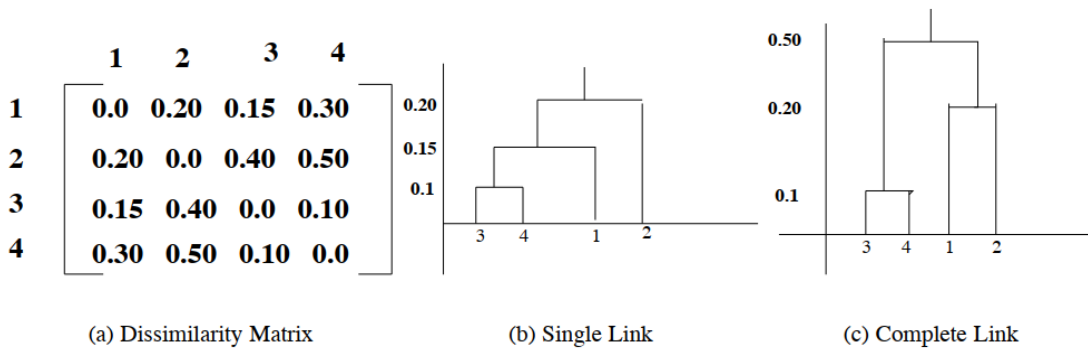
สามารถคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างการเชื่อมโยงเชิงตัวเลขด้วยวิธี Single Linkage โดยอาศัยสมการที่ 2.8 [23]

$$D(C_i, C_j) = \min_{x \in C_i, y \in C_j} d(x, y) \tag{2.8}$$

โดยที่

- $D(C_i, C_j)$  = ค่าระยะห่างระหว่างกลุ่ม
- $d(x, y)$  = ค่าระยะห่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน

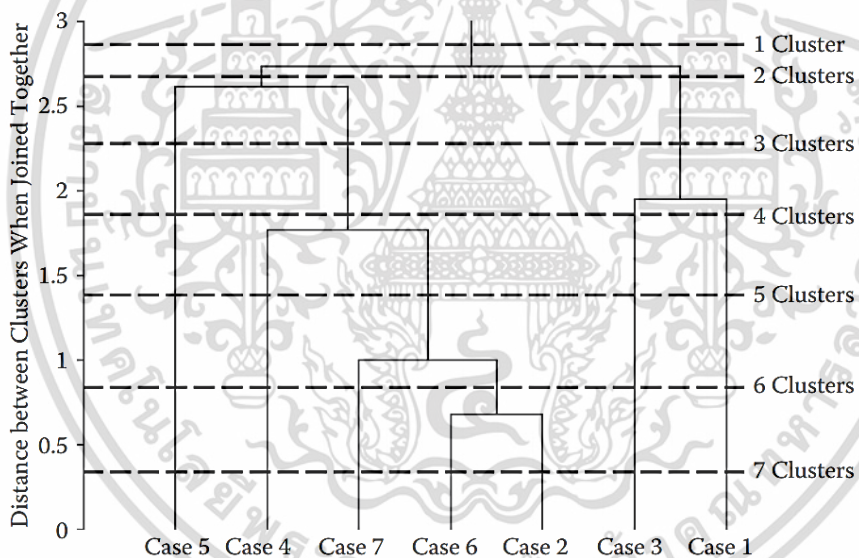
จากสมการที่ 2.7 และ 2.8 สามารถนำค่าที่ได้มาสร้าง Dendrograms เพื่อแสดงถึงการเชื่อมโยงระหว่างสมาชิกของโมดูลดังแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.9 [28]



รูปที่ 2.9 ตัวอย่าง Dendrograms โดยวิธี Single Link และ Complete Link[28]

### 2.1.4 การเลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection)

การสร้างโมดูลเครื่องจักรจะต้องอาศัยการพิจารณาเลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection) ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ซึ่งโมดูลที่สอดคล้องกันโดยเลือกจากค่าระดับชั้นบนแผนภาพ Dendrograms ที่มีโมดูลแตกต่างกันให้เลือกพิจารณา[29] ดังแสดงในรูปที่ 2.10

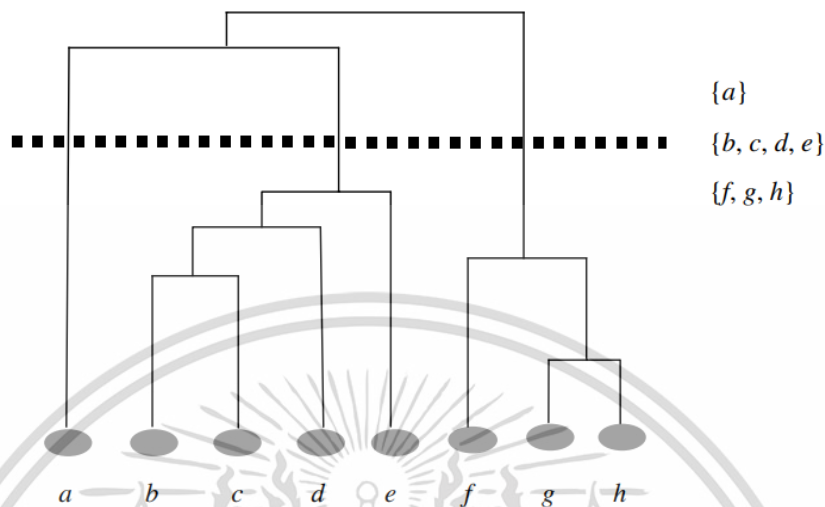


รูปที่ 2.10 แสดงเส้นตัด (Cutting lines) บนแผนภาพ Dendrograms[30]

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่าจำนวนกลุ่ม (Cluster) ที่ได้จากแผนภาพ Dendrograms มีค่าที่แตกต่างกัน และมีคลัสเตอร์ที่แตกต่างกันให้เลือกเป็นจำนวนมาก (K-value) ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่ากรณีเดียวกันจะถูกจัดกลุ่มเข้าด้วยกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน จึงต้องอาศัยการเลือกระดับค่าระยะห่างจากผู้ใช้งานเทคนิคนี้[30]

การจัดกลุ่มโมดูลตามลำดับชั้นมักจะแสดงในรูปแบบของ Dendrograms ดังรูปที่ 2.10 จะแสดงให้เห็นว่าการรวมคลัสเตอร์เข้าด้วยกันจะเป็นเรื่องยาก ซึ่งมาตราส่วนระยะทางที่แสดงทางด้านซ้ายมือของกราฟช่วยให้ทราบถึงระยะทางระหว่างกลุ่ม สิ่งนี้แสดงถึงเกณฑ์การระบุสมาชิกของกลุ่ม เมื่อพิจารณาเลือกค่าเกณฑ์ของระยะทางที่เหมาะสมการรวมคลัสเตอร์จะหยุดยังระยะที่เลือก ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเด็นสำคัญของเทคนิคนี้คือวิธีวัดระยะห่างระหว่างสองกลุ่ม และคลัสเตอร์อาจมีหลายรูปแบบการคำนวณระยะทางจึงไม่ชัดเจนและไม่ซ้ำกันดังแสดงในรูปที่ 2.11[23]



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการระยะห่างการเชื่อมโยงเชิงตัวเลขที่ระบุถึงจำนวนโมดูลได้[23]

จากรูปที่ 2.11 การพิจารณาเลือกระดับชั้นบน Dendrograms จะได้จำนวนกลุ่มและสมาชิกของกลุ่ม ในที่นี้มีจำนวนกลุ่ม 3 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มมีจำนวนสมาชิกแตกต่างกันดังนี้ กลุ่มที่ 1 (a) กลุ่มที่ 2 (b,c,d,e) และกลุ่มที่ 3 (f,g,h)

การระบุจำนวนกลุ่มขึ้นส่วนที่มักจะใช้ร่วมกับการจัดกลุ่มวิธี K-Means เทคนิคที่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายคือ วิธีค่าเฉลี่ยซิลูเอตต์ Average Silhouette เป็นการพิจารณาเลือกจำนวนกลุ่มหรือโมดูลจากค่าระดับชั้นบนแผนภาพ Dendrograms สามารถทำได้ด้วยวิธีการ Silhouette Method ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายวิธีการนี้เป็นการประมาณจำนวนคลัสเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้วิธีภาพเงาเฉลี่ย (Silhouette Method) ซึ่งเป็นแนวคิดจากการคำนวณแบบ PAM อัลกอริทึม โดยใช้ค่าที่หลากหลายของของคลัสเตอร์ k หลังจากนั้นจะวาดเงาของคลัสเตอร์เฉลี่ยตามจำนวนของคลัสเตอร์ โดยภาพเงาเฉลี่ยจะวัดคุณภาพของการจัดกลุ่ม ซึ่งความกว้างของซิลูเอตต์ (Silhouette)[31] เฉลี่ยยิ่งสูงจะบ่งชี้ถึงการจัดกลุ่มที่ดี ทำให้ค่าที่ได้แสดงถึงจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดของคลัสเตอร์ k สามารถคำนวณหาค่า ซิลูเอตต์ (Silhouette) ได้โดยอาศัยสมการที่ 2.09 และ 2.10[32]

$$s_i = \frac{b_i - a_i}{\max(b_i, a_i)} \tag{2.9}$$

$$\bar{s}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

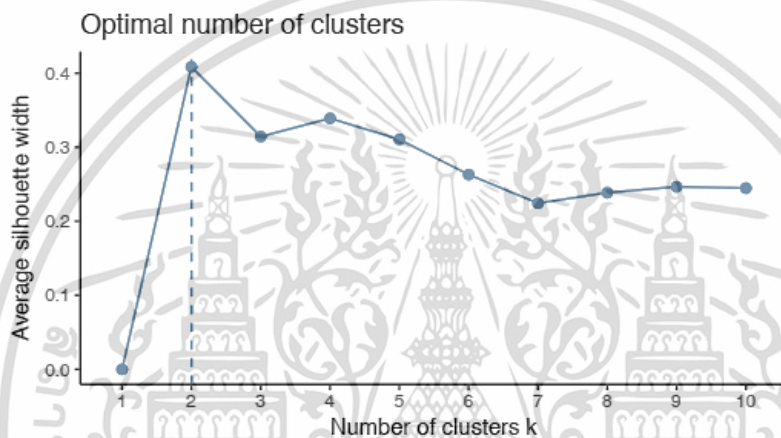
$b_i$  = ค่าความแตกต่างระหว่างชั้นส่วนกับโมดูล

$a_i$  = ค่าความแตกต่างระหว่างชั้นส่วนภายในโมดูล

$s_i$  = ค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชั้นส่วน

$\bar{s}_i$  = ค่าเฉลี่ยของ  $s_i$  (Mean Silhouette)

จากค่าเฉลี่ยของ Average Silhouette สามารถแสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ยสูงสุด เพื่อบ่งชี้ถึงกลุ่มที่เหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม (Optimal Number of Clusters) [31]

จากรูปที่ 2.12 การเลือกจำนวนกลุ่ม (Cluster K) ด้วยวิธี Silhouette จะเห็นว่าค่าที่สูงที่สุดคือ 0.42 ซึ่งตรงกับตำแหน่งของจำนวนกลุ่มเท่ากับ 2 กลุ่ม จึงสามารถสรุปได้ว่าจำนวนของกลุ่มชั้นส่วนที่เหมาะสมคือ 2 กลุ่ม

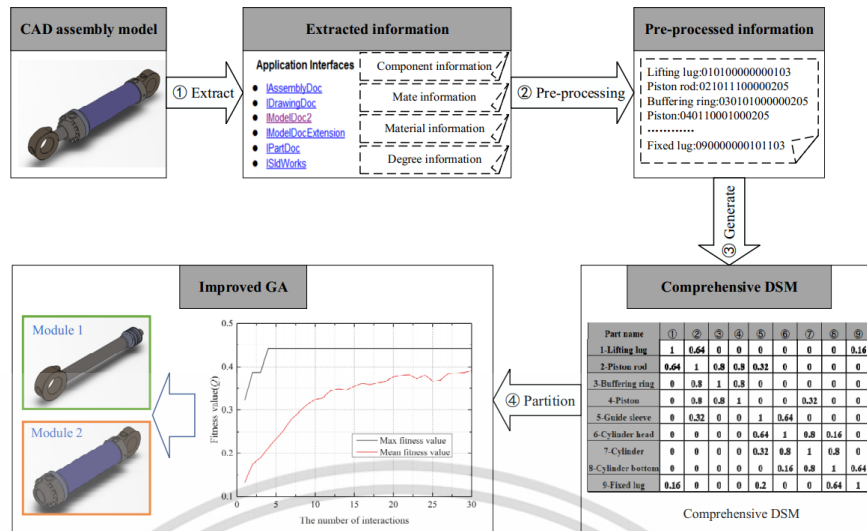
## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้ได้มีการรวบรวมและสรุปเกี่ยวกับงานวิจัยในประเด็นต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยไว้ซึ่งสามารถสรุปประเด็นไว้ดังนี้

### 2.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วน

ในงานวิจัยของ Shuai Wang และคณะ[33] ได้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างโมดูลาร์ที่สามารถรองรับต่อการพัฒนา การซ่อมบำรุง และการอัปเดต ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเครื่องจักรกลระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electromechanical Products) โดยวัดค่าความสัมพันธ์จากความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วนประกอบของเครื่องจักรเพื่อแบ่งแยกโมดูล Shuai Wang และคณะได้นำเสนอวิธีการแยกโมดูลตั้งขั้นตอนที่แสดงในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการแยกโมดูลของงานวิจัย[33]

จากรูปที่ 2.13 สามารถอธิบายถึงขั้นตอนการแยกโมดูลได้โดยสรุปมีทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

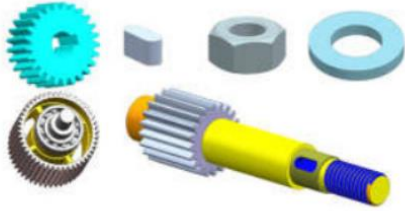
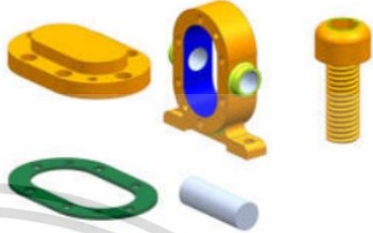

ขั้นตอนที่ 1 ใช้โปรแกรม SolidWorks Engineer และ UG ร่วมกับการสร้าง Automated Programmable Interfaces (APIs) เพื่อนำจำนวนของข้อมูลชิ้นส่วนที่มีความเชื่อมโยงระหว่างกันจากโมเดล 3 มิติ

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูลของชิ้นส่วนจากภาพประกอบโมเดล 3 มิติ ที่เป็นตัวอักษรและเป็นเงื่อนไขระหว่างชิ้นส่วนจาก CAD Software







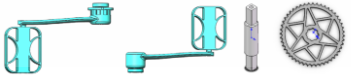
ขั้นตอนที่ 3 สร้างความสัมพันธ์ที่ครอบคลุมด้วยวิธี DSM จากการวิเคราะห์โครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรโดยใช้การประเมินความสัมพันธ์ของโครงสร้าง

ขั้นตอนที่ 4 ปรับปรุงการสร้างโมดูลบนพื้นฐานวิธีการ GA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแบ่งกลุ่มโมดูลที่ดีขึ้นโดยสร้างรหัส (Encoding) และการสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

จากวิธีการที่กล่าวมา Shuai Wang และคณะ ได้นำเสนอการออกแบบโมดูลด้วยกรณีศึกษา Gear Oil Pump และ Bicycle สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ 1) งานวิจัยนี้สามารถใช้อัลกอริทึมในการดึงข้อมูลจากโมเดล 3 มิติ ของชิ้นส่วนประกอบได้ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่อาศัยการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญและการสัมภาษณ์จากวิศวกร และ 2) การใช้วิธี GA ที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่นโดยเพิ่มความสามารถในการปรับปรุงการค้นหาสมาชิกโมดูลเพื่อแก้ปัญหาการกับพารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้นดังผลลัพธ์ที่แสดงในรูปที่ 2.14 และ 2.15

Module Name	Component	Module Component Model
Driving gear shaft—gear module	2—Driving gear shaft, 3—Driving gear shaft, 11—Driving gear, 12—Washer, 13—Nut, 14—Key	
Pump body—left pump cover module	1—Left pump cover, 4—Cylindrical pin, 5—Gasket, 6—Pump body, 15—Screw	
Right pump cover—seal module	7—Right pump cover, 8—Seal, 9—Bush, 10—Compression nut	

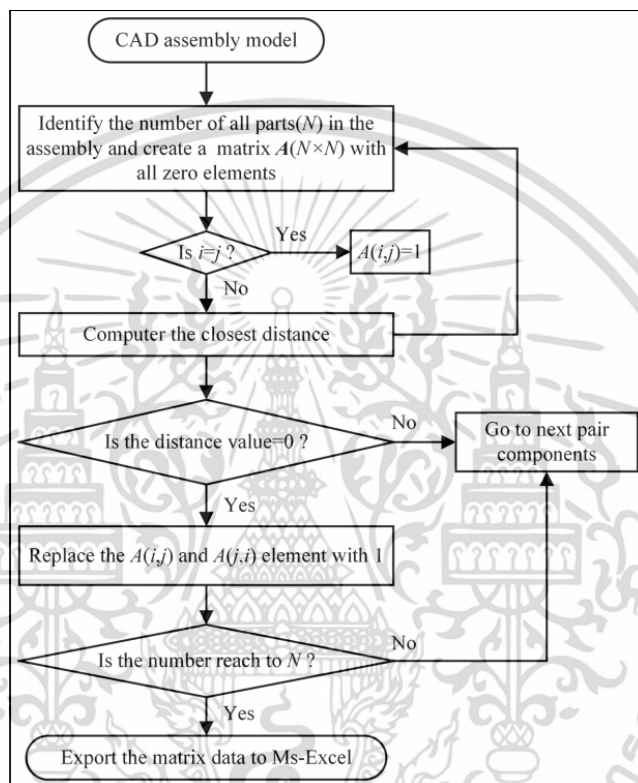
รูปที่ 2.14 ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มโมดูลในกรณีศึกษา Gear Oil Pump [33]

Module Name	Components	Module Component Model
Back wheel module	1—Back tire, 2—Back inner tube, 3—Rear wheel hub	
Power transmission module	4—Cassette, 5—Back axle, 22—Chain	
Frame module	6—Back fork, 10—Tube stack, 23—Chain stay	
Saddle module	7—Seat Post, 8—Bow, 9—Seat cushion	
Steering module	11—Upright rod, 12—Handle bar, 13—Front fork, 15—Front axle	
Front wheel module	14—Front wheel hub, 16—Front tire, 17—Front inner tube	
Power input module	18—Lift pedal, 19—Right pedal, 20—Middle axle, 21—Chain ring	

รูปที่ 2.15 ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มโมดูลในกรณีศึกษา Bicycle[33]

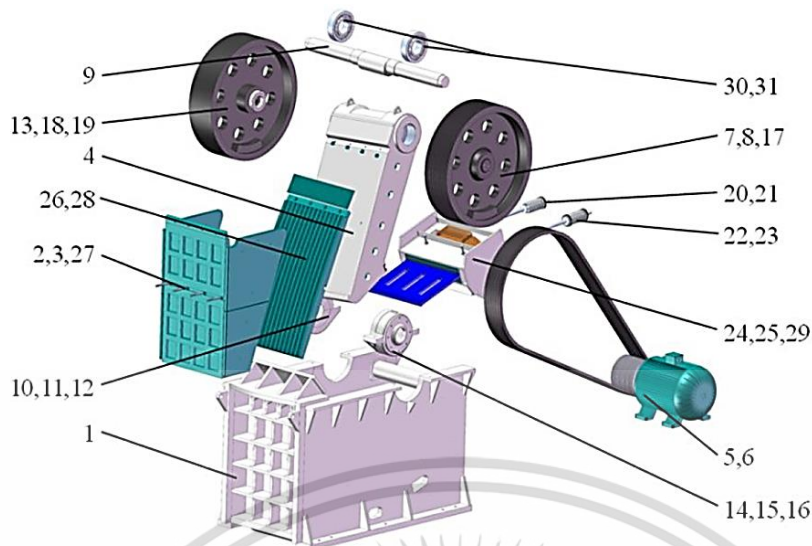
ในงานวิจัยของ Zhongkai Li และ Wenyuan Wei [34] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบโมดูล โดยสร้าง Dendrogram แบบลำดับชั้นที่มีความละเอียดแตกต่างกัน และนำเสนอวิธีการเลือกลำดับชั้นด้วยเทคนิค Elbow ที่พัฒนาขึ้นเพื่อเลือกระดับชั้นที่มีความเหมาะสมและมีความสอดคล้องกัน โดยสร้างเงื่อนไขความสัมพันธ์จากการประกอบของโมเดล 3 มิติ รวมไปถึงการแยกความสัมพันธ์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างชิ้นส่วนเพื่อสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (DSM) แบบอัตโนมัติจากการประกอบของโมเดล 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks CAD กับ Visual Studio หลังจากนั้นใช้เทคนิค Elbow ที่พัฒนาขึ้นเข้ามาวิเคราะห์โมดูลเพื่อเลือกจำนวนโมดูลที่เหมาะสม (K Clustering) ซึ่งพัฒนาขึ้นจาก Sum of Square Errors (SSE) ของระยะห่างระหว่างชิ้นส่วนภายในแต่ละกลุ่มจากค่าลำดับชั้นบนแผนภาพ Dendrogram เพื่อเลือกลำดับชั้นที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่ต้องป้อนจำนวนโมดูลโดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังรายละเอียดในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วิธีการดำเนินงานวิจัย[34]

จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นพิสูจน์โดยใช้กับกรณีศึกษาเครื่องบดหิน งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการสร้าง DSM โดยอัตโนมัติสามารถอธิบายได้ถึงโครงสร้างความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนเครื่องจักรจากโมเดล 3 มิติ และมีการนำเสนอถึงวิธี Elbow ที่พัฒนาขึ้นเพื่อระบุระดับชั้นของแผนภาพ Dendrogram ที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่ต้องกำหนดจำนวนโมดูล (K Clustering) ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.17



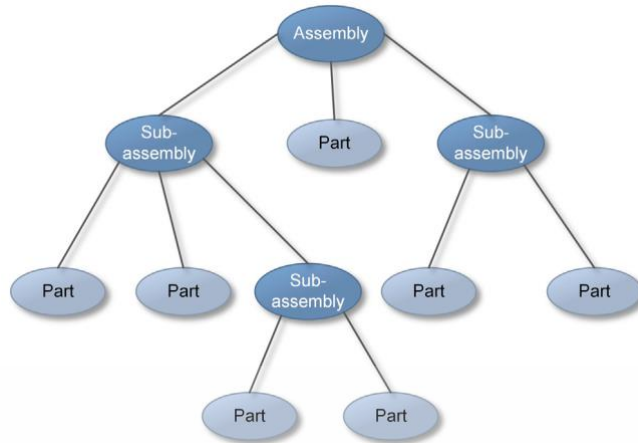
รูปที่ 2.17 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มเครื่องจักร[34]

ในงานวิจัยของ Xianfu Cheng และคณะ[35] ได้นำเสนอถึงแนวทางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนและการเปลี่ยนแปลงผลกระทบระหว่างโมดูล รวมไปถึงการระบุโมดูลที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นโมดูลาร์ (Modular Product Design) โดยศึกษาถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ระหว่างชิ้นส่วนด้วยการออกแบบเมทริกซ์โครงสร้าง (Design Structure Matrix, DSM) เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนและการวัดระดับของผลกระทบที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างโมดูล โดยสร้างแผนผังการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนภายในโมดูล

จากวิธีการที่ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนหรือโมดูลชิ้นส่วน จะทำให้โมดูลอื่นๆ เปลี่ยนแปลงจากความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ ทำเข้าใจได้ว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเชื่อมโยงระหว่างโมดูลไม่ได้เป็นองค์ประกอบเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ของโมดูลด้วย ทำให้โมดูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะได้รับผลกระทบมากขึ้นตามและทำให้ขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงยิ่งมากขึ้นตาม วิธีการดังกล่าวจะถูกประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์การเชื่อมโยงและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงที่สามารถแสดงให้เห็นโดยตัวอย่างของตัวจับแครง

### 2.2.2 ความสัมพันธ์ในการประกอบชิ้นส่วน

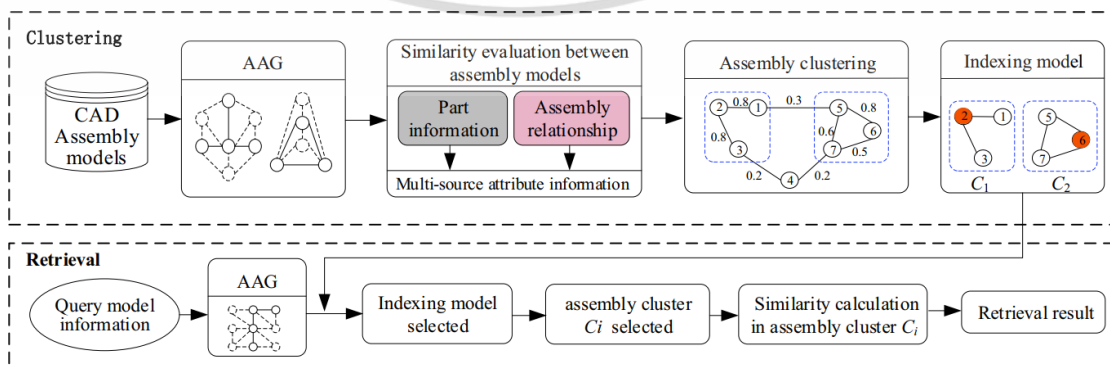
ในงานวิจัย Zhuoran Li และคณะ[36] ได้ศึกษาถึงการเพิ่มคุณภาพแบบจำลองของข้อจำกัดในการลำดับการประกอบชิ้นส่วน (Assembly) และลดต้นทุนในการจำลองการประกอบ โดยนำเสนอถึงโครงสร้างการลำดับบล็อกการประกอบเพื่อจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลของแอตทริบิวต์ ที่มีลักษณะข้อจำกัดลำดับที่สำคัญต่อการประกอบชิ้นส่วนและสำคัญต่อตัวแปรร่วมของชิ้นส่วน ผู้วิจัยได้พัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Kit, SDK) เข้ามาช่วยจัดเตรียมข้อมูลร่วมเข้าสำหรับการจำลองที่แตกต่างกัน โดยมีโครงสร้างการประกอบดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 โครงสร้างการประกอบชิ้นส่วน[36]

จากวิธีการที่กล่าวมา Zhuoran Li และคณะ ได้นำเสนอถึงโครงสร้างการลำดับบล็อกและอธิบายถึงการแปลงสถานะเพื่อจัดการดำเนินการจำลองผลแบบ VAVD เพื่อแสดงการกระจายของความสัมพันธ์และลำดับความสำคัญของการประกอบที่สามารถลดความซับซ้อนของการพัฒนา ที่สามารถช่วยให้นักออกแบบสามารถพัฒนาการประกอบต่อไปได้ ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า SDK มีความสามารถในการลดระยะเวลาการพัฒนาต้นทุ่นทางเศรษฐกิจได้ดีขึ้น

ในงานวิจัย Zhoupeng Han และคณะ [37] ได้นำเสนอการวัดค่าความคล้ายจากการดึงข้อมูลของ CAD จากการประกอบที่มีความคล้ายคลึงกันของข้อมูลรูปทรงทางเรขาคณิต (Geometry) และข้อมูลโครงสร้างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Topology Information) ที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของนักออกแบบภายในกระบวนการสร้างแนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อสร้างแบบจำลองการประกอบด้วย CAD ที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยข้อมูลดังกล่าวมีข้อกำหนดในการออกแบบผลิตภัณฑ์สำหรับสร้างแบบจำลองการประกอบในขั้นตอนการออกแบบแนวคิดผลิตภัณฑ์ และการสร้างกลุ่มชิ้นส่วนการประกอบด้วย CAD จะแสดงด้วยกราฟ Attribute Adjacency Graph (AAG) รวมไปถึงค่าความคล้ายคลึงระหว่างโมเดลการประกอบจะถูกนำมาพิจารณาข้อมูลระหว่างชิ้นส่วนและข้อมูลความสัมพันธ์ของการประกอบชิ้นส่วนโดยมารายละเอียดกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 กระบวนการพิจารณาข้อมูลชิ้นส่วนและข้อมูลความสัมพันธ์[37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการดึงข้อมูลการประกอบเป็นปัญหาที่ค่อนข้างยากและซับซ้อนซึ่งประกอบไปด้วยตำราที่หลากหลายนี้นี้ ความคล้ายคลึงกันของรูปทรงทางเรขาคณิตของชิ้นส่วน ข้อมูลโครงสร้างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ความสัมพันธ์การประกอบระหว่างชิ้นส่วน และฟังก์ชันของชิ้นส่วน นอกจากนี้โครงสร้างการประกอบเดียวกันอาจจะมีหน้าที่การทำงานต่างกัน และโครงสร้างการประกอบต่างกันอาจจะมีหน้าที่การทำงานเหมือนกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการดึงข้อมูลค่าความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันระหว่างการประกอบที่อยู่ในโมเดลจะแสดงด้วยกราฟชิ่งน้ำหนัก และอัลกอริทึมการจัดกลุ่มที่พัฒนาขึ้นใหม่จะสร้างกลุ่มโมเดลขึ้นมาใหม่ โดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาการดึงข้อมูลแบบอัตโนมัติสำหรับการประกอบเพื่อให้ นักออกแบบสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาได้จริง

### 2.2.3 การระบุจำนวนกลุ่มชิ้นส่วน

ในงานวิจัยของ Lin Ma และคณะ[38] ได้นำเสนอถึงวิธีการใช้ระเบียบวิธีที่สามารถระบุถึงจำนวนกลุ่มได้ล่วงหน้า โดยใช้ 2 เทคนิคหลัก คือ 1) การค้นหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพ และ 2) ใช้รูปร่างความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในการแจกแจงระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางกลุ่มที่เลือกและจุดอื่นๆ ภายในชุดข้อมูล สิ่งเหล่านี้ใช้เพื่อระบุถึงจำนวนกลุ่มที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าวิธีการดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงความสามารถที่ทดสอบสัญญาณรบกวนได้ดี โดยกระบวนการเปลี่ยนค่าเฉลี่ยเดิมของกลุ่มข้อมูลที่มีศักยภาพที่ถูกสร้างจากฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของระยะทางที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่าการจัดกลุ่มชุดข้อมูลทั่วไป โดยมีการค้นพบดังนี้ 1) จากการทดลองพบว่าระเบียบวิธีการจัดกลุ่มการสแกนเรดาร์ตามค่าความหนาแน่นนั้นมีประสิทธิภาพ แม่นยำ และไม่ไวต่อสัญญาณรบกวน 2) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นระเบียบวิธีใหม่ใช้กับชุดข้อมูลจริงจะมีประสิทธิภาพไม่เทียบเท่ากับการใช้กับชุดข้อมูลที่ถูกล้างสะอาดขึ้น เนื่องจากข้อมูลสังเคราะห์มี UCI ที่สัมพันธ์กัน

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการออกแบบเครื่องจักรเป็นโมดูล (Modularization of Machines) กับเครื่องจักรทั้งหมด 3 เครื่องจักร โดยผู้วิจัยได้ศึกษาถึงตัวแปรที่สำคัญต่อการสร้างโมดูลเครื่องจักร 5 ตัวแปรหลัก คือ

### 1. การสร้างเงื่อนไขแรงผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สร้างเงื่อนไขใหม่สำหรับการผลักดันให้เกิดโมดูลเครื่องจักร โดยใช้ความสัมพันธ์ของการประกอบระหว่างชิ้นส่วนเครื่องจักร (Assembly of Component) ในการพิจารณาสมาชิกของโมดูลด้วยวิธีความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน (Connection Correlation Method: CCM) และใช้ความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน (Connection of Component)

### 2. วัดค่าความคล้ายคลึงและความแตกต่าง (Measures of Similarity and Dissimilarity)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการวัดค่าระยะทางระหว่างชิ้นส่วนด้วยวิธีการที่นิยมใช้กันแพร่หลายคือ Jaccard Coefficient และ Spearman Correlation Coefficient เพื่อใช้คำนวณหา ค่า Similarity และ Dissimilarity

### 3. การเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลขเป็นลำดับชั้น (Hierarchical Clustering)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการจัดกลุ่มชิ้นส่วนเครื่องจักรคือ Complete Linkage และ Single linkage ที่สามารถแสดงผลลำดับชั้นได้ด้วย Dendrogram Plot

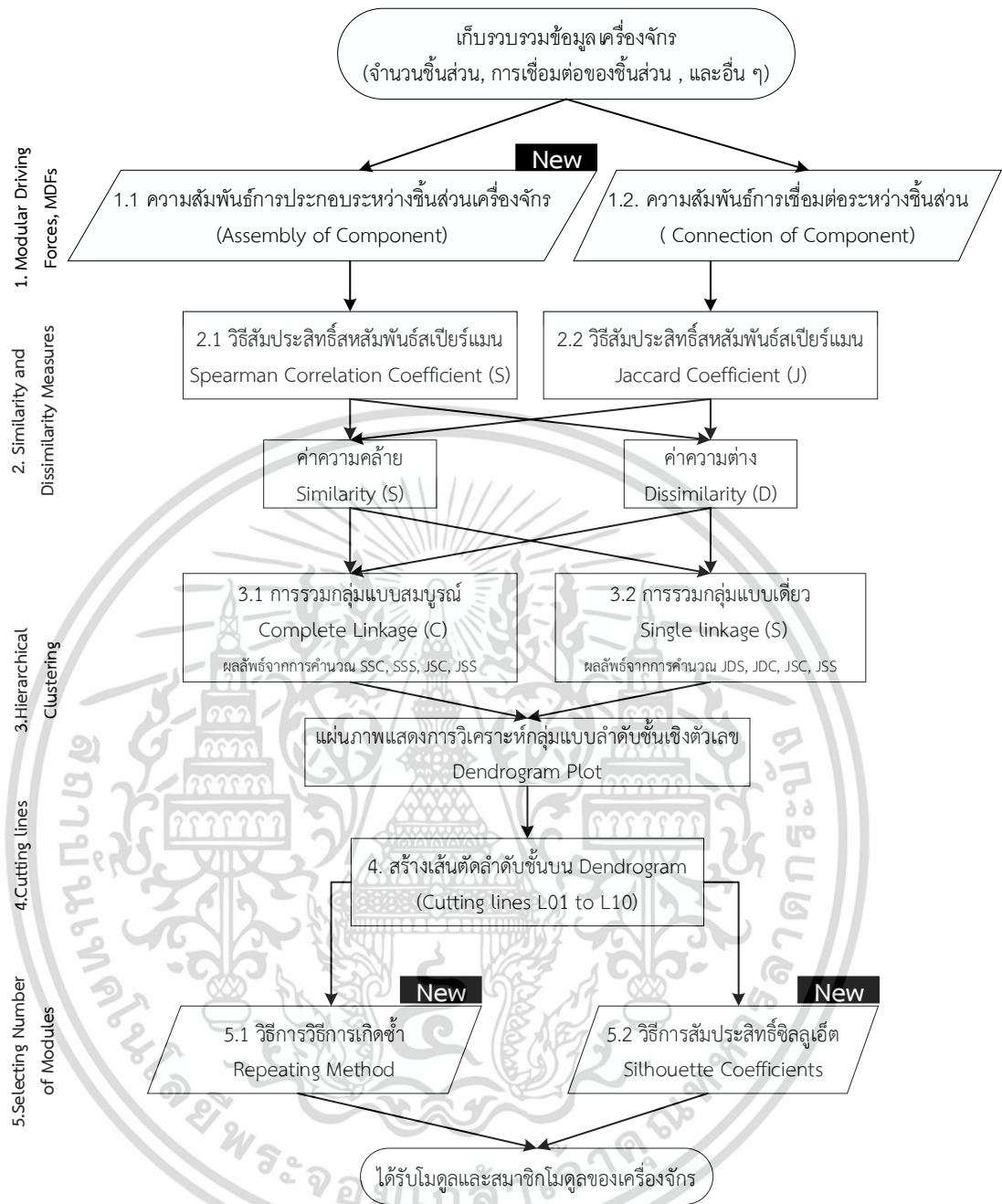
### 4. สร้างเส้นตัดลำดับชั้น (Cutting Lines)

ผู้วิจัยได้สร้างเส้นตัดลำดับชั้นลงบนแผนภาพตัวเลขเชิงลำดับชั้น (Dendrogram) จำนวน 10 ระดับ จากค่ามากที่สุดไปหาค่าน้อยสุดของลำดับชั้น

### 5. เลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักร (Selecting Number of Modules)

ในงานนี้ผู้วิจัยได้สร้างระเบียบวิธีใหม่สำหรับเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรขึ้น 2 รูปแบบ คือ 1) การพิจารณากลุ่มชิ้นส่วนจากการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method) และ 2) การพิจารณาโมดูลชิ้นส่วนจากค่าความสอดคล้อง (Natural Values) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต (Silhouette Coefficients)

เมื่อชิ้นส่วนเครื่องจักรถูกพิจารณาด้วยวิธีการที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการดังกล่าวคือ เครื่องจักรที่ถูกแบ่งออกเป็นโมดูล (Modular System) ซึ่งมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปวิธีการออกแบบเครื่องจักรเป็นโมดูล (Modularization of Machines) ได้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. สร้างวิธีการผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs) คือ การคิดค้นวิธีการกำหนดค่าที่สำคัญสำหรับการออกแบบเครื่องจักร เพื่อใช้พิจารณาตำแหน่งของชิ้นส่วนว่าจะต้องอยู่ร่วมกับโมดูลใด ในงานวิจัยนี้ใช้ 2 วิธี ดังนี้

1.1 ใช้ค่าความสัมพันธ์การประกอบระหว่างชิ้นส่วนเครื่องจักร (Assembly of Component) โดยอาศัยรูปแบบการประกอบของชิ้นส่วนที่นักออกแบบได้กำหนดให้กับชิ้นส่วน ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ที่ผู้วิจัยนำมาใช้เพื่อผลักดันให้เกิดโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ใช้ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน (Connection of Component) โดยอาศัยการสัมผัสหรือติดกันระหว่างชิ้นส่วน

2. วัดค่าความคล้ายและความแตกต่าง (Similarity and Dissimilarity) คือ การวัดค่าความคล้ายและความต่างระหว่างชิ้นส่วน ในงานวิจัยนี้ใช้ 2 วิธี ดังนี้

2.1 วิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (Spearman Correlation Coefficient) มาใช้กับการวัดค่าความสัมพันธ์ที่ได้จาก ค่าความสัมพันธ์การประกอบระหว่างชิ้นส่วนเครื่องจักร (Assembly of Component)

2.2 วิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (Jaccard Coefficient) มาใช้กับการวัดค่าความสัมพันธ์ที่ได้จาก ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน (Connection of Component)

3. สร้างการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลขแบบเป็นลำดับชั้น (Hierarchical Clustering) คือ การสร้างโครงข่ายการเชื่อมโยงระหว่างชิ้นส่วนที่มีค่าความสัมพันธ์สอดคล้องกัน โดยอาศัยวิธีการที่เป็นที่นิยม 2 วิธี ดังนี้

3.1 การรวมกลุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Linkage) เป็นการพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนที่มีระยะห่างกันมากที่สุด

3.2 การรวมกลุ่มแบบเดี่ยว (Single linkage) เป็นการพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนที่มีระยะห่างกันน้อยที่สุด

4. สร้างเส้นตัดลำดับชั้น (Cutting Lines) บน Dendrogram โดยตัดจากระดับค่ามากที่สุดไปหาค่าน้อยสุดจำนวน 10 เส้นตัด

5. เลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection) จากเส้นตัดทั้งหมด 10 เส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งโมดูลที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด โดยใช้ 2 วิธีดังนี้

5.1 วิธีการเกิดซ้ำ (Repeating Method) เป็นการพิจารณาจำนวนโมดูลจากการซ้ำซ้อนกันของโมดูลที่ได้จากเส้นตัด 10 เส้น ซึ่งวิธีการนี้เป็นการพัฒนาจากผู้วิจัย

5.2 วิธีการสัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต (Silhouette Coefficients) เป็นการพิจารณาจากค่าความเป็นธรรมชาติระหว่างโมดูลที่ได้จากเส้นตัด 10 เส้น

**ตารางที่ 3.1** ขั้นตอนการวิจัยบนเงื่อนไขการประกอบชิ้นส่วน (Assembly of Component)

No	ระเบียบวิธีการสร้างโมดูล (Algorithm for modularization of machines.)		วิธีดำเนินงาน								
			SSC		SSS		SDC		SDS		
1.	(Input) 3D-Models		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2.	Modular Driving Forces, MDFs	*Assembly of Component	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3.	Similarity and Dissimilarity Measures	Jaccard (Similarity)									
		Spearman (Similarity)	✓	✓	✓	✓					
		Jaccard (Dissimilarity)									
		Spearman (Dissimilarity)					✓	✓	✓	✓	
4.	Hierarchical Clustering	Complete Linkage	✓	✓			✓	✓			
		Single linkage			✓	✓			✓	✓	
วิธีการเลือกจำนวนโมดูล (k)			1	2	3	4	5	6	7	8	
5.	Cutting lines	L01 to L10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
6.	K-Value Selection (k)	*Repeating Method	✓		✓		✓		✓		
		Silhouette Coefficients		✓		✓		✓		✓	
7.	(Output) Modules		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ \* คือ เทคนิคใหม่ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

**ตารางที่ 3.2** ขั้นตอนการวิจัยบนเงื่อนไขเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน (Connection of Component)

No	ระเบียบวิธีการสร้างโมดูล (Algorithm for modularization of machines.)		วิธีดำเนินงาน							
			JSC		JSS		JDC		JDS	
1.	(Input) 3D-Models		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.	Modular Driving Forces, MDFs	Connection of Component	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.	Similarity and Dissimilarity Measures	Jaccard (Similarity)	✓	✓	✓	✓				
		Spearman (Similarity)								
		Jaccard (Dissimilarity)					✓	✓	✓	✓
		Spearman (Dissimilarity)								
4.	Hierarchical Clustering	Complete Linkage	✓	✓			✓	✓		
		Single linkage			✓	✓			✓	✓
วิธีการเลือกจำนวนโมดูล (k)			1	2	3	4	5	6	7	8
5.	Cutting lines	L01 to L10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6.	K-Value Selection (k)	*Repeating Method	✓		✓		✓		✓	
		Silhouette Coefficients		✓		✓		✓		✓
7.	(Output) Modules		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ \* คือ เทคนิคใหม่ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.3** สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วิธีการ	ระเบียบวิธีการสร้างโมดูล (Algorithm for the machine modules.)	วิธีการเลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection)
1. SSC	Spearman's rank Coefficient → Similarity Coefficient → Complete Linkage	1.Repeating Method and 2.Silhouette Coefficients
2. SSS	Spearman's rank Coefficient → Similarity Coefficient → Single linkage	
3. SDC	Spearman's rank Coefficient → Dissimilarity Coefficient → Complete Linkage	
4. SDS	Spearman's rank Coefficient → Dissimilarity Coefficient → Single linkage	
5. JSC	Jaccard Coefficient → Similarity Coefficient → Complete Linkage	
6. JSS	Jaccard Coefficient → Similarity Coefficient → Single linkage	
7. JDC	Jaccard Coefficient → Dissimilarity Coefficient → Complete Linkage	
8. JDS	Jaccard Coefficient → Dissimilarity Coefficient → Single linkage	

จากตารางที่ 3.3 แสดงถึงแผนการดำเนินงานวิจัยที่ใช้กับกรณีศึกษาทั้งหมดซึ่งในแต่ละกรณีศึกษาจะมีผลลัพธ์ทั้งสิ้น 16 ทางเลือก ซึ่งมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

- 3.1 ทำการศึกษาข้อมูลชิ้นส่วนเครื่องจักรของกรณีศึกษา (3D-Models)
- 3.2 ทำการศึกษาวิธีการผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs)
- 3.3 ทำการศึกษาวิธีการวัดค่าความคล้ายและความต่าง (Similarity and Dissimilarity)
- 3.4 ทำการศึกษากการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลขแบบเป็นลำดับชั้น (Hierarchical Clustering)
- 3.5 ทำการศึกษาวิธีการสร้างเส้นตัดลำดับชั้น (Cutting lines)
- 3.6 ทำการศึกษาวิธีการเลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection)
- 3.7 ทำการสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

### 3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลเครื่องจักร (3D-Models)

- กรณีศึกษาที่ 1 เครื่องผสมดิน (Soil Mixing Machine)

กรณีศึกษานี้ใช้เครื่องผสมดินปลุกต้นไม้กำลังการผสมสูงสุด 1.5 ตัน/ครั้ง และมีระบบลำเลียงวัสดุผสมจากที่ต่ำเข้าไปยังห้องผสมที่สูงกว่าระดับพื้น มาใช้เป็นกรณีศึกษากระบวนการออกแบบเครื่องจักรเป็นโมดูลโดยซึ่งมีจำนวนชิ้นส่วนประกอบทั้งหมด 75 ชิ้น

- กรณีศึกษาที่ 2 ระบบขนถ่ายอัตโนมัติ (Automated Conveyor System)

กรณีศึกษานี้ใช้ระบบขนถ่ายสำหรับขนถ่ายชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีน้ำหนักไม่เกิน 300 กรัม มาใช้เป็นกรณีศึกษากระบวนการออกแบบเครื่องจักรเป็นโมดูลโดยซึ่งมีจำนวนชิ้นส่วนประกอบทั้งหมด 40 ชิ้น

- กรณีศึกษาที่ 3 ชุดส่งกำลังเครื่องพิมพ์อุตสาหกรรม (Industrial Printer Powertrain Set)

กรณีศึกษานี้ใช้ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ คือชุดส่งกำลังของเครื่องพิมพ์ มาใช้เป็นกรณีศึกษากระบวนการออกแบบเครื่องจักรเป็นโมดูลโดยซึ่งมีจำนวนชิ้นส่วนประกอบทั้งหมด 105 ชิ้น

**ตารางที่ 3.4** สรุปกรณีศึกษาที่นำมาใช้กับงานวิจัยนี้

No.	รายการกรณีศึกษา	จำนวน (ชิ้น)
1	เครื่องผสมดิน (Soil Mixing Machine)	75
2	ระบบขนถ่ายอัตโนมัติ (Automated Conveyor System)	40
3	ชุดส่งกำลังเครื่องพิมพ์อุตสาหกรรม (Industrial Printer Powertrain Set)	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การศึกษาวิธีการผลักดันให้เกิดโมดูล (Modular Driving Forces, MDFs)

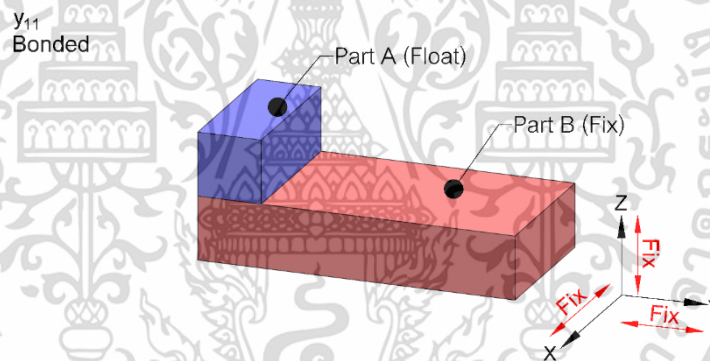
เงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดโมดูลในทางกายภาพและหน้าที่การของชิ้นส่วน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อจำนวนสมาชิกและลักษณะของโมดูล ในงานวิจัยนี้นำเสนอเงื่อนไขแรงผลักดันของโมดูลเครื่องจักร 2 วิธีการคือ วิธีการที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น และวิธีการที่นิยมใช้ทั่วไปดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 3.2.1 วิธีการหาค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน (Connection Correlation Method: CCM)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สร้างเงื่อนไขรูปแบบใหม่สำหรับสร้างแรงผลักดันที่ทำให้เกิดโมดูลเครื่องจักร โดยใช้วิธีการพิจารณาจากความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน (Connection Correlation Method; CCM) [39] เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างโมดูลเครื่องจักรให้สอดคล้องกับการประกอบ (Assembly of Component) โดยมีรายละเอียดความสัมพันธ์การประกอบระหว่างชิ้นส่วนดังต่อไปนี้

##### 1. เงื่อนไขแบบ Bonded

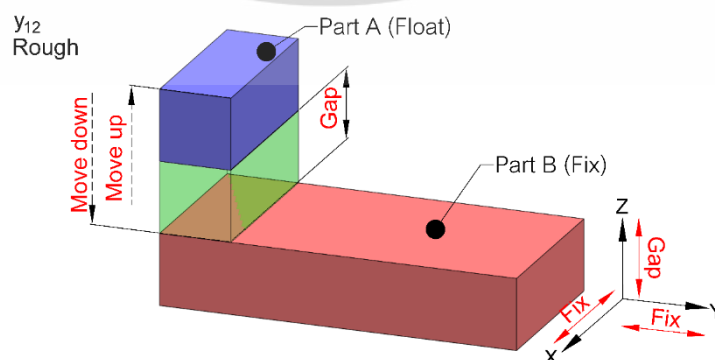
เมื่อชิ้นส่วน A กับ B ยึดติดกันและไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ กำหนดให้เป็นตัวแปร Y11 ของเงื่อนไข Bonded ดังรายละเอียดในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.2 เงื่อนไขการประกอบแบบ Bonded

##### 2. เงื่อนไขแบบ Rough

เมื่อชิ้นส่วน A กับ B ประกอบเข้าด้วยกันและเกิดช่องว่างระหว่างกัน กำหนดให้เป็นตัวแปร Y12 ของเงื่อนไข Rough ดังรายละเอียดในรูปที่ 3.6

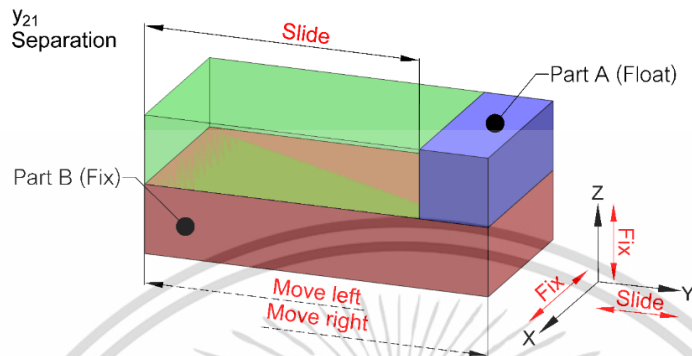


รูปที่ 3.3 เงื่อนไขการประกอบแบบ Rough

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. เงื่อนไขแบบ Separation

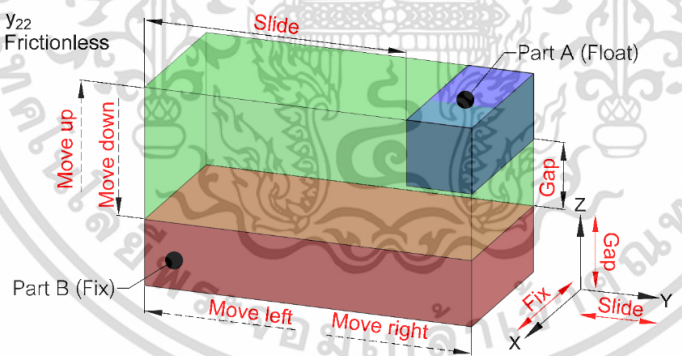
เมื่อชิ้นส่วน A กับ B ประกอบเข้าด้วยกันสามารถเลื่อนไถลระหว่างกันได้โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเกิดขึ้น กำหนดให้เป็นตัวแปร Y21 ของเงื่อนไข Separation ดังรายละเอียดในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.4 เงื่อนไขการประกอบแบบ Separation

### 4. เงื่อนไขแบบ Frictionless

เมื่อชิ้นส่วน A กับ B ประกอบเข้าด้วยกันสามารถเลื่อนไถลระหว่างกันได้โดยไม่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเกิดขึ้น และมีช่องว่างระหว่างกันได้โดยอิสระ กำหนดให้เป็นตัวแปร Y22 ของเงื่อนไข Frictionless ดังรายละเอียดในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.5 เงื่อนไขการประกอบแบบ Frictionless

จากเงื่อนไขที่อธิบายข้างต้นสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วน A กับ B ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.5

**ตารางที่ 3.5** การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วน A กับ B ด้วยวิธี CCM

	ชิ้นส่วน A	
ชิ้นส่วน B	Y11	Y12
	Y21	Y22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแบบของเงื่อนไขทั้ง 4 สามารถนำมาสร้างเมทริกซ์ค่าความสัมพันธ์การการประกอบของชิ้นส่วนได้โดยอาศัยใช้สมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2 ลงในตารางที่ 3.5

$$\begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} = y_{mn} \begin{cases} 1, \text{ Meet the Condition} \\ 0, \text{ Otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} y_{11} &= \text{เงื่อนไขการประกอบ Bonded} \\ y_{12} &= \text{เงื่อนไขการประกอบ Rough} \\ y_{21} &= \text{เงื่อนไขการประกอบ Separation} \\ y_{22} &= \text{เงื่อนไขการประกอบ Frictionless} \end{aligned}$$

$$ccm_{mn} = \left( \frac{\sum_{i=2}^2 \sum_{i=2}^2 y_{mn}}{4} \right) \quad (3.2)$$

โดยที่

$CCM_{mn}$  = ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อของชิ้นส่วน มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

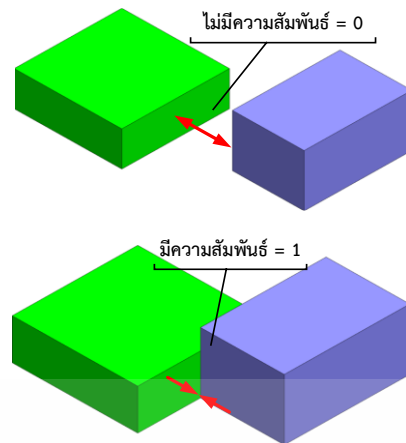
ผลลัพธ์จากการใช้สมการที่ 3.2 คำนวณค่าจากเงื่อนไขการเชื่อมต่อในการประกอบชิ้นส่วนสามารถบันทึกผลลงในตารางที่ 3.6

**ตารางที่ 3.6** ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อการประกอบระหว่างชิ้นส่วน (CCM Matrix)

Element	A	B	C	D	..., n
A	$ccm_{11}$	$ccm_{12}$	...	...	$ccm_{1n}$
B	$ccm_{21}$	$ccm_{22}$	...	...	$ccm_{2n}$
C	⋮	⋮	⋮		⋮
D	⋮	⋮		⋮	⋮
..., n	$ccm_{m1}$	$ccm_{m2}$	...	...	$ccm_{mn}$

### 3.2.2 ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างพื้นผิวชิ้นส่วน (Connection of Component)

ในส่วนนี้เป็นการเตรียมข้อมูลความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนจาก 3D-Model เครื่องจักรทั้ง 3 กรณีศึกษา โดยพิจารณาจากผิวสัมผัสระหว่างคู่ประกอบของชิ้นส่วนที่อยู่ในลักษณะติดกันหรือไม่ติดกัน [40] ดังแสดงในภาพที่ 3.9



รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน (Connection of Component)

จากรูปที่ 3.9 สามารถอธิบายได้ถึงการเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนที่สัมผัสกันผิวใดผิวหนึ่ง จากรูปแบบความสัมพันธ์นี้สามารถสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Design Structure Matrix, DSM) กับกรณีศึกษาทั้งหมดโดยใช้สมการที่ 3.3 ลงในตารางที่ 3.6

$$a_{mn} = \begin{cases} 0 & (m \neq n \text{ or } y_n \not\rightarrow y_m) \\ 1 & (y_n \rightarrow y_m) \end{cases} \quad (3.3)$$

โดยที่

- $a_{mn}$  = ตำแหน่งของเซลล์ (Cell) ในลำดับแถวที่  $m$  และคอลัมน์ที่  $n$
- 0 = ไม่มีความสัมพันธ์
- 1 = มีความสัมพันธ์
- $m$  = ลำดับแถวที่  $m$
- $n$  = ลำดับคอลัมน์ที่  $n$

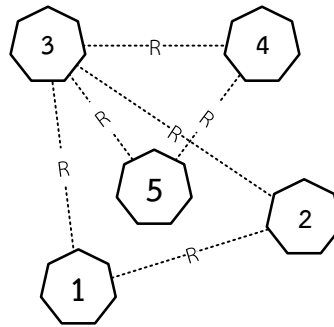
ตารางที่ 3.7 ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน

Element	A	B	C	D	..., n
A	$a_{11}$	$a_{12}$	...	...	$a_{1n}$
B	$a_{21}$	$a_{22}$	...	...	$a_{2n}$
C	⋮	⋮	⋱	⋱	⋮
D	⋮	⋮	⋱	⋱	⋮
..., n	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	...	$a_{mn}$

### 3.3 การศึกษาวิธีการวัดค่าความคล้ายและความแตกต่าง (Similarity and Dissimilarity)

โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการอธิบายถึงวิธีการคำนวณค่าความคล้ายและความแตกต่าง จากผลลัพธ์ในขั้นตอนที่ 3.2 โดยใช้เทคนิค CCM ในการพิจารณาความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



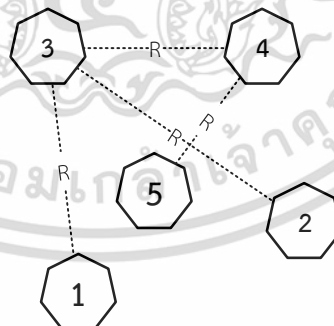
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนจากการประกอบ

จากรูปที่ 3.10 สามารถใช้เทคนิค CCM เพื่อคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนเครื่องจักร ซึ่งผลที่ได้โดยอาศัยสมการที่ 3.2 สามารถแสดงผลที่ได้ดังในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.8 ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์การประกอบระหว่างชิ้นส่วน

Part No.	1	2	3	4	5
1	1	0.500	0.500	0	0
2	0.500	1	0.250	0	0
3	0.500	0.250	1	0.250	0.250
4	0	0	0.250	1	0.250
5	0	0	0.250	0.250	1

โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการอธิบายถึงวิธีการคำนวณค่าความคล้ายและความแตกต่าง จากผลลัพธ์ในขั้นตอนที่ 3.2 โดยใช้เทคนิคค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน (Connection of Component) ในการพิจารณาความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนจากการเชื่อมต่อระหว่างผิว

จากรูปที่ 3.11 สามารถใช้เทคนิคค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน (Connection of Component) เพื่อคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนเครื่องจักร ซึ่งผลที่ได้โดยอาศัยสมการที่ 3.3 สามารถแสดงผลที่ได้ดังในตารางที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.9** ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างผิวชิ้นส่วน

Part No.	1	2	3	4	5
1	1	0	1	0	0
2	0	1	1	0	0
3	1	1	1	1	0
4	0	0	1	1	1
5	0	0	0	1	1

### 3.3.1 การวัดค่าความคล้ายคลึงโดยใช้วิธี Spearman's Rank Correlation

ในส่วนนี้ใช้วิธี Spearman's Rank Correlation เพื่อวัดค่าความคล้ายคลึงของข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนที่เป็นตัวเลขเชิงปริมาณตั้งแต่ 0 ถึง 1 จากเมทริกซ์ค่าความสัมพันธ์การประกอบของชิ้นส่วนซึ่งเป็นข้อมูลที่รองรับกับวิธีการนี้โดยพิจารณาทุกชิ้นส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.12 สามารถคำนวณค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity) ได้โดยใช้สมการที่ 3.4 และวัดค่าความแตกต่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Dissimilarity) โดยใช้สมการที่ 2.4



**รูปที่ 3.9** การพิจารณาค่าความคล้ายด้วยวิธี Spearman's Rank Correlation

สามารถคำนวณค่า Rank Average ของ X เมื่อ X = แถวที่ 1 จากตารางที่ 3.8 ได้โดยอาศัยสมการที่ 2.2 ดังแสดงในตารางที่ 3.10

**ตารางที่ 3.10** ผลลัพธ์ค่า Rank Average ( $R_x$ )

No.	X	Rank	Rank Average ( $R_x$ )	
1	1	1	Max (X)	1.000
2	0.500	2	$(2+3)/2$	2.500
3	0.500	2	$(2+3)/2$	2.500
4	0	4	$(4+5)/2$	4.500
5	0	4	$(4+5)/2$	4.500

สามารถคำนวณค่า Rank Average ของ Y เมื่อ Y = แถวที่ 2 จากตารางที่ 3.8 ได้โดยอาศัยสมการที่ 2.3 ดังแสดงในตารางที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.11** ผลลัพธ์ค่า Rank Average ( $R_y$ )

No.	Y	Rank	Rank Average ( $R_y$ )	
1	0.500	2	-	2.000
2	1.000	1	Max (Y)	1.000
3	0.250	3	-	3.000
4	0	4	(5+4)/2	4.500
5	0	4	(5+4)/2	4.500

จากค่า Rank Average ของ  $R_x$  และ  $R_y$  สามารถนำมาคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity) โดยอาศัยสมการที่ 2.1 ดังรายละเอียดในตาราง 3.11 และผลลัพธ์จากการคำนวณแสดงในตารางที่ 3.12

**ตารางที่ 3.12** การคำนวณค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity)

Part No.	$x$	$y$	$R_x$	$R_y$	$(R_x - \bar{R}_x)^2$	$(R_y - \bar{R}_y)^2$	$(R_x - \bar{R}_x)(R_y - \bar{R}_y)$
1	1.000	0.500	1.000	2.000	4.000	1.000	2.000
2	0.500	1.000	2.500	1.000	0.250	4.000	1.000
3	0.500	0.250	2.500	3.000	0.250	0	0
4	0.000	0.000	4.500	4.500	2.250	2.250	2.250
5	0.000	0.000	4.500	4.500	2.250	2.250	2.250
			$\bar{R}_x = 3$	$\bar{R}_y = 3$	$\sum_{i=1}^n (R_x - \bar{R}_x)^2 = 9.000$	$\sum_{i=1}^n (R_y - \bar{R}_y)^2 = 9.500$	$\sum_{i=1}^n (R_x - \bar{R}_x)(R_y - \bar{R}_y) = 7.500$

จากตารางที่ 3.11 สามารถคำนวณค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity) ได้โดยอาศัยสมการที่ 2.1 และแสดงผลลัพธ์ในตารางที่ 3.12 ดังตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ตัวอย่าง : } Sc_{sim}(x, y) = \frac{7.500}{\sqrt{9.000}\sqrt{9.500}} = 0.811$$

**ตารางที่ 3.13** ผลลัพธ์ค่าความคล้าย (Similarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด

Part No.	1	2	3	4	5
1	1	0.811	0.648	-0.806	-0.806
2	0.811	1	0.229	-0.892	-0.892
3	0.648	0.229	1	-0.177	-0.177
4	-0.806	-0.892	-0.177	1	0.750
5	-0.806	-0.892	-0.177	0.750	1

จากตารางที่ 3.12 สามารถคำนวณค่าความแตกต่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Dissimilarity) ได้โดยอาศัยสมการที่ 2.4 และแสดงผลลัพธ์ในตารางที่ 3.13 ดังตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ตัวอย่าง : } D_{Dis}(x, y) = 1 - 0.811 = 0.189$$

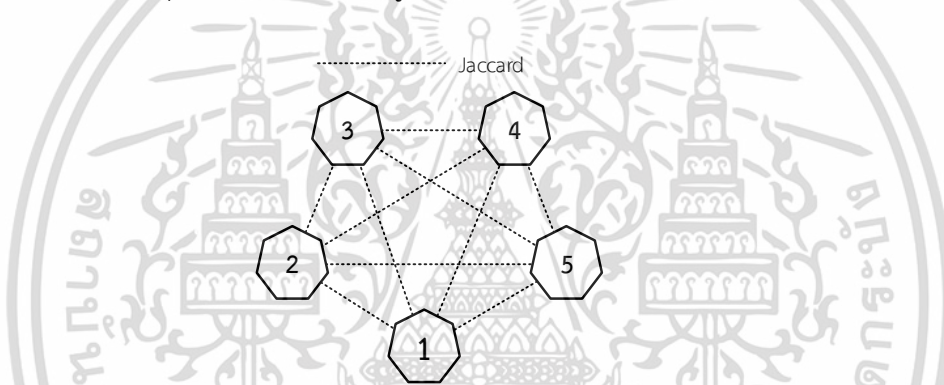
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.14** ผลลัพธ์ค่าความแตกต่าง (Dissimilarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด

Part No.	1	2	3	4	5
1	0	0.189	0.352	-0.194	-0.194
2	0.189	0	0.771	-0.108	-0.108
3	0.352	0.771	0	-0.823	-0.823
4	-0.194	-0.108	-0.823	0	0.250
5	-0.194	-0.108	-0.823	0.250	0

### 3.3.2 การวัดค่าความคล้ายคลึงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แจ็คการ์ด (Jaccard Coefficient)

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงด้วยวิธีแจ็คการ์ด (Jaccard Coefficient) จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนที่อยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง (Binary Data) ที่ถูกนำมาสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Design Structure Matrix, DSM) ดังแสดงในตารางที่ 3.8 โดยการคำนวณค่าจะพิจารณาทุกชิ้นส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.13



**รูปที่ 3.10** การพิจารณาค่าความคล้ายด้วยวิธี Jaccard Coefficient

จากการพิจารณาค่าความคล้ายของชิ้นส่วนและนำค่าที่ได้มาสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Design Structure Matrix, DSM) หลังจากนั้นนำค่าจากตารางที่ 3.8 มาสร้างผลลัพธ์เลขฐานสองได้โดยอาศัยตารางที่ 3.14

**ตารางที่ 3.15** จำนวนผลลัพธ์เลขฐานสองของ  $x$  กับ  $y$  [11]

		Object x		
		Outcome	1	
Object y	1	a (1,1)	b (1,0)	a + b
	0	c (0,1)	d (0,0)	c + d
		a + c	b + d	

จากตารางที่ 3.15 สามารถคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity) โดยอาศัยสมการที่ 2.5 และหาค่าความแตกต่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Dissimilarity) โดยอาศัยสมการที่ 2.6

การคำนวณค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วนซึ่งสามารถทำได้ด้วยตารางที่ 3.15 จะคำนวณคู่ชิ้นส่วนหมายเลข 1 กับ 2, 1 กับ 3, 1 กับ 4, และ 1 กับ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.16** การคำนวณค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Similarity)

No.	คู่ชิ้นส่วน 1 กับ 2			คู่ชิ้นส่วน 1 กับ 3			คู่ชิ้นส่วน 1 กับ 4			คู่ชิ้นส่วน 1 กับ 5		
	x1	y2	Defined	x1	y3	Defined	x1	y4	Defined	x1	y5	Defined
1	1	0	b	1	1	a	1	0	b	1	0	b
2	0	1	c	0	1	c	0	0		0	0	
3	1	1	a	1	1	a	1	1	a	1	0	
4	0	0		0	1	c	0	1	c	0	1	c
5	0	0		0	0		0	1	c	0	1	c
Defined	a		1	a		2	a		1	a		0
	b		1	b		0	b		1	b		1
	c		1	c		2	c		2	c		2
$J_{sim}(x, y)$			0.333		0.500			0.250				0.000
$J_{dis}(x, y)$			0.667		0.500			0.750				1.000

จากขั้นตอนการคำนวณในตารางที่ 3.15 จะได้ผลลัพธ์ค่าความคล้ายคลึงระหว่างคู่ชิ้นส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.16

**ตารางที่ 3.17** ผลลัพธ์ค่าความคล้ายคลึงกัน (Similarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด

Part No.	1	2	3	4	5
1	1	0.333	0.500	0.250	0.000
2	0.333	1	0.500	0.250	0.000
3	0.500	0.500	1	0.400	0.200
4	0.250	0.250	0.400	1	0.667
5	0.000	0.000	0.200	0.667	1

จากการคำนวณค่าความแตกต่างกันระหว่างคู่ชิ้นส่วนโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.16 และใช้สมการที่ 2.6 จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3.18

**ตารางที่ 3.18** ผลลัพธ์ค่าความแตกต่าง (Dissimilarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด

Part No.	1	2	3	4	5
1	0	0.667	0.500	0.750	1.000
2	0.667	0	0.500	0.750	1.000
3	0.500	0.500	0	0.600	0.800
4	0.750	0.750	0.600	0	0.333
5	1.000	1.000	0.800	0.333	0

### 3.4 การศึกษาการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลขแบบเป็นลำดับชั้น (Hierarchical Clustering)

การจัดกลุ่มชิ้นส่วนโดยอาศัยระเบียบวิธีการจัดกลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Cluster Algorithm) จากผลลัพธ์ค่าความคล้ายคลึงและค่าความแตกต่างระหว่างคู่ชิ้นส่วนประกอบที่พิจารณา ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีนี้จะเรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Dependency Coefficient) ซึ่งในที่นี่จะเรียกว่าระดับค่าความสัมพันธ์ (Levels of Relationship) จากนั้นนำผลดังกล่าวมาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาระยะห่าง (Distance) ระหว่างชิ้นส่วนโดยใช้สมการที่ 3.4 [42] และแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.18

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (3.4)$$

โดยที่

$d(x, y)$  = ค่าระยะห่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Distance)  
 $x$  = ชิ้นส่วนที่  $x$   
 $y$  = ชิ้นส่วนที่  $y$

**ตารางที่ 3.19** ขั้นตอนการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน

Part No.	$x$	$y$	$(x - y)^2$
1	0	0.667	0.445
2	0.667	0	0.445
3	0.500	0.500	0.000
4	0.750	0.750	0.000
5	1.000	1.000	0.000
$\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - y)^2}$			0.943

ตารางที่ 3.18 แสดงถึงการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างคู่ชิ้นส่วน (Distance) จากค่าความแตกต่าง (Dissimilarity) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมดจากตารางที่ 3.13 เพื่อใช้สำหรับอธิบายวิธีการคำนวณซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.19

**ตารางที่ 3.20** ผลลัพธ์ค่าระยะห่าง (Distance) ระหว่างคู่ชิ้นส่วนทั้งหมด

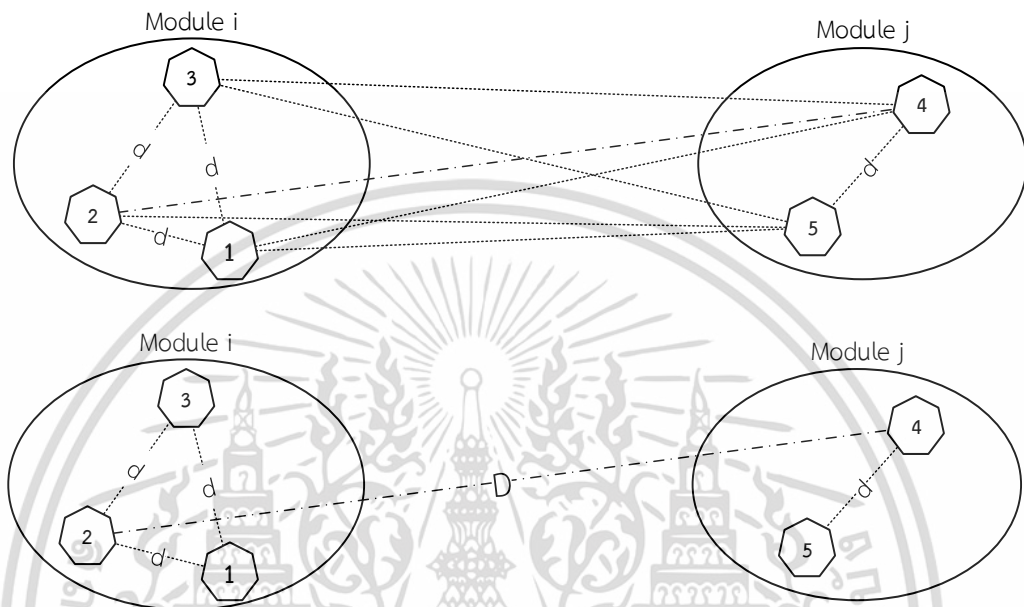
Part No.	1	2	3	4	5
1	0	0.943	0.768	1.260	1.541
2	0.943	0	0.768	1.260	1.541
3	0.768	0.768	0	1.031	1.361
4	1.260	1.260	1.031	0	0.622
5	1.541	1.541	1.361	0.622	0

จากผลลัพธ์ค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วนทั้งหมดผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลขด้วย 2 เทคนิค คือ Single Linkage และ Complete Linkage เพื่อสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข (Dendrogram Plot) โดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

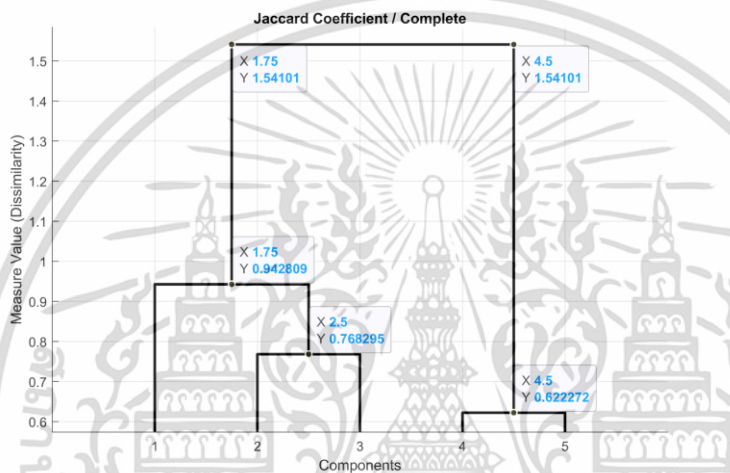
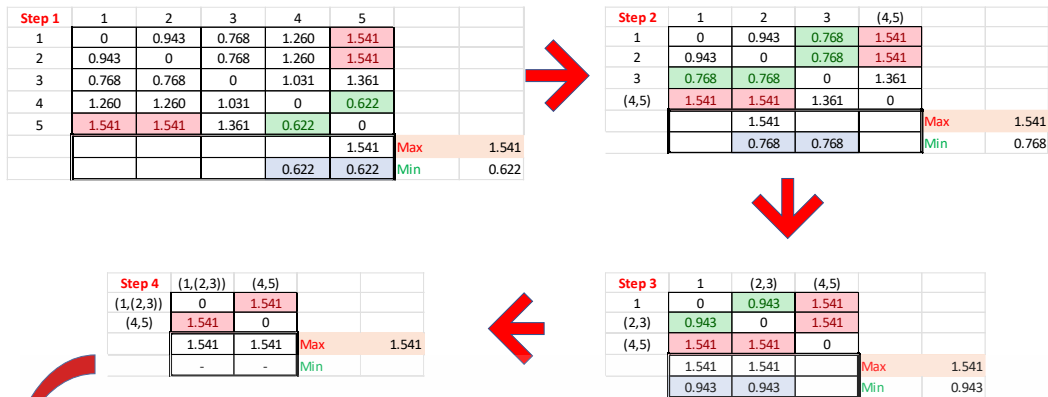
### 3.4.1 การสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยเทคนิค Complete Linkage

วิธีการรวมกลุ่มขั้นส่วนแบบสมบูรณ์ (Complete Linkage) เป็นการรวมกลุ่มของข้อมูลโดยพิจารณาจากระยะทางที่ยาวที่สุดหรือไกลที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยการรวมกลุ่มแบบนี้สามารถทำได้โดยอาศัยสมการที่ 2.7



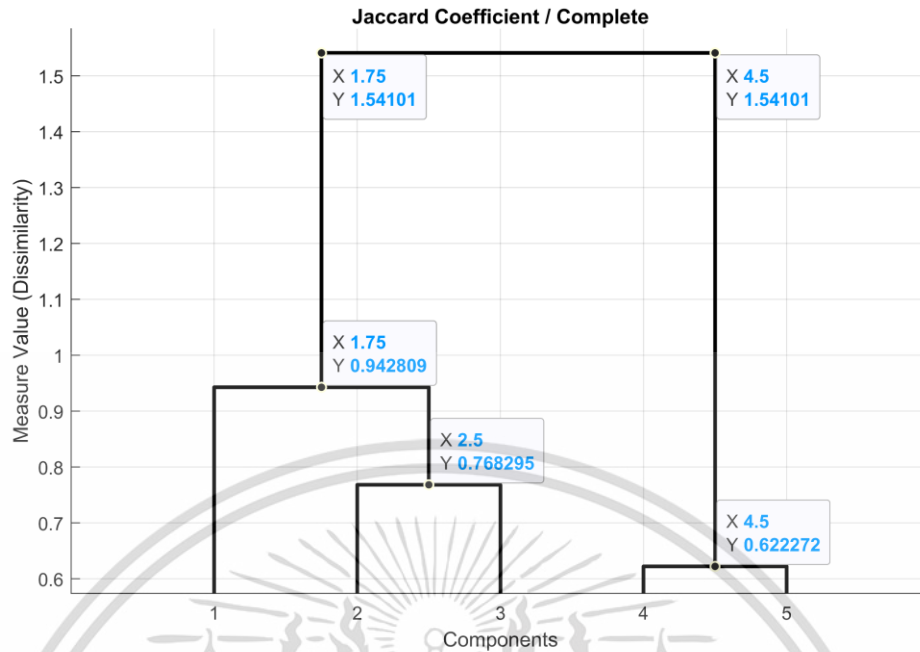
รูปที่ 3.11 วิธีการรวมกลุ่มแบบ Complete Linkage

จากสมการที่ 2.7 สามารถสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข (Dendrogram Plot) โดยมีขั้นตอนการสร้างดังรายละเอียดในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการสร้างแผนภาพ Dendrogram จากค่า Dissimilarity

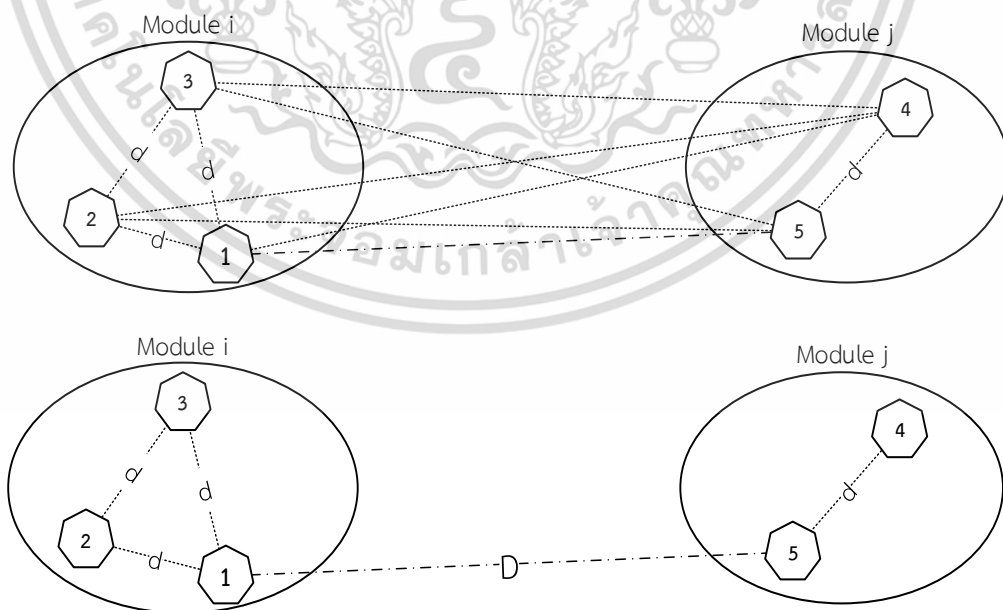
จากขั้นตอนในรูปที่ 3.15 สามารถนำมาสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข (Dendrogram) โดยใช้ค่า Dissimilarity เพื่อสร้างการเชื่อมโยงดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.13 ผลลัพธ์แผนภาพ Dendrogram จากค่า Dissimilarity

### 3.4.2 การสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยเทคนิค Single Linkage

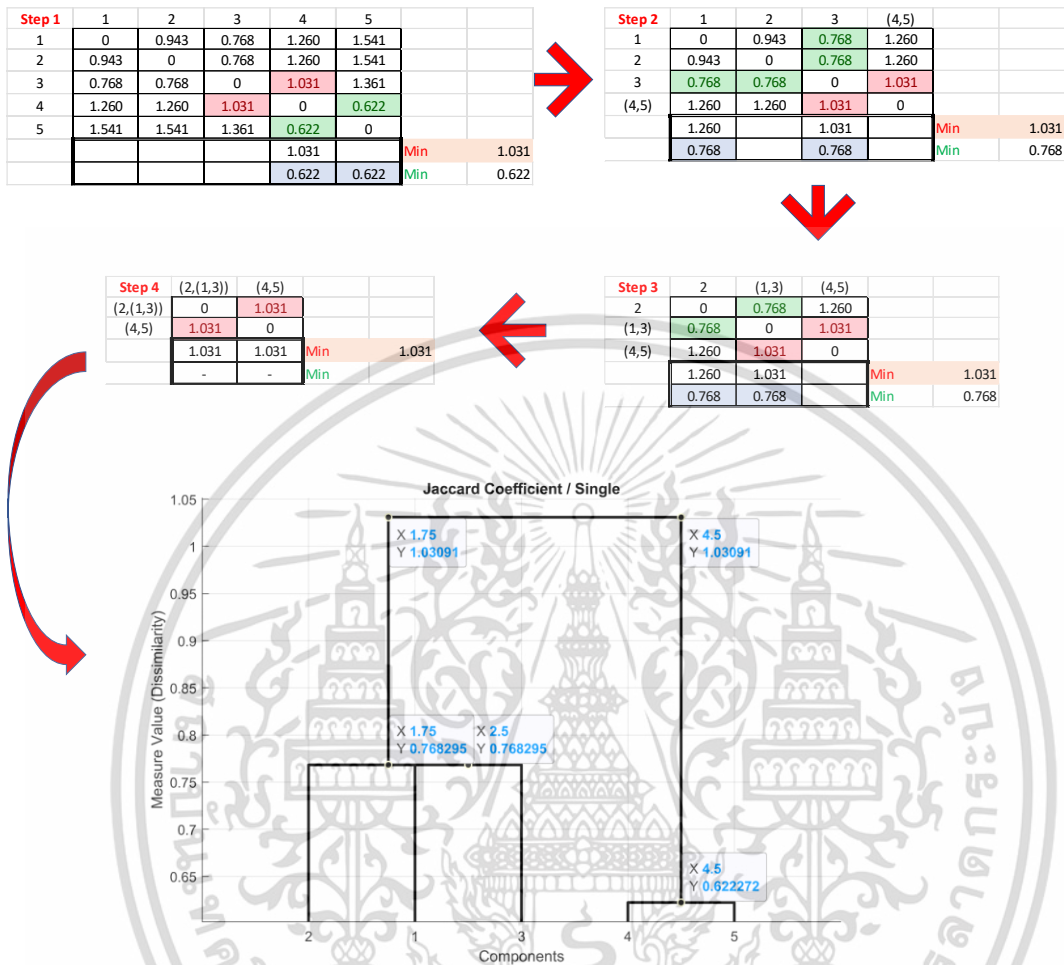
โดยวิธีการรวมกลุ่มแบบ Single linkage เป็นการรวมกลุ่มของข้อมูลโดยพิจารณาจากระยะห่างที่สั้นที่สุด จนกระทั่งสุดท้ายได้ข้อมูลเป็นที่ต้องการเหลือเพียงกลุ่มเดียว โดยการรวมกลุ่มแบบ Single linkage สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ 2.8



รูปที่ 3.14 วิธีการรวมกลุ่มแบบ Single linkage

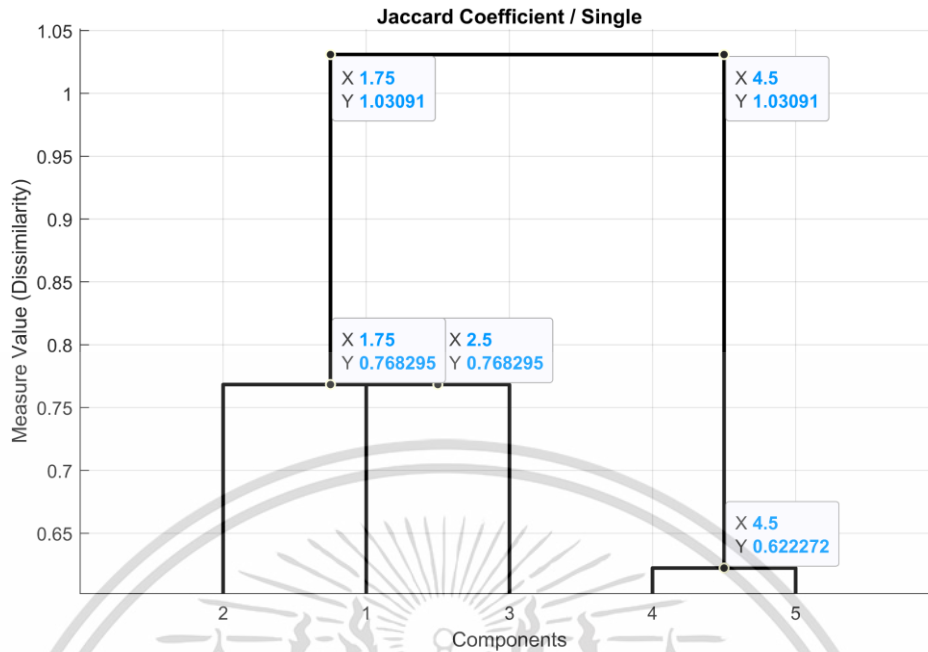
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.8 สามารถสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข (Dendrogram Plot) โดยมีขั้นตอนการสร้างดังรายละเอียดแผนรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการสร้างแผนภาพ Dendrogram จากค่า Dissimilarity

จากขั้นตอนในรูปที่ 3.18 สามารถนำมาสร้างลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข (Dendrogram) โดยใช้ค่า Similarity เพื่อสร้างการเชื่อมโยงดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ผลลัพธ์แผนภาพ Dendrogram จากค่า Dissimilarity

### 3.5 การศึกษาวิธีการสร้างเส้นตัดลำดับชั้น (Cutting Lines) บน Dendrogram

การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นบน Dendrogram จะตัดตรงตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของแต่ละช่วงลำดับชั้นเชิงตัวเลขที่เกิดขึ้นโดยอาศัยสมการที่ 3.5 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

$$L_n = \frac{C_{Max} - C_{Min}}{2} + C_{Min} \tag{3.5}$$

โดยที่

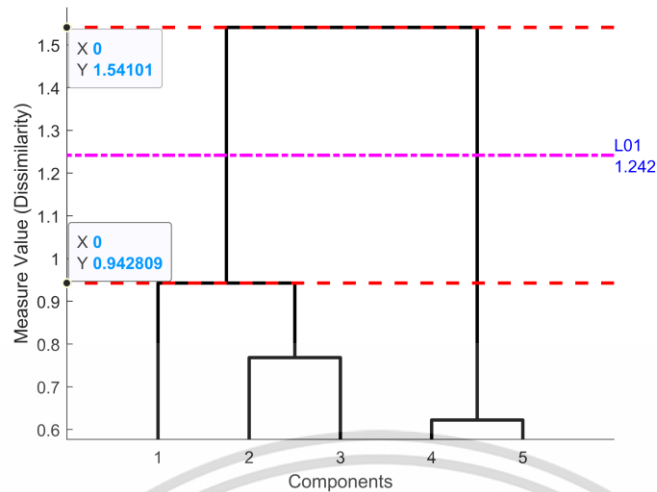
- $C_{Max}$  = ค่าสูงสุดของช่วงลำดับชั้น
- $C_{Min}$  = ค่าต่ำสุดของช่วงลำดับชั้น

ตารางที่ 3.21 ผลลัพธ์จากการตัดลำดับชั้นบน Dendrogram

No.	Levels	Cutting lines	Levels	Components
1	1.242	$((1.541 - 0.943)/2) + 0.943 = 1.242$	L01	[1, [2,3]], [4,5]
2	0.856	$((0.943 - 0.768)/2) + 0.768 = 0.856$	L02	1, [2,3], [4, 5]
3	0.695	$((0.768 - 0.622)/2) + 0.622 = 0.695$	L03	1, 2, 3, [4, 5]
4	0.622	0.622	L04	1, 3, 2, 4, 5

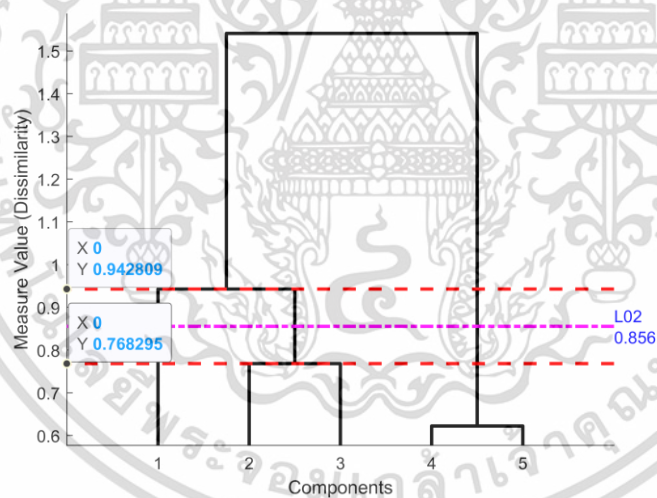
จากตารางที่ 3.20 สามารถสร้างเส้นตัดลำดับชั้นบน Dendrogram ได้ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.20 ระดับเส้นที่ L01 ที่ค่าระดับชั้นเท่ากับ 1.242 จะได้ผลลัพธ์ของโมดูลตั้งสรุปรายละเอียดในตารางที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 เส้นตัด (Cutting lines) ที่ระดับ L01 มีค่า 1.242

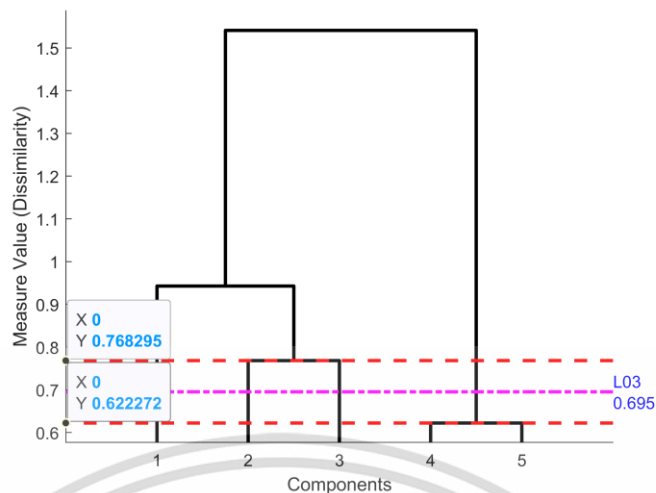
จากตารางที่ 3.20 สามารถสร้างเส้นตัดลำดับชั้นบน Dendrogram ได้ดังแสดงรายละเอียด  
 ในรูปที่ 3.21 ระดับเส้นที่ L02 ที่ค่าระดับชั้นเท่ากับ 0.856 จะได้ผลลัพธ์ของโมดูลตั้งสรุปรายละเอียด  
 ในตารางที่ 3.21



รูปที่ 3.18 เส้นตัด (Cutting lines) ที่ระดับ L02 มีค่า 0.856

จากตารางที่ 3.20 สามารถสร้างเส้นตัดลำดับชั้นบน Dendrogram ได้ดังแสดงรายละเอียด  
 ในรูปที่ 3.22 ระดับเส้นที่ L03 ที่ค่าระดับชั้นเท่ากับ 0.695 จะได้ผลลัพธ์ของโมดูลตั้งสรุปรายละเอียด  
 ในตารางที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 เส้นตัด (Cutting lines) ที่ระดับ L03 มีค่า 0.695

ตารางที่ 3.22 สรุปผลจำนวนชั้นส่วนจากการตัดลำดับชั้นบน Dendrogram

Levels (L)	Levels	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล					SUM.
		Modules Size (ชั้น)					
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	
L01	1.242	3	2				5
L02	0.856	1	2	2			5
L03	0.695	1	1	1	2		5
L04	0.622	1	1	1	1	1	5

จากวิธีการข้างต้นเมื่อนำมาใช้กับกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษา ผู้วิจัยจะตัดลำดับชั้นบน Dendrogram เป็นจำนวน 10 ลำดับ (levels) และบันทึกผลลัพธ์ของโมดูลลงในตารางที่ 3.22

ตารางที่ 3.23 ผลจำนวนชั้นส่วนจากการตัดลำดับชั้นบน Dendrogram

Levels (L)	Levels	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล											SUM.	
		Modules Size (ชั้น)												
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11		
L01														
L02														
L03														
L04														
L05														
⋮														
Ln														

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การศึกษาวิธีการเลือกจำนวนโมดูล (K-Value Selection)

การเลือกจำนวนโมดูลสำหรับเครื่องจักรที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ลำดับ ซึ่งการตัดแต่ละเส้นจะมีโมดูลเครื่องจักรเกิดขึ้นไม่ซ้ำกันโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.22 โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ 2 เทคนิคสำหรับพิจารณาเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรที่เกิดขึ้นจากการตัดเส้นลำดับตั้งรายละเอียดต่อไปนี้

#### 3.6.1 ระบุจำนวนโมดูลด้วยวิธีการเกิดซ้ำ (Repeating Method)

การพิจารณาเพื่อเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรโดยใช้วิธีการตรวจจับการเกิดซ้ำของโมดูลในแต่ละระดับการตัดเส้นบน Dendrogram โดยการพิจารณาจากจำนวนสมาชิกและการประกอบของสมาชิกภายในโมดูลที่เหมือนกัน ซึ่งเป็นวิธีการนี้จะให้ความสำคัญถึงการเกิดซ้ำของโมดูลในแต่ละระดับของเส้นตัด [40] วิธีการนี้ถูกสร้างขึ้นใหม่โดยผู้วิจัยตั้งรายละเอียดต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1. นำผลลัพธ์จากการตัดเส้นบน Dendrogram มาพิจารณาการเกิดซ้ำโดยการสร้างชื่อของโมดูลดังแสดงในตารางที่ 3.23

ตารางที่ 3.24 กำหนดชื่อโมดูลขึ้นส่วนที่เกิดขึ้น

	Levels	Modules Size (ชิ้น)						Sum.	
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6		k=7
Level 1 (L01)	1.242	A	B						5
		3	2						
Level 2 (L02)	0.856	D	B	C					5
		1	2	2					
Level 3 (L03)	0.695	D	E	E	C				5
		1	1	1	2				
Level 4 (L04)	0.622	D	E	E	H	G			5
		1	1	1	1	1			

ขั้นตอนที่ 2. คำนวณหาค่าการเกิดซ้ำของโมดูลโดยอาศัยสมการที่ 3.6 และ หาค่าเปอร์เซ็นต์ได้โดยอาศัยสมการที่ 3.7 โดยใช้ข้อมูลจากค่าในตารางที่ 3.24 เพื่อหาอัตราการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Volume: RV) ที่แสดงให้ทราบถึงลำดับชั้นของจำนวนโมดูลและการประกอบของสมาชิกที่เกิดขึ้นกันมากที่สุดระหว่างลำดับชั้นตั้งรายละเอียดในตารางที่ 3.25

การคำนวณหาค่าการเกิดซ้ำของโมดูลสามารถทำได้โดยอาศัยสมการที่ 3.6

$$RV = \frac{r_i + r_l}{\sum_{i=1}^n r_i + \sum_{i=1}^n r_l} D \quad (3.6)$$

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดซ้ำของโมดูลสามารถทำได้โดยอาศัยสมการที่ 3.7

$$RV\% = \frac{RV}{\sum_{i=1}^n RV} 100 \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- $RV_i$  = อัตราการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Volume)
- $r_i$  = ผลรวมจำนวนชิ้นส่วนของโมดูลที่เกิดซ้ำ (Number of Parts)
- $r_l$  = ผลรวมจำนวนการเกิดซ้ำของโมดูล (Number of Repeating)
- $D$  = ค่าระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข (Measure Value)
- $i$  = จำนวนชิ้นส่วนของโมดูล (Numbers Module)
- $l$  = จำนวนการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Modules)

ตารางที่ 3.25 ผลลัพธ์จากการเลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Repeating Method

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)											
Number of Parts (i)		2	1	2	1	1	D	$r_i$	$r_l$	RV	RV (%)
Levels	Level 1 (L01)			B			1.242	2	2	0.124	15.93%
	Level 2 (L02)	C	D	B			0.856	5	7	0.257	32.93%
	Level 3 (L03)	C	D	E	F		0.695	5	9	0.243	31.20%
	Level 4 (L04)		D	E	F		0.622	3	7	0.156	19.94%
Number of Repeating (l)		2	3	2	2	2	$\sum_{i=1}^n$	15	25	0.780	100%

จากตารางค่าการเกิดซ้ำของโมดูลระดับที่มีค่ามากที่สุดคือ Level 2 (L02) มีค่าการเกิดซ้ำเท่ากับ 0.257 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 32.93 % และการเกิดซ้ำของโมดูลระดับที่มีค่าน้อยที่สุดคือ Level 4 (L04) มีค่าการเกิดซ้ำเท่ากับ 0.156 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 19.94 % ผลลัพธ์จากวิธีการนี้สามารถบันทึกผลลงในตารางที่ 3.25

ตารางที่ 3.26 การเลือกจำนวนโมดูลจากการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)													
Numbers Module (i)										$r_i$	$r_l$	RV	RV (%)
Level 1 (L01)													
Level 2 (L02)													
Level 3 (L03)													
⋮													
Level n (Ln)													
Repeating Modules (l)													

### 3.6.2 ระบุจำนวนโมดูลด้วยค่าความสอดคล้อง (Natural Values)

วิธีการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต (Silhouette Coefficients) เป็นเทคนิคที่ใช้วัดว่าชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรนั้นมีค่าความสอดคล้อง (Natural values) กับโมดูล (Module) มากน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงใดเมื่อเทียบกับโมดูลอื่น ๆ [41] โดยมีค่าจาก -1 ถึง 1 ซึ่งค่าที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุดถือว่าโมดูลนั้นมีความสอดคล้องกับโมดูล โดยอาศัยสมการที่ 2.9 และหาค่าเฉลี่ยได้โดยอาศัยสมการที่ 2.10 สามารถคำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างชั้นส่วนกับโมดูลได้โดยอาศัยสมการที่ 3.8

$$b_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.8)$$

สามารถคำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างชั้นส่วนภายในโมดูลได้โดยอาศัยสมการที่ 3.9

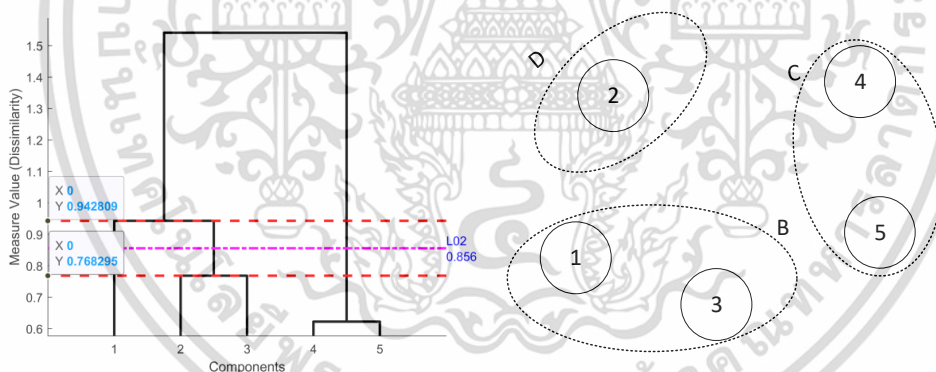
$$a_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.9)$$

โดยที่

$b_i$  = ค่าความแตกต่างระหว่างชั้นส่วนกับโมดูล

$a_i$  = ค่าความแตกต่างระหว่างชั้นส่วนภายในโมดูล

จากการเลือกโมดูลได้ค่า  $k = 3$  โมดูล ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.25 และผลลัพธ์การคำนวณค่าระยะห่างของชั้นส่วนประกอบดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.27

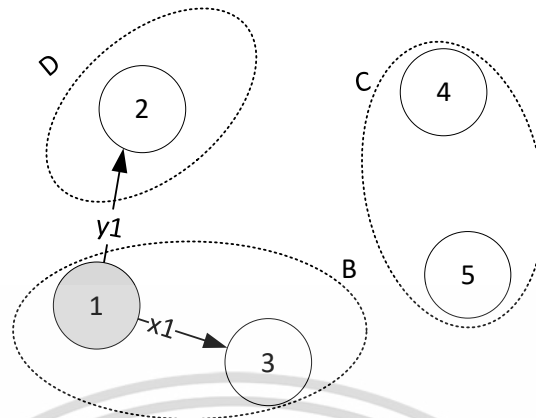


รูปที่ 3.20 เส้นตัด (Cutting lines) ที่ระดับ L02 จะได้ 3 โมดูล

จากรูปที่ 3.23 ค่าระดับชั้นที่นำมาคำนวณกับวิธีการที่พัฒนาขึ้นเท่ากับ 0.856 และมีจำนวนโมดูลเท่ากับ 3 โมดูล เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ตโดยพิจารณาคู่ชั้นส่วนต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คู่ชิ้นส่วนหมายเลข 1



รูปที่ 3.21 คู่ชิ้นส่วน (1 กับ 3) และ (1 กับ 2)

ตารางที่ 3.27 ขั้นตอนคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (1 กับ 3) และ (1 กับ 2)

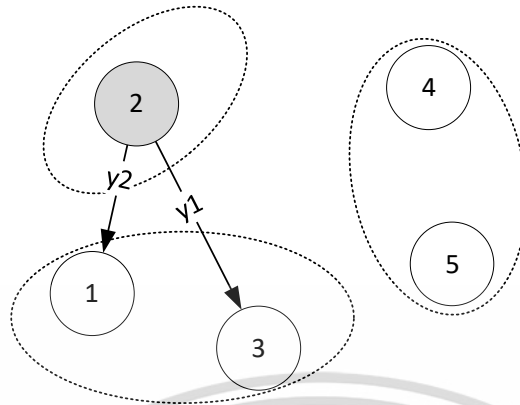
Part No.	X1			Y1	
	1	3	$(x-y)^2$	2	$(x-y)^2$
1	0.000	0.768	0.590	0.943	0.889
2	0.943	0.768	0.031	0.000	0.889
3	0.768	0.000	0.590	0.768	0.000
4	1.260	1.031	0.052	1.260	0.000
5	1.541	1.361	0.032	1.541	0.000
	Sum		1.295	Sum	1.778

ตารางที่ 3.28 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน

Distance: $a_1$		Distance: $b_1$		$\max(b_i, a_i) = 1.778$ $s_1 = \frac{1.778 - 1.295}{1.778} = 0.272$
$x_1$	1.295	$y_1$	1.778	
$x_2$		$y_2$		
$x_3$		$y_3$		
$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	1.295	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$	1.778	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คู่ชิ้นส่วนหมายเลข 2



รูปที่ 3.22 คู่ชิ้นส่วน (2 กับ 3) และ (2 กับ 1)

ตารางที่ 3.29 ขั้นตอนคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (2 กับ 3) และ (2 กับ 1)

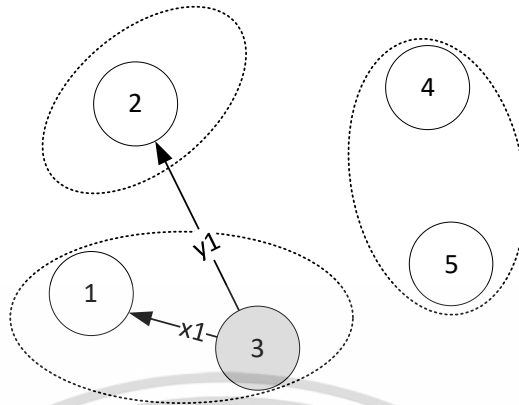
Part No.	Y1			Y2	
	2	3	$(x-y)^2$	1	$(x-y)^2$
1	0.943	0.768	0.031	0.000	0.889
2	0.000	0.768	0.590	0.943	0.889
3	0.768	0.000	0.590	0.768	0.000
4	1.260	1.031	0.052	1.260	0.000
5	1.541	1.361	0.032	1.541	0.000
		Sum	1.295	Sum	1.778

ตารางที่ 3.30 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน

Distance: $a_2$		Distance: $b_2$		$\max(b_i, a_i) = 1.778$
x1	1.295	y1	1.778	
x2		y2		
x3		y3		$s_2 = \frac{1.775 - 1.295}{1.778} = 0.272$
$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	1.295	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$	1.778	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คู่ชิ้นส่วนหมายเลข 3



รูปที่ 3.23 คู่ชิ้นส่วน (3 กับ 1) และ (3 กับ 2)

ตารางที่ 3.31 ขั้นตอนคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (3 กับ 1) และ (3 กับ 2)

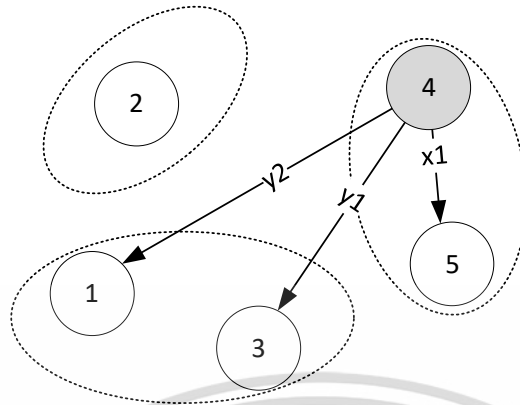
Part No.	X1			Y1	
	3	1	$(x-y)^2$	2	$(x-y)^2$
1	0.768	0.000	0.590	0.943	0.031
2	0.768	0.943	0.031	0.000	0.590
3	0.000	0.768	0.590	0.768	0.590
4	1.031	1.260	0.052	1.260	0.052
5	1.361	1.541	0.032	1.541	0.032
	Sum		1.295	Sum	1.295

ตารางที่ 3.32 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน

Distance: $a_3$		Distance: $b_3$		$\max(b_i, a_i) = 1.295$ $s_3 = \frac{1.295 - 1.295}{1.295} = 0.000$
$x_1$	1.295	$y_1$	1.295	
$x_2$		$y_2$		
$x_3$		$y_3$		
$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	1.295	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$	1.295	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คู่ชิ้นส่วนหมายเลข 4



รูปที่ 3.24 คู่ชิ้นส่วน (4 กับ 1) (4 กับ 3) และ (4 กับ 5)

ตารางที่ 3.33 ขั้นตอนคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (4 กับ 1) (4 กับ 3) และ (4 กับ 5)

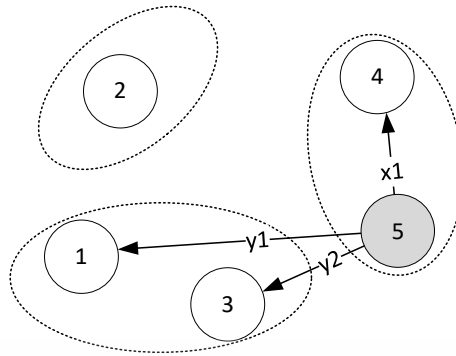
Part No.	X1		(x-y) <sup>2</sup>	Y1		(x-y) <sup>2</sup>	Y2	
	4	5		3	1		(x-y) <sup>2</sup>	
1	1.260	1.541	0.079	0.768	0.242	0.000	1.588	
2	1.260	1.541	0.079	0.768	0.242	0.943	0.100	
3	1.031	1.361	0.109	0.000	1.063	0.768	0.069	
4	0.000	0.622	0.387	1.031	1.063	1.260	1.588	
5	0.622	0.000	0.387	1.361	0.546	1.541	0.845	
	Sum		1.041	Sum	3.156	Sum	4.189	

ตารางที่ 3.34 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน

Distance: a <sub>4</sub>		Distance: b <sub>4</sub>		$\max(b_i, a_i) = 3.673$ $s_4 = \frac{3.673 - 1.041}{3.673} = 0.717$
x1	1.041	y1	3.156	
x2		y2	4.189	
x3		y3		
$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	1.041	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$	3.673	

- คู่ชิ้นส่วนหมายเลข 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 คู่ชิ้นส่วน (5 กับ 1) (5 กับ 3) และ (5 กับ 4)

ตารางที่ 3.35 ขั้นตอนคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชิ้นส่วน (5 กับ 1) (5 กับ 3) และ (5 กับ 4)

Part No.	X1			Y1		Y2	
	5	4	$(x-y)^2$	1	$(x-y)^2$	3	$(x-y)^2$
1	1.541	1.260	0.079	0.000	2.375	0.768	0.598
2	1.541	1.260	0.079	0.943	0.358	0.768	0.598
3	1.361	1.031	0.109	0.768	0.352	0.000	1.852
4	0.622	0.000	0.387	1.260	0.407	1.031	0.167
5	0.000	0.622	0.387	1.541	2.375	1.361	1.852
	Sum		1.041	Sum	5.866	Sum	5.067

ตารางที่ 3.36 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสอดคล้องระหว่างโมดูลกับชิ้นส่วน

Distance: $a_5$		Distance: $b_5$		$\max(b_i, a_i) = 5.466$  $s_5 = \frac{5.466 - 1.041}{5.466} = 0.810$
x1	1.041	y1	5.866	
x2		y2	5.067	
x3		y3		
$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	1.041	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$	5.466	

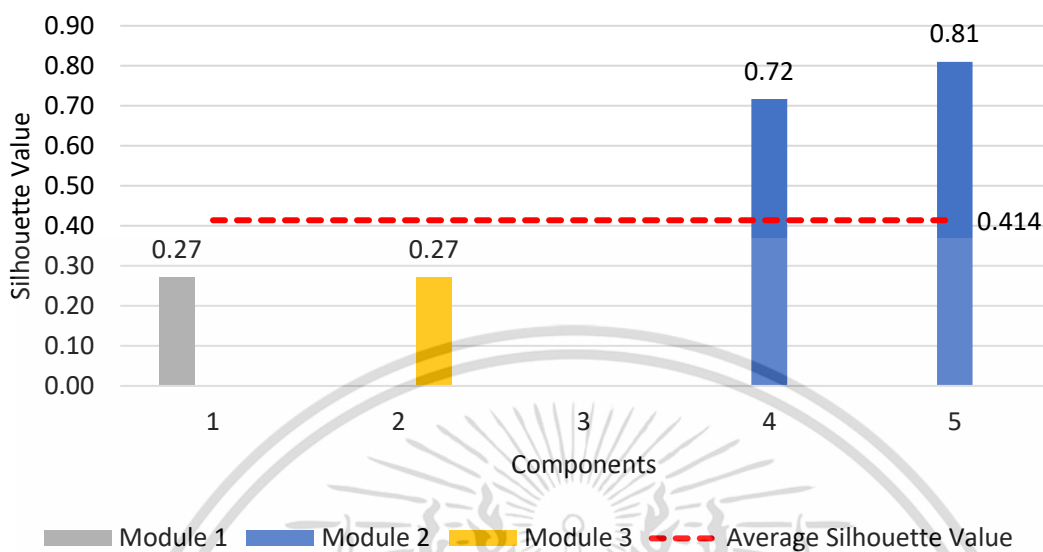
ผลลัพธ์จากการคำนวณค่าของคู่ชิ้นส่วนต่างจนครบทุกๆ ชิ้นส่วนของเครื่องจักร สามารถสรุปผลได้ดังแสดงในตารางที่ 3.37

ตารางที่ 3.37 ขั้นตอนการคำนวณค่าเฉลี่ยของ  $S_i$  (Mean Silhouette)

Part No.	$S_i$	Module 1	Module 2	Module 3
1	0.272	0.272		
2	0.272			0.272
3	0.000			0.000
4	0.717		0.717	
5	0.810		0.810	
$\bar{s}_i = 0.414$				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.37 สามารถนำมาแสดงผลด้วยกราฟแท่งได้ดังแสดงในรูปที่ 3.29 จะเห็นได้ว่าค่าซิลลูเอ็ต (Silhouette) ที่สูงที่สุดคือชั้นที่ 2



รูปที่ 3.26 แสดงค่าความสอดคล้องของชั้นส่วน

จากวิธีการที่อธิบายข้างต้นสามารถนำมาใช้คำนวณค่าซิลลูเอ็ตของระดับชั้นบน Dendrogram ทุกๆ ระดับชั้นจะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3.38

ตารางที่ 3.38 ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยซิลลูเอ็ต (Silhouette Coefficients)

ค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)		
Levels	k	Average Silhouette Values
Level 1 (L01)	2	0.414
Level 2 (L02)	3	0.404
Level 3 (L03)	4	0.315

จากตารางที่ 3.38 จะเห็นได้ว่าค่า Average Silhouette Values ที่สูงที่สุดคือ 0.946 ที่จำนวนโมดูล 2 โมดูล หลังจากนั้นผู้วิจัยจะใช้วิธีการดังกล่าวกับกรณีศึกษาทั้งหมด 3 กรณี โดยบันทึกค่าลงในตารางที่ 3.39

**ตารางที่ 3.39** ตารางผลลัพธ์เฉลี่ยซิลลูเอ็ต(Silhouette Coefficients)

พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Average Silhouette Values	%
Level 1 (L01)			
Level 2 (L02)			
Level 3 (L03)			
Level 4 (L04)			
Level 5 (L05)			
Level 6 (L06)			
Level 7 (L07)			
Level 8 (L08)			
Level 9 (L09)			
Level 10 (L10)			

### 3.7 การสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

วิธีการสร้างเครื่องจักรให้เป็นโมดูลสามารถสร้างโมดูลเครื่องจักรและสามารถเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรได้จริงตามเงื่อนไขการผลักดันให้เกิดโมดูลที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น และสามารถเลือกจำนวนโมดูลของเครื่องจักรได้ด้วยการตรวจจับการเกิดซ้ำ ซึ่งมีผลการดำเนินงานที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ตั้งแต่ต้น

ข้อเสนอแนะจากการดำเนินงานวิจัยเพื่อการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมถึงการสร้างแรงผลักดันให้เกิดโมดูล จากการดำเนินงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทราบว่ายังสามารถพัฒนาใช้กับตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบได้ เช่น หน้าที่การทำงาน การเบี่ยงเบนของรูปร่างรูปทรง และเงื่อนไขการผลิตขึ้นส่วน ที่สามารถนำมาเป็นเงื่อนไขในการผลักดันให้เกิดโมดูลเครื่องจักรได้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการศึกษากับกรณีศึกษาที่ 1

ในกรณีศึกษานี้จะใช้ระเบียบวิธีการสร้างโมดูลเครื่องจักร เพื่อแสดงผลการวัดค่าความสัมพันธ์จากระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลขและผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักร ซึ่งกรณีศึกษานี้มีจำนวนชั้นส่วนทั้งหมด 75 ชั้น โดยมีผลลัพธ์จากกรณีศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

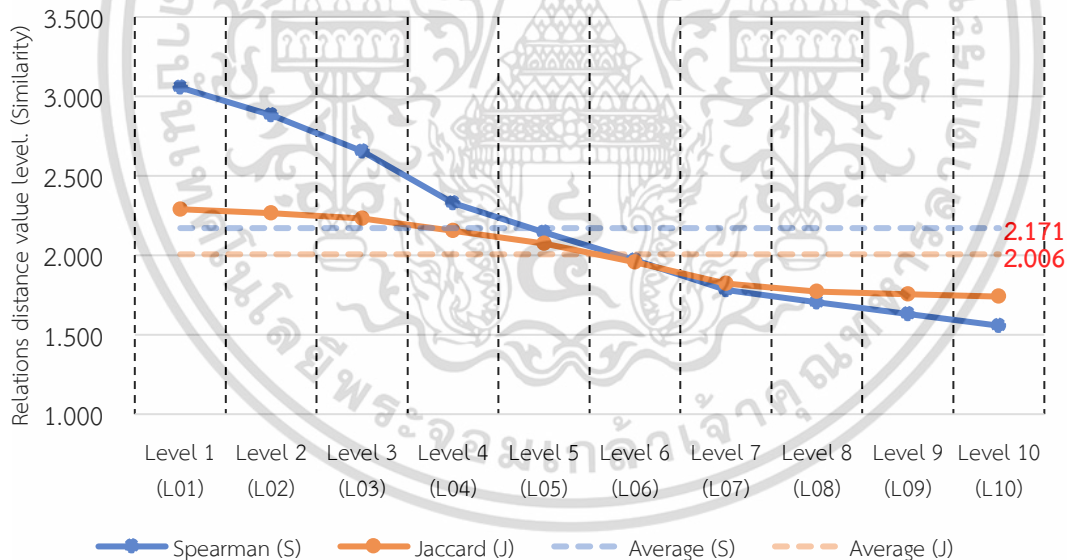
##### 4.1.1 ผลลัพธ์การวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วนจากระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข

จากระเบียบวิธีการสร้างโมดูลเครื่องจักรจะได้ค่าระดับระยะความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อจำนวนสมาชิกโมดูลและรูปแบบการประกอบ สามารถสรุปผลได้ดังรายละเอียดในรูปที่

1. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SSC กับ JSC ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าวิธี SSC มีค่าเฉลี่ย 2.171 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JSC

SSC = Spearman's rank Coefficient > Similarity Coefficient > Complete Linkage

JSC = Jaccard Coefficient > Similarity Coefficient > Complete Linkage



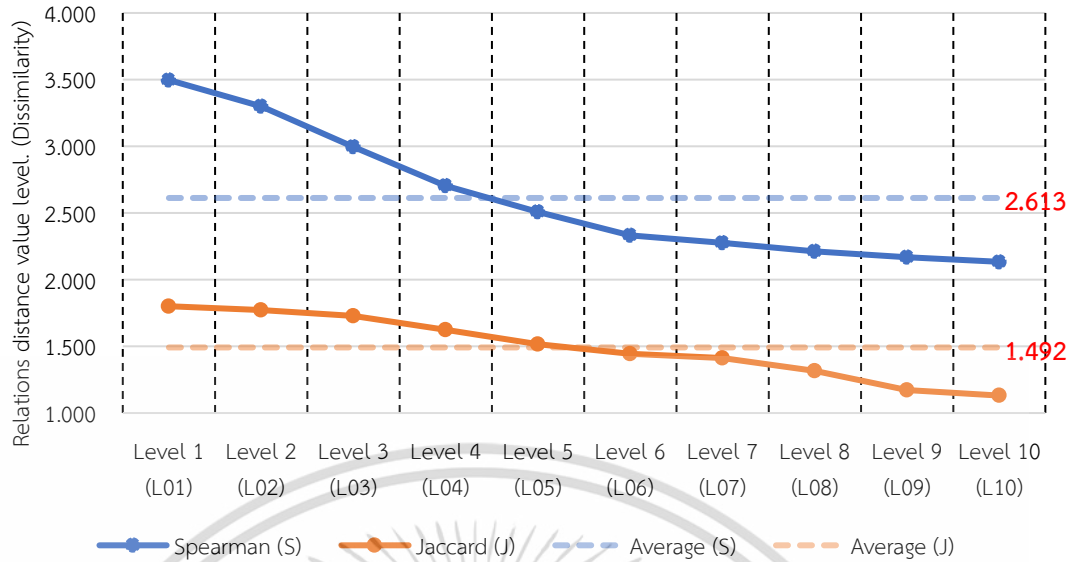
รูปที่ 4.1 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSC เปรียบเทียบกับวิธี JSC ในกรณีศึกษาที่ 1

2. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SDC กับ JDC ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าวิธี SDC มีค่าเฉลี่ย 2.613 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JDC

SDC = Spearman's rank Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Complete Linkage

JDC = Jaccard Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Complete Linkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

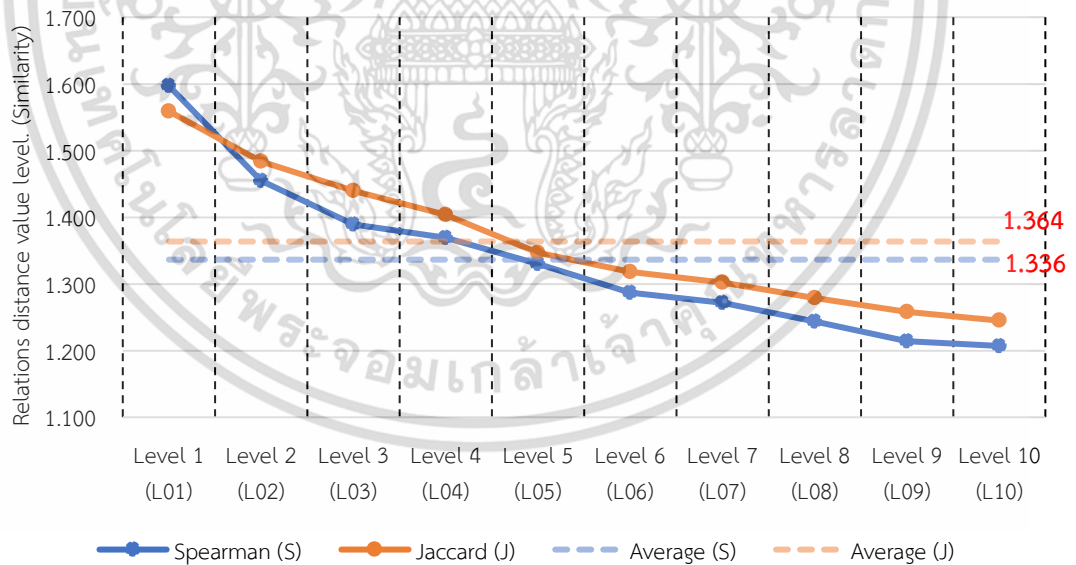


รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDC เปรียบเทียบกับวิธี JDC ในกรณีศึกษาที่ 1

3. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SSS กับ JSS ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าวิธี JSS มีค่าเฉลี่ย 1.364 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี SSS

SSS = Spearman's rank Coefficient / Similarity Coefficient / Single Linkage

JSS = Jaccard Coefficient / Similarity Coefficient / Single Linkage



รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSS เปรียบเทียบกับวิธี JSS ในกรณีศึกษาที่ 1

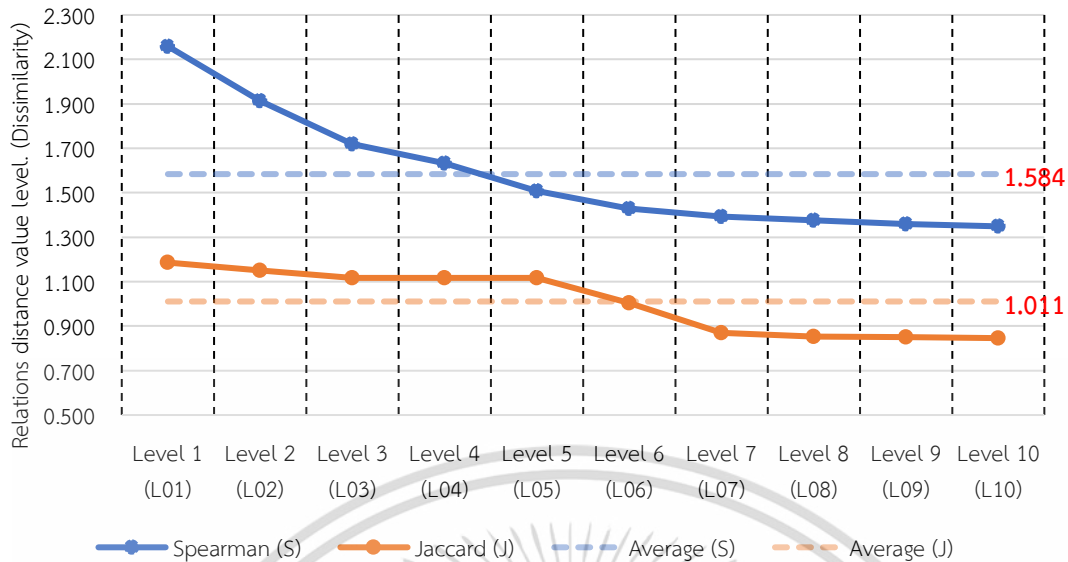
4. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SDS กับ JDS ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าวิธี SDS มีค่าเฉลี่ย 1.584 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JDS

SDS = Spearman's rank Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Single Linkage

JDS = Jaccard Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Single Linkage

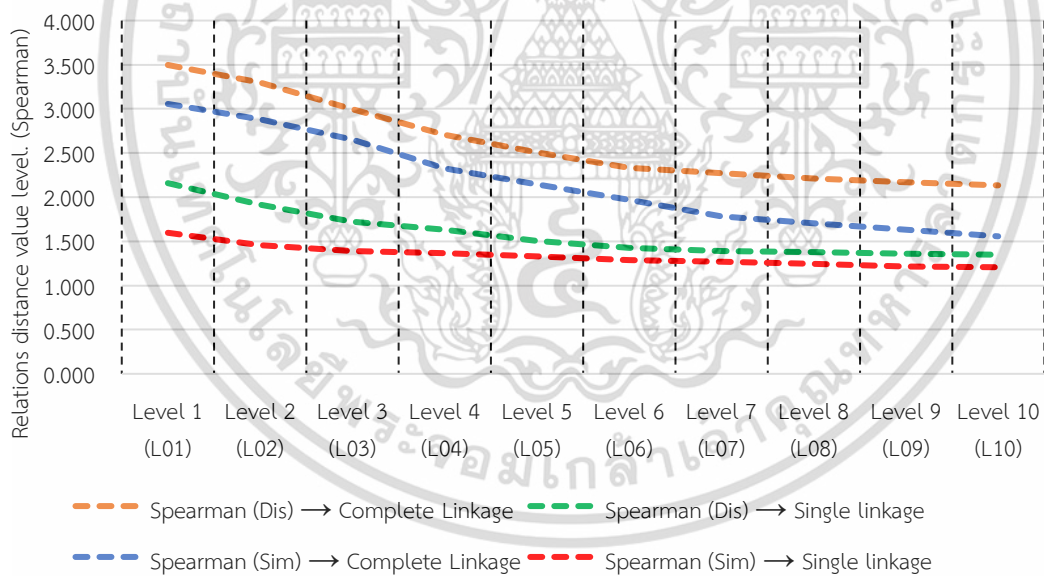
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDS เปรียบเทียบกับวิธี JDS ในกรณีศึกษาที่ 1

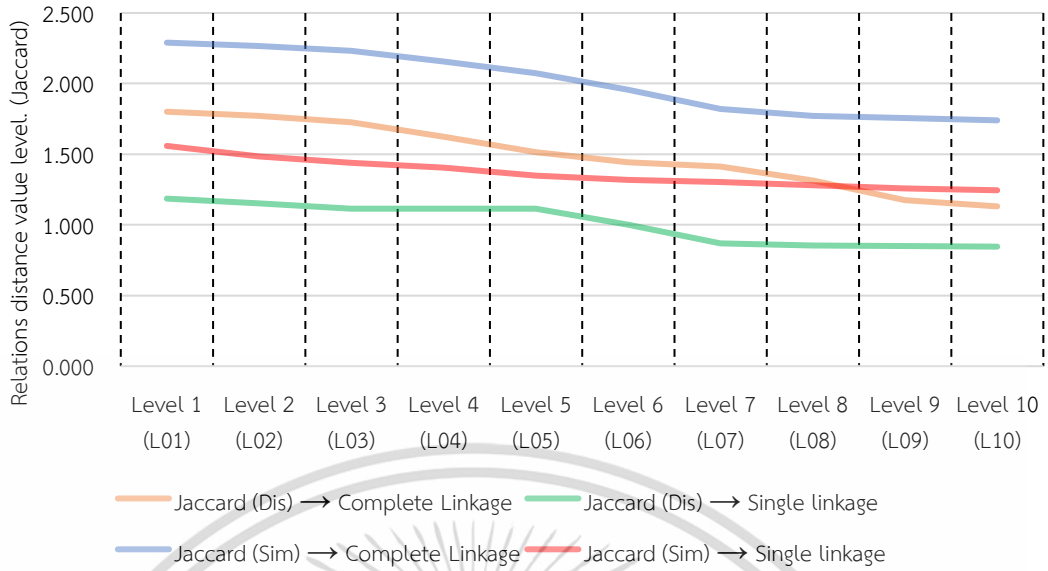
5. ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิค Spearman's rank Coefficient ในการคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วน ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Spearman's rank Coefficient (S)

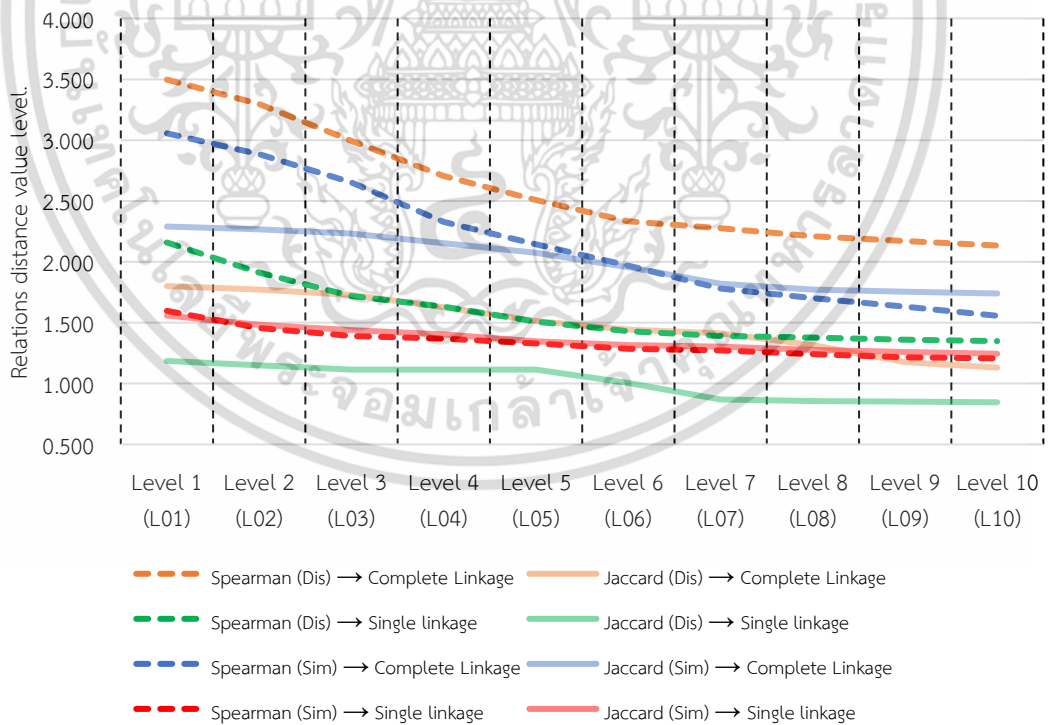
6. ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิค Jaccard Coefficient ในการคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วน ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์รูปแบบ Jaccard Coefficient (J)

สรุปผลลัพธ์ระดับค่าระยะความสัมพันธ์จากระเบียบวิธีทั้งหมด 8 วิธีการ โดยค่าระยะความสัมพันธ์ที่มากที่สุดคือค่าที่เหมาะสมต่อการสร้างโมดูล ซึ่งผลลัพธ์ที่มีค่าสูงสุดได้จากวิธี SDC ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.7



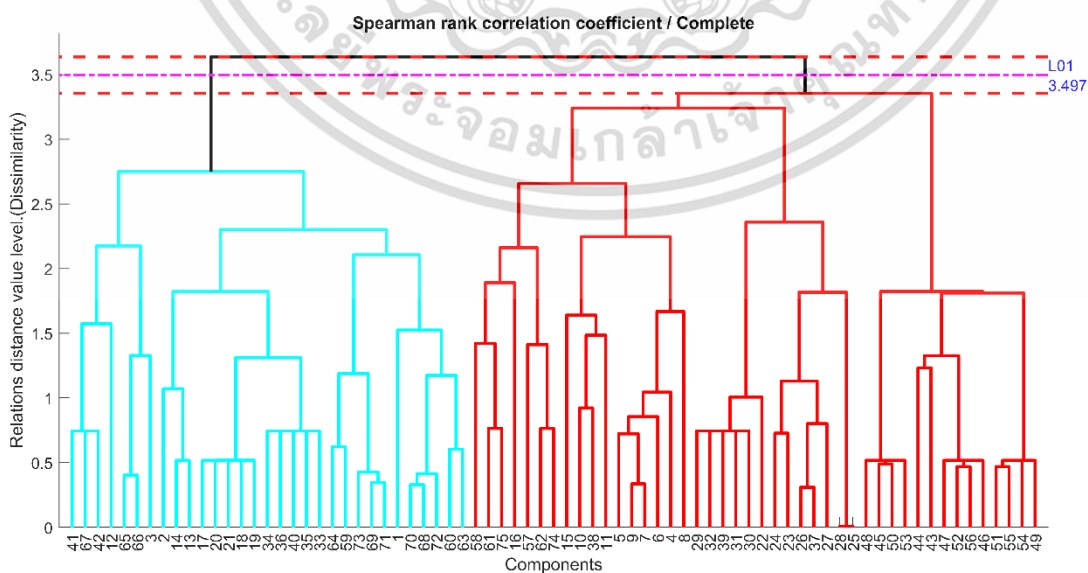
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าลำดับชั้นจากวิธีการทั้งหมดในกรณีศึกษาที่ 1

จากรูปที่ 4.7 สามารถแสดงผลลัพธ์ข้อค่าที่ได้จากระเบียบวิธีทั้งหมดในรูปแบบของข้อมูลเชิงตัวเลขได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** สรุประดับเส้นตัดด้วยวิธีการทั้งหมด 8 วิธี ของกรณีศึกษาที่ 1

NO.	Method	Relations distance value level. (L01 to L10)										
		L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	
1	Spearman	SDC	3.497	3.299	2.996	2.705	2.509	2.331	2.275	2.212	2.169	2.134
2		SDS	2.159	1.913	1.720	1.633	1.507	1.429	1.392	1.377	1.360	1.349
3		SSC	3.056	2.884	2.654	2.328	2.143	1.970	1.783	1.704	1.632	1.557
4		SSS	1.597	1.455	1.389	1.369	1.330	1.287	1.272	1.244	1.214	1.207
5	Jaccard	JDC	1.801	1.771	1.727	1.626	1.515	1.444	1.414	1.316	1.174	1.131
6		JDS	1.186	1.151	1.116	1.116	1.116	1.003	0.871	0.854	0.850	0.846
7		JSC	2.290	2.266	2.233	2.155	2.073	1.955	1.822	1.773	1.755	1.740
8		JSS	1.559	1.484	1.440	1.404	1.347	1.318	1.302	1.279	1.258	1.245

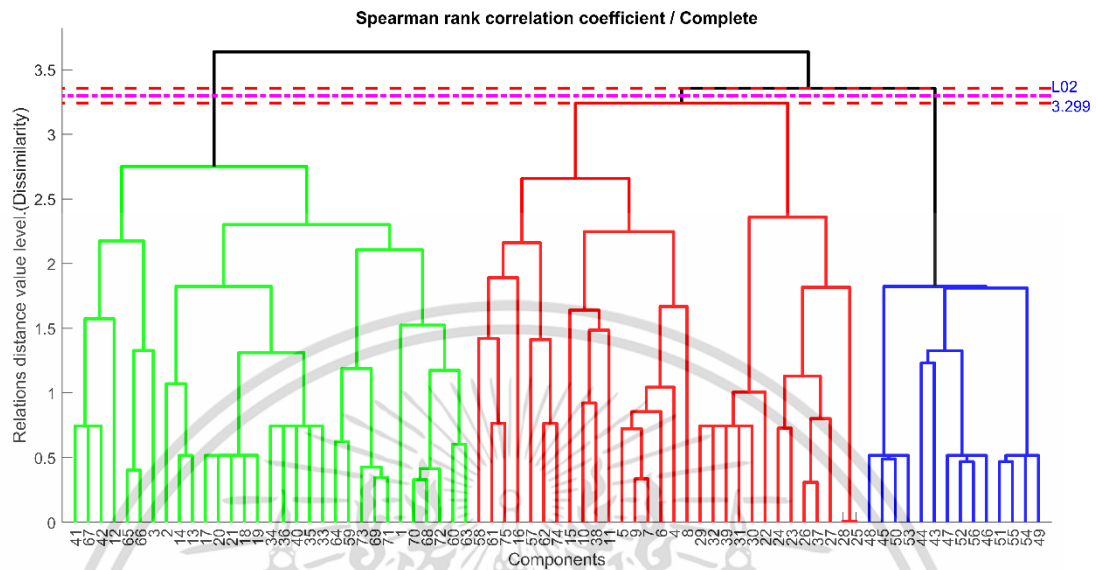
**4.1.2 ผลลัพธ์ลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ** จากระเบียบวิธีที่ได้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 01 (L01) ระยะ 3.497 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 2 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.8



**รูปที่ 4.8** แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L01 ในกรณีศึกษาที่ 1

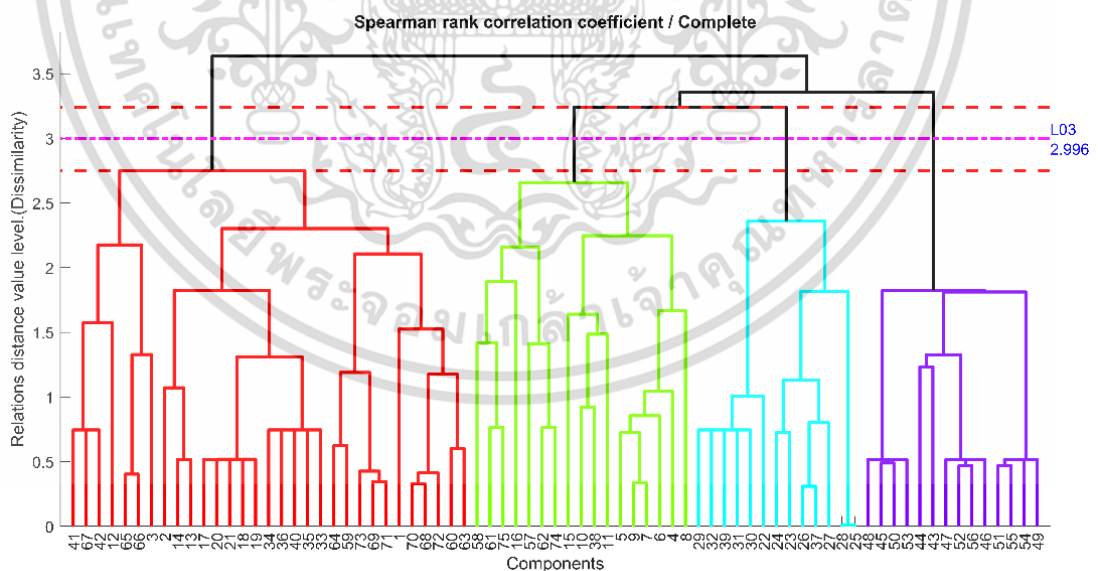
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 02 (L02) ระยะ 3.299 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 3 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนโตรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L02 ในกรณีศึกษาที่ 1

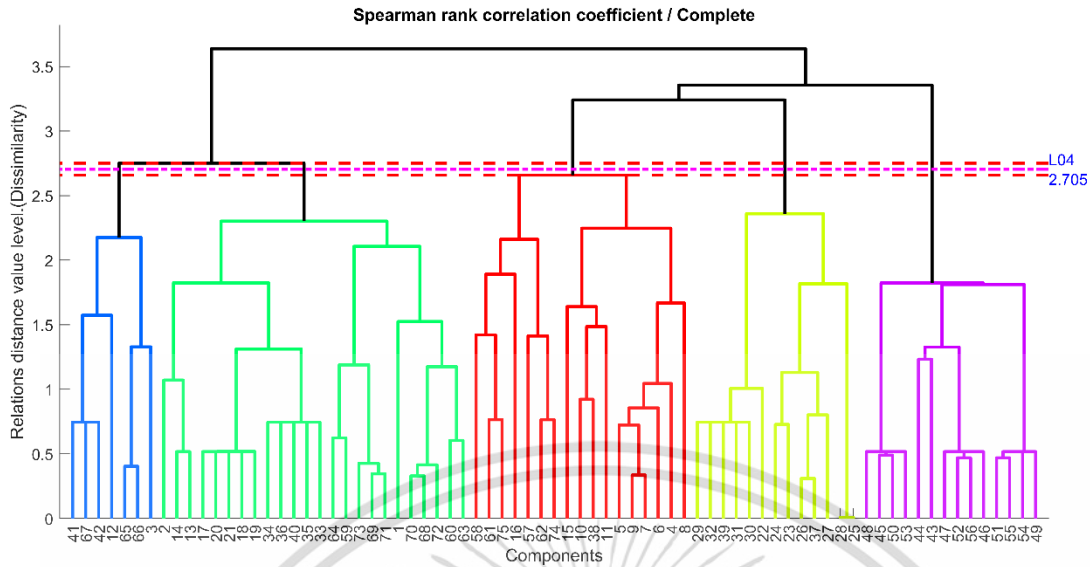
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 03 (L03) ระยะ 2.996 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 4 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนโตรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L03 ในกรณีศึกษาที่ 1

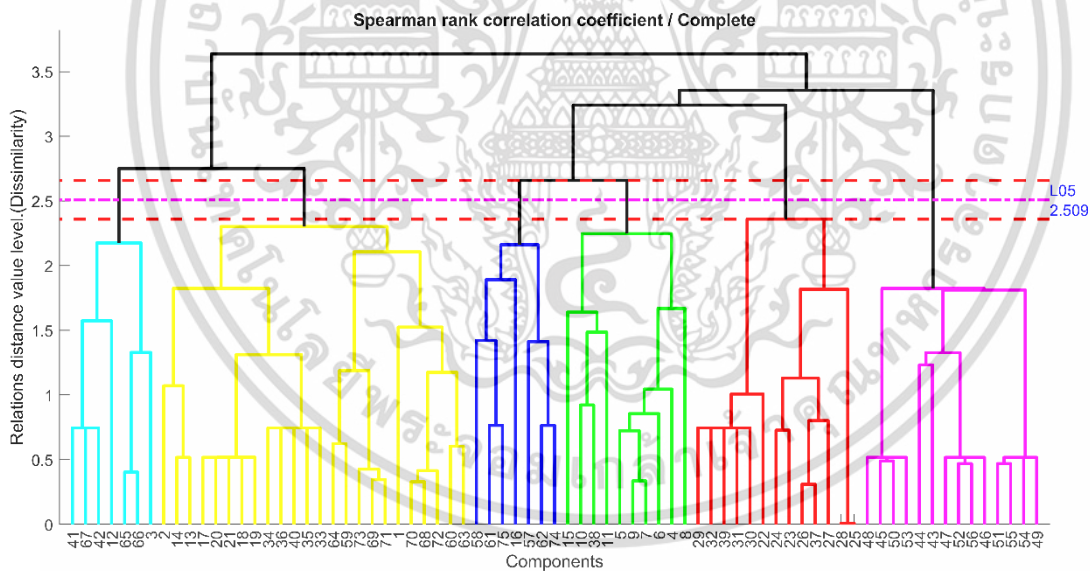
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 10 (L10) ระยะ 2.134 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 11 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนโตรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L04 ในกรณีศึกษาที่ 1

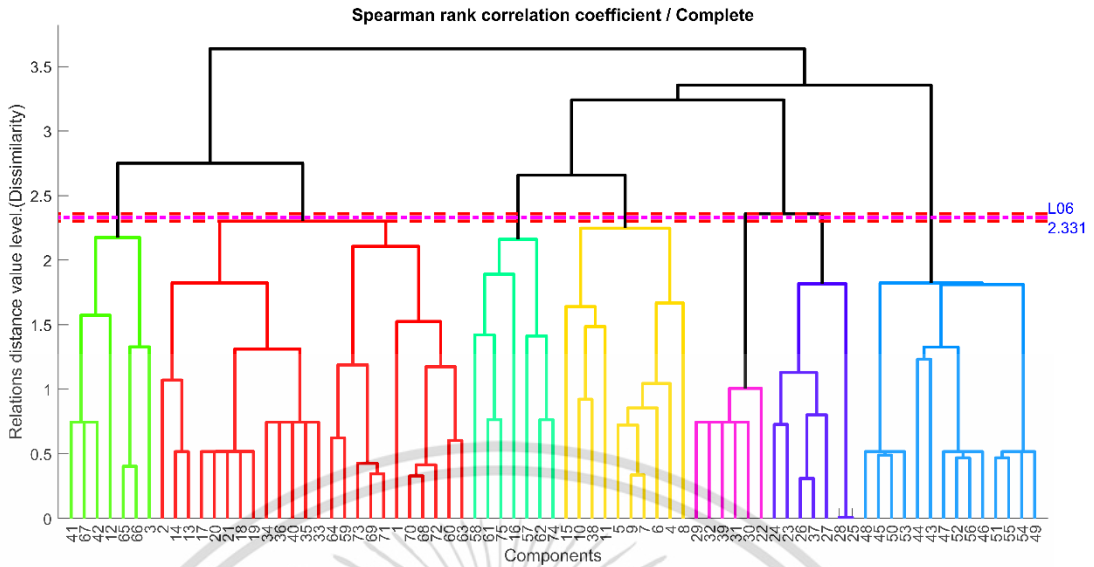
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 05 (L05) ระยะ 2.509 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 6 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L05 ในกรณีศึกษาที่ 1

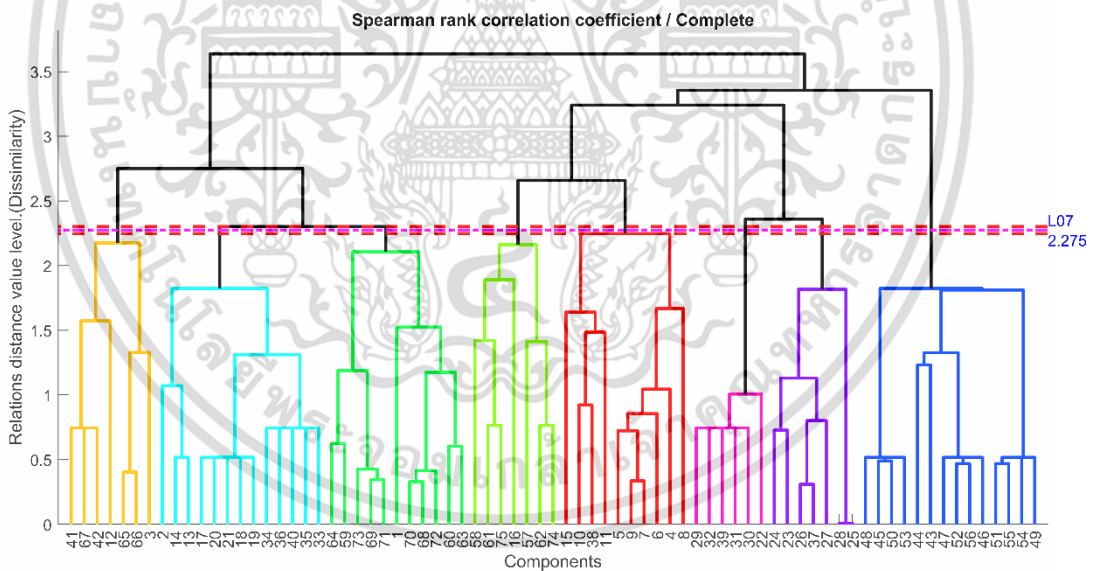
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 06 (L06) ระยะ 2.331 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 7 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L06 ในกรณีศึกษาที่ 1

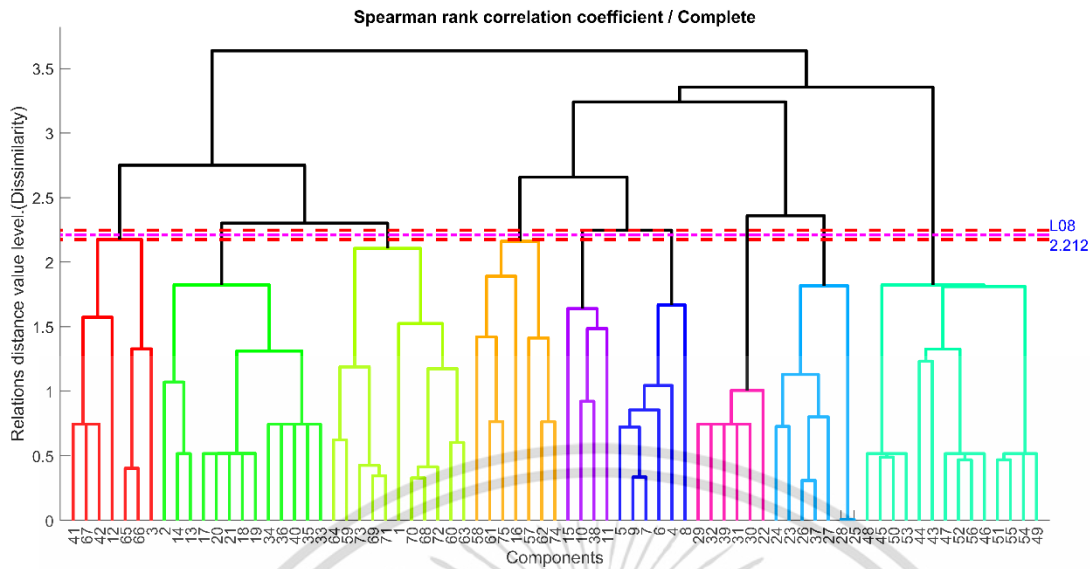
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 07 (L07) ระยะ 2.275 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 8 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนโดแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L07 ในกรณีศึกษาที่ 1

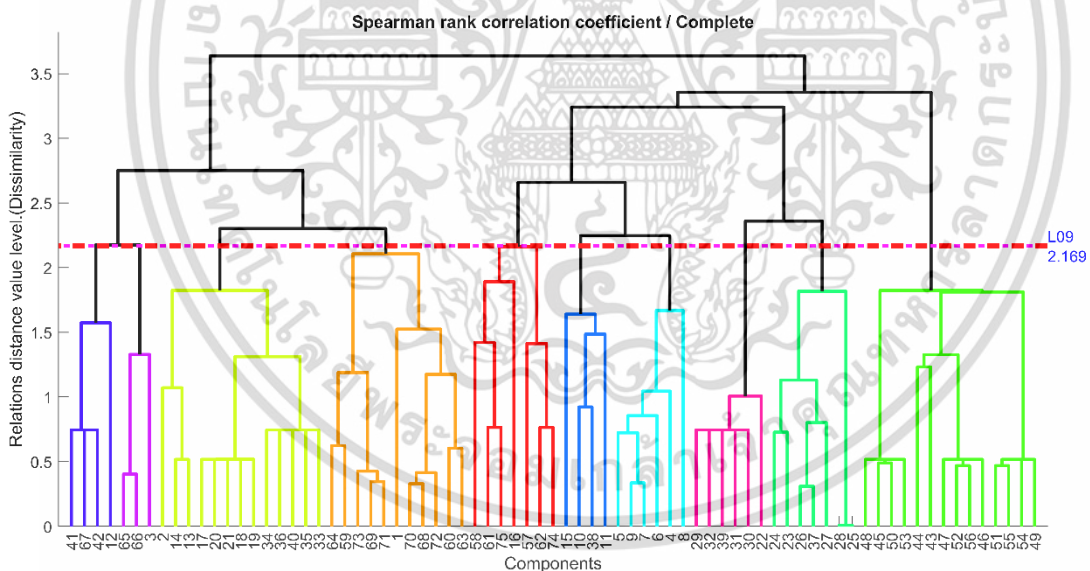
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 08 (L08) ระยะ 2.212 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 9 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนโดแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L08 ในกรณีศึกษาที่ 1

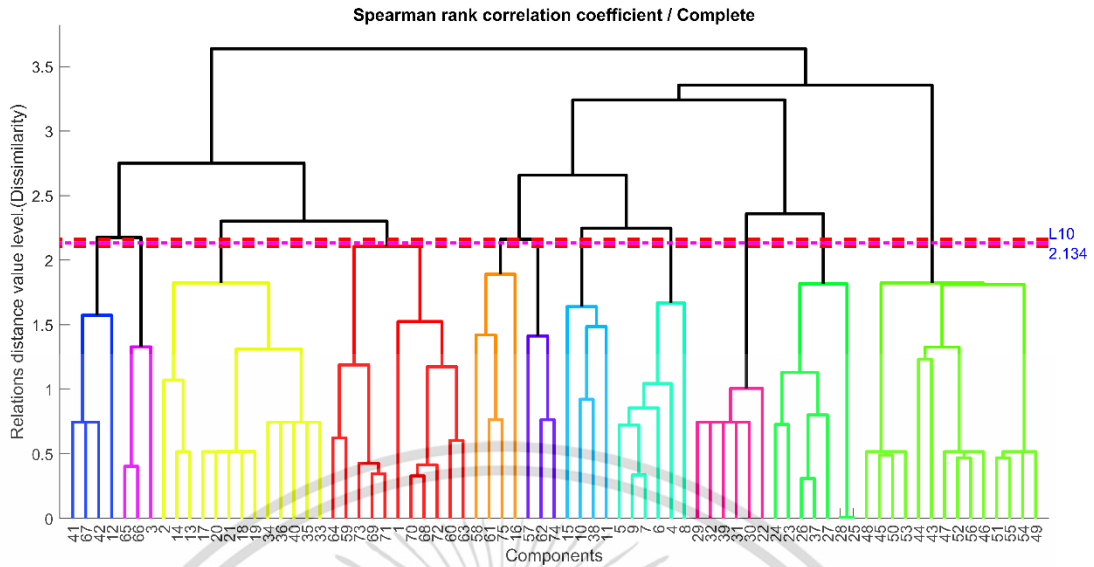
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 09 (L09) ระยะ 2.169 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 10 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L09 ในกรณีศึกษาที่ 1

เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 10 (L10) ระยะ 2.134 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 11 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

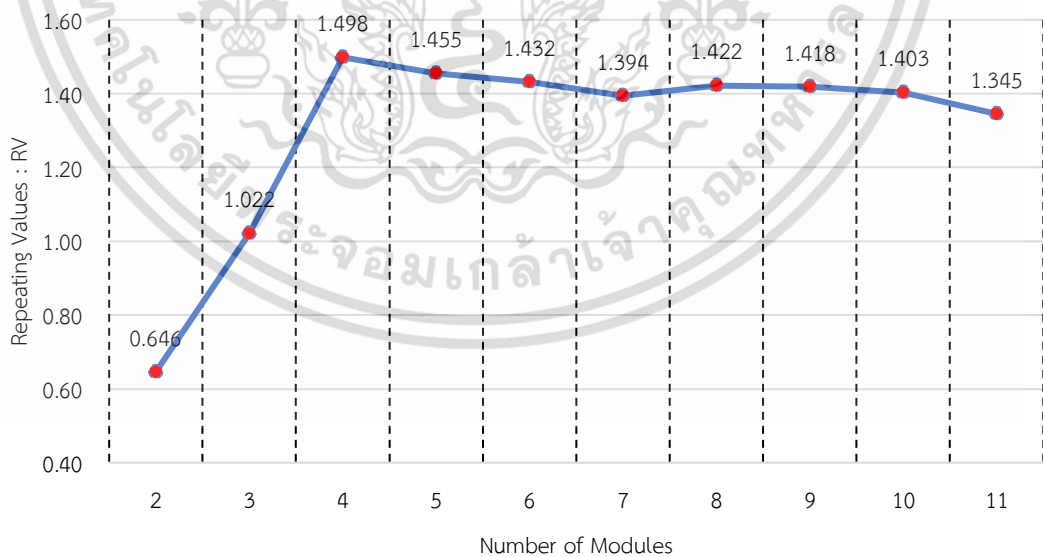


รูปที่ 4.17 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L10 ในกรณีศึกษาที่ 1

#### 4.1.3 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ

วิธีการเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรจากเดิมจะเลือกตามความเหมาะสมที่ผู้ออกแบบเห็นสมควร ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสร้างวิธีการเพื่อเลือกจำนวนโมดูลขึ้น 2 วิธี โดยมีผลลัพธ์ดังรายละเอียดต่อไปนี้

วิธีที่ 1 การพิจารณาจากการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) ผลลัพธ์จากวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ค่าการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) ในกรณีศึกษาที่ 1

จากวิธีการดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามีค่า RV สูงสุดคือ 1.498 ที่จำนวนโมดูล 4 โมดูล โดยมี

สมาชิกของโมดูลและระดับชั้นลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.2

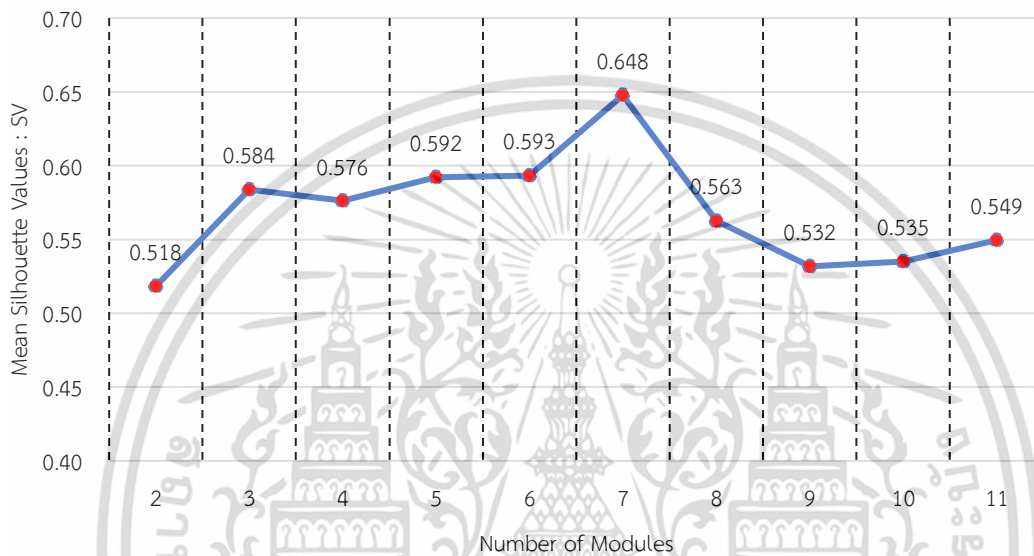
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 1 ด้วยวิธี Repeating Method

Level	Repeating Values: RV	จำนวนสมาชิกของโมดูล Modules			
		1	2	3	4
L03	1.498	13	14	31	17

วิธีที่ 2 การพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Method) ระหว่างโมดูลและชั้นส่วน โดยผลลัพธ์จากวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 4.19



**รูปที่ 4.19** ค่าเฉลี่ยซิลูเอตต์ (Average Silhouette) ในกรณีศึกษาที่ 1

จากวิธีการดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของ SV สูงสุดคือ 0.648 ที่จำนวนโมดูล 7 โมดูล โดยมีสมาชิกของโมดูลและระดับชั้นลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 1 ด้วยวิธี Average Silhouette

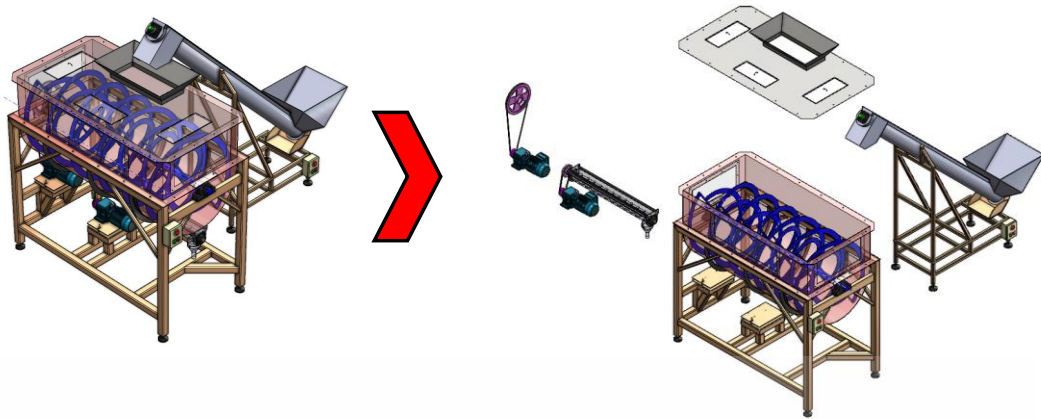
Level	Average Silhouette Values: SV	จำนวนสมาชิกของโมดูล Modules						
		1	2	3	4	5	6	7
L06	0.648	6	7	7	14	7	10	24

#### 4.1.4 สรุปผลการสร้างโมดูลเครื่องจักร

การสร้างโมดูลเครื่องจักรจากวิธีการวัดค่าความสัมพันธ์และวิธีการเลือกจำนวนโมดูลที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นสามารถสร้างโมดูลเครื่องจักรได้จริงตามวัตถุประสงค์ โดยเครื่องจักรที่ได้จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลลัพธ์ที่ 1 การใช้วิธี SDC เพื่อสร้างลำดับชั้นเชิงตัวเลขที่สามารถระบุถึงตำแหน่งชิ้นส่วนเครื่องจักรและโมดูลที่เกิดขึ้นจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข จากนั้นใช้วิธีการพิจารณาจากการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) เพื่อระบุถึงจำนวนโมดูลของเครื่องจักรโดยมีผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.20

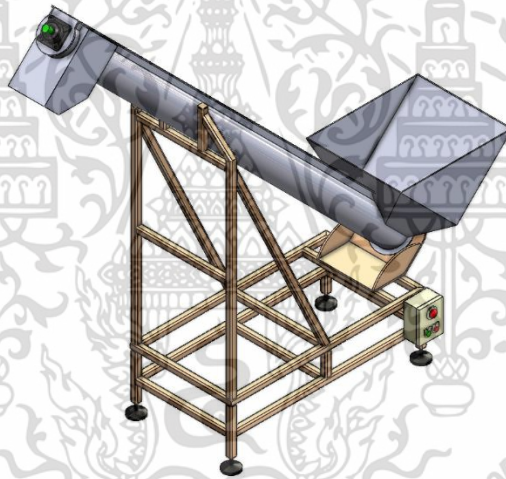
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1

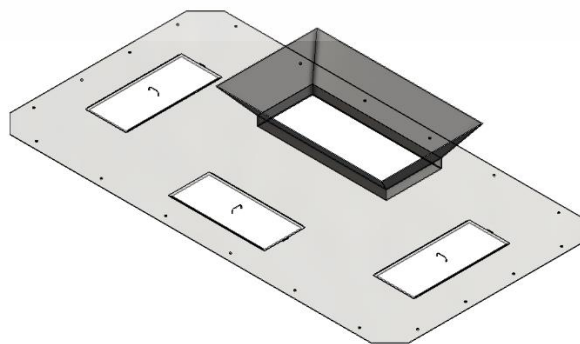
จากรูปที่ 4.20 การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลสามารถแบ่งเครื่องจักรออกเป็น 4 โมดูล แต่ละโมดูลมีจำนวนชิ้นส่วนที่ต่างกัันดังรายละเอียดต่อไปนี้

โมดูลที่ 1 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 13 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1

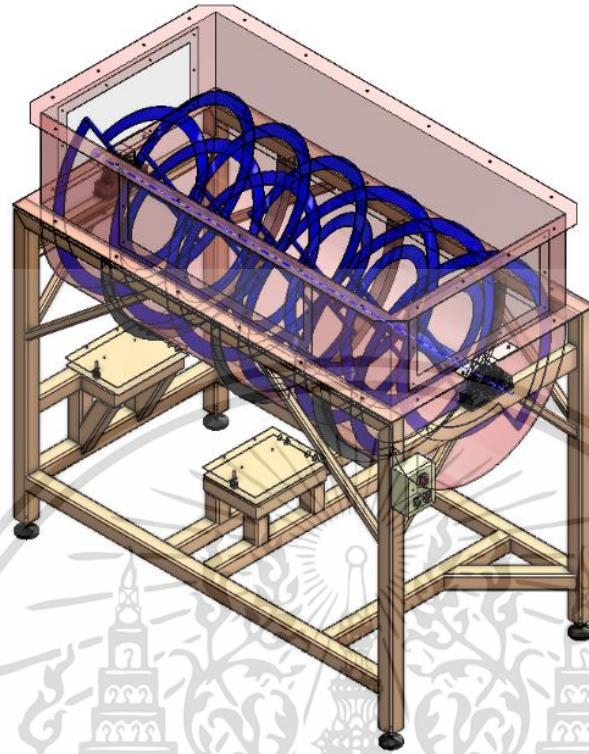
โมดูลที่ 2 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 14 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1

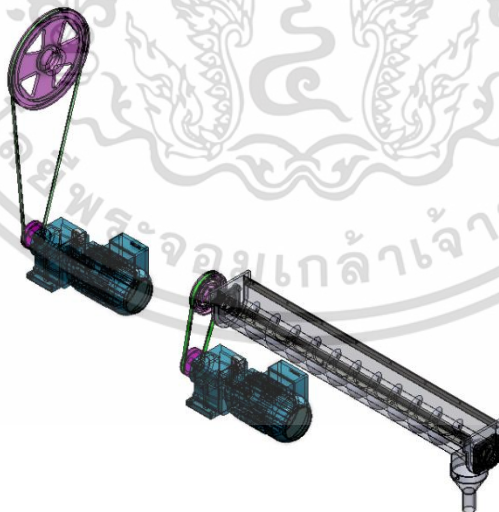
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลที่ 3 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 31 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1

โมดูลที่ 4 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 17 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 1

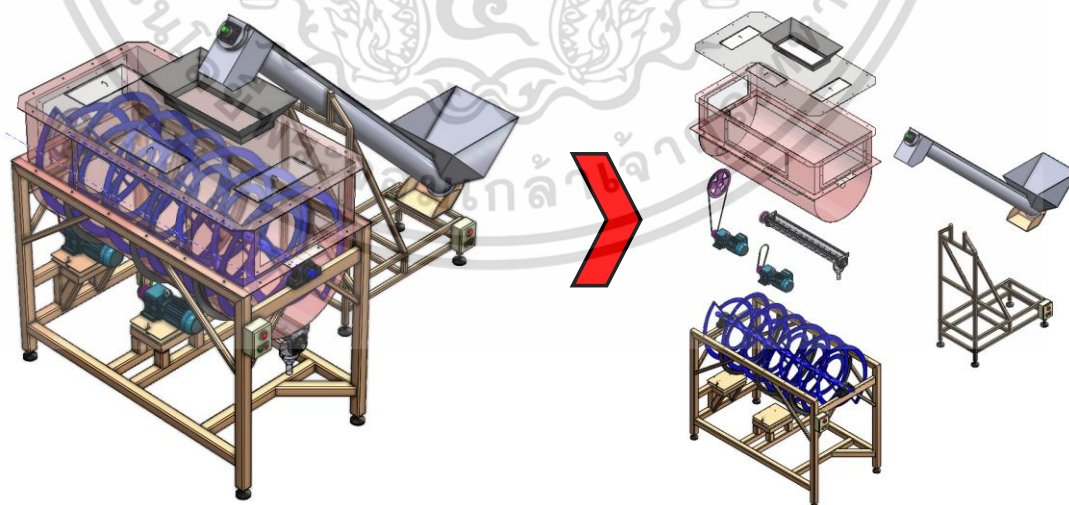
ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลทั้ง 4 โมดูล เห็นได้ว่ามีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันออกโดยมีรายละเอียดสมาชิกของโมดูลดังแสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 1 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Repeating Method

Modules	M01	M02	M03	M04	No.	M01	M02	M03	M04
Sum.	13	14	31	17					
No.01	22	43	1	4	No.21			63	
No.02	23	44	2	5	No.22			64	
No.03	24	45	3	6	No.23			65	
No.04	25	46	12	7	No.24			66	
No.05	26	47	13	8	No.25			67	
No.06	27	48	14	9	No.26			68	
No.07	28	49	17	10	No.27			69	
No.08	29	50	18	11	No.28			70	
No.09	30	51	19	15	No.29			71	
No.10	31	52	20	16	No.30			72	
No.11	32	53	21	38	No.31			73	
No.12	37	54	33	57					
No.13	39	55	34	58					
No.14		56	35	61					
No.15			36	62					
No.16			40	74					
No.17			41	75					
No.18			42						
No.19			59						
No.20			60						

ผลลัพธ์ที่ 2 การใช้วิธี SDC เพื่อสร้างลำดับชั้นเชิงตัวเลขที่สามารถระบุถึงตำแหน่งชิ้นส่วนเครื่องจักรและโมดูลที่เกิดขึ้นจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข จากนั้นใช้การพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Method) เพื่อระบุถึงจำนวนโมดูลของเครื่องจักรโดยมีผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.25



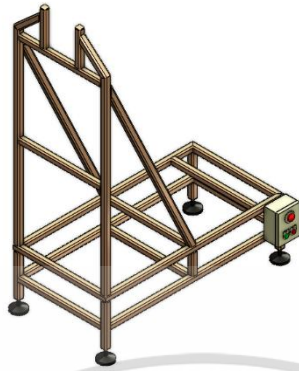
รูปที่ 4.25 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1

จากรูปที่ 4.25 การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลสามารถแบ่งเครื่องจักรออกเป็น 7 โมดูล แต่แต่ละโมดูลมีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

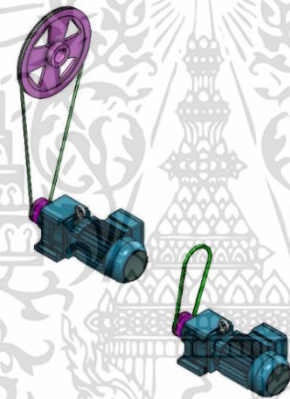
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลที่ 1 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 6 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.26



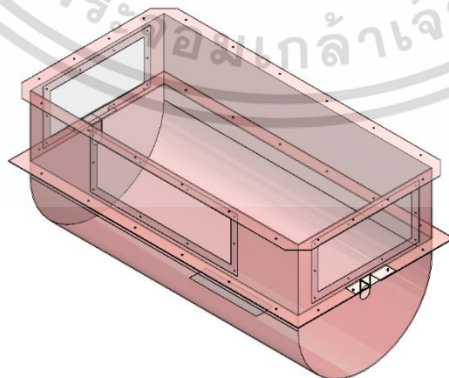
รูปที่ 4.26 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1

โมดูลที่ 2 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1

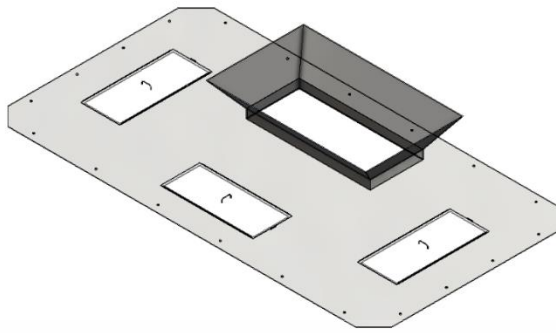
โมดูลที่ 3 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1

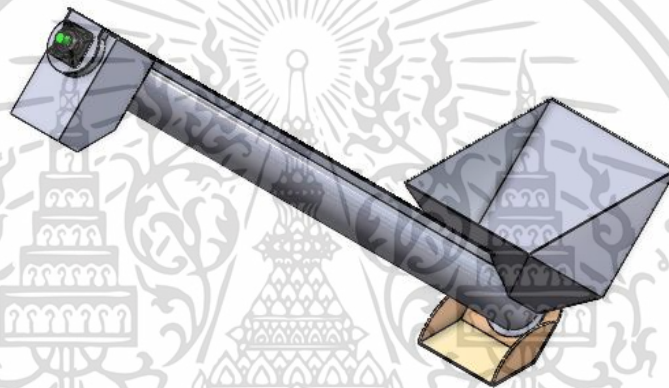
โมดูลที่ 4 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 14 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



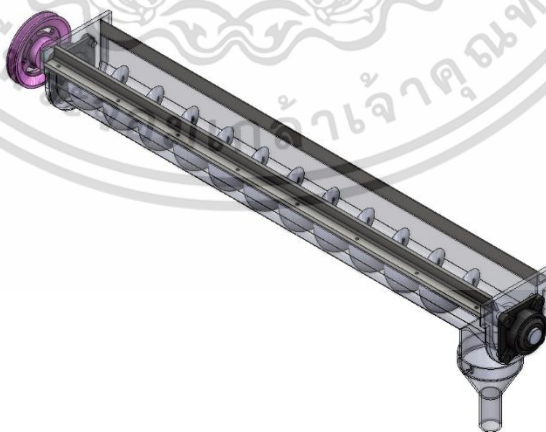
รูปที่ 4.29 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1

โมดูลที่ 5 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 โมดูลที่ 5 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1

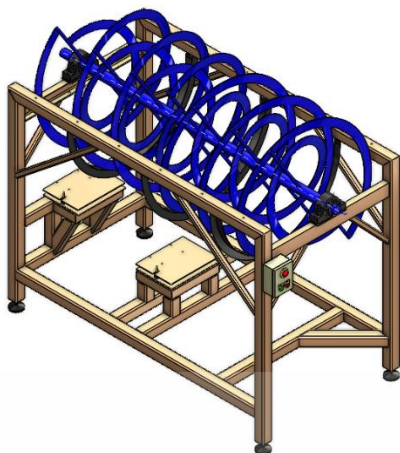
โมดูลที่ 6 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 10 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 โมดูลที่ 6 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1

โมดูลที่ 7 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 24 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 โมดูลที่ 7 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 1

ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลทั้ง 7 โมดูล เห็นได้ว่ามีจำนวนชิ้นส่วนที่ต่างกันอย่างมีรายละเอียดสมาชิกของโมดูลดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 โมดูลโมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 1 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Average Silhouette

Modules (M)	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07
Sum.	6	7	7	14	7	10	24
No.01	22	16	3	43	23	4	1
No.02	29	57	12	44	24	5	2
No.03	30	58	41	45	25	6	13
No.04	31	61	42	46	26	7	14
No.05	32	62	65	47	27	8	17
No.06	39	74	66	48	28	9	18
No.07		75	67	49	37	10	19
No.08				50		11	20
No.09				51		15	21
No.10				52		38	33
No.11				53			34
No.12				54			35
No.13				55			36
No.14				56			40
No.15							59
No.16							60
No.17							63
No.18							64
No.19							68
No.20							69
No.21							70
No.22							71
No.23							72
No.24							73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลสามารถสร้างโมดูลและกำหนดจำนวนโมดูลได้ตามวัตถุประสงค์ของผู้วิจัยที่ต้องการสร้างเครื่องมือช่วยสำหรับการออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลโดยสามารถสรุปรายละเอียดของโมดูลดังแสดงในตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** สรุปรายละเอียดของโมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 1

	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												
	Number of Modules (k)												SUM.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Repeating Method	13	14	31	17	-	-	-	-	-	-	-	-	75
Silhouette Method	6	7	7	14	7	10	24	-	-	-	-	-	75

## 4.2 ผลการศึกษาเกี่ยวกับกรณีศึกษาที่ 2

ในกรณีศึกษานี้จะใช้ระเบียบวิธีการสร้างโมดูลเครื่องจักร เพื่อแสดงผลการวัดค่าความสัมพันธ์จากระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลขและผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักร ซึ่งกรณีศึกษานี้มีจำนวนชั้นส่วนทั้งหมด 40 ชั้น โดยมีผลลัพธ์จากกรณีศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

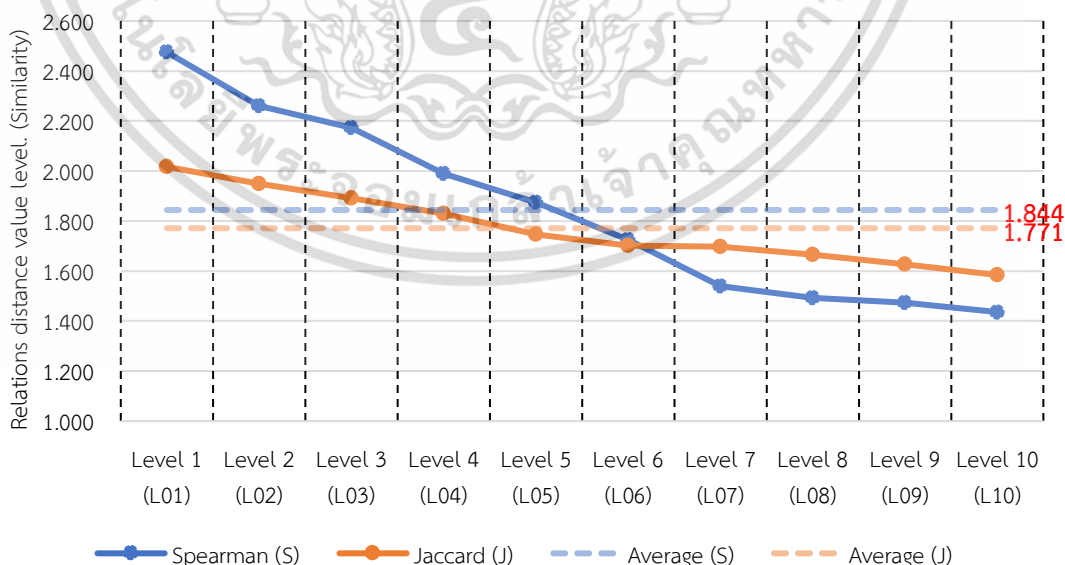
### 4.2.1 ผลลัพธ์การวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วนจากระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข

จากระเบียบวิธีการสร้างโมดูลเครื่องจักรจะได้ค่าระดับระยะความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อจำนวนสมาชิกโมดูลและรูปแบบการประกอบ สามารถสรุปผลได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SSC กับ JSC ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าวิธี SSC มีค่าเฉลี่ย 1.844 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JSC

SSC = Spearman's rank Coefficient > Similarity Coefficient > Complete Linkage

JSC = Jaccard Coefficient > Similarity Coefficient > Complete Linkage



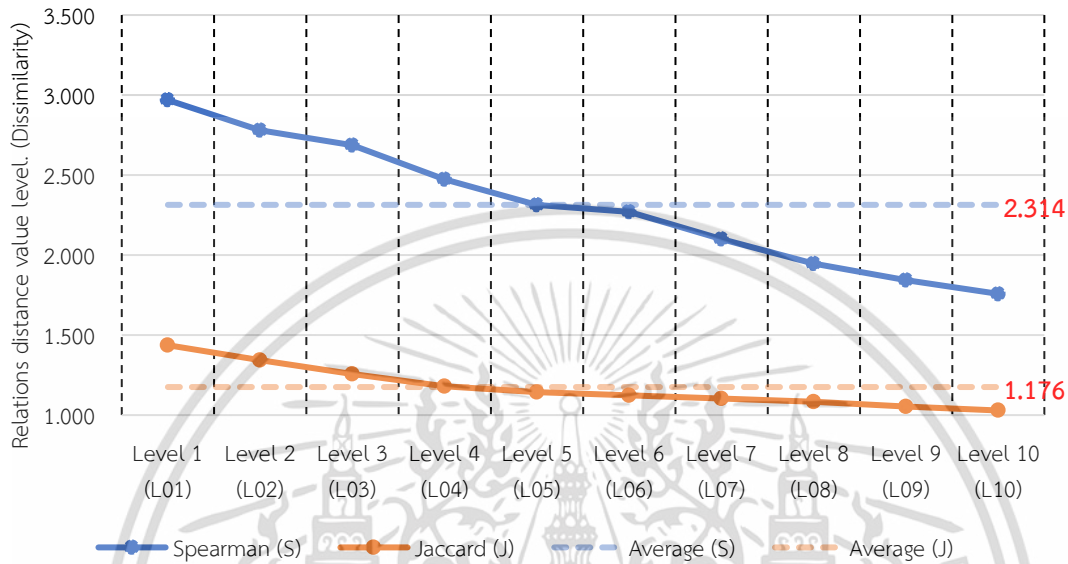
**รูปที่ 4.33** ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSC เปรียบเทียบกับวิธี JSC ในกรณีศึกษาที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SDC กับ JDC ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.34 จะเห็นได้ว่าวิธี SDC มีค่าเฉลี่ย 2.314 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JDC

SDC = Spearman's rank Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Complete Linkage

JDC = Jaccard Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Complete Linkage

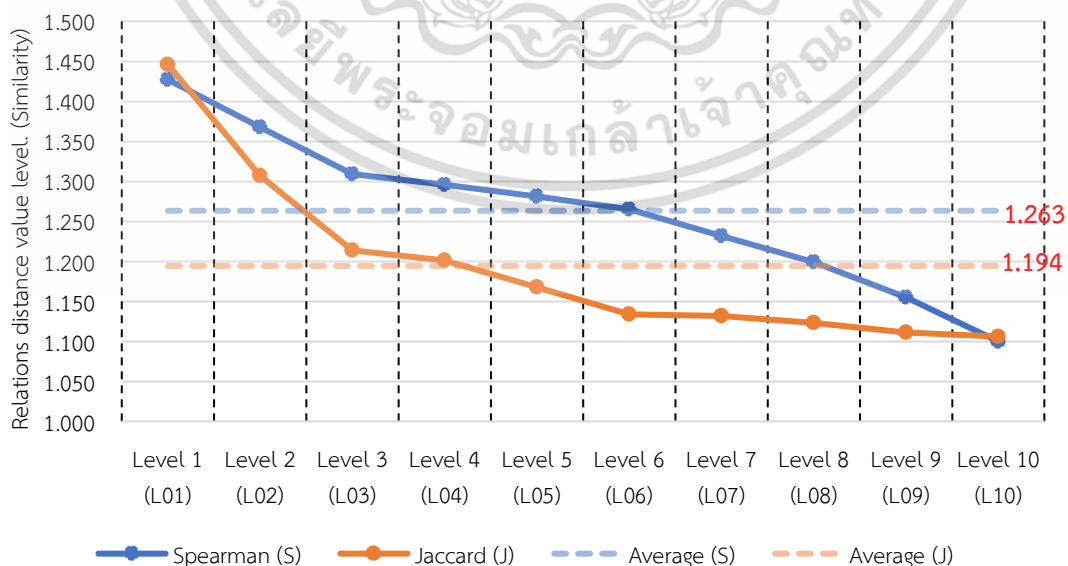


รูปที่ 4.34 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDC เปรียบเทียบกับวิธี JDC ในกรณีศึกษาที่ 2

3. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SSS กับ JSS ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.35 จะเห็นได้ว่าวิธี SSS มีค่าเฉลี่ย 1.263 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JSS

SSS = Spearman's rank Coefficient / Similarity Coefficient / Single Linkage

JSS = Jaccard Coefficient / Similarity Coefficient / Single Linkage



รูปที่ 4.35 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSS เปรียบเทียบกับวิธี JSS ในกรณีศึกษาที่ 2

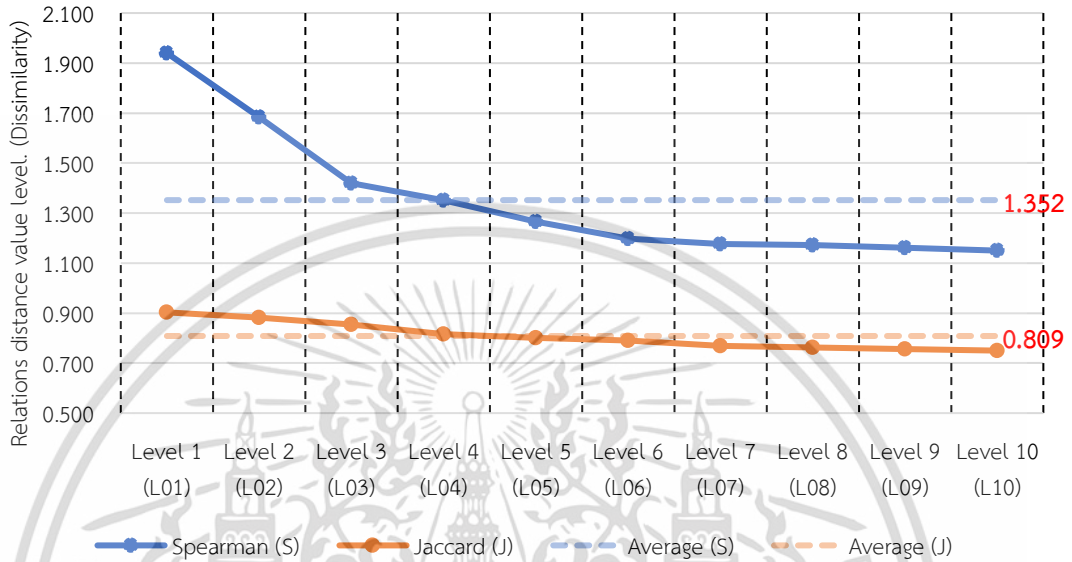
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SDS กับ JDS ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.36 จะเห็นได้ว่าวิธี SDS มีค่าเฉลี่ย 1.352 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JDS

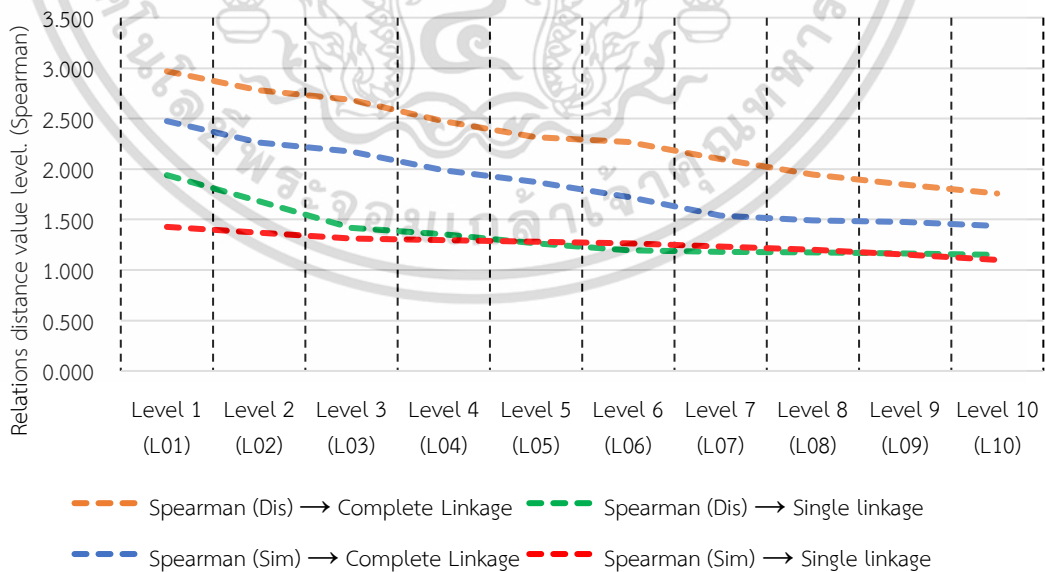
SDS = Spearman's rank Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Single Linkage

JDS = Jaccard Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Single Linkage



รูปที่ 4.36 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDS เปรียบเทียบกับวิธี JDS ในกรณีศึกษาที่ 2

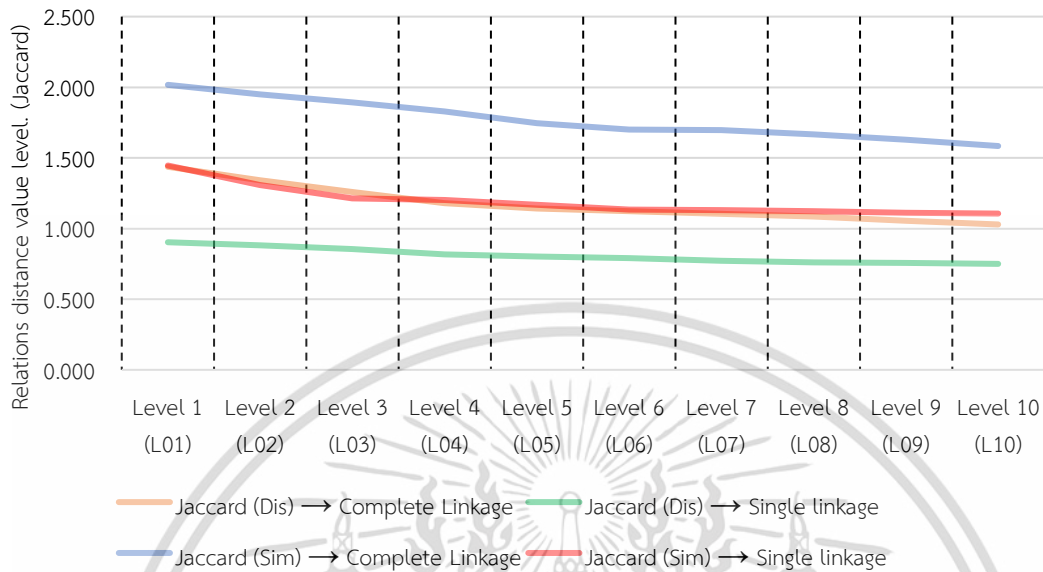
5. ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิค Spearman's rank Coefficient ในการคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วน ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Spearman's rank Coefficient (S)

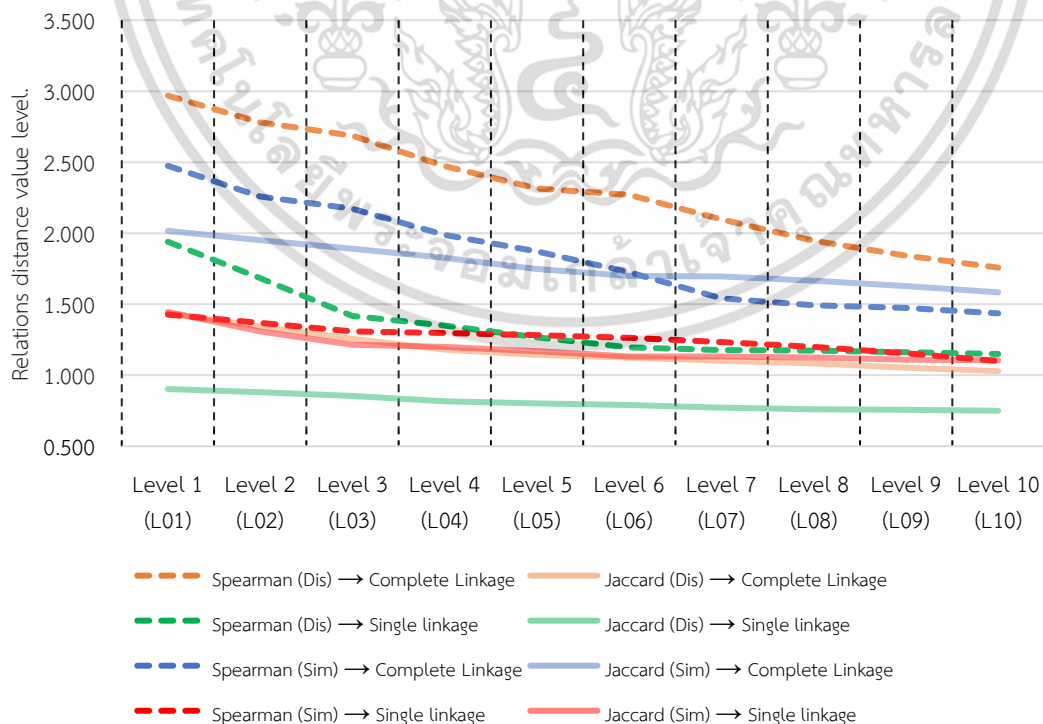
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิค Jaccard Coefficient ในการคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วน ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Jaccard Coefficient (J)

สรุปผลลัพธ์ระดับค่าระยะความสัมพันธ์จากระเบียบวิธีทั้งหมด 8 วิธีการ โดยค่าระยะความสัมพันธ์ที่มากที่สุดคือค่าที่เหมาะสมต่อการสร้างโมดูล ซึ่งผลลัพธ์ที่มีค่าสูงสุดได้จากวิธี SDC ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 การเปรียบเทียบค่าลำดับชั้นจากวิธีการทั้งหมดในกรณีศึกษาที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ยืมได้เห็นใบปะกันด้านการค้า

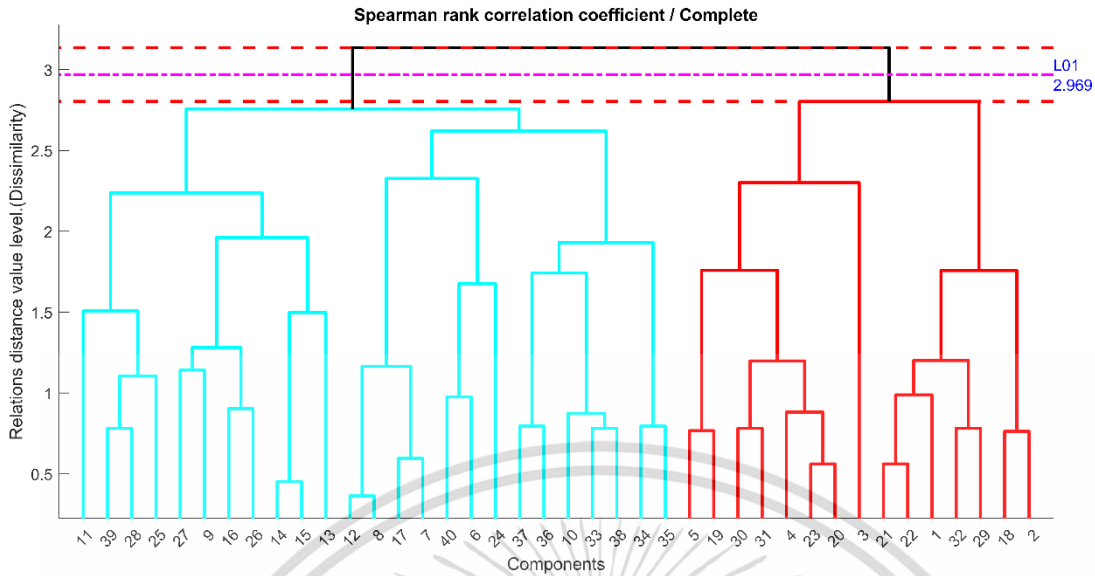
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.39 สามารถแสดงผลลัพธ์ข้อค่าที่ได้จากระเบียบวิธีทั้งหมดในรูปแบบของข้อมูลเชิงตัวเลขได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7

**ตารางที่ 4.7** สรุประดับเส้นตัดด้วยวิธีการทั้งหมด 8 วิธี ของกรณีศึกษาที่ 2

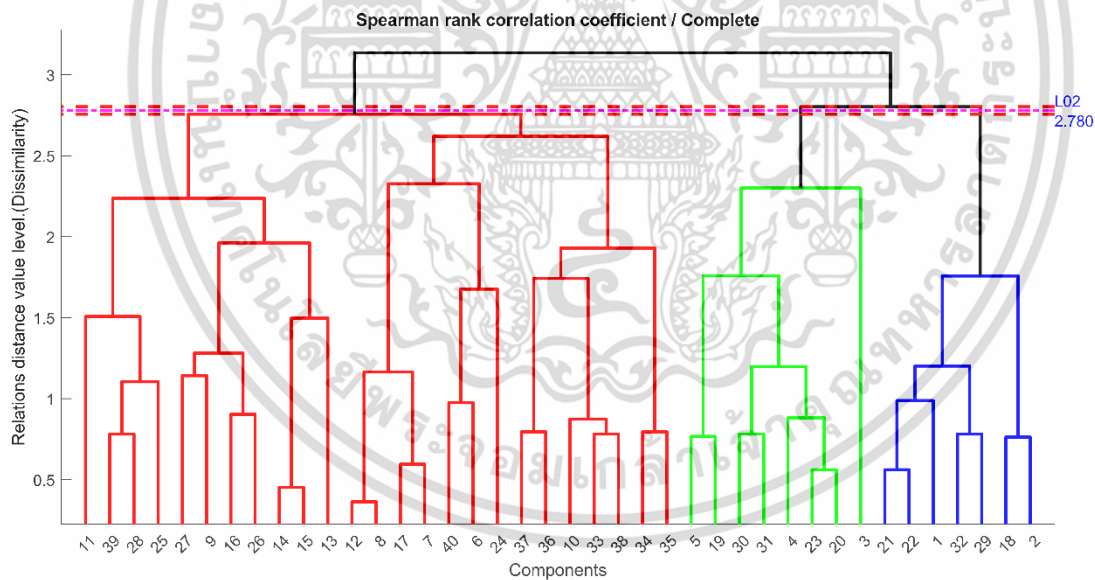
NO.	Method	Relations distance value level. (L01 to L10)										
		L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	
1	Spearman	SDC	2.969	2.780	2.688	2.473	2.314	2.269	2.099	1.946	1.844	1.758
2		SDS	1.940	1.684	1.419	1.352	1.266	1.197	1.177	1.172	1.162	1.150
3		SSC	2.475	2.261	2.174	1.990	1.874	1.726	1.540	1.492	1.473	1.436
4		SSS	1.427	1.368	1.309	1.296	1.281	1.265	1.232	1.199	1.155	1.100
5	Jaccard	JDC	1.437	1.342	1.257	1.180	1.143	1.124	1.103	1.085	1.055	1.029
6		JDS	0.903	0.881	0.855	0.816	0.802	0.790	0.770	0.762	0.756	0.750
7		JSC	2.017	1.950	1.892	1.829	1.747	1.701	1.697	1.665	1.628	1.584
8		JSS	1.446	1.307	1.214	1.201	1.168	1.134	1.132	1.123	1.111	1.106

**4.2.2 ผลลัพธ์ลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ** จากระเบียบวิธีที่ได้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 01 (L01) ระยะ 2.969 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 2 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนแผนโครงกรรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L01 ในกรณีศึกษาที่ 2

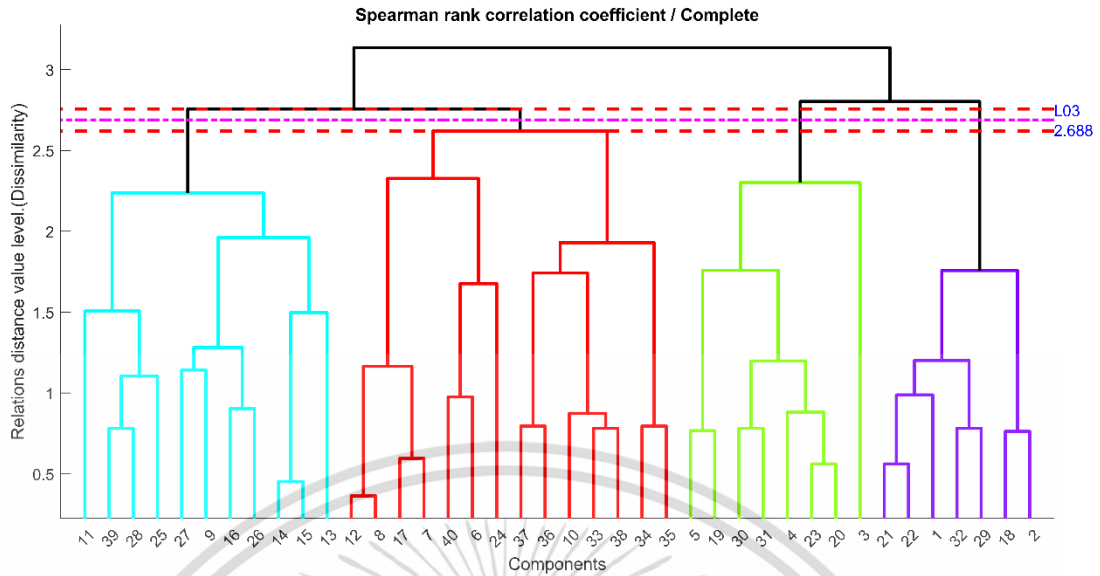
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 02 (L02) ระยะ 2.780 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 3 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนไดรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L02 ในกรณีศึกษาที่ 2

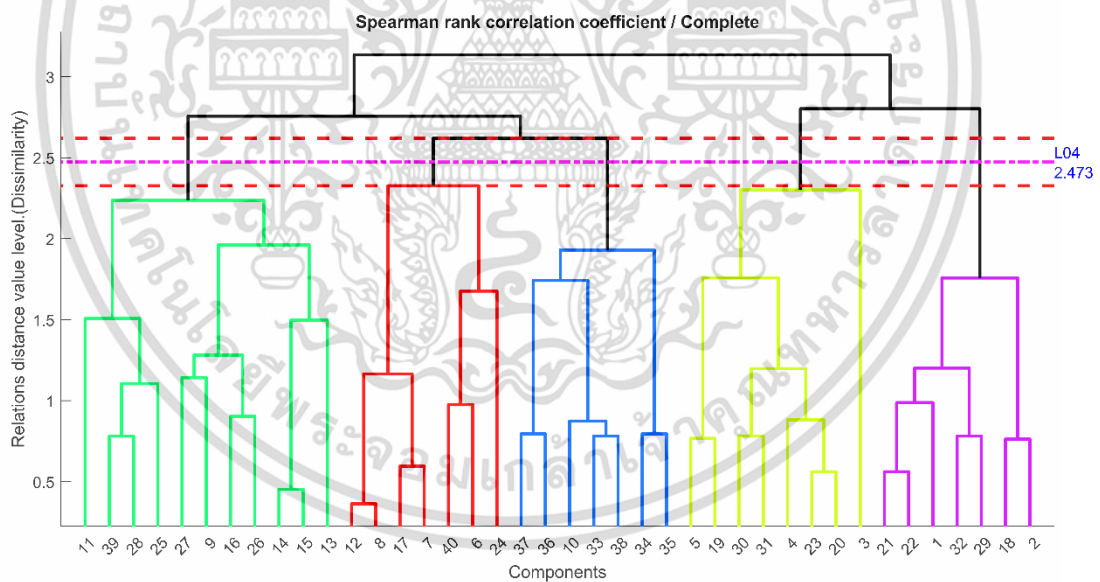
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 03 (L03) ระยะ 2.688 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 4 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนไดรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



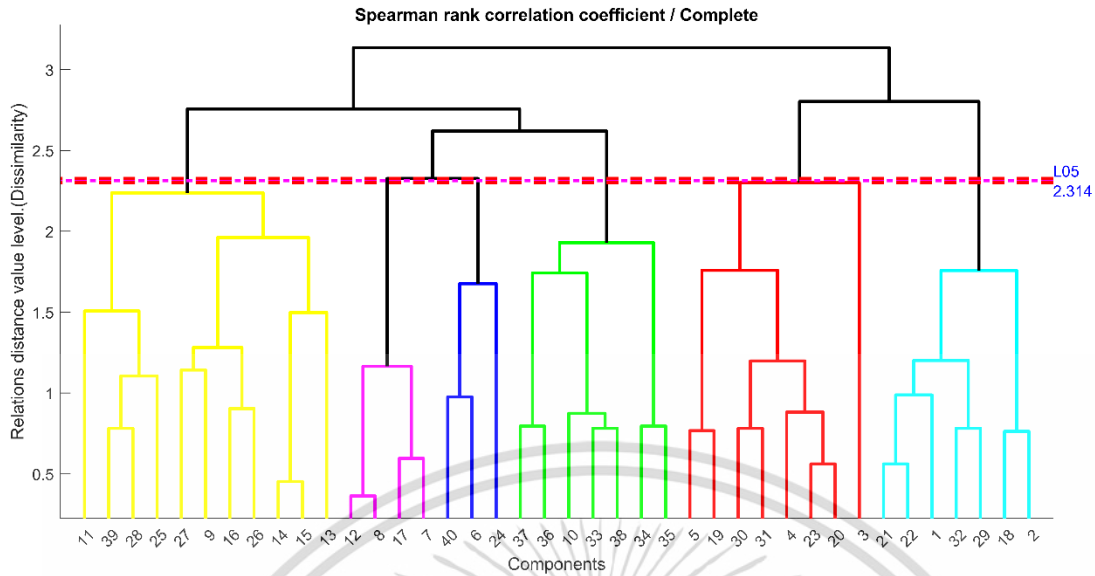
รูปที่ 4.42 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L03 ในกรณีศึกษาที่ 2

เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 04 (L04) ระยะ 2.473 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 5 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.43



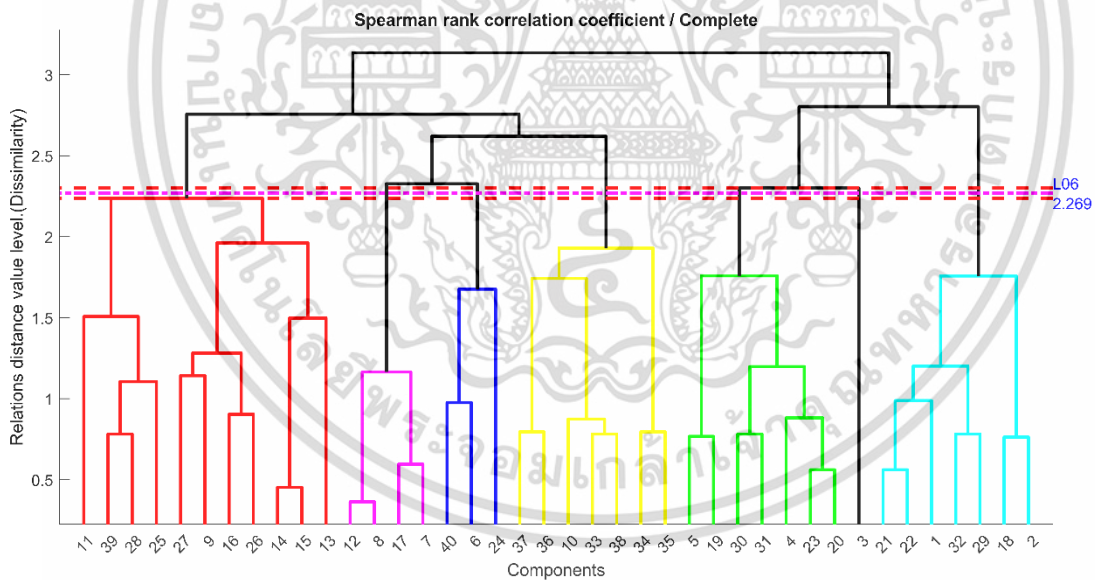
รูปที่ 4.43 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L04 ในกรณีศึกษาที่ 2

เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 05 (L05) ระยะ 2.314 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 6 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L05 ในกรณีศึกษาที่ 2

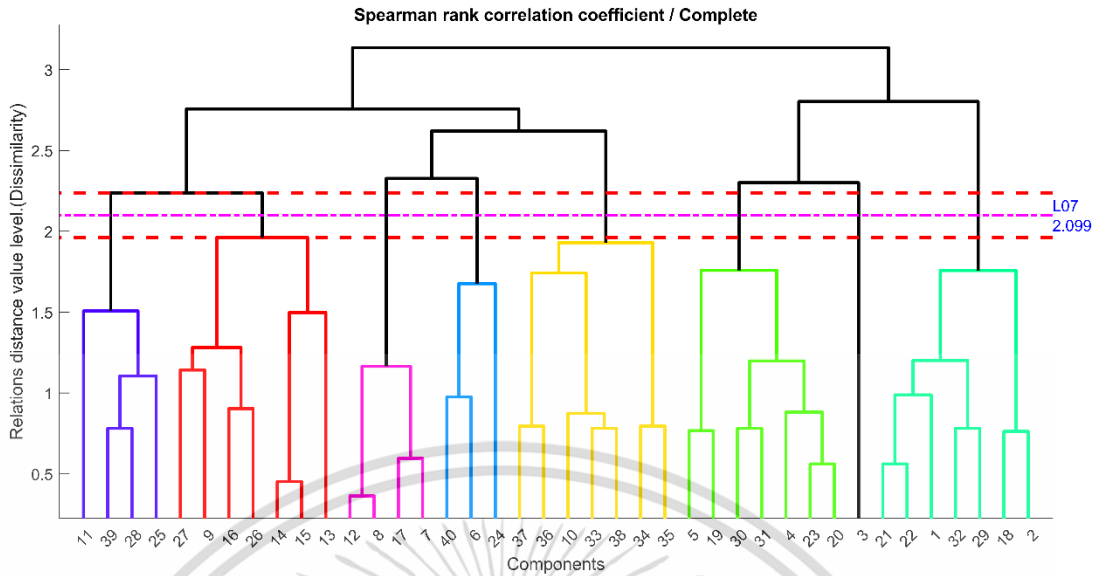
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 06 (L06) ระยะ 2.269 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 7 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L06 ในกรณีศึกษาที่ 2

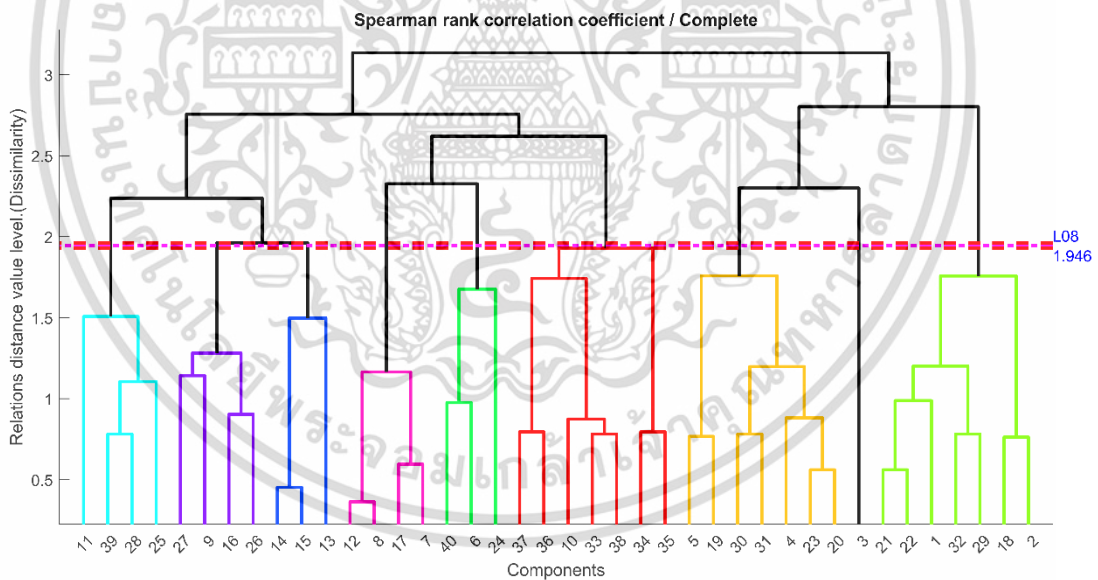
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 07 (L07) ระยะ 2.099 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 8 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



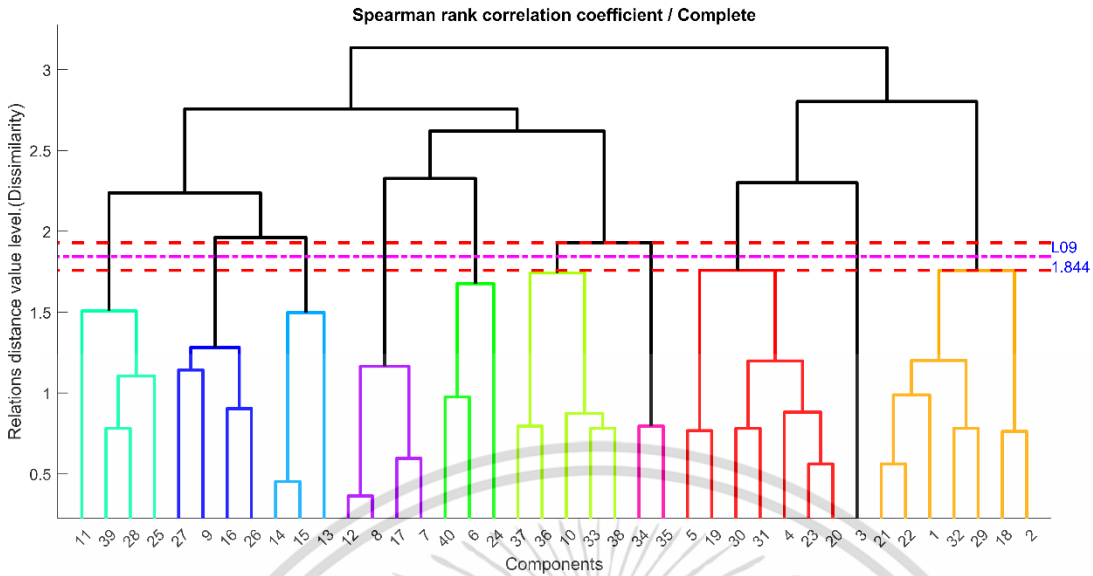
รูปที่ 4.46 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L07 ในกรณีศึกษาที่ 2

เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 08 (L08) ระยะ 1.946 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 9 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.47



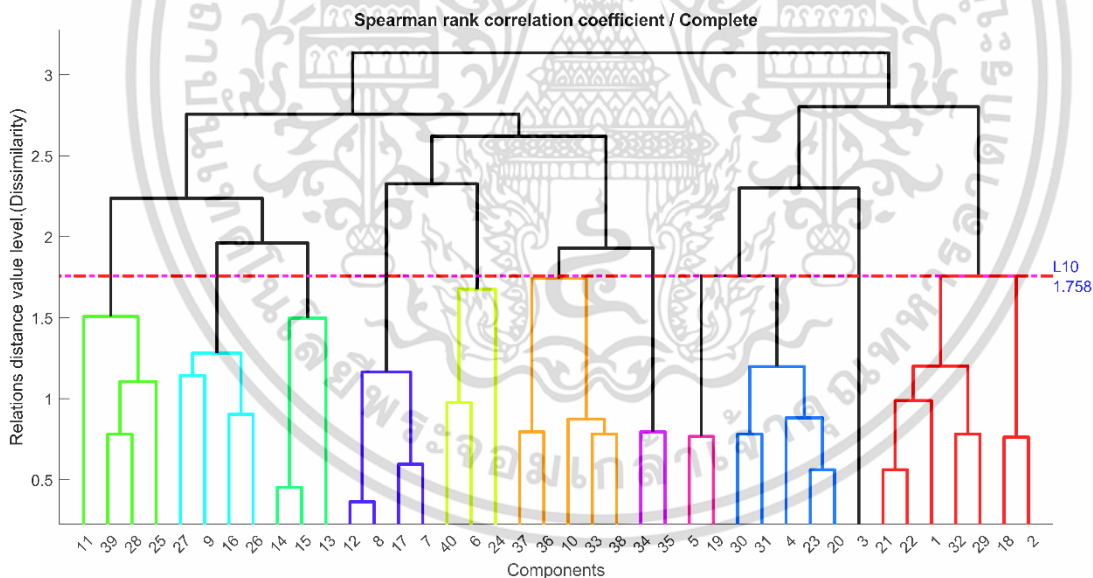
รูปที่ 4.47 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L08 ในกรณีศึกษาที่ 2

เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 09 (L09) ระยะ 1.844 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 10 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L09 ในกรณีศึกษาที่ 2

เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 10 (L10) ระยะ 1.758 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 11 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโตรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.49

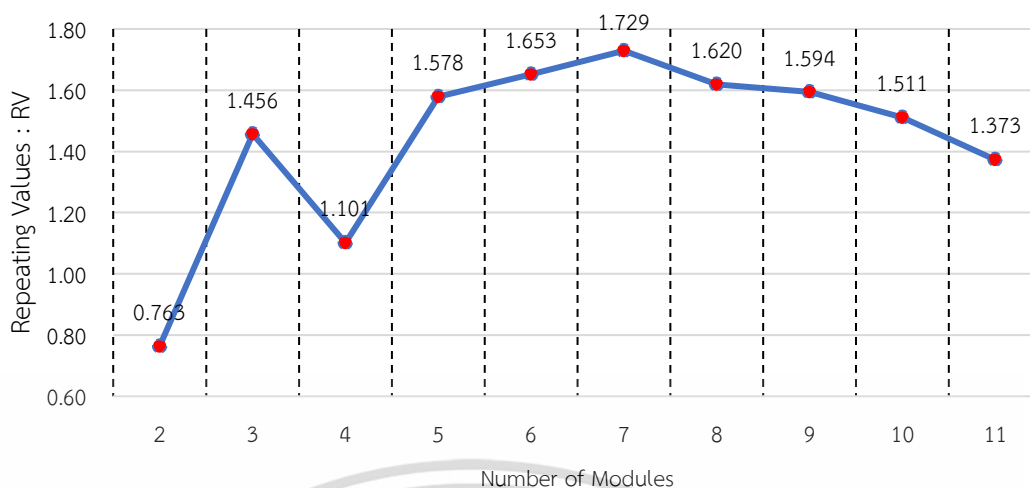


รูปที่ 4.49 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L10 ในกรณีศึกษาที่ 2

### 4.2.3 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ

วิธีการเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรจากเดิมจะเลือกตามความเหมาะสมที่ผู้ออกแบบเห็นสมควร ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสร้างวิธีการเพื่อเลือกจำนวนโมดูลขึ้น 2 วิธี โดยมีผลลัพธ์ดังรายละเอียดต่อไปนี้

วิธีที่ 1 การพิจารณาจากการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) ผลลัพธ์จากวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 4.50  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



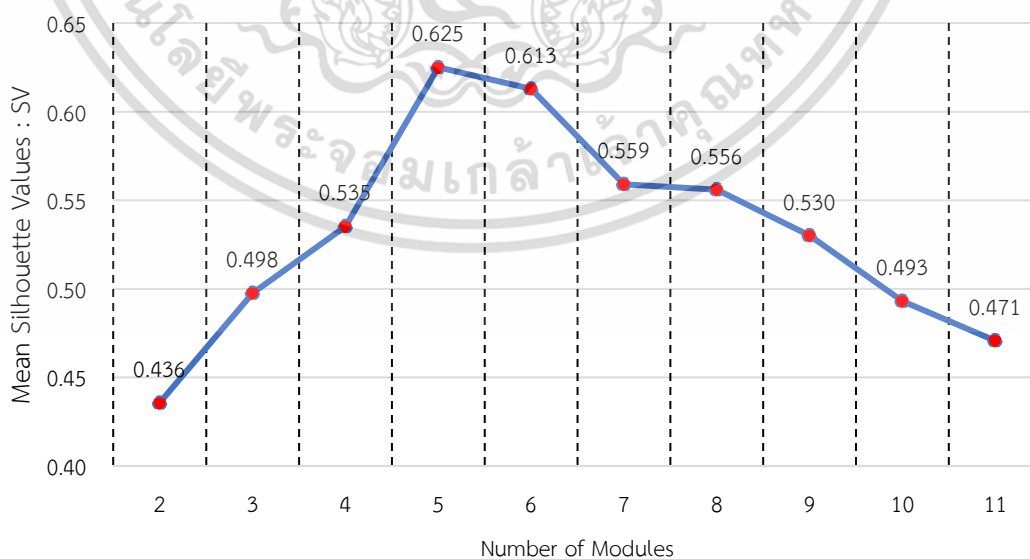
รูปที่ 4.50 ค่าการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) ในกรณีศึกษาที่ 2

จากวิธีการดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามีค่า RV สูงสุดคือ 1.729 ที่จำนวนโมดูล 7 โมดูล โดยมีสมาชิกของโมดูลและระดับชั้นลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 2 ด้วยวิธี Repeating Method

Level	Repeating Values: RV	จำนวนสมาชิกของโมดูล Modules						
		1	2	3	4	5	6	7
L06	1.729	1	4	7	11	7	7	3

วิธีที่ 2 การพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Method) ระหว่างโมดูลและชั้นส่วน โดยผลลัพธ์จากวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.51 ค่าเฉลี่ยซิลูเอตต์ (Average Silhouette) ในกรณีศึกษาที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวิธีการดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของ SV สูงสุดคือ 0.625 ที่จำนวนโมดูล 5 โมดูล โดยมีสมาชิกของโมดูลและระดับชั้นลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.9

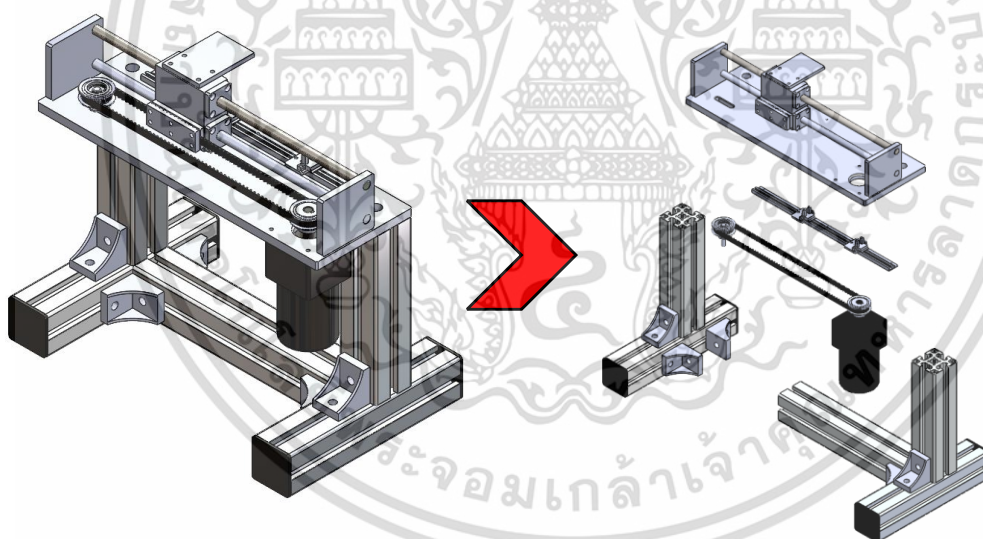
**ตารางที่ 4.9** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 2 ด้วยวิธี Average Silhouette

Level	Average Silhouette Values: SV	จำนวนสมาชิกของโมดูล Modules				
		1	2	3	4	5
L04	0.625	7	11	7	7	8

#### 4.2.4 สรุปผลการสร้างโมดูลเครื่องจักร

การสร้างโมดูลเครื่องจักรจากวิธีการวัดค่าความสัมพันธ์และวิธีการเลือกจำนวนโมดูลที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นสามารถสร้างโมดูลเครื่องจักรได้จริงตามวัตถุประสงค์ โดยเครื่องจักรที่ได้จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

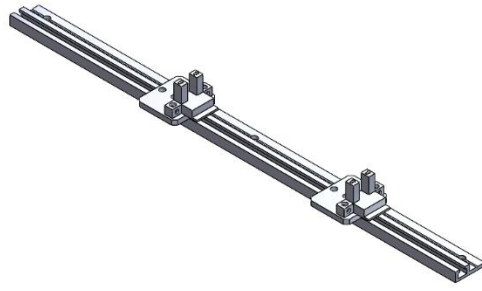
ผลลัพธ์ที่ 1 การใช้วิธี SDC เพื่อสร้างลำดับชั้นเชิงตัวเลขที่สามารถระบุถึงตำแหน่งชิ้นส่วนเครื่องจักรและโมดูลที่เกิดขึ้นจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข จากนั้นใช้วิธีการพิจารณาจากการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) เพื่อระบุถึงจำนวนโมดูลของเครื่องจักรโดยมีผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.52



**รูปที่ 4.52** ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2

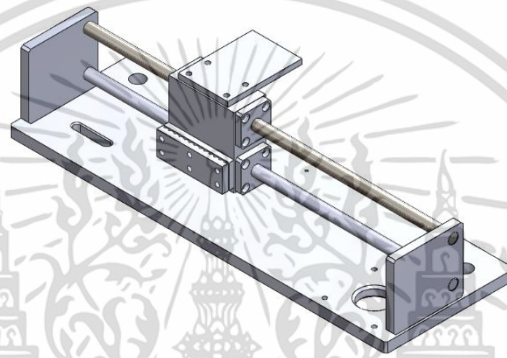
จากรูปที่ 4.52 การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลสามารถแบ่งเครื่องจักรออกเป็น 5 โมดูล แต่ละโมดูลมีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

โมดูลที่ 1 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.53



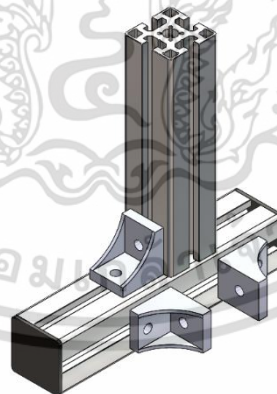
รูปที่ 4.53 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2

โมดูลที่ 2 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 11 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.54



รูปที่ 4.54 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2

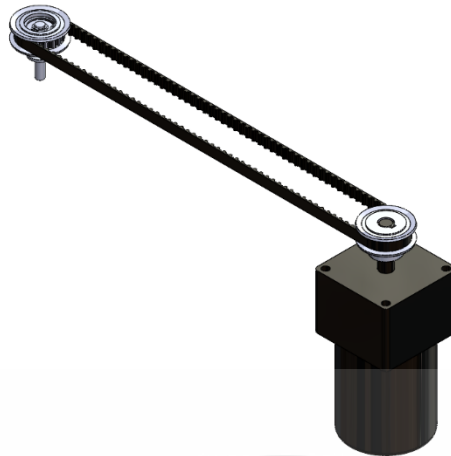
โมดูลที่ 3 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.55 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2

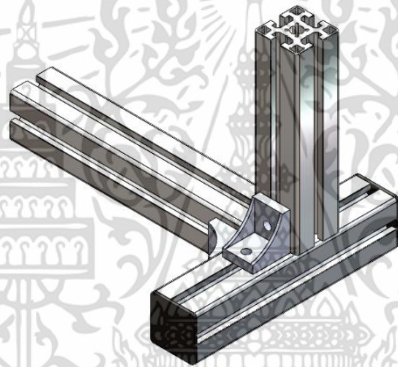
โมดูลที่ 4 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.56 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2

โมดูลที่ 5 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 8 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.57



รูปที่ 4.57 โมดูลที่ 5 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 2

ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลทั้ง 5 โมดูล เห็นได้ว่ามีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันออกโดยมีรายละเอียดสมาชิกของโมดูลดังแสดงในตารางที่ 4.10

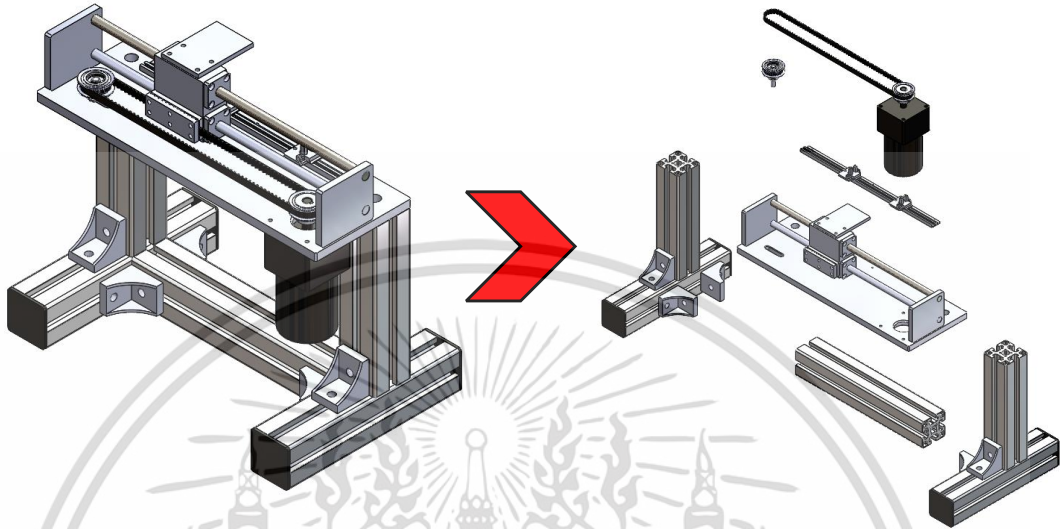
ตารางที่ 4.10 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 2 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Repeating Method

Modules (M)	M01	M02	M03	M04	M05
Sum.	7	11	7	7	8
No.01	10	9	1	6	3
No.02	33	11	2	7	4
No.03	34	13	18	8	5
No.04	35	14	21	12	19
No.05	36	15	22	17	20
No.06	37	16	29	24	23
No.07	38	25	32	40	30
No.08		26			31
No.09		27			
No.10		28			
No.11		39			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ที่ 2 การใช้วิธี SDC เพื่อสร้างลำดับชั้นเชิงตัวเลขที่สามารถระบุถึงตำแหน่งชิ้นส่วนเครื่องจักรและโมดูลที่เกิดขึ้นจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข จากนั้นใช้การพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Method) เพื่อระบุถึงจำนวนโมดูลของเครื่องจักรโดยมีผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.58



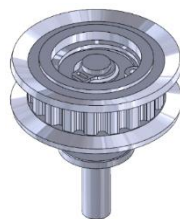
รูปที่ 4.58 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2

จากรูปที่ 4.58 การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลสามารถแบ่งเครื่องจักรออกเป็น 7 โมดูล แต่ละโมดูลมีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้  
โมดูลที่ 1 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 1 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.59



รูปที่ 4.59 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2

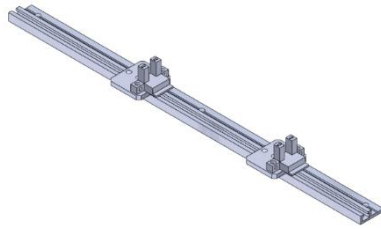
โมดูลที่ 2 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 4 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.60



รูปที่ 4.60 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2

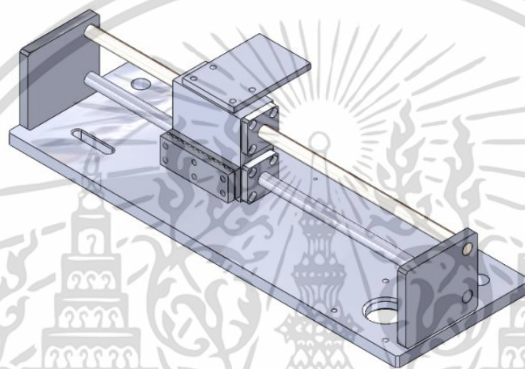
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลที่ 3 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.61



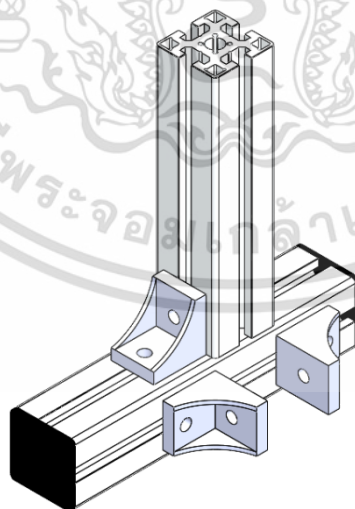
รูปที่ 4.61 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2

โมดูลที่ 4 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 11 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.62



รูปที่ 4.62 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2

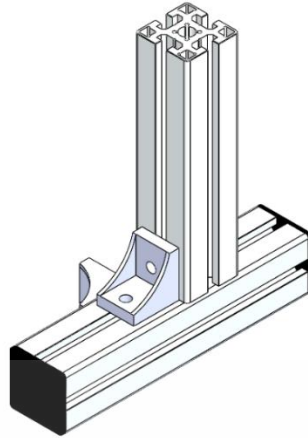
โมดูลที่ 5 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.63



รูปที่ 4.63 โมดูลที่ 5 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2

โมดูลที่ 6 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.64 โมดูลที่ 6 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2

โมดูลที่ 7 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 3 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.65



รูปที่ 4.65 โมดูลที่ 7 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 2

ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลทั้ง 7 โมดูล เห็นได้ว่ามีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันออกโดยมีรายละเอียดสมาชิกของโมดูลดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 2 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Average Silhouette

Modules	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07
Sum.	1	4	7	11	7	7	3
No.01	3	7	10	9	1	4	6
No.02		8	33	11	2	5	24
No.03		12	34	13	18	19	40
No.04		17	35	14	21	20	
No.05			36	15	22	23	
No.06			37	16	29	30	
No.07			38	25	32	31	
No.08				26			
No.09				27			
No.10				28			
No.11				39			

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.12** สรุปรายละเอียดของโมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 2

	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.
	Number of Modules (k)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Repeating Method	1	4	7	11	7	7	3	-	-	-	-	-	40
Silhouette Method	7	11	7	7	8	-	-	-	-	-	-	-	40

### 4.3 ผลการศึกษาจากกรณีศึกษาที่ 3

ในกรณีศึกษานี้จะใช้ระเบียบวิธีการสร้างโมดูลเครื่องจักร เพื่อแสดงผลการวัดค่าความสัมพันธ์จากระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลขและผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักร ซึ่งกรณีศึกษานี้มีจำนวนชั้นส่วนทั้งหมด 105 ชั้น โดยมีผลลัพธ์จากกรณีศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

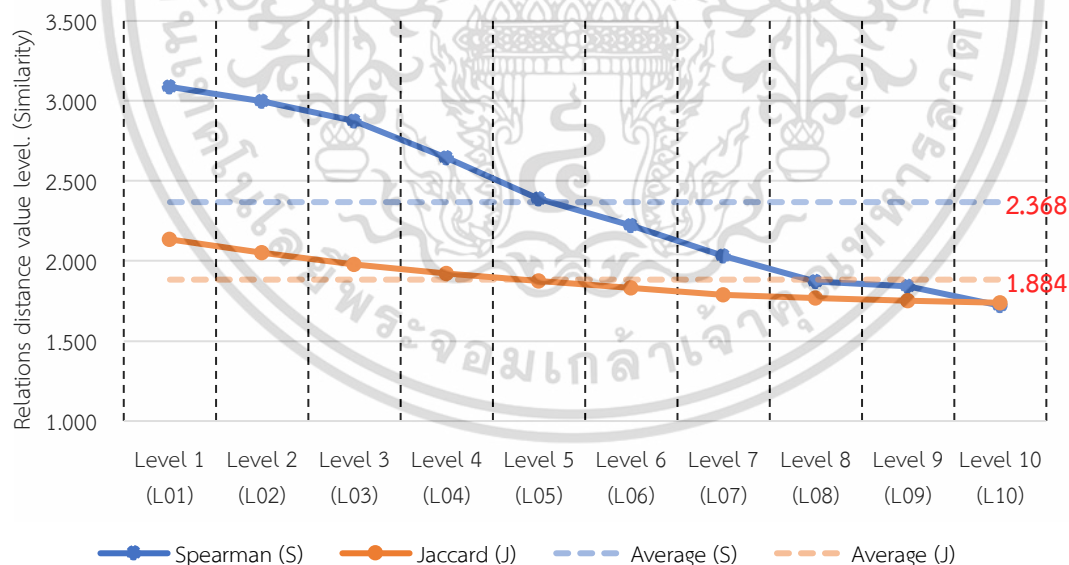
#### 4.3.1 ผลลัพธ์การวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วนจากระดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข

จากระเบียบวิธีการสร้างโมดูลเครื่องจักรจะได้ค่าระดับระยะความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อจำนวนสมาชิกโมดูลและรูปแบบการประกอบ สามารถสรุปผลได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SSC กับ JSC ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.66 จะเห็นได้ว่าวิธี SSC มีค่าเฉลี่ย 2.368 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JSC

SSC = Spearman's rank Coefficient > Similarity Coefficient > Complete Linkage

JSC = Jaccard Coefficient > Similarity Coefficient > Complete Linkage



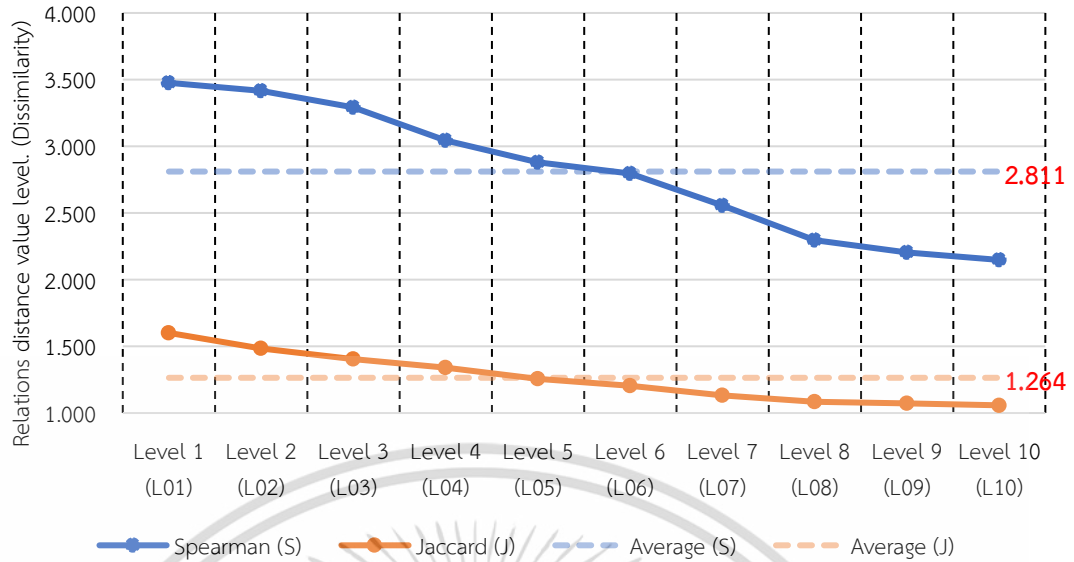
**รูปที่ 4.66** ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSC เปรียบเทียบกับวิธี JSC ในกรณีศึกษาที่ 3

2. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SDC กับ JDC ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.67 จะเห็นได้ว่าวิธี SDC มีค่าเฉลี่ย 2.811 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JDC

SDC = Spearman's rank Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Complete Linkage

JDC = Jaccard Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Complete Linkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

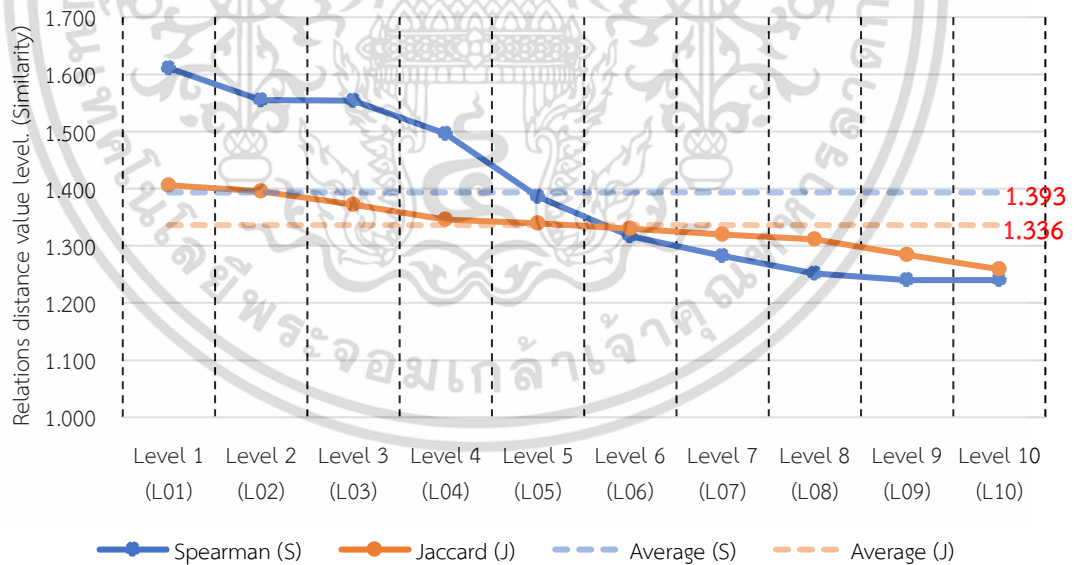


รูปที่ 4.67 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDC เปรียบเทียบกับวิธี JDC ในกรณีศึกษาที่ 3

3. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SSS กับ JSS ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.68 จะเห็นได้ว่าวิธี SSS มีค่าเฉลี่ย 1.393 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JSS

SSS = Spearman's rank Coefficient / Similarity Coefficient / Single Linkage

JSS = Jaccard Coefficient / Similarity Coefficient / Single Linkage



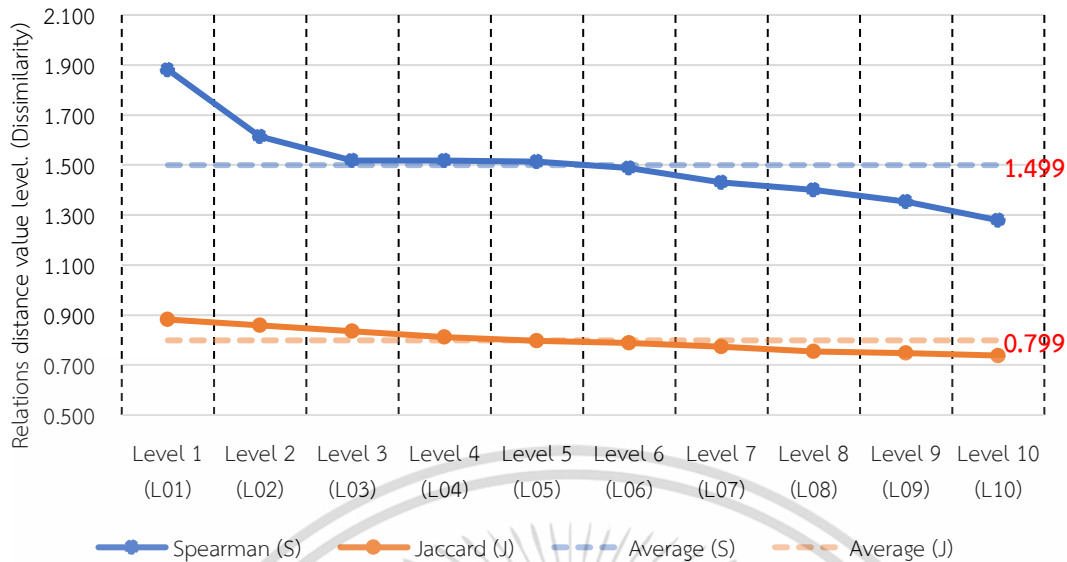
รูปที่ 4.68 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SSS เปรียบเทียบกับวิธี JSS ในกรณีศึกษาที่ 3

4. ผลลัพธ์ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างระเบียบวิธี SDS กับ JDS ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.69 จะเห็นได้ว่าวิธี SDS มีค่าเฉลี่ย 1.499 ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี JDS

SDS = Spearman's rank Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Single Linkage

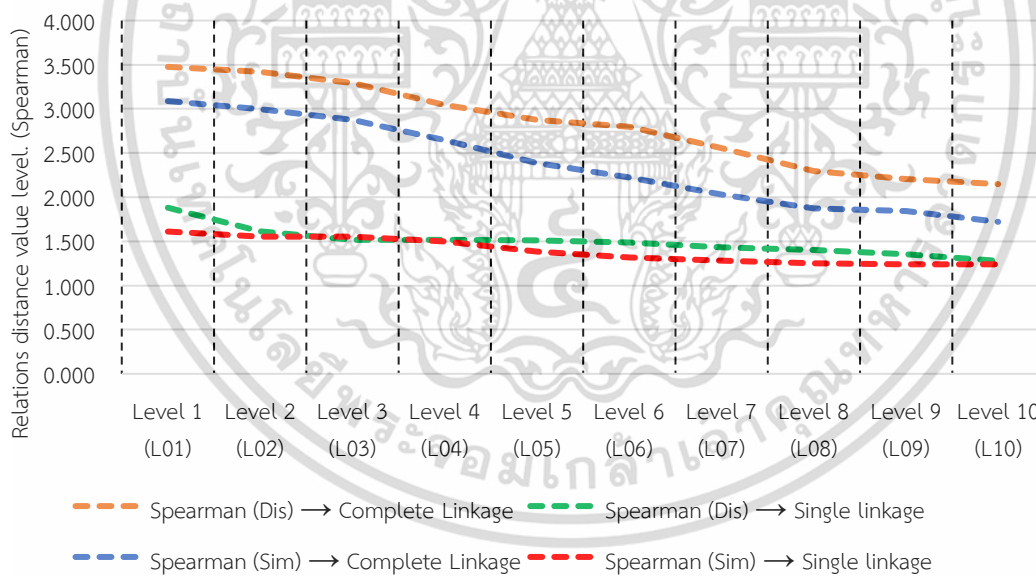
JDS = Jaccard Coefficient / Dissimilarity Coefficient / Single Linkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.69 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นจากวิธี SDS เปรียบเทียบกับวิธี JDS ในกรณีศึกษาที่ 3

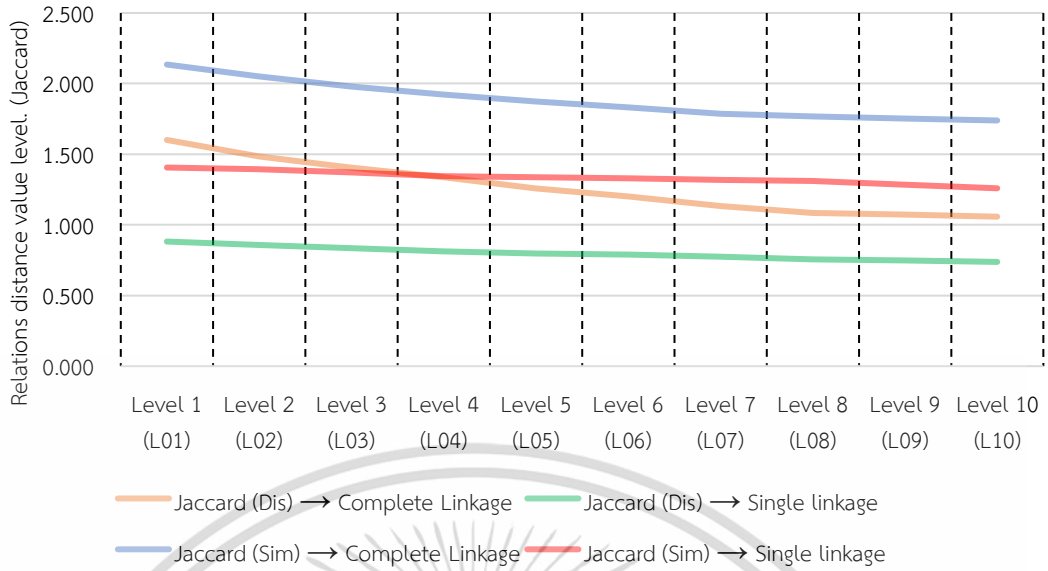
5. ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิค Spearman's rank Coefficient ในการคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วน ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.70 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Spearman's rank Coefficient (S)

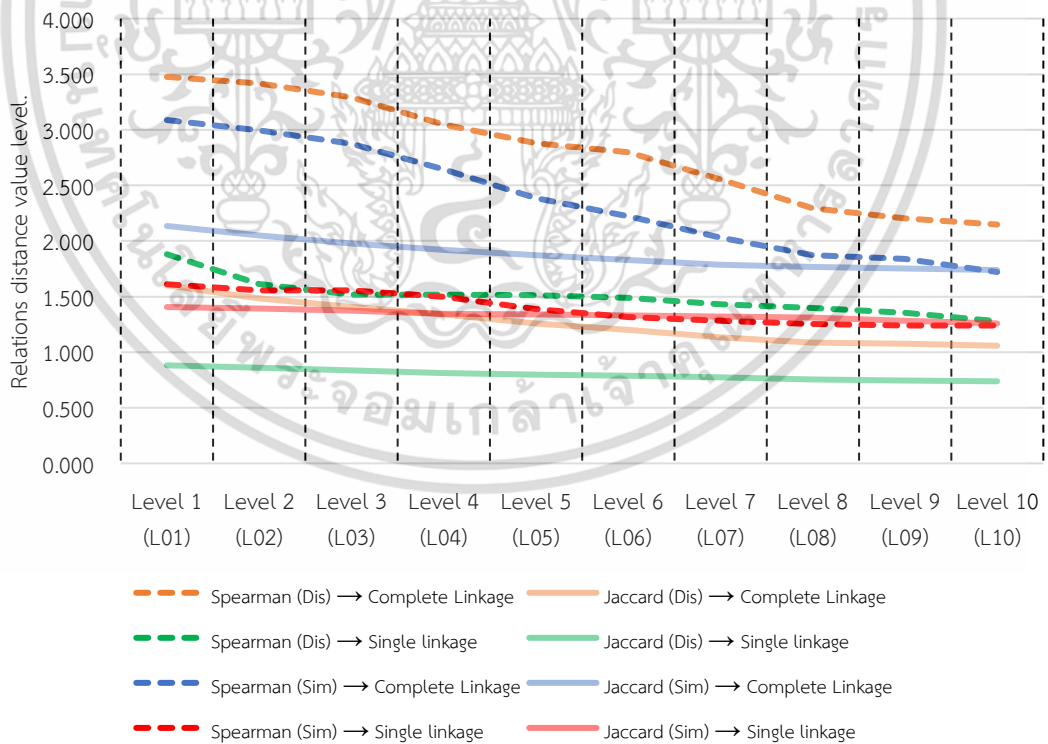
6. ผลลัพธ์ค่าความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิค Jaccard Coefficient ในการคำนวณค่าความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วน ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.71 ผลลัพธ์ค่าลำดับชั้นทั้งหมดจากความสัมพันธ์แบบ Jaccard Coefficient (J)

สรุปผลลัพธ์ระดับค่าระยะความสัมพันธ์จากระเบียบวิธีทั้งหมด 8 วิธีการ โดยค่าระยะความสัมพันธ์ที่มากที่สุดคือค่าที่เหมาะสมต่อการสร้างโมดูล ซึ่งผลลัพธ์ที่มีค่าสูงสุดได้จากวิธี SDC ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.72



รูปที่ 4.72 การเปรียบเทียบค่าลำดับชั้นจากวิธีการทั้งหมดในกรณีศึกษาที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

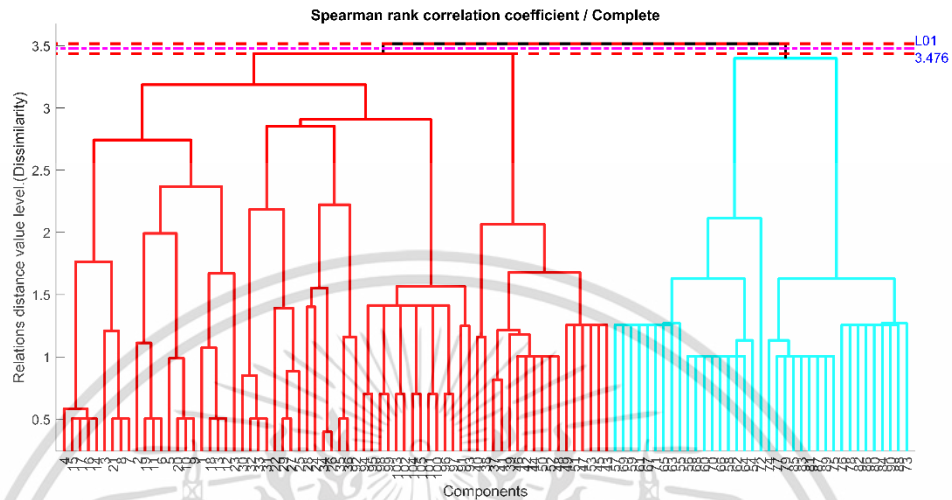
จากรูปที่ 4.72 สามารถแสดงผลพีธข้อค่าที่ได้จากระเบียบวิธีทั้งหมดในรูปแบบของข้อมูลเชิงตัวเลขได้ดังแสดงในตารางที่ 4.13

**ตารางที่ 4.13** สรุประดับเส้นตัดด้วยวิธีการทั้งหมด 8 วิธี ของกรณีศึกษาที่ 3

NO.	Method		Relations distance value level. (L01 to L10)									
			L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10
1	Spearman	SDC	3.476	3.417	3.292	3.046	2.879	2.797	2.555	2.295	2.203	2.148
2		SDS	1.881	1.613	1.518	1.517	1.514	1.487	1.431	1.400	1.354	1.279
3		SSC	3.088	2.997	2.876	2.645	2.388	2.221	2.030	1.872	1.841	1.721
4		SSS	1.611	1.555	1.554	1.496	1.386	1.317	1.282	1.252	1.240	1.240
5	Jaccard	JDC	1.601	1.486	1.406	1.339	1.257	1.203	1.134	1.086	1.074	1.058
6		JDS	0.882	0.858	0.835	0.812	0.796	0.789	0.774	0.755	0.747	0.738
7		JSC	2.135	2.051	1.979	1.922	1.874	1.830	1.787	1.767	1.751	1.739
8		JSS	1.406	1.395	1.372	1.346	1.339	1.330	1.320	1.311	1.284	1.259

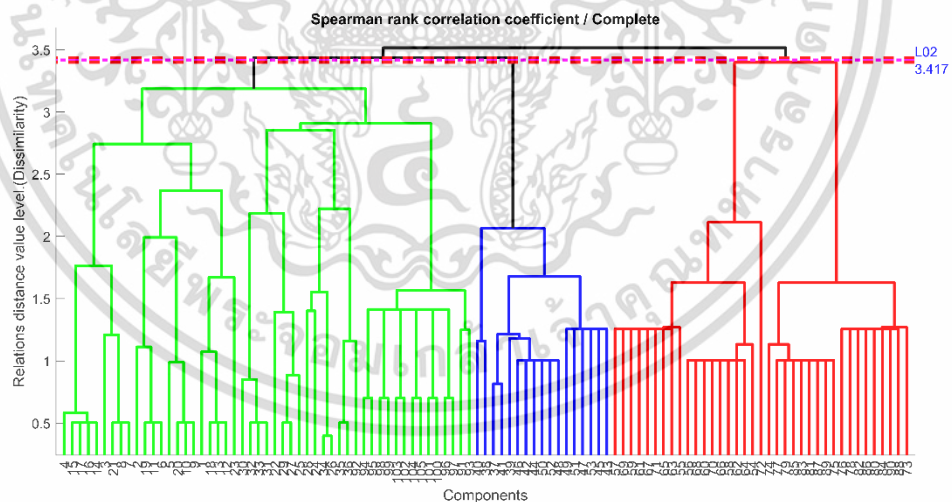
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลลัพธ์ลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ จากระเบียบวิธีที่ได้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด  
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 01 (L01) ระยะ 3.476 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 2 โมดูล ที่เกิดขึ้นจาก  
การตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนโดรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.73



รูปที่ 4.73 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L01 ในกรณีศึกษาที่ 3

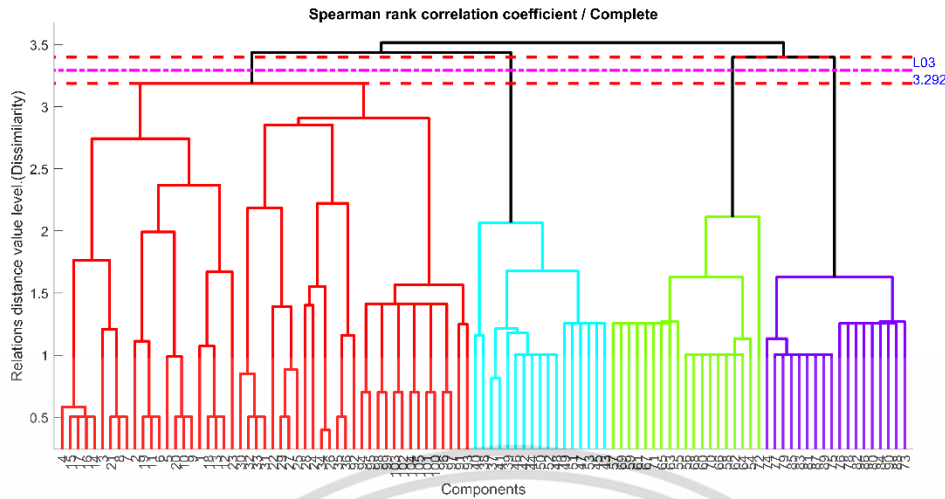
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 02 (L02) ระยะ 3.417 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 3 โมดูล ที่เกิดขึ้นจาก  
การตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนโดรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.74



รูปที่ 4.74 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L02 ในกรณีศึกษาที่ 3

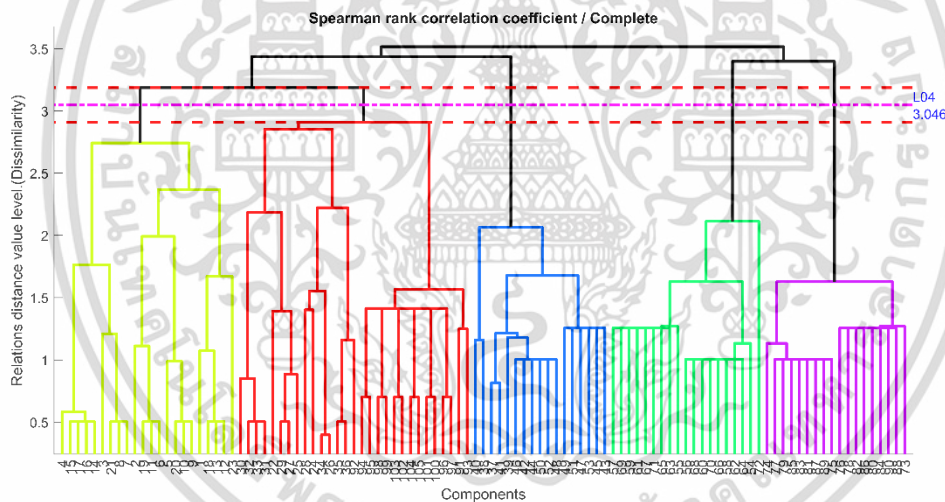
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 03 (L03) ระยะ 3.292 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 4 โมดูล ที่เกิดขึ้นจาก  
การตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนโดรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.75 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L03 ในกรณีศึกษาที่ 3

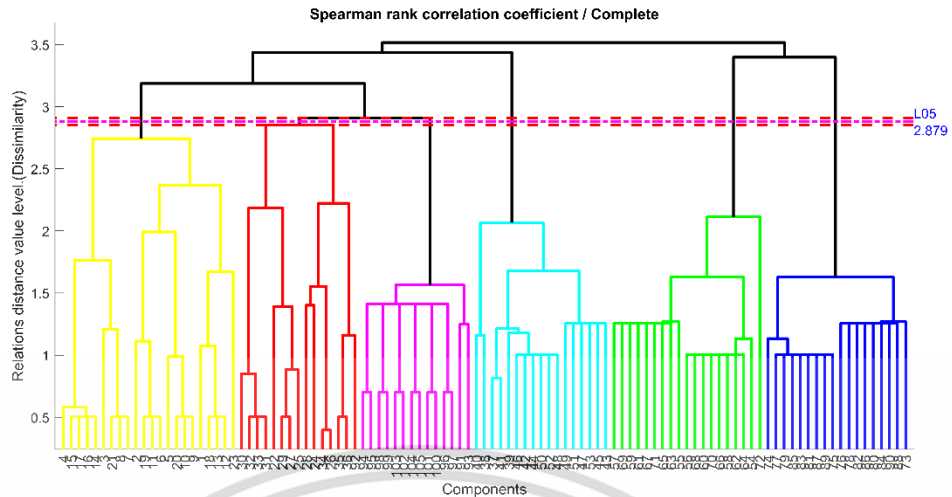
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 04 (L04) ระยะ 3.046 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 5 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.76



รูปที่ 4.76 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L04 ในกรณีศึกษาที่ 3

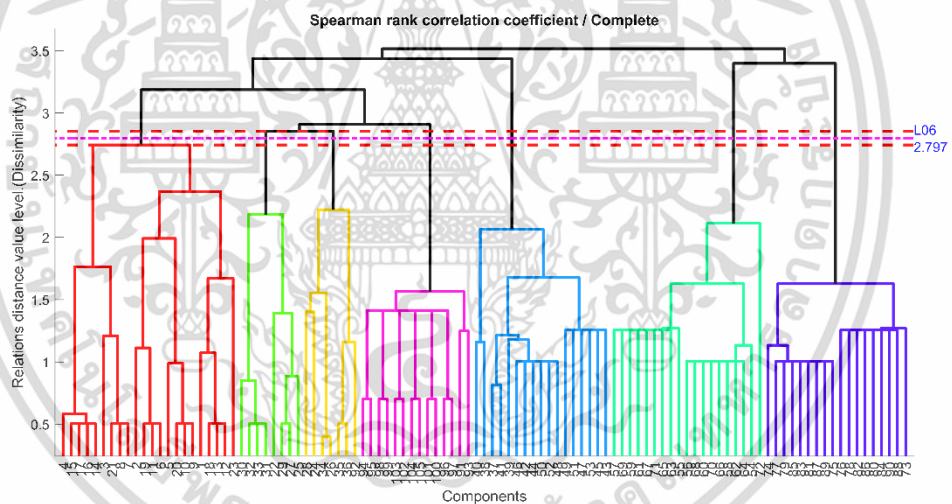
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 05 (L05) ระยะ 2.879 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 6 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.77 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L05 ในกรณีศึกษาที่ 3

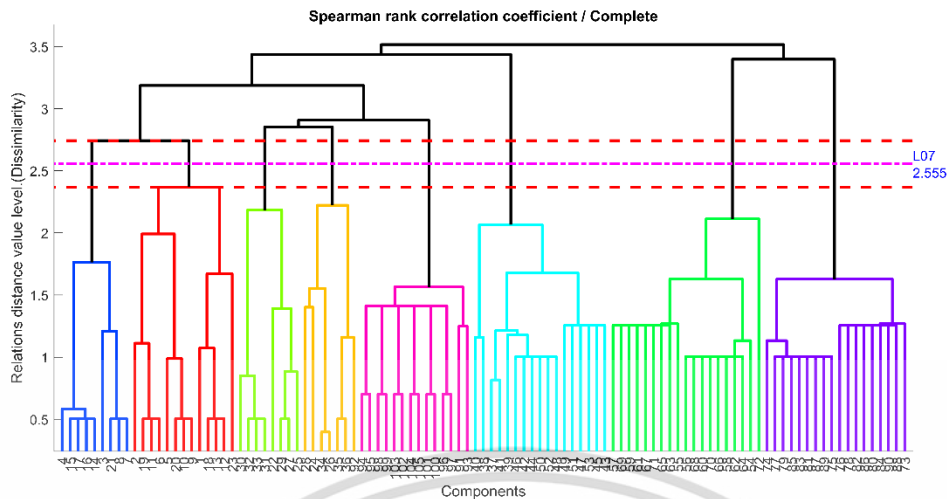
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 06 (L06) ระยะ 2.797 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 7 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.78



รูปที่ 4.78 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L06 ในกรณีศึกษาที่ 3

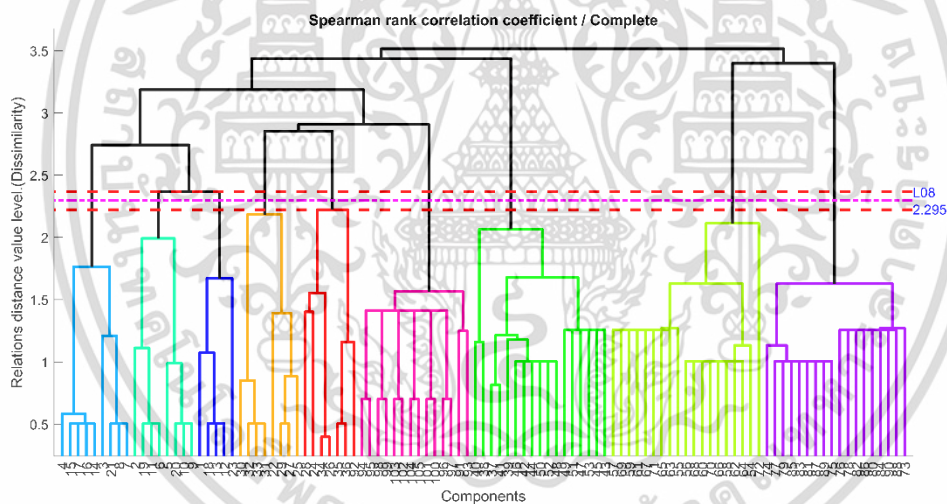
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 07 (L07) ระยะ 2.555 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 8 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.79 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L07 ในกรณีศึกษาที่ 3

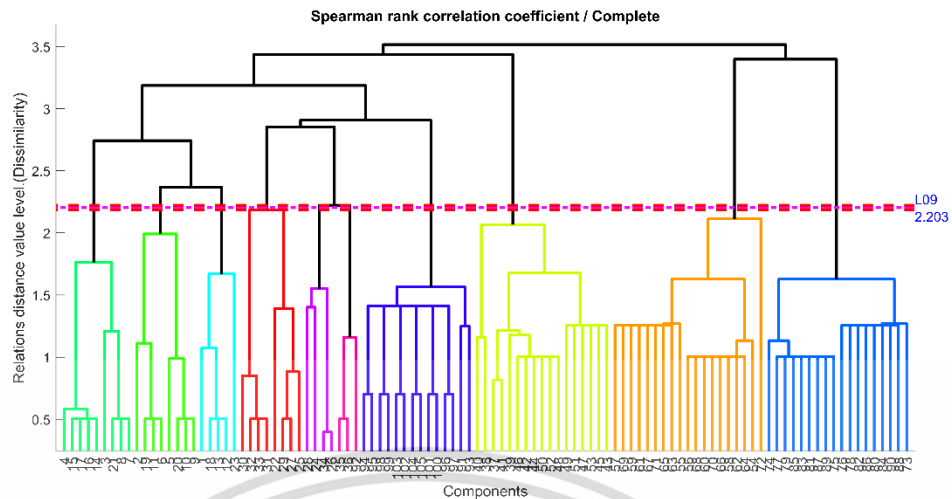
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 08 (L08) ระยะ 2.295 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 9 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.80



รูปที่ 4.80 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L08 ในกรณีศึกษาที่ 3

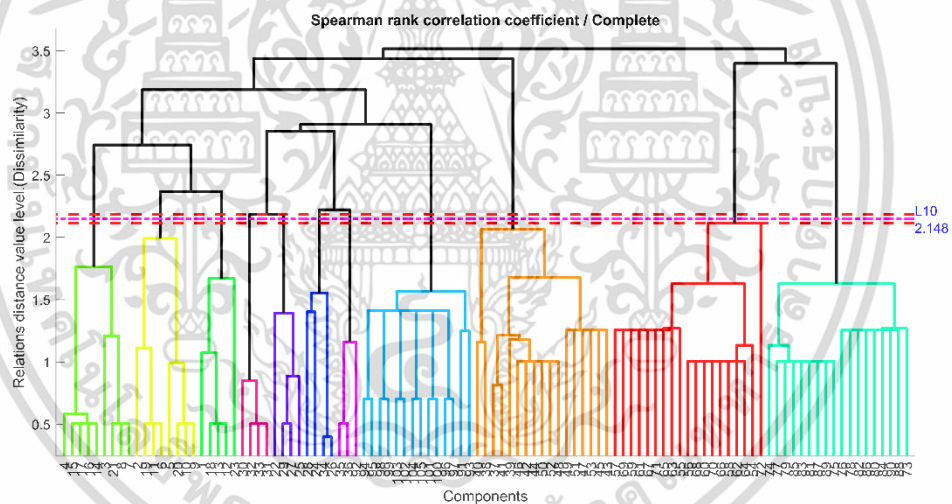
เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 09 (L09) ระยะ 2.203 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 10 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดนมโคแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.81 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L09 ในกรณีศึกษาที่ 3

เส้นตัดลำดับชั้นเส้นที่ 10 (L10) ระยะ 2.148 มีจำนวนโมดูลทั้งหมด 11 โมดูล ที่เกิดขึ้นจากการตัดของเส้นลำดับชั้นบนเดรนโตรแกรมซึ่งถูกสร้างโดยระเบียบวิธี SDC ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.82



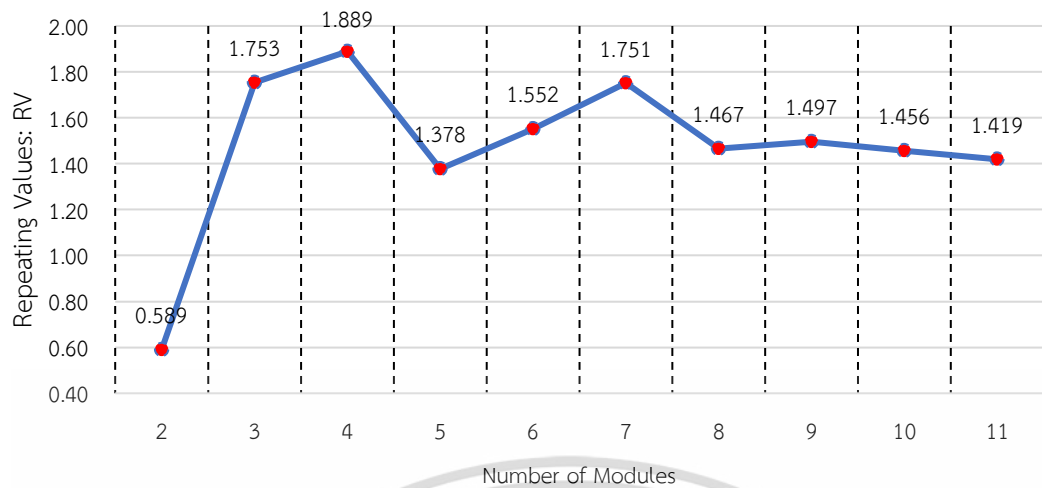
รูปที่ 4.82 แสดงโมดูลจากการตัดลำดับชั้นของเส้น L10 ในกรณีศึกษาที่ 3

#### 4.3.3 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข 10 ระดับ

วิธีการเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรจากเดิมจะเลือกตามความเหมาะสมที่ผู้ออกแบบเห็นสมควร ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสร้างวิธีการเพื่อเลือกจำนวนโมดูลขึ้น 2 วิธี โดยมีผลลัพธ์ดังรายละเอียดต่อไปนี้

วิธีที่ 1 การพิจารณาจากการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) ผลลัพธ์จากวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 4.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



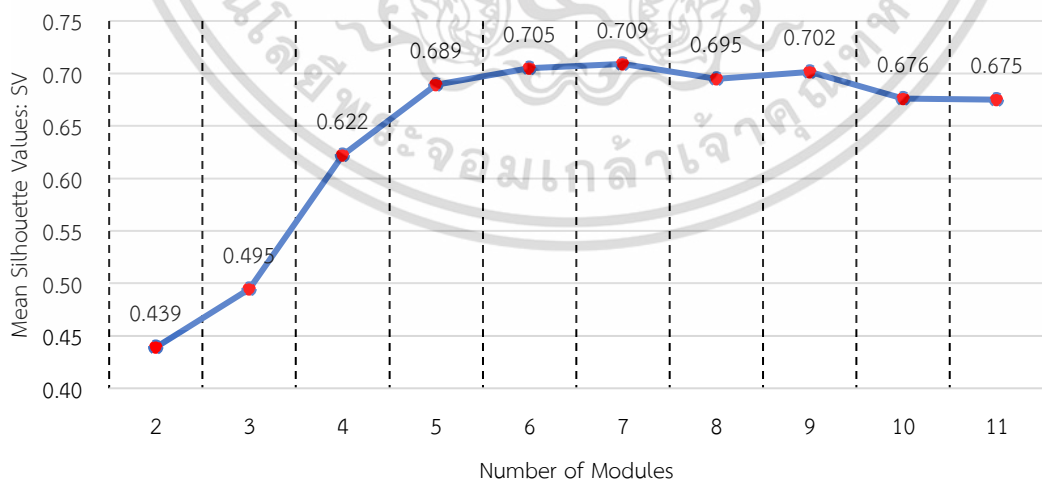
รูปที่ 4.83 ค่าการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) ในกรณีศึกษาที่ 3

จากวิธีการดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามีค่า RV สูงสุดคือ 1.889 ที่จำนวนโมดูล 4 โมดูล โดยมีสมาชิกของโมดูลและระดับชั้นลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 3 ด้วยวิธี Repeating Method

Level	Repeating Values: RV	จำนวนสมาชิกของโมดูล Modules			
		1	2	3	4
L03	1.889	18	17	19	51

วิธีที่ 2 การพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Method) ระหว่างโมดูลและชั้นส่วน โดยผลลัพธ์จากวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 4.84



รูปที่ 4.84 ค่าเฉลี่ยซิลูเอตต์ (Average Silhouette) ในกรณีศึกษาที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวิธีการดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของ SV สูงสุดคือ 0.709 ที่จำนวนโมดูล 7 โมดูล โดยมีสมาชิกของโมดูลและระดับชั้นลำดับตั้งแสดงในตารางที่ 4.15

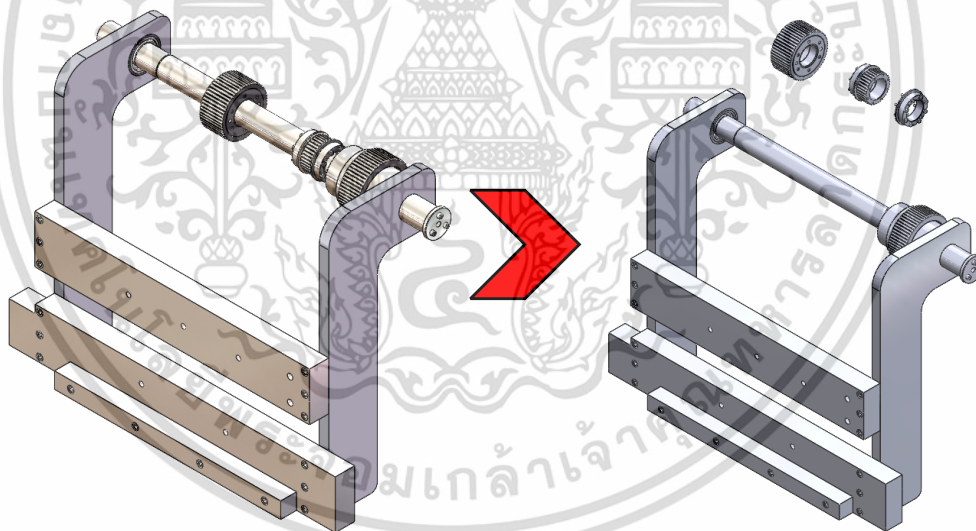
**ตารางที่ 4.15** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูลในกรณีศึกษาที่ 3 ด้วยวิธี Average Silhouette

Level	Average Silhouette Values: SV	จำนวนสมาชิกของโมดูล Modules						
		1	2	3	4	5	6	7
L06	0.709	8	14	22	18	17	7	19

#### 4.3.4 สรุปผลการสร้างโมดูลเครื่องจักร

การสร้างโมดูลเครื่องจักรจากวิธีการวัดค่าความสัมพันธ์และวิธีการเลือกจำนวนโมดูลที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นสามารถสร้างโมดูลเครื่องจักรได้จริงตามวัตถุประสงค์ โดยเครื่องจักรที่ได้จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

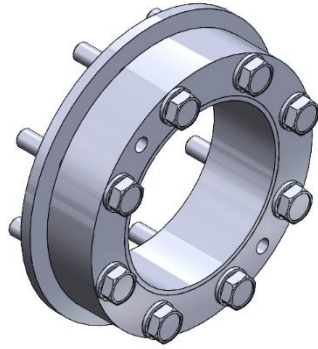
ผลลัพธ์ที่ 1 การใช้วิธี SDC เพื่อสร้างลำดับชั้นเชิงตัวเลขที่สามารถระบุถึงตำแหน่งชิ้นส่วนเครื่องจักรและโมดูลที่เกิดขึ้นจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข จากนั้นใช้วิธีการพิจารณาจากการเกิดซ้ำซ้อนของโมดูล (Repeating Method) เพื่อระบุถึงจำนวนโมดูลของเครื่องจักรโดยมีผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.85



**รูปที่ 4.85** ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3

จากรูปที่ 4.85 การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลสามารถแบ่งเครื่องจักรออกเป็น 4 โมดูล แต่ละโมดูลมีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

โมดูลที่ 1 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 18 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.86



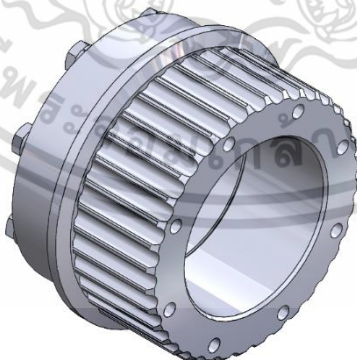
รูปที่ 4.86 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3

โมดูลที่ 2 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 17 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.87



รูปที่ 4.87 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3

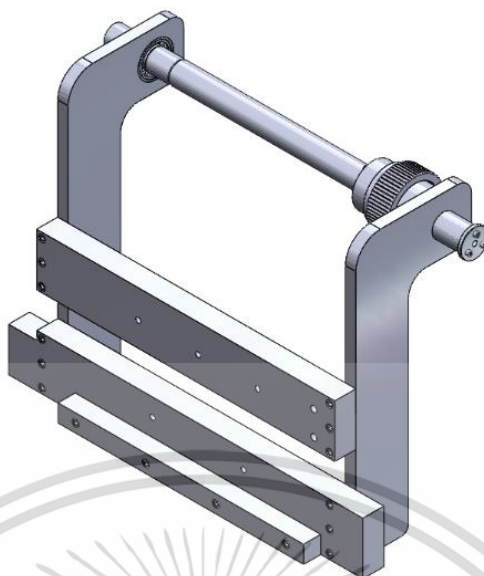
โมดูลที่ 3 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 19 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.88



รูปที่ 4.88 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3

โมดูลที่ 4 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 51 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.89 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Repeating Method ในกรณีศึกษาที่ 3

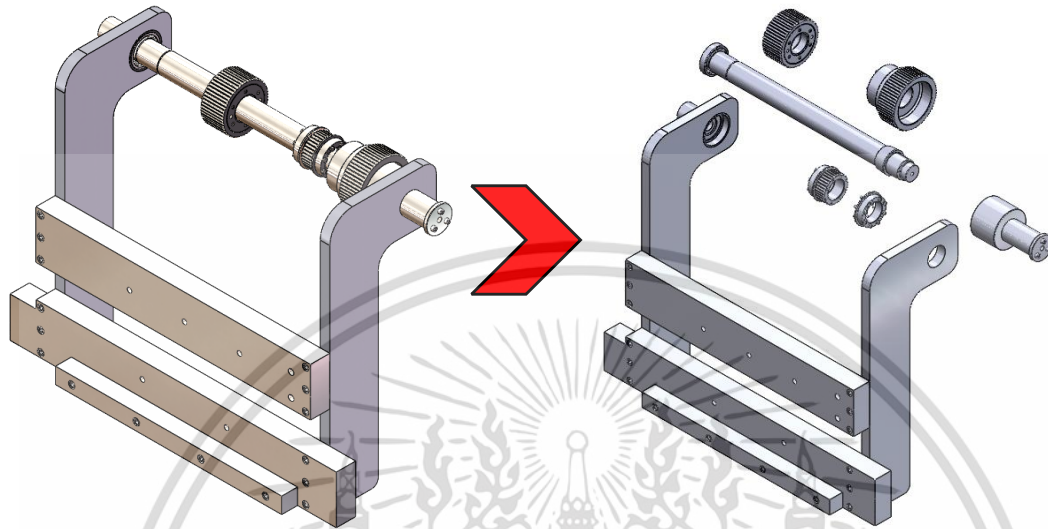
ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลทั้ง 4 โมดูล เห็นได้ว่ามีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันออกโดยมีรายละเอียดสมาชิกของโมดูลดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 3 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Repeating Method

Modules	M01	M02	M03	M04	No.	M01	M02	M03	M04	No.	M01	M02	M03	M04
Sum.	18	17	19	51										
No.01	54	37	72	1	No.21				21	No.41				95
No.02	55	38	73	2	No.22				22	No.42				96
No.03	56	39	74	3	No.23				23	No.43				97
No.04	57	40	75	4	No.24				24	No.44				98
No.05	58	41	76	5	No.25				25	No.45				99
No.06	59	42	77	6	No.26				26	No.46				100
No.07	60	43	78	7	No.27				27	No.47				101
No.08	61	44	79	8	No.28				28	No.48				102
No.09	62	45	80	9	No.29				29	No.49				103
No.10	63	46	81	10	No.30				30	No.50				104
No.11	64	47	82	11	No.31				31	No.51				105
No.12	65	48	83	12	No.32				32	No.52				
No.13	66	49	84	13	No.33				33	No.53				
No.14	67	50	85	14	No.34				34	No.54				
No.15	68	51	86	15	No.35				35	No.55				
No.16	69	52	87	16	No.36				36	No.56				
No.17	70	53	88	17	No.37				91	No.57				
No.18	71		89	18	No.38				92	No.58				
No.19			90	19	No.39				93	No.59				
No.20				20	No.40				94	No.60				

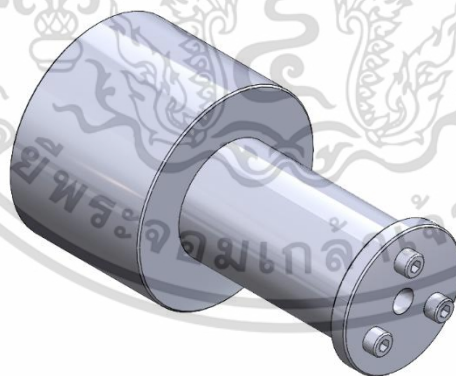
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ที่ 2 การใช้วิธี SDC เพื่อสร้างลำดับชั้นเชิงตัวเลขที่สามารถระบุถึงตำแหน่งชิ้นส่วนเครื่องจักรและโมดูลที่เกิดขึ้นจากลำดับชั้นเชิงตัวเลข จากนั้นใช้การพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Method) เพื่อระบุถึงจำนวนโมดูลของเครื่องจักรโดยมีผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.90



รูปที่ 4.90 ผลลัพธ์โมดูลเครื่องจักรด้วยวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3

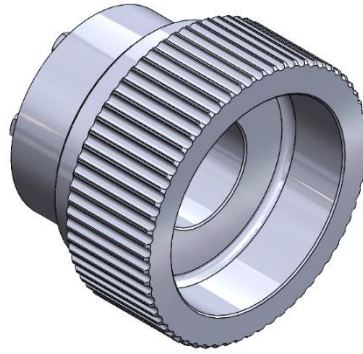
จากรูปที่ 4.58 การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลสามารถแบ่งเครื่องจักรออกเป็น 7 โมดูล แต่ละโมดูลมีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้  
โมดูลที่ 1 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 8 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.91



รูปที่ 4.91 โมดูลที่ 1 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3

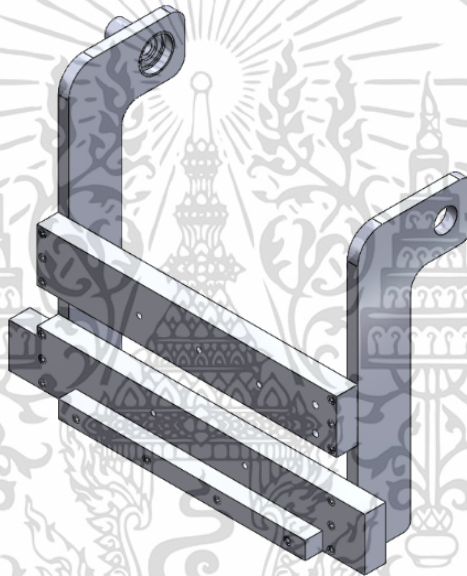
โมดูลที่ 2 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 14 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



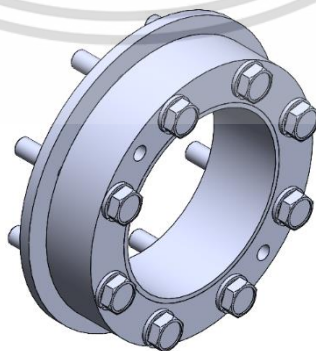
รูปที่ 4.92 โมดูลที่ 2 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3

โมดูลที่ 3 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 22 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.93



รูปที่ 4.93 โมดูลที่ 3 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3

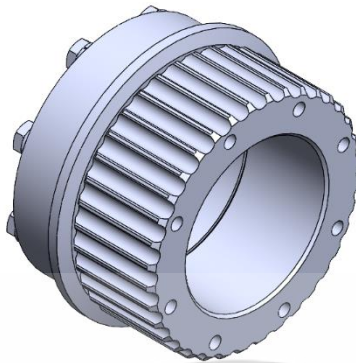
โมดูลที่ 4 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 18 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.94



รูปที่ 4.94 โมดูลที่ 4 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลที่ 5 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 17 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.95



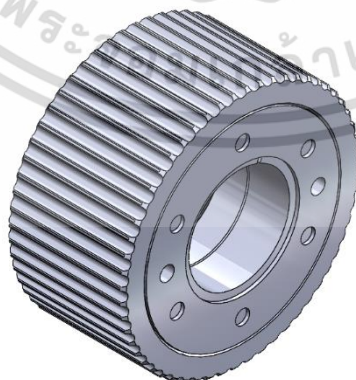
รูปที่ 4.95 โมดูลที่ 5 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3

โมดูลที่ 6 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.96



รูปที่ 4.96 โมดูลที่ 6 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3

โมดูลที่ 7 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 19 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.97



รูปที่ 4.97 โมดูลที่ 7 จากวิธี SDC และวิธี Silhouette Method ในกรณีศึกษาที่ 3

ผลลัพธ์การออกแบบเครื่องจักรให้เป็นโมดูลทั้ง 7 โมดูล เห็นได้ว่ามีจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันออกโดยมีรายละเอียดสมาชิกของโมดูลดังแสดงในตารางที่ 4.17  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 โมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 3 เลือกจำนวนโมดูลด้วยวิธี Average Silhouette

Modules (M)	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07
Sum.	8	14	22	18	17	7	19
No.01	22	91	1	54	37	24	72
No.02	25	93	2	55	38	26	73
No.03	27	94	3	56	39	28	74
No.04	29	95	4	57	40	34	75
No.05	30	96	5	58	41	35	76
No.06	31	97	6	59	42	36	77
No.07	32	98	7	60	43	92	78
No.08	33	99	8	61	44		79
No.09		100	9	62	45		80
No.10		101	10	63	46		81
No.11		102	11	64	47		82
No.12		103	12	65	48		83
No.13		104	13	66	49		84
No.14		105	14	67	50		85
No.15			15	68	51		86
No.16			16	69	52		87
No.17			17	70	53		88
No.18			18	71			89
No.19			19				90
No.20			20				
No.21			21				
No.22			23				
No.23							
No.24							
No.25							

ตารางที่ 4.18 สรุปรายละเอียดของโมดูลเครื่องจักรกรณีศึกษาที่ 3

	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.
	Number of Modules (k)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Repeating Method	18	17	19	51	-	-	-	-	-	-	-	-	105
Silhouette Method	8	14	22	18	17	7	19	-	-	-	-	-	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

#### 5.1.1 ผลของค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนจากวิธีการที่ผลักดันให้เกิดโมดูลเครื่องจักร

จากการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนที่ส่งผลต่อโมดูลเครื่องจักร โดยสมาชิกของโมดูล ถูกกำหนดโดยอาศัยวิธีการผลักดันให้เกิดโมดูล ที่เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วน และรูปลักษณะของโมดูล รวมไปถึงการประกอบระหว่างโมดูลอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดลองออกแบบ วิธีการผลักดันให้เกิดโมดูลเครื่องจักรขึ้นใหม่จากการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ Connection Correlation Method (CCM) พบว่าระดับค่าระยะความสัมพันธ์ (Relations Distance Value) มีค่าที่สูงกว่าวิธีการแบบ (DSM) และสามารถสร้างเงื่อนไขการความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนได้ตรงตามการประกอบทั้ง 4 แบบ โดยที่วิธีการแบบเดิมไม่สามารถกำหนดเงื่อนไขการประกอบเพื่อผลักดันให้เกิดโมดูลได้ ซึ่งวิธีการที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถสร้างโมดูลได้ตรงตามเงื่อนไขการประกอบที่นักออกแบบได้กำหนดขึ้นตั้งแต่ต้น ส่งผลให้โมดูลที่ได้จากวิธีการนี้เกิดการรวมโมดูล และสมาชิกของโมดูล ที่มีความสอดคล้องกับแรงผลักดัน ต้นทุนของความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนที่สมบูรณ์

#### 5.1.2 อิทธิพลของค่าความคล้ายและความแตกต่างที่ส่งผลต่อโมดูลเครื่องจักร

จากการศึกษาเมทริกซ์ความคล้าย (Similarity Matrix) และความแตกต่าง (Dissimilarity Matrix) ของชิ้นส่วน เพื่อวิเคราะห์ค่าระยะความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วน (Relations Distance Value) จากการทดลองพบว่าเมื่อนำค่าความแตกต่างมาวิเคราะห์จะได้ค่าระยะความสัมพันธ์ที่สูงกว่าการใช้ค่าความคล้าย เนื่องจากค่าความแตกต่างจะมีผลของความสัมพันธ์เกิดขึ้นกับทุกชิ้นส่วนซึ่งตรงกันข้ามกับค่าความคล้ายที่ผลของความสัมพันธ์จะเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่มีความสัมพันธ์เพียงเท่านั้นด้วยเหตุนี้ส่งผลให้เมทริกซ์ค่าความแตกต่างจะให้ผลลัพธ์ของค่าระยะความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนที่สูงขึ้น จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าความคล้ายกับค่าความแตกต่างระหว่างชิ้นส่วนจะเห็นได้ว่าทั้งสองค่าจะให้จำนวนโมดูล และรูปแบบสมาชิกโมดูลที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าแรงผลักดันให้เกิดโมดูลที่เป็นปัจจัยโดยตรงต่อค่าความคล้ายและค่าความแตกต่างระหว่างชิ้นส่วนจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าค่าความแตกต่างสามารถให้โมดูลเครื่องจักรที่ต่างตามเงื่อนไขการออกแบบมากกว่าค่าความคล้าย

#### 5.1.3 ผลของการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงตัวเลขแบบเป็นลำดับขั้นที่ส่งผลต่อโมดูลเครื่องจักร

จากการศึกษารูปแบบการเชื่อมโยงที่เป็นที่นิยม 2 วิธี คือ Complete Linkage และ Single Linkage ที่ใช้สำหรับการทดลองครั้งนี้ พบว่าวิธี Complete Linkage จะให้ผลลัพธ์ของ Dendrograms ที่ดีกว่าโดยเส้นลำดับขั้นการเชื่อมโยงเชิงตัวเลขไม่เกิดการทับซ้อนกันและยังมีระยะห่างของลำดับขั้นที่ดีกว่าวิธี Single Linkage ส่งผลให้การสมาชิกของโมดูลมีความแตกต่างกันโดยมีนัยสำคัญต่อเส้นตัดลำดับขั้นที่ทำให้เกิดโมดูล ซึ่งโครงข่ายที่ได้จากวิธีการเหล่านี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจากการออกแบบ

ได้ จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการเชื่อมโยงของชิ้นส่วนมีส่วนส่งเสริมให้เกิดโมดูลและสมาชิกของโมดูลได้ โดยเงื่อนไขการเชื่อมโยงแบบ Complete Linkage จะให้ค่าของโมดูลได้ตรงตามการออกแบบมากกว่าการเชื่อมโยงแบบ Single Linkage ที่มีโครงข่ายของเส้นตัดใกล้เคียงกันมากจนเกินไป

#### 5.1.4 อิทธิพลของเส้นตัดลำดับชั้นที่ส่งผลต่อจำนวนโมดูลเครื่องจักร

จากการศึกษาอิทธิพลของเส้นตัดลำดับชั้นที่ส่งผลโดยตรงต่อจำนวนโมดูลเครื่องจักรและจำนวนสมาชิกของโมดูล จากการทดลองตัดเส้นตัดลำดับชั้น 10 เส้น บน Dendrograms พบว่าการตัดเส้นจะสมบูรณ์ได้จะต้องมีช่องว่างของลำดับชั้นที่ส่วนต่างของพิกัดบนและพิกัดล่างของค่าความสัมพันธ์จะต้องมากกว่า 0.1 จะได้โมดูลที่สอดคล้องกับการออกแบบ โดยการตัดเส้นลำดับชั้นระหว่างค่ามากที่สุดกับน้อยสุดให้ผลลัพธ์ที่ตรงตามเงื่อนไขการออกแบบที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้น

#### 5.1.5 ผลของการเลือกจำนวนโมดูลจากเส้นตัดลำดับชั้น

จากการศึกษาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นจากการตัดเส้นลำดับชั้นบน Dendrograms เมื่อทุกเส้นที่ตัดจะทำให้เกิดจำนวนของโมดูลขึ้น ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีใหม่ที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักร 2 วิธี คือ วิธีการวิเคราะห์การเกิดซ้ำ (Repeating Method) และ สัมประสิทธิ์ซิลลูเอ็ต (Silhouette Coefficients) จากการทดลองทั้งสองวิธีสามารถระบุได้ถึงจำนวนโมดูลเครื่องจักร โดยมีเงื่อนไขการเลือกจำนวนโมดูลที่สามารถอธิบายได้ เพื่อการเลือกนี้จะไม่อาศัยนักออกแบบเป็นผู้เลือกจำนวนโมดูลของเครื่องจักรอีกต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาในอนาคต

ควรมีการศึกษาในเชิงลึกเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสร้างเงื่อนไขการผลักดันให้เกิดโมดูลเพื่อให้โมดูลที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยกำหนดจาก หน้าที่การทำงานของชิ้นส่วน การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเมื่อเครื่องจักรทำงาน รวมไปถึงการกำหนดจากพารามิเตอร์การผลิตชิ้นส่วน เช่น ค่า Fit and Tolerance ค่า Surface Roughness และ ค่า GD&T หรือ GPS ที่เป็นแนวทางการศึกษาแรงผลักดันให้เกิดโมดูลในอนาคตได้

ควรมีการศึกษาในเชิงลึกเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการสำหรับคัดเลือกจำนวนโมดูลเครื่องจักรที่สามารถวัดผลได้ว่าจำนวนโมดูลที่ถูกกำหนดขึ้นมีความเหมาะสมเพียงใดโดยใช้ค่าแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น ต้นทุนในการผลิตของโมดูล ค่าความแม่นยำในการประกอบระหว่างโมดูล รวมไปถึงการส่งถ่ายภาระโหลดที่เกิดขึ้นระหว่างโมดูล ที่เป็นแนวทางในอนาคตถึงการวัดผลว่าจำนวนโมดูลที่ถูกกำหนดขึ้นว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด

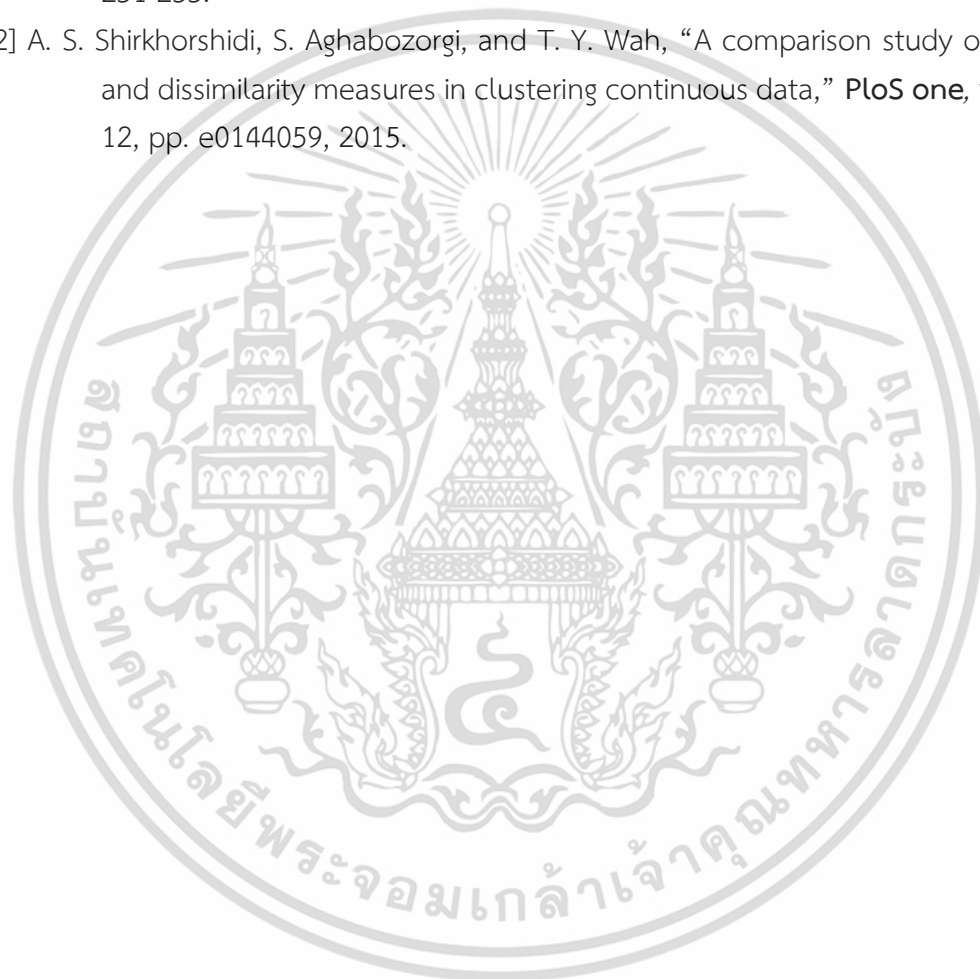
## เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Yu, Q. Yang, J. Tao *et al.*, “Product modular design incorporating life cycle issues- Group Genetic Algorithm (GGA) based method,” **Journal of Cleaner Production**, vol. 19, no. 9-10, pp. 1016-1032, 2011.
- [2] M. R. Niroomand, and M. Arabbeiki, “Implant stability in different implantation stages: Analysis of various interface conditions,” **Informatix in Medicine Unlocked**, vol. 19, pp. 100317, 2020.
- [3] J. R. Barber, **Contact mechanics**: Springer, 2018.
- [4] M. D. Banea, and L. F. da Silva, “Adhesively bonded joints in composite materials: an overview,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, vol. 223, no. 1, pp. 1-18, 2009.
- [5] E. Paroissien, F. Lachaud, and S. Schwartz, “Modelling load transfer in single-lap adhesively bonded and hybrid (bolted/bonded) joints,” **Progress in Aerospace Sciences**, vol. 130, pp. 100811, 2022.
- [6] Y. Liu, Q. An, D. Shang *et al.*, “Research on Normal Contact Stiffness of Rough Joint Surfaces Machined by Turning and Grinding,” **Metals**, vol. 12, no. 4, pp. 669, 2022.
- [7] H. Zhou, X. Long, G. Meng *et al.*, “A stiffness model for bolted joints considering asperity interactions of rough surface contact,” **Journal of Tribology**, vol. 144, no. 1, 2022.
- [8] D. Liang, Y. Fu, and Z. Xu, “Novel AQM analysis approach based on similarity and dissimilarity measures of interval set for multi-expert multi-criterion decision making,” **International Journal of Approximate Reasoning**, vol. 142, pp. 266-289, 2022.
- [9] M. Eminagaoglu, “A new similarity measure for vector space models in text classification and information retrieval,” **Journal of Information Science**, vol. 48, no. 4, pp. 463-476, 2022.
- [10] R. Shivdas, and S. Sapkal, “Proposed composite similarity metric method for part family formation in reconfigurable manufacturing system,” **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, pp. 1-14, 2023.
- [11] L. Kaufman, and P. J. Rousseeuw, **Finding groups in data: an introduction to cluster analysis**: John Wiley & Sons, 2009.

- [12] B. Sadeghi, "Chatterjee Correlation Coefficient: a robust alternative for classic correlation methods in geochemical studies-(including "TripleCpy" Python package)," **Ore Geology Reviews**, pp. 104954, 2022.
- [13] J. Hauke, and T. Kossowski, "Comparison of values of Pearson's and Spearman's correlation coefficients on the same sets of data," **Quaestiones geographicae**, vol. 30, no. 2, pp. 87, 2011.
- [14] C. C. Aggarwal, and C. K. Reddy, "**Data clustering**," *Algorithms and applications. Chapman&Hall/CRC Data mining and Knowledge Discovery series, Londra*, 2014.
- [15] M. Fulekar, "**Bioinformatics: Applications in Life and Environmental Sciences 2009**," Springer.
- [16] M. Hollander, D. A. Wolfe, and E. Chicken, **Nonparametric statistical methods**: John Wiley & Sons, 2013.
- [17] J. D. Gibbons, and S. Chakraborti, **Nonparametric statistical inference**: CRC press, 2014.
- [18] I. Z. Batyrshin, "Data science: Similarity, dissimilarity and correlation functions," **Artificial Intelligence**, pp. 13-28: Springer, 2019.
- [19] G. Gan, C. Ma, and J. Wu, **Data clustering: theory, algorithms, and applications**: SIAM, 2020.
- [20] S. Landau, M. Leese, D. Stahl *et al.*, **Cluster analysis**: John Wiley & Sons, 2011.
- [21] O. Lezhnina, and G. Kismihók, "Latent Class Cluster Analysis: Selecting the number of clusters," **MethodsX**, pp. 101747, 2022.
- [22] J. Cheng, and L. Zhang, "**Jaccard coefficient-based bi-clustering and fusion recommender system for solving data sparsity**." pp. 369-380.
- [23] W. Pedrycz, **Knowledge-based clustering: from data to information granules**: John Wiley & Sons, 2005.
- [24] C. Hennig, and B. Hausdorf, "Design of dissimilarity measures: A new dissimilarity between species distribution areas," **Data science and classification**, pp. 29-37: Springer, 2006.
- [25] A. Margaritis, H. Soenen, E. Fransen *et al.*, "Identification of ageing state clusters of reclaimed asphalt binders using principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) based on chemo-rheological parameters," **Construction and Building Materials**, vol. 244, pp. 118276, 2020.
- [26] A. Saxena, M. Prasad, A. Gupta *et al.*, "A review of clustering techniques and developments," **Neurocomputing**, vol. 267, pp. 664-681, 2017.

- [27] C. Y. Chong, S. P. Lee, and T. C. Ling, "Efficient software clustering technique using an adaptive and preventive dendrogram cutting approach," **Information and Software Technology**, vol. 55, no. 11, pp. 1994-2012, 2013.
- [28] C. A. Charu, and K. R. Chandan, "**Data clustering**: algorithms and applications," Chapman and Hall/CRC Boston, MA, 2013.
- [29] Z.-k. Li, S. Wang, and W.-w. Yin, "Determining optimal granularity level of modular product with hierarchical clustering and modularity assessment," **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, vol. 41, pp. 1-14, 2019.
- [30] N. H. Spencer, **Essentials of multivariate data analysis**: CRC press, 2013.
- [31] A. Kassambara, **Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning**: Sthda, 2017.
- [32] F. Batool, and C. Hennig, "Clustering with the average silhouette width," **Computational Statistics & Data Analysis**, vol. 158, pp. 107190, 2021.
- [33] S. Wang, Z. Li, C. He *et al.*, "An Integrated Method for Modular Design Based on Auto-Generated Multi-Attribute DSM and Improved Genetic Algorithm," **Symmetry**, vol. 14, no. 1, pp. 48, 2021.
- [34] Z. Li, and W. Wei, "Modular design for optimum granularity with auto-generated DSM and improved elbow assessment method," **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, vol. 236, no. 4, pp. 413-426, 2022.
- [35] X. Cheng, Z. Guo, X. Ma *et al.*, "Identification of Influential Modules Considering Design Change Impacts Based on Parallel Breadth-First Search and Bat Algorithm," **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, vol. 9, pp. 791566, 2022.
- [36] Z. Li, J. Wang, M. S. Anwar *et al.*, "An efficient method for generating assembly precedence constraints on 3D models based on a block sequence structure," **Computer-Aided Design**, vol. 118, pp. 102773, 2020.
- [37] Z. Han, R. Mo, and L. Hao, "Clustering and retrieval of mechanical CAD assembly models based on multi-source attributes information," **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, vol. 58, pp. 220-229, 2019.
- [38] L. Ma, Y. Zhang, V. Leiva *et al.*, "A new clustering algorithm based on a radar scanning strategy with applications to machine learning data," **Expert Systems with Applications**, vol. 191, pp. 116143, 2022.

- [39] T. Kongsin, and S. Klongboonjit, "Machine Component Clustering with Connection Correlation Method," **International Journal of Intelligent Engineering and Systems**, vol. 14, no. 3, pp. 537-544, 2021.
- [40] T. Kongsin, and S. Klongboonjit, "Machine components clustering with DSM and repeating method: case study of a soil mixing machine." p. 01037.
- [41] T. Kongsin, and S. Klongboonjit, "Machine component clustering with mixing technique of DSM, jaccard distance coefficient and k-means algorithm." pp. 251-255.
- [42] A. S. Shirkorshidi, S. Aghabozorgi, and T. Y. Wah, "A comparison study on similarity and dissimilarity measures in clustering continuous data," **PLoS one**, vol. 10, no. 12, pp. e0144059, 2015.





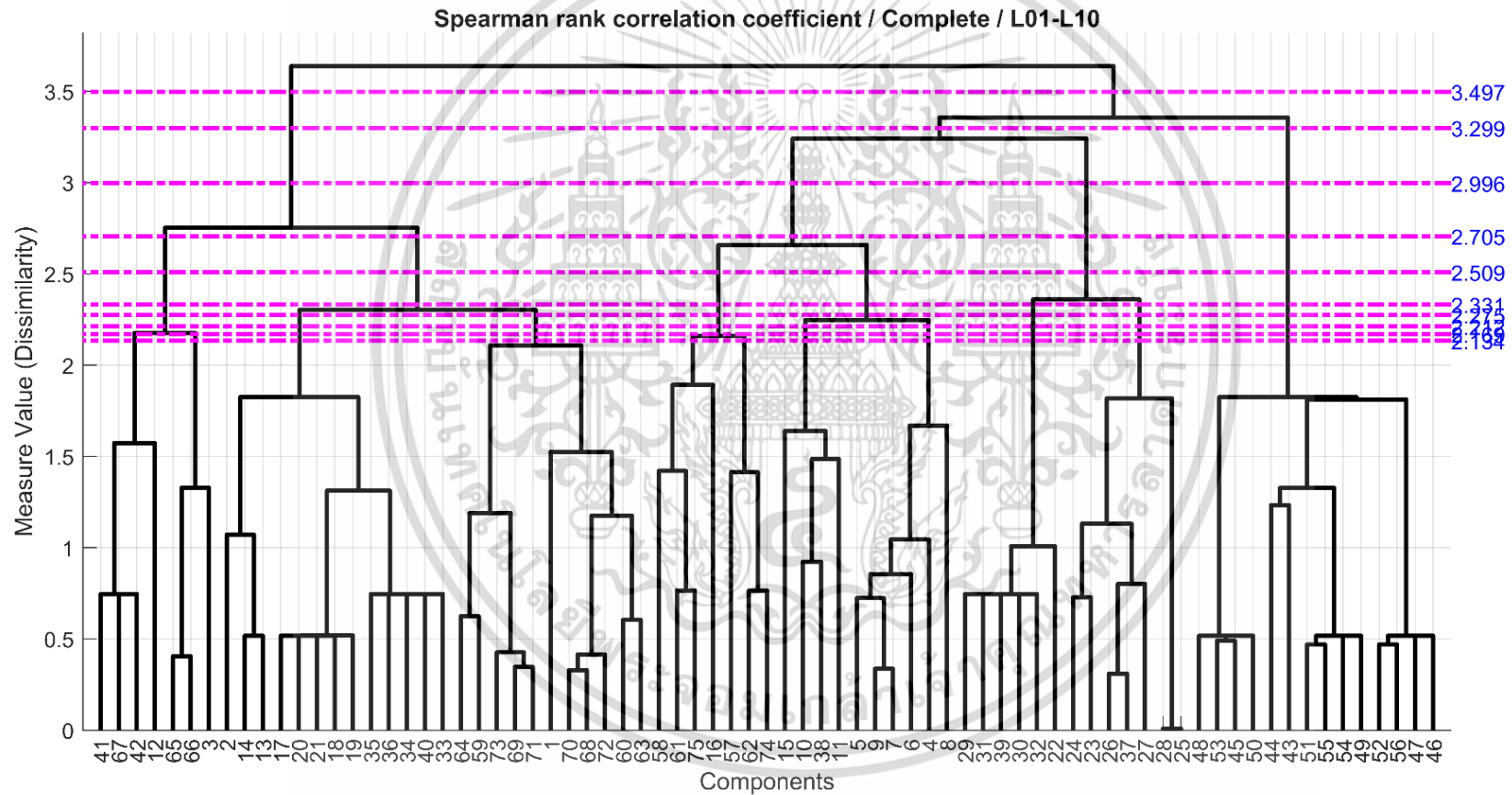
ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

1. การศึกษาวิธีการสร้างโมดูลเครื่องจักร: กรณีศึกษาที่ 1 เครื่องผสมดิน (Soil Mixing Machine)

1.1 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SDC

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Dissimilarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.1 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดบนลำดับชั้นข้อมูลเชิงตัวเลข (Dendrogram)

ตารางที่ ก.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล															
		Modules Size												SUM.	Avg.	S.D.	
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12				
Level 1 (L01)	3.497	31	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	6.500
Level 2 (L02)	3.299	14	31	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	7.789
Level 3 (L03)	2.996	13	14	31	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	7.224
Level 4 (L04)	2.705	7	13	14	24	17	-	-	-	-	-	-	-	-	75	15.000	5.550
Level 5 (L05)	2.509	7	7	13	14	10	24	-	-	-	-	-	-	-	75	12.500	5.795
Level 6 (L06)	2.331	6	7	7	14	7	10	24	-	-	-	-	-	-	75	10.714	5.993
Level 7 (L07)	2.275	13	6	7	7	14	11	7	10	-	-	-	-	-	75	9.375	2.870
Level 8 (L08)	2.212	4	13	6	7	7	14	6	11	7	-	-	-	-	75	8.333	3.266
Level 9 (L09)	2.169	3	4	13	6	7	14	4	6	11	7	-	-	-	75	7.500	3.667
Level 10 (L10)	2.134	3	3	4	13	6	14	4	4	6	11	7	-	-	75	6.818	3.833

**ตารางที่ ก.2** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยใช้วิธีพิจารณาการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)

การพิจารณาการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																							
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_l$	RV	RV (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
Level 1 (L01)	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	-	-	-	-	-	-	-	31	3	0.646	4.957%
Level 2 (L02)	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	14	-	-	-	-	-	-	45	12	1.022	7.839%
Level 3 (L03)	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	14	17	-	-	-	-	13	75	17	1.498	11.494%
Level 4 (L04)	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	17	24	-	-	-	13	75	24	1.455	11.165%
Level 5 (L05)	6	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	24	-	10	-	13	75	30	1.432	10.985%
Level 6 (L06)	7	7	7	7	6	-	-	-	-	-	-	-	14	-	24	-	10	-	-	75	35	1.394	10.691%
Level 7 (L07)	8	7	7	7	6	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	11	10	13	-	75	40	1.422	10.906%
Level 8 (L08)	9	7	7	7	6	6	4	-	-	-	-	-	14	-	-	11	-	13	-	75	43	1.418	10.882%
Level 9 (L09)	10	7	7	-	6	6	4	4	-	3	-	-	14	-	-	11	-	13	-	75	44	1.403	10.760%
Level 10 (L10)	11	7	-	-	6	6	4	4	4	3	3	-	14	-	-	11	-	13	-	75	41	1.345	10.320%
Number of Repeating (l)	7	5	3	5	3	3	2	1	2	1	3	9	2	3	4	3	4	3					

**ตารางที่ ก.3** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)

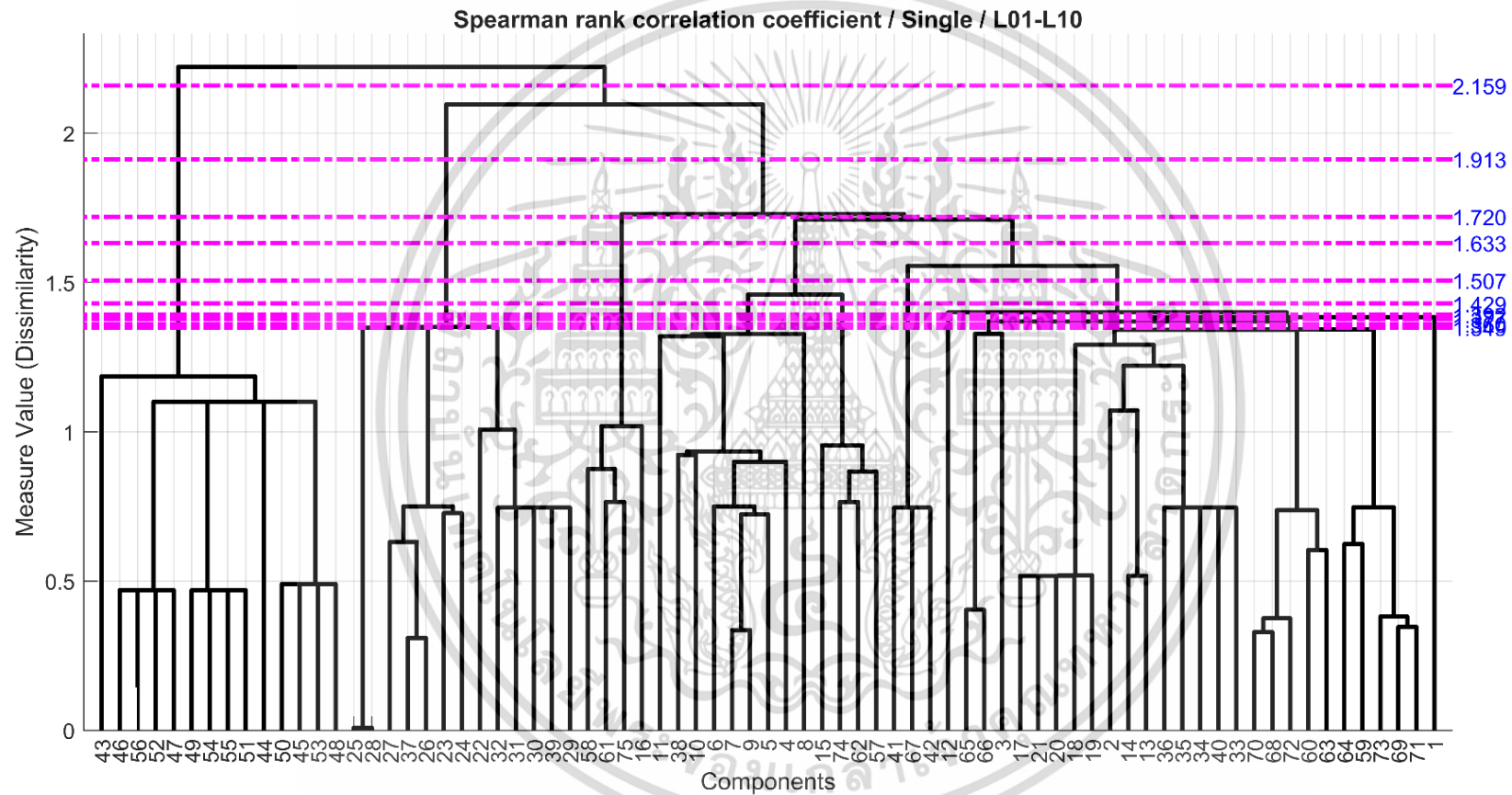
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.518	9.110%
Level 2 (L02)	3	0.584	10.258%
Level 3 (L03)	4	0.576	10.125%
Level 4 (L04)	5	0.592	10.404%
Level 5 (L05)	6	0.593	10.429%
Level 6 (L06)	7	0.648	11.383%
Level 7 (L07)	8	0.563	9.888%
Level 8 (L08)	9	0.532	9.346%
Level 9 (L09)	10	0.535	9.401%
Level 10 (L10)	11	0.549	9.656%

**ตารางที่ ก.4** ผลสรุปการเลือกจำนวนโมดูล (k) จากวิธีการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไป

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	4	L03	1.498	11.494%
New-B	2	Silhouette Method	7	L06	0.648	11.383%

## 1.2 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SDS

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Dissimilarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.2 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล															
		Modules Size												SUM.	Avg.	S.D.	
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12				
Level 1 (L01)	2.159	14	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	23.500
Level 2 (L02)	1.913	13	14	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	16.269
Level 3 (L03)	1.720	4	13	14	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	15.089
Level 4 (L04)	1.633	13	4	13	14	31	-	-	-	-	-	-	-	-	75	15.000	8.786
Level 5 (L05)	1.507	3	13	4	13	14	28	-	-	-	-	-	-	-	75	12.500	8.221
Level 6 (L06)	1.429	4	3	4	13	14	9	28	-	-	-	-	-	-	75	10.714	8.172
Level 7 (L07)	1.392	1	4	3	4	13	14	27	9	-	-	-	-	-	75	9.375	8.015
Level 8 (L08)	1.377	1	1	4	3	4	13	14	26	9	-	-	-	-	75	8.333	7.746
Level 9 (L09)	1.360	3	1	1	4	3	4	13	14	23	9	-	-	-	75	7.500	6.815
Level 10 (L10)	1.349	6	3	1	1	4	3	4	14	7	23	9	-	-	75	6.818	6.264



**ตารางที่ ก.7** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)

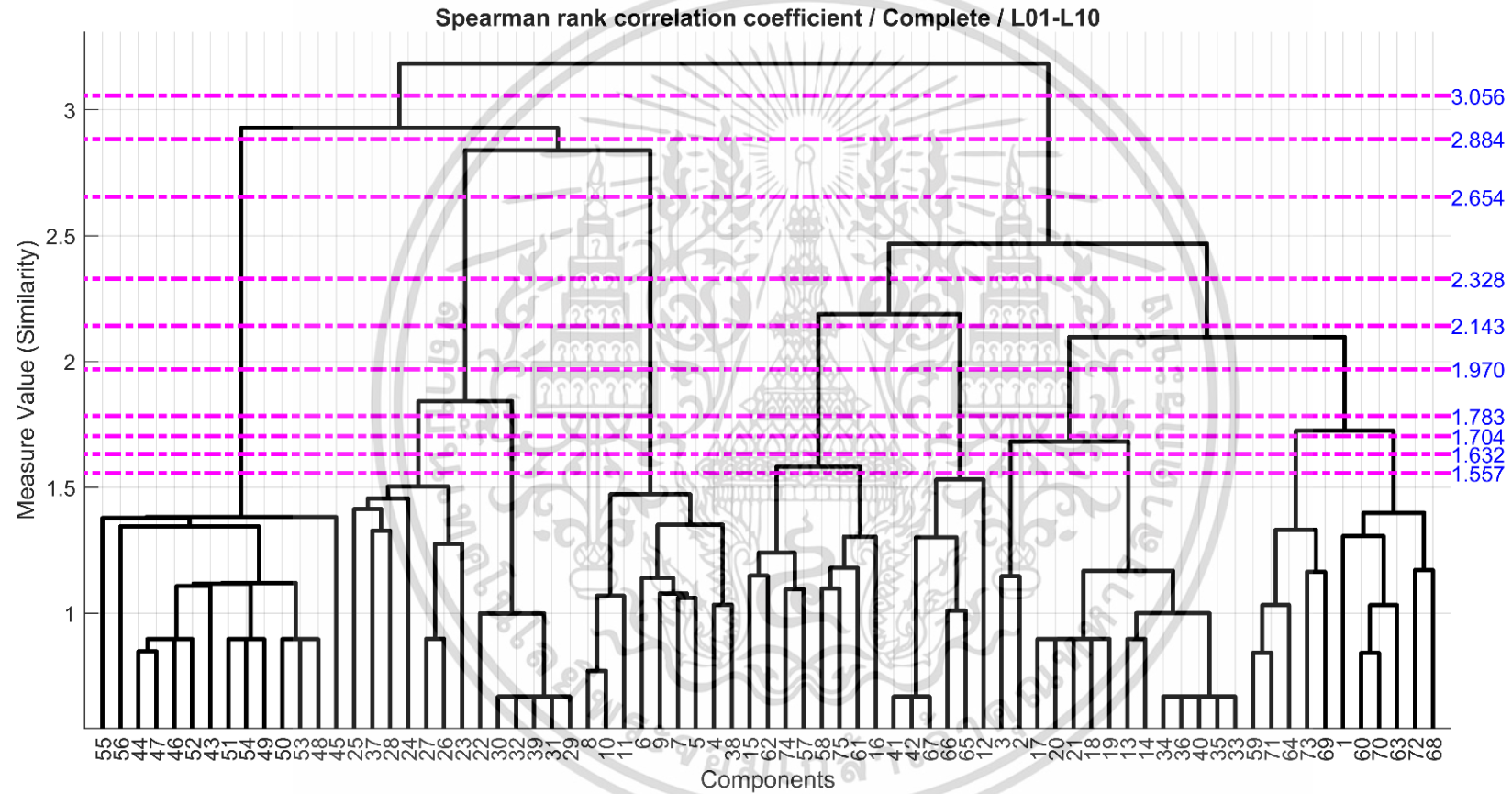
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.439	9.908%
Level 2 (L02)	3	0.468	10.562%
Level 3 (L03)	4	0.272	6.129%
Level 4 (L04)	5	0.478	10.793%
Level 5 (L05)	6	0.537	12.125%
Level 6 (L06)	7	0.600	13.531%
Level 7 (L07)	8	0.506	11.420%
Level 8 (L08)	9	0.301	6.793%
Level 9 (L09)	10	0.386	8.706%
Level 10 (L10)	11	0.445	10.034%

**ตารางที่ ก.8** ผลสรุปการเลือกจำนวนโมดูล (k) จากวิธีการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไป

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	10	L09	1.501	13.654%
New-B	2	Silhouette Method	7	L06	0.600	13.531%

### 1.3 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SSC

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Similarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.3 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.9 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล															
		Modules Size												SUM.	Avg.	S.D.	
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12				
Level 1 (L01)	3.056	39	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	1.500
Level 2 (L02)	2.884	14	39	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	10.424
Level 3 (L03)	2.654	9	14	39	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	11.840
Level 4 (L04)	2.328	25	9	14	14	13	-	-	-	-	-	-	-	-	75	15.000	5.329
Level 5 (L05)	2.143	6	25	9	14	8	13	-	-	-	-	-	-	-	75	12.500	6.238
Level 6 (L06)	1.970	14	6	9	14	11	8	13	-	-	-	-	-	-	75	10.714	2.914
Level 7 (L07)	1.783	6	14	6	9	14	7	11	8	-	-	-	-	-	75	9.375	3.080
Level 8 (L08)	1.704	5	6	14	6	9	14	6	7	8	-	-	-	-	75	8.333	3.232
Level 9 (L09)	1.632	2	5	6	6	9	14	12	6	7	8	-	-	-	75	7.500	3.294
Level 10 (L10)	1.557	4	2	5	6	6	9	14	4	12	6	7	-	-	75	6.818	3.406

**ตารางที่ ก.10** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยใช้วิธีพิจารณาการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																							
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
Level 1 (L01)	2	-	-	-	-	-	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	3	0.694	6.431%
Level 2 (L02)	3	-	-	-	-	-	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	53	11	0.998	9.249%
Level 3 (L03)	4	-	-	-	-	-	39	9	-	13	-	-	-	-	-	14	-	-	-	75	23	1.406	13.032%
Level 4 (L04)	5	-	-	-	-	-	-	9	25	13	-	-	-	-	-	-	-	28	-	75	15	1.133	10.500%
Level 5 (L05)	6	6	-	-	-	-	-	9	25	13	8	-	-	-	-	14	-	-	-	75	33	1.251	11.596%
Level 6 (L06)	7	6	-	-	-	-	-	9	-	13	8	11	-	-	-	28	-	-	-	75	33	1.150	10.659%
Level 7 (L07)	8	6	6	-	-	-	-	9	-	-	8	11	7	-	-	-	28	-	-	75	37	1.080	10.009%
Level 8 (L08)	9	6	6	6	-	-	-	9	-	-	8	-	7	-	5	-	28	-	-	75	41	1.068	9.902%
Level 9 (L09)	10	6	6	6	-	-	-	9	-	-	8	-	7	12	5	2	14	-	-	75	43	1.041	9.652%
Level 10 (L10)	11	6	6	6	4	4	-	9	-	-	-	-	7	12	5	2	14	-	-	75	40	0.968	8.970%
Number of Repeating (l)	6	4	3	1	1	3	8	2	4	5	2	4	2	3	2	8	1	-	-				

**ตารางที่ ก.11** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)

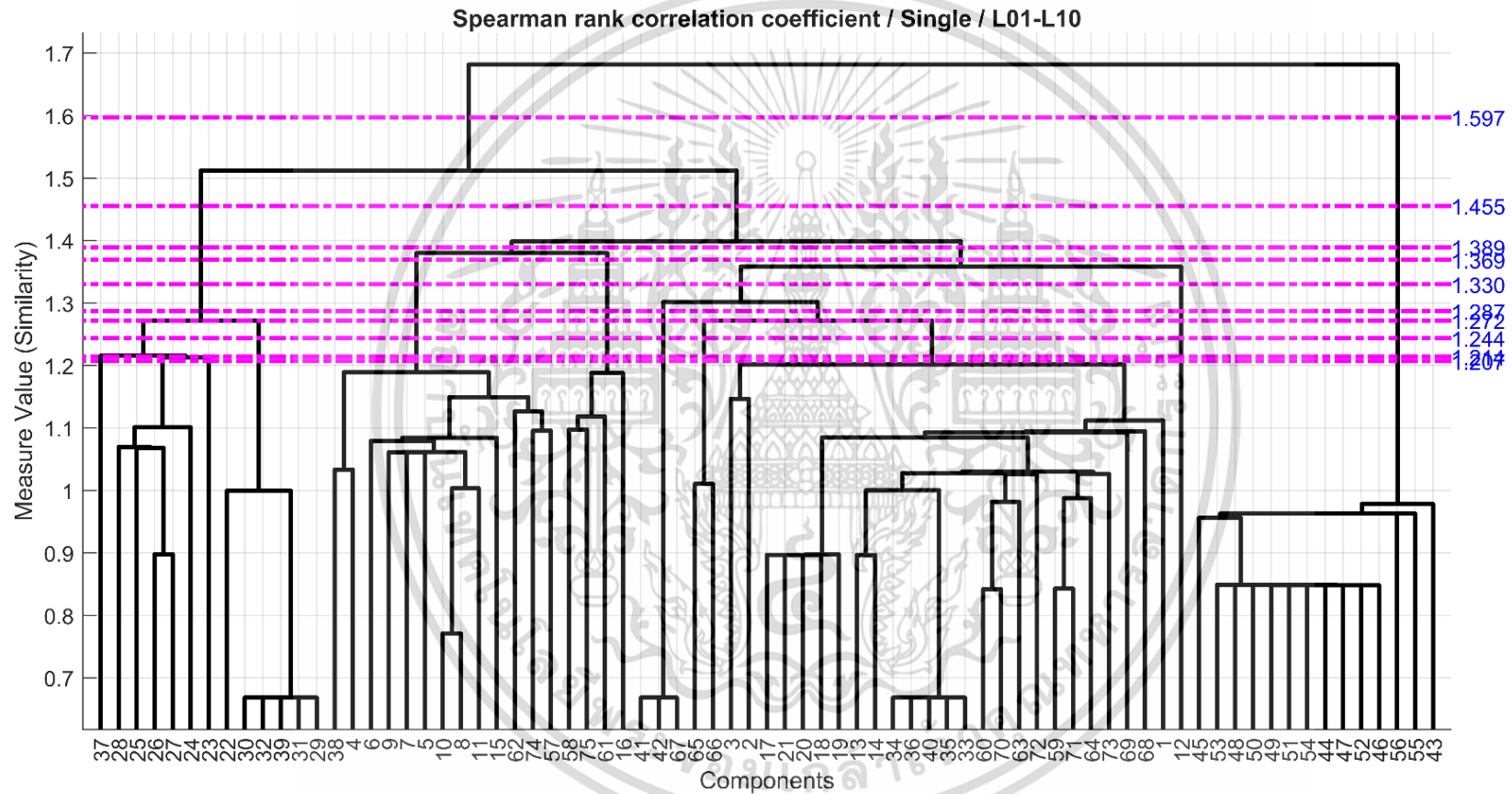
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.439	8.407%
Level 2 (L02)	3	0.499	9.542%
Level 3 (L03)	4	0.530	10.147%
Level 4 (L04)	5	0.663	12.687%
Level 5 (L05)	6	0.599	11.459%
Level 6 (L06)	7	0.464	8.882%
Level 7 (L07)	8	0.503	9.630%
Level 8 (L08)	9	0.508	9.725%
Level 9 (L09)	10	0.524	10.020%
Level 10 (L10)	11	0.497	9.502%

**ตารางที่ ก.12** ผลสรุปการเลือกจำนวนโมดูล (k) จากวิธีการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไป

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	4	L03	1.406	13.032%
New-B	2	Silhouette Method	5	L04	0.663	12.687%

1.4 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SSS

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Similarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.4 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.13 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล															
		Modules Size												SUM.	Avg.	S.D.	
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12				
Level 1 (L01)	1.597	14	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	23.500
Level 2 (L02)	1.455	13	14	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	16.269
Level 3 (L03)	1.389	31	13	14	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	7.224
Level 4 (L04)	1.369	4	31	13	14	13	-	-	-	-	-	-	-	-	75	15.000	8.786
Level 5 (L05)	1.330	1	4	13	14	30	13	-	-	-	-	-	-	-	75	12.500	9.251
Level 6 (L06)	1.287	3	1	4	13	14	27	13	-	-	-	-	-	-	75	10.714	8.327
Level 7 (L07)	1.272	2	3	1	4	13	14	25	13	-	-	-	-	-	75	9.375	7.793
Level 8 (L08)	1.244	6	2	3	1	4	14	7	25	13	-	-	-	-	75	8.333	7.303
Level 9 (L09)	1.214	1	6	2	3	1	4	14	6	25	13	-	-	-	75	7.500	7.284
Level 10 (L10)	1.207	1	1	6	2	3	1	4	14	5	25	13	-	-	75	6.818	7.209



**ตารางที่ ก.15** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)

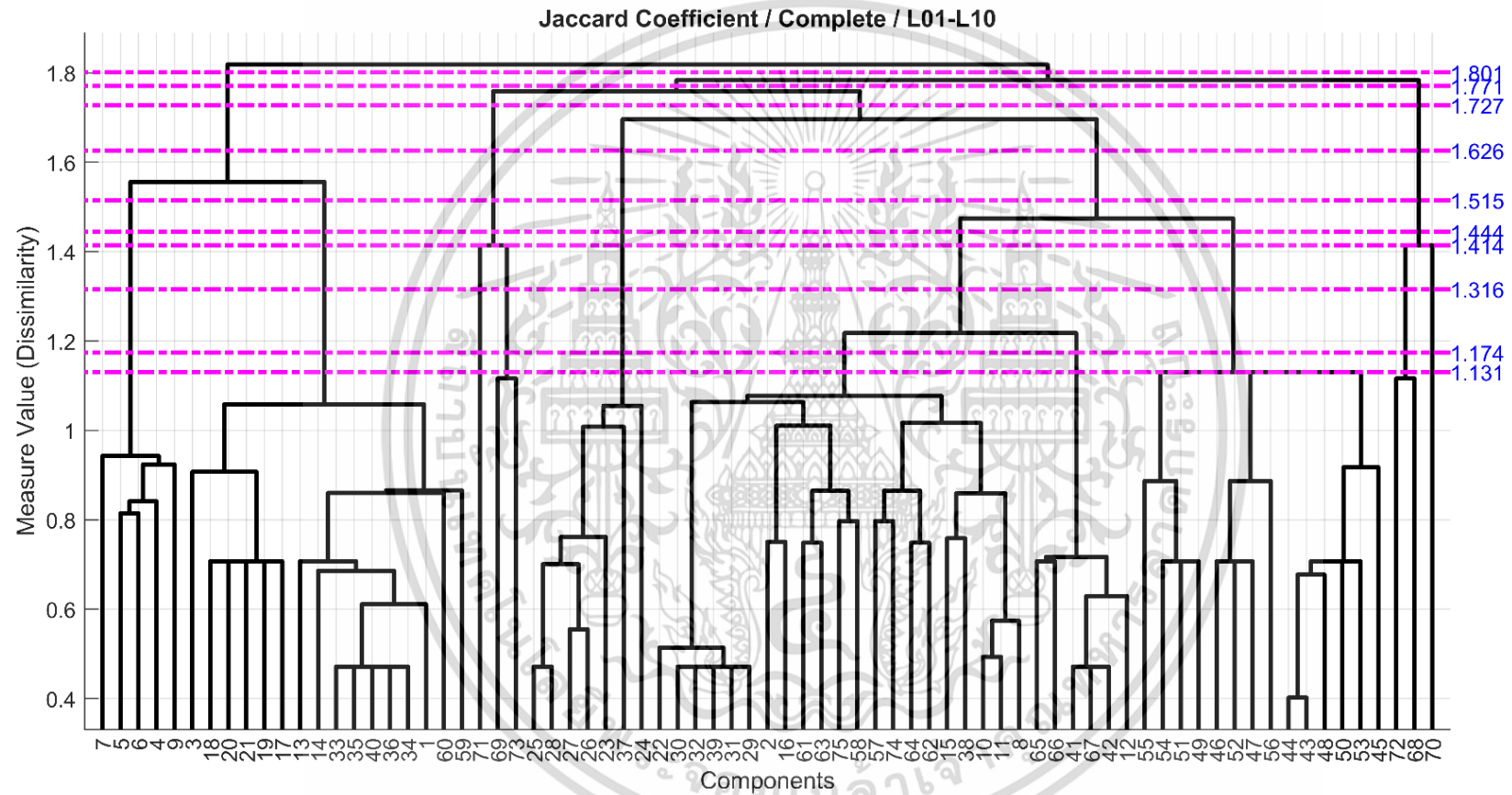
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.436	9.376%
Level 2 (L02)	3	0.457	9.839%
Level 3 (L03)	4	0.588	12.643%
Level 4 (L04)	5	0.465	10.009%
Level 5 (L05)	6	0.302	6.500%
Level 6 (L06)	7	0.425	9.137%
Level 7 (L07)	8	0.478	10.282%
Level 8 (L08)	9	0.520	11.177%
Level 9 (L09)	10	0.475	10.218%
Level 10 (L10)	11	0.503	10.819%

**ตารางที่ ก.16** ผลสรุปการเลือกจำนวนโมดูล (k) จากวิธีการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไป

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	8	L07	1.314	13.312%
New-B	2	Silhouette Method	4	L03	0.588	12.643%

### 1.5 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JDC

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Dissimilarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.5 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.17 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล													SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size															
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12				
Level 1 (L01)	1.801	21	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	16.500	
Level 2 (L02)	1.771	3	21	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	19.799	
Level 3 (L03)	1.727	3	3	21	48	-	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	18.417	
Level 4 (L04)	1.626	7	3	3	21	41	-	-	-	-	-	-	-	75	15.000	14.588	
Level 5 (L05)	1.515	5	7	3	3	16	41	-	-	-	-	-	-	75	12.500	13.488	
Level 6 (L06)	1.444	14	5	7	3	3	27	16	-	-	-	-	-	75	10.714	8.189	
Level 7 (L07)	1.414	14	5	7	3	3	27	16	-	-	-	-	-	75	10.714	8.189	
Level 8 (L08)	1.316	1	1	14	5	7	2	2	27	16	-	-	-	75	8.333	8.433	
Level 9 (L09)	1.174	6	1	1	14	5	7	21	2	2	16	-	-	75	7.500	6.712	
Level 10 (L10)	1.131	6	1	1	14	5	7	21	2	2	16	-	-	75	7.500	6.712	



**ตารางที่ ก.19** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)

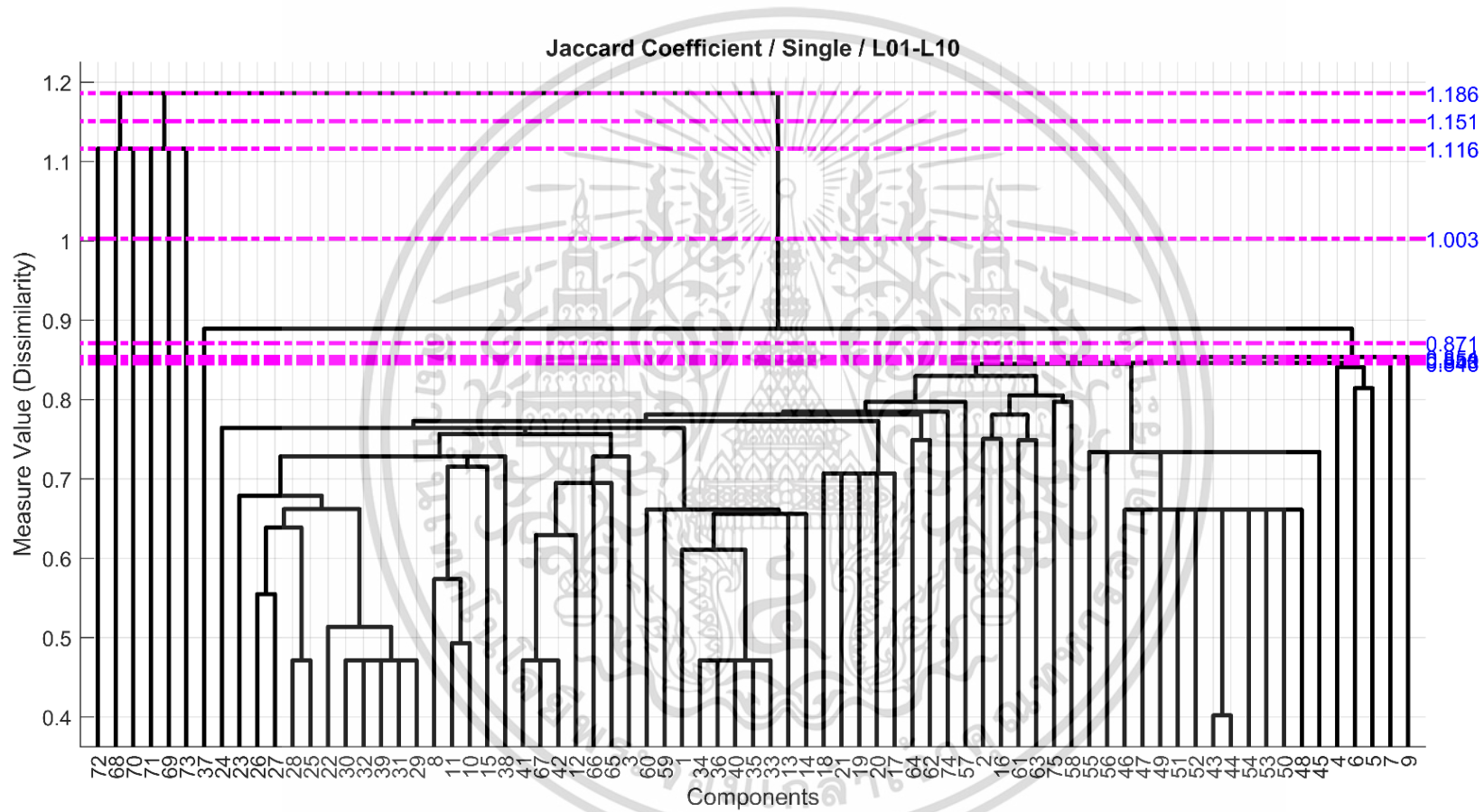
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.380	8.979%
Level 2 (L02)	3	0.310	7.324%
Level 3 (L03)	4	0.358	8.450%
Level 4 (L04)	5	0.265	6.255%
Level 5 (L05)	6	0.352	8.314%
Level 6 (L06)	7	0.542	12.808%
Level 7 (L07)	7	0.542	12.808%
Level 8 (L08)	9	0.530	12.519%
Level 9 (L09)	10	0.477	11.271%
Level 10 (L10)	10	0.477	11.271%

**ตารางที่ ก.20** ผลสรุปการเลือกจำนวนโมดูล (k) จากวิธีการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไป

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	7	L06	0.960	13.173%
New-B	2	Silhouette Method	7	L06,L07	0.542	12.808%

1.6 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JDS

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Dissimilarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.6 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.21 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	1.186	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	75.000	0.000
Level 2 (L02)	1.151	69	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	31.113
Level 3 (L03)	1.116	69	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	31.113
Level 4 (L04)	1.116	69	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	31.113
Level 5 (L05)	1.116	69	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	31.113
Level 6 (L06)	1.003	1	1	1	1	69	1	1	-	-	-	-	-	75	10.714	23.795
Level 7 (L07)	0.871	1	1	1	1	1	68	1	1	-	-	-	-	75	9.375	22.158
Level 8 (L08)	0.854	1	1	1	1	1	68	1	1	-	-	-	-	75	9.375	22.158
Level 9 (L09)	0.850	1	1	1	1	1	1	1	66	1	1	-	-	75	7.500	19.500
Level 10 (L10)	0.846	3	1	1	1	1	1	1	1	63	1	1	-	75	6.818	17.775

ตารางที่ ก.22 ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยใช้วิธีพิจารณาการเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																							
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_l$	RV	RV (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
Level 1 (L01)	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.000	0.000%
Level 2 (L02)	3	-	-	-	-	-	69	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	9	0.653	13.225%
Level 3 (L03)	3	-	-	-	-	-	69	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	9	0.633	12.824%
Level 4 (L04)	3	-	-	-	-	-	69	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	9	0.633	12.824%
Level 5 (L05)	3	-	-	-	-	-	69	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	9	0.633	12.824%
Level 6 (L06)	7	1	1	1	1	1	69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	35	0.738	14.949%
Level 7 (L07)	8	1	1	1	1	1	-	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	32	0.618	12.515%
Level 8 (L08)	8	1	1	1	1	1	-	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	32	0.606	12.259%
Level 9 (L09)	10	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	30	0.201	4.069%
Level 10 (L10)	11	1	1	1	1	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	31	0.223	4.511%
Number of Repeating (l)	5	5	5	5	5	5	5	2	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

**ตารางที่ ก.23** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

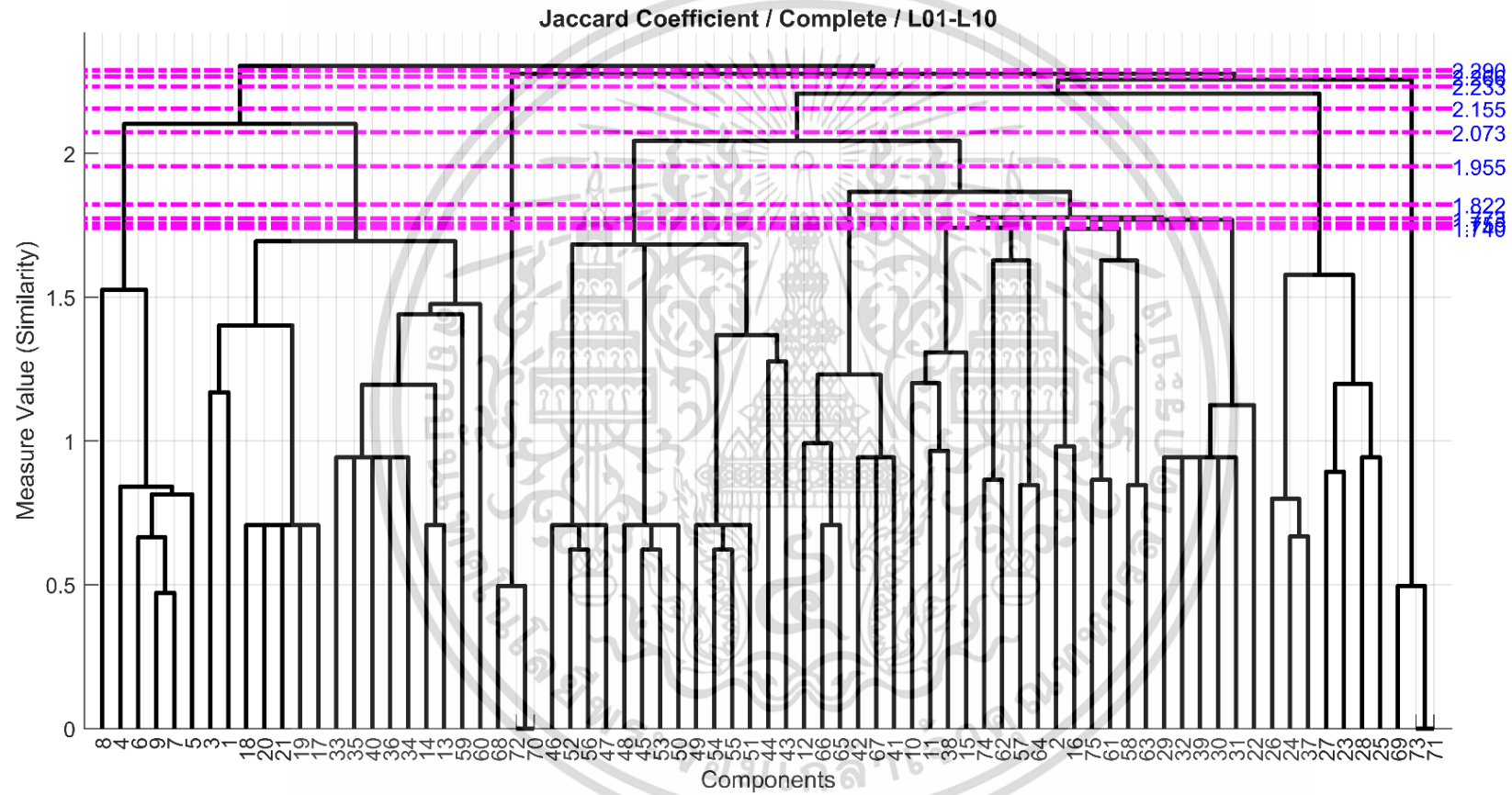
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	1	0.000	0.000%
Level 2 (L02)	3	0.262	14.162%
Level 3 (L03)	3	0.262	14.162%
Level 4 (L04)	3	0.262	14.162%
Level 5 (L05)	3	0.262	14.162%
Level 6 (L06)	7	0.150	8.108%
Level 7 (L07)	8	0.152	8.179%
Level 8 (L08)	8	0.152	8.179%
Level 9 (L09)	10	0.157	8.499%
Level 10 (L10)	11	0.192	10.386%

**ตารางที่ ก.24** ผลสรุปการเลือกจำนวนโมดูล (k) จากวิธีการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไป

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method		L06	0.738	14.949%
New-B	2	Silhouette Method	3	L02,L03,L04,L05	0.262	14.162%

1.7 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JSC

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Similarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.7 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.25 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	2.290	22	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	15.500
Level 2 (L02)	2.266	3	22	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	19.305
Level 3 (L03)	2.233	3	3	22	47	-	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	18.061
Level 4 (L04)	2.155	7	3	3	22	40	-	-	-	-	-	-	-	75	15.000	14.325
Level 5 (L05)	2.073	6	7	3	3	16	40	-	-	-	-	-	-	75	12.500	13.048
Level 6 (L06)	1.955	14	6	7	3	3	26	16	-	-	-	-	-	75	10.714	7.814
Level 7 (L07)	1.822	6	14	6	7	3	3	20	16	-	-	-	-	75	9.375	5.999
Level 8 (L08)	1.773	8	6	14	6	7	3	3	12	16	-	-	-	75	8.333	4.397
Level 9 (L09)	1.755	6	8	6	14	6	7	3	3	6	16	-	-	75	7.500	4.056
Level 10 (L10)	1.740	4	6	6	14	6	7	3	3	4	6	16	-	75	6.818	4.086



**ตารางที่ ก.27** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)

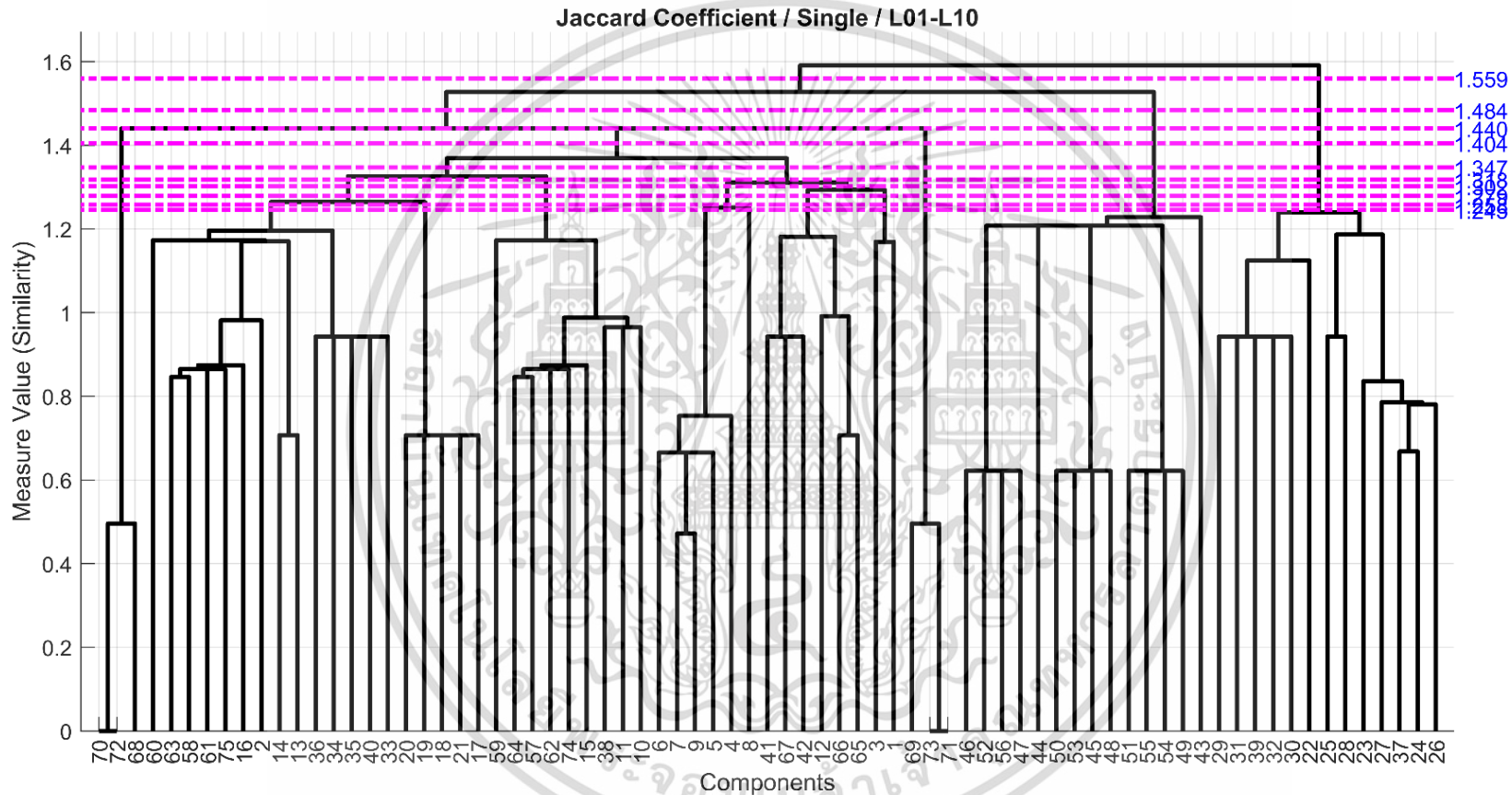
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.311	6.868%
Level 2 (L02)	3	0.337	7.441%
Level 3 (L03)	4	0.387	8.527%
Level 4 (L04)	5	0.327	7.217%
Level 5 (L05)	6	0.400	8.826%
Level 6 (L06)	7	0.520	11.464%
Level 7 (L07)	8	0.525	11.581%
Level 8 (L08)	9	0.540	11.913%
Level 9 (L09)	10	0.589	12.984%
Level 10 (L10)	11	0.597	13.178%

**ตารางที่ ก.28** ผลสรุปการเลือกจำนวนโมดูล (k) จากวิธีการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไป

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	6	L05	1.615	13.704%
New-B	2	Silhouette Method	11	L10	0.597	13.178%

1.8 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JSS

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Similarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.8 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.29 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	1.559	13	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	24.500
Level 2 (L02)	1.484	14	13	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	16.269
Level 3 (L03)	1.440	14	13	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	16.269
Level 4 (L04)	1.404	3	3	14	13	42	-	-	-	-	-	-	-	75	15.000	14.297
Level 5 (L05)	1.347	14	3	3	14	13	28	-	-	-	-	-	-	75	12.500	8.421
Level 6 (L06)	1.318	9	14	3	3	14	13	19	-	-	-	-	-	75	10.714	5.573
Level 7 (L07)	1.302	6	9	3	3	14	13	8	19	-	-	-	-	75	9.375	5.266
Level 8 (L08)	1.279	2	6	9	3	3	14	13	6	19	-	-	-	75	8.333	5.538
Level 9 (L09)	1.258	5	2	6	9	3	3	14	13	14	6	-	-	75	7.500	4.455
Level 10 (L10)	1.245	1	5	2	9	3	3	14	13	5	14	6	-	75	6.818	4.667



**ตารางที่ ก.31** ผลลัพธ์การเลือกจำนวนโมดูล (k) โดยพิจารณาจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)

พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.109	3.033%
Level 2 (L02)	3	0.286	7.989%
Level 3 (L03)	3	0.286	7.989%
Level 4 (L04)	5	0.403	11.234%
Level 5 (L05)	6	0.412	11.483%
Level 6 (L06)	7	0.389	10.842%
Level 7 (L07)	8	0.444	12.375%
Level 8 (L08)	9	0.387	10.795%
Level 9 (L09)	10	0.449	12.524%
Level 10 (L10)	11	0.421	11.736%

**ตารางที่ ก.32** ผลสรุปการเลือกจำนวนโมดูล (k) จากวิธีการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไป

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	9	L08	1.070	12.624%
New-B	2	Silhouette Method	10	L09	0.449	12.524%

## 1.9 สรุปผล

ตารางที่ ก.33 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 1

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 1 (L01)												SUM.	Avg.	S.D.	
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	3.497	31	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	6.500
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	2.159	14	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	23.500
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	3.056	39	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	1.500
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.597	14	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	23.500
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.801	21	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	16.500
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	1.186	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	75.000	0.000
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	2.290	22	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	15.500
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.559	13	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	37.500	24.500

ตารางที่ ก.34 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 2

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 2 (L02)												SUM.	Avg.	S.D.	
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	3.299	14	31	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	7.789
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.913	13	14	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	16.269
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.884	14	39	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	10.424
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.455	13	14	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	16.269
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.771	3	21	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	19.799
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	1.151	69	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	31.113
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	2.266	3	22	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	19.305
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.484	14	13	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	16.269

ตารางที่ ก.35 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 3

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 3 (L03)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.996	13	14	31	17	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	7.224	
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.720	4	13	14	44	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	15.089	
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.654	9	14	39	13	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	11.840	
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.389	31	13	14	17	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	7.224	
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.727	3	3	21	48	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	18.417	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	1.116	69	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	31.113	
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	2.233	3	3	22	47	-	-	-	-	-	-	-	75	18.750	18.061	
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.440	14	13	48	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	16.269	

ตารางที่ ก.36 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 4

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 4 (L04)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.705	7	13	14	24	17	-	-	-	-	-	-	75	15.000	5.550	
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.633	13	4	13	14	31	-	-	-	-	-	-	75	15.000	8.786	
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.328	25	9	14	14	13	-	-	-	-	-	-	75	15.000	5.329	
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.369	4	31	13	14	13	-	-	-	-	-	-	75	15.000	8.786	
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.626	7	3	3	21	41	-	-	-	-	-	-	75	15.000	14.588	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	1.116	69	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	31.113	
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	2.155	7	3	3	22	40	-	-	-	-	-	-	75	15.000	14.325	
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.404	3	3	14	13	42	-	-	-	-	-	-	75	15.000	14.297	

ตารางที่ ก.37 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 5

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 5 (L05)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.509	7	7	13	14	10	24	-	-	-	-	-	-	75	12.500	5.795
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.507	3	13	4	13	14	28	-	-	-	-	-	-	75	12.500	8.221
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.143	6	25	9	14	8	13	-	-	-	-	-	-	75	12.500	6.238
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.330	1	4	13	14	30	13	-	-	-	-	-	-	75	12.500	9.251
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.515	5	7	3	3	16	41	-	-	-	-	-	-	75	12.500	13.488
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	1.116	69	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	25.000	31.113
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	2.073	6	7	3	3	16	40	-	-	-	-	-	-	75	12.500	13.048
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.347	14	3	3	14	13	28	-	-	-	-	-	-	75	12.500	8.421

ตารางที่ ก.38 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 6

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 6 (L06)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.331	6	7	7	14	7	10	24	-	-	-	-	-	75	10.714	5.993
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.429	4	3	4	13	14	9	28	-	-	-	-	-	75	10.714	8.172
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.970	14	6	9	14	11	8	13	-	-	-	-	-	75	10.714	2.914
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.287	3	1	4	13	14	27	13	-	-	-	-	-	75	10.714	8.327
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.444	14	5	7	3	3	27	16	-	-	-	-	-	75	10.714	8.189
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	1.003	1	1	1	1	69	1	1	-	-	-	-	-	75	10.714	23.795
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.955	14	6	7	3	3	26	16	-	-	-	-	-	75	10.714	7.814
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.318	9	14	3	3	14	13	19	-	-	-	-	-	75	10.714	5.573

ตารางที่ ก.39 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 7

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 7 (L07)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.275	13	6	7	7	14	11	7	10	-	-	-	-	75	9.375	2.870
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.392	1	4	3	4	13	14	27	9	-	-	-	-	75	9.375	8.015
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.783	6	14	6	9	14	7	11	8	-	-	-	-	75	9.375	3.080
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.272	2	3	1	4	13	14	25	13	-	-	-	-	75	9.375	7.793
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.414	14	5	7	3	3	27	16	-	-	-	-	75	10.714	8.189	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.871	1	1	1	1	1	68	1	1	-	-	-	-	75	9.375	22.158
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.822	6	14	6	7	3	3	20	16	-	-	-	-	75	9.375	5.999
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.302	6	9	3	3	14	13	8	19	-	-	-	-	75	9.375	5.266

ตารางที่ ก.40 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 8

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 8 (L08)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.212	4	13	6	7	7	14	6	11	7	-	-	-	75	8.333	3.266
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.377	1	1	4	3	4	13	14	26	9	-	-	-	75	8.333	7.746
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.704	5	6	14	6	9	14	6	7	8	-	-	-	75	8.333	3.232
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.244	6	2	3	1	4	14	7	25	13	-	-	-	75	8.333	7.303
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.316	1	1	14	5	7	2	2	27	16	-	-	-	75	8.333	8.433
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.854	1	1	1	1	1	68	1	1	-	-	-	-	75	9.375	22.158
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.773	8	6	14	6	7	3	3	12	16	-	-	-	75	8.333	4.397
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.279	2	6	9	3	3	14	13	6	19	-	-	-	75	8.333	5.538

ตารางที่ ก.41 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 9

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 9 (L09)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.169	3	4	13	6	7	14	4	6	11	7	-	-	75	7.500	3.667
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.360	3	1	1	4	3	4	13	14	23	9	-	-	75	7.500	6.815
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.632	2	5	6	6	9	14	12	6	7	8	-	-	75	7.500	3.294
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.214	1	6	2	3	1	4	14	6	25	13	-	-	75	7.500	7.284
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.174	6	1	1	14	5	7	21	2	2	16	-	-	75	7.500	6.712
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.850	1	1	1	1	1	1	1	66	1	1	-	-	75	7.500	19.500
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.755	6	8	6	14	6	7	3	3	6	16	-	-	75	7.500	4.056
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.258	5	2	6	9	3	3	14	13	14	6	-	-	75	7.500	4.455

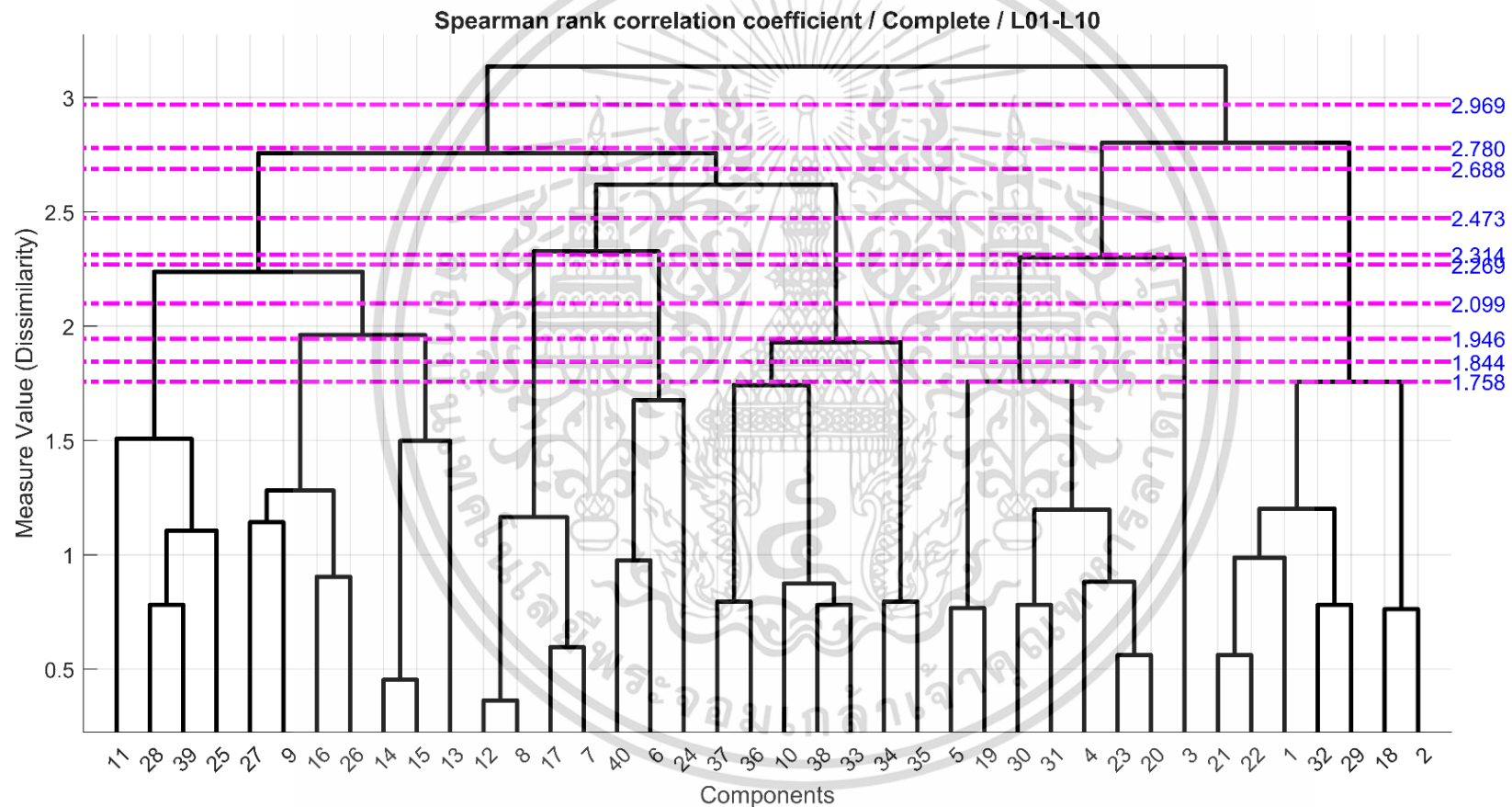
ตารางที่ ก.42 ผลสรุปเปรียบเทียบการสร้างโมดูลของระดับชั้นที่ 10

NO.	Method		Measure Value	Modules of Level 10 (L10)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.134	3	3	4	13	6	14	4	4	6	11	7	-	75	6.818	3.833
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.349	6	3	1	1	4	3	4	14	7	23	9	-	75	6.818	6.264
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.557	4	2	5	6	6	9	14	4	12	6	7	-	75	6.818	3.406
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.207	1	1	6	2	3	1	4	14	5	25	13	-	75	6.818	7.209
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.131	6	1	1	14	5	7	21	2	2	16	-	-	75	7.500	6.712
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.846	3	1	1	1	1	1	1	1	63	1	1	-	75	6.818	17.775
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.740	4	6	6	14	6	7	3	3	4	6	16	-	75	6.818	4.086
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.245	1	5	2	9	3	3	14	13	5	14	6	-	75	6.818	4.667

## 2. การศึกษาวิธีการสร้างโมดูลเครื่องจักร: กรณีศึกษาที่ 2 ระบบขนถ่ายอัตโนมัติ (Automated Conveyor System)

### 2.1 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SDC

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Dissimilarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.9 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.43 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	2.969	25	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	5.000
Level 2 (L02)	2.780	7	25	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	8.260
Level 3 (L03)	2.688	11	7	14	8	-	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	2.739
Level 4 (L04)	2.473	7	11	7	7	8	-	-	-	-	-	-	-	40	8.000	1.549
Level 5 (L05)	2.314	4	7	11	7	3	8	-	-	-	-	-	-	40	6.667	2.625
Level 6 (L06)	2.269	1	4	7	11	7	7	3	-	-	-	-	-	40	5.714	3.057
Level 7 (L07)	2.099	4	1	4	7	7	7	7	3	-	-	-	-	40	5.000	2.179
Level 8 (L08)	1.946	4	4	1	4	7	7	3	7	3	-	-	-	40	4.444	2.006
Level 9 (L09)	1.844	2	4	4	1	4	7	5	3	7	3	-	-	40	4.000	1.844
Level 10 (L10)	1.758	2	2	4	4	1	4	7	5	5	3	3	-	40	3.636	1.611

**ตารางที่ ก.44** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																						
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Level 1 (L01)	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	25	2	0.763	5.310%
Level 2 (L02)	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	8	-	-	-	40	15	1.456	10.127%
Level 3 (L03)	4	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	11	-	-	26	17	1.101	7.658%
Level 4 (L04)	5	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	11	-	-	40	27	1.578	10.978%
Level 5 (L05)	6	7	7	-	-	4	-	-	-	-	-	-	3	-	-	8	11	-	40	35	1.653	11.495%
Level 6 (L06)	7	7	7	7	-	4	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	11	1	40	40	1.729	12.025%
Level 7 (L07)	8	7	7	7	7	4	4	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	1	40	41	1.620	11.265%
Level 8 (L08)	9	7	7	7	-	4	4	4	-	-	-	-	3	3	-	-	-	1	40	46	1.594	11.085%
Level 9 (L09)	10	7	7	-	-	4	4	4	2	-	5	-	3	3	-	-	-	1	40	46	1.511	10.507%
Level 10 (L10)	11	7	-	-	-	4	4	4	2	2	5	5	3	3	-	-	-	1	40	42	1.373	9.550%
Number of Repeating (l)	9	6	4	1	6	4	3	2	1	2	1	6	3	2	4	4	5					

**ตารางที่ ก.45** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

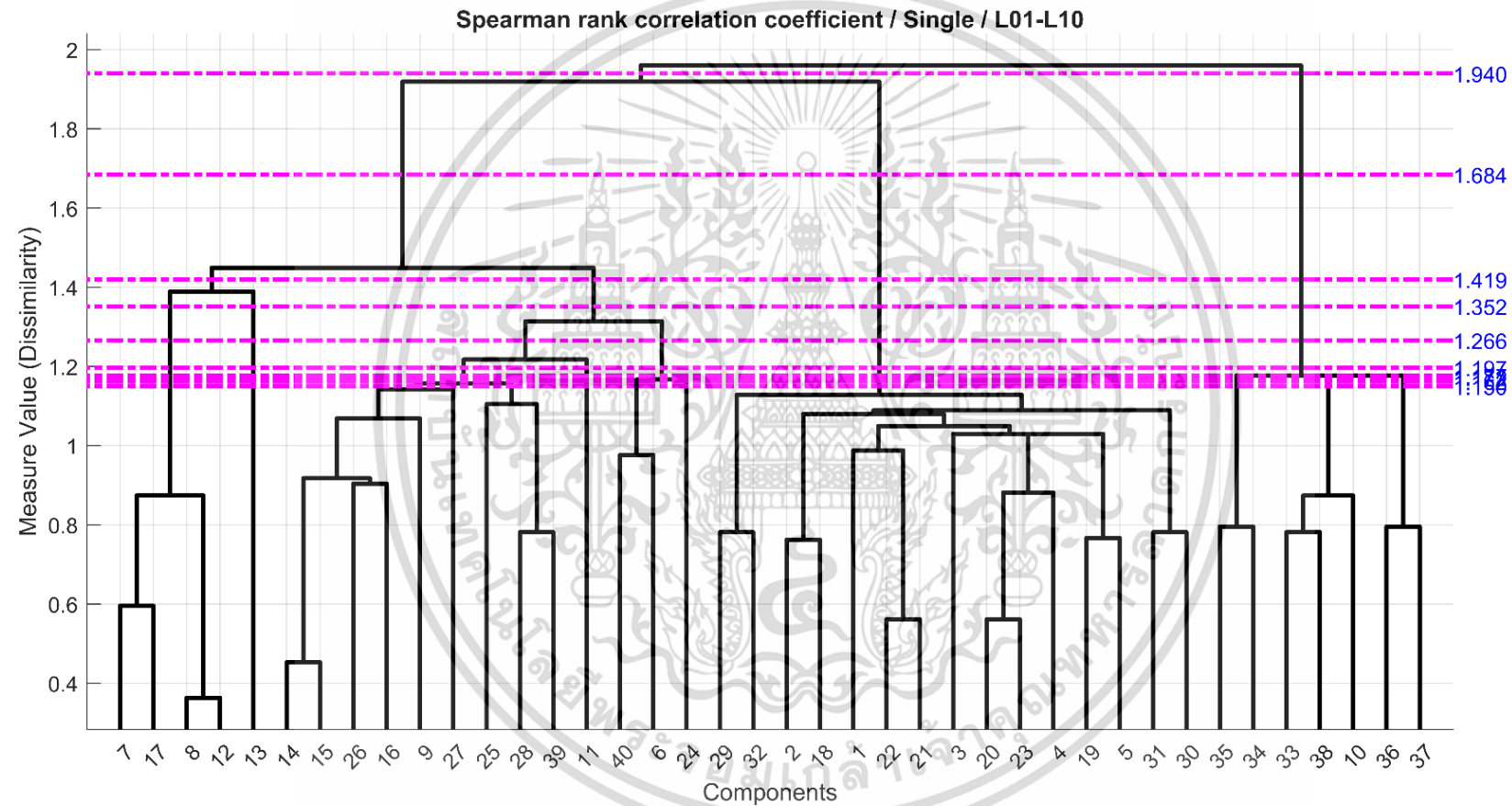
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.436	8.197%
Level 2 (L02)	3	0.498	9.362%
Level 3 (L03)	4	0.535	10.073%
Level 4 (L04)	5	0.625	11.760%
Level 5 (L05)	6	0.613	11.529%
Level 6 (L06)	7	0.559	10.516%
Level 7 (L07)	8	0.556	10.459%
Level 8 (L08)	9	0.530	9.972%
Level 9 (L09)	10	0.493	9.277%
Level 10 (L10)	11	0.471	8.855%

**ตารางที่ ก.46** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	6	L05	1.653	11.495%
New-B	2	Silhouette Method	5	L04	0.625	11.760%

## 2.2 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SDS

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Dissimilarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.10 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.47 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล														SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size																
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12					
Level 1 (L01)	1.940	7	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	13.000	
Level 2 (L02)	1.684	15	7	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	4.643	
Level 3 (L03)	1.419	13	15	7	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.123	
Level 4 (L04)	1.352	1	13	15	7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	40	8.000	5.292	
Level 5 (L05)	1.266	3	1	15	7	10	4	-	-	-	-	-	-	-	40	6.667	4.714	
Level 6 (L06)	1.197	1	3	1	15	7	9	4	-	-	-	-	-	-	40	5.714	4.682	
Level 7 (L07)	1.177	1	3	1	15	7	9	4	-	-	-	-	-	-	40	5.714	4.682	
Level 8 (L08)	1.172	2	2	1	3	1	15	3	9	4	-	-	-	-	40	4.444	4.374	
Level 9 (L09)	1.162	1	2	2	1	1	15	2	3	9	4	-	-	-	40	4.000	4.313	
Level 10 (L10)	1.150	3	1	2	2	1	1	15	6	2	3	4	-	-	40	3.636	3.868	

ตารางที่ ก.48 ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

	การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)	
	k	Repeating Size of Module (i)																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17					18
Level 1 (L01)	2	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	0.431	3.281%	
Level 2 (L02)	3	-	-	-	-	-	7	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	16	1.016	7.733%	
Level 3 (L03)	4	-	-	-	-	-	7	15	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	18	1.194	9.088%	
Level 4 (L04)	5	1	-	-	-	-	7	15	13	4	-	-	-	-	-	-	-	-	40	32	1.545	11.758%	
Level 5 (L05)	6	1	-	-	-	-	7	15	-	4	-	3	-	-	-	-	-	-	30	35	1.306	9.942%	
Level 6 (L06)	7	1	1	-	-	-	7	15	-	4	9	3	-	-	-	-	-	-	40	44	1.596	12.152%	
Level 7 (L07)	7	1	1	-	-	-	7	15	-	4	9	3	-	-	-	-	-	-	40	44	1.569	11.945%	
Level 8 (L08)	9	1	1	-	2	2	-	15	-	4	9	-	6	-	-	-	-	-	40	39	1.470	11.186%	
Level 9 (L09)	10	1	1	1	2	2	2	-	15	-	4	9	3	-	-	-	-	-	40	47	1.605	12.217%	
Level 10 (L10)	11	1	1	1	2	2	2	-	15	-	4	-	6	-	-	-	-	-	34	43	1.406	10.699%	
Number of Repeating (l)	7	5	2	3	3	2	7	9	2	7	4	5	1	-	-	-	-	-					

**ตารางที่ ก.49** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

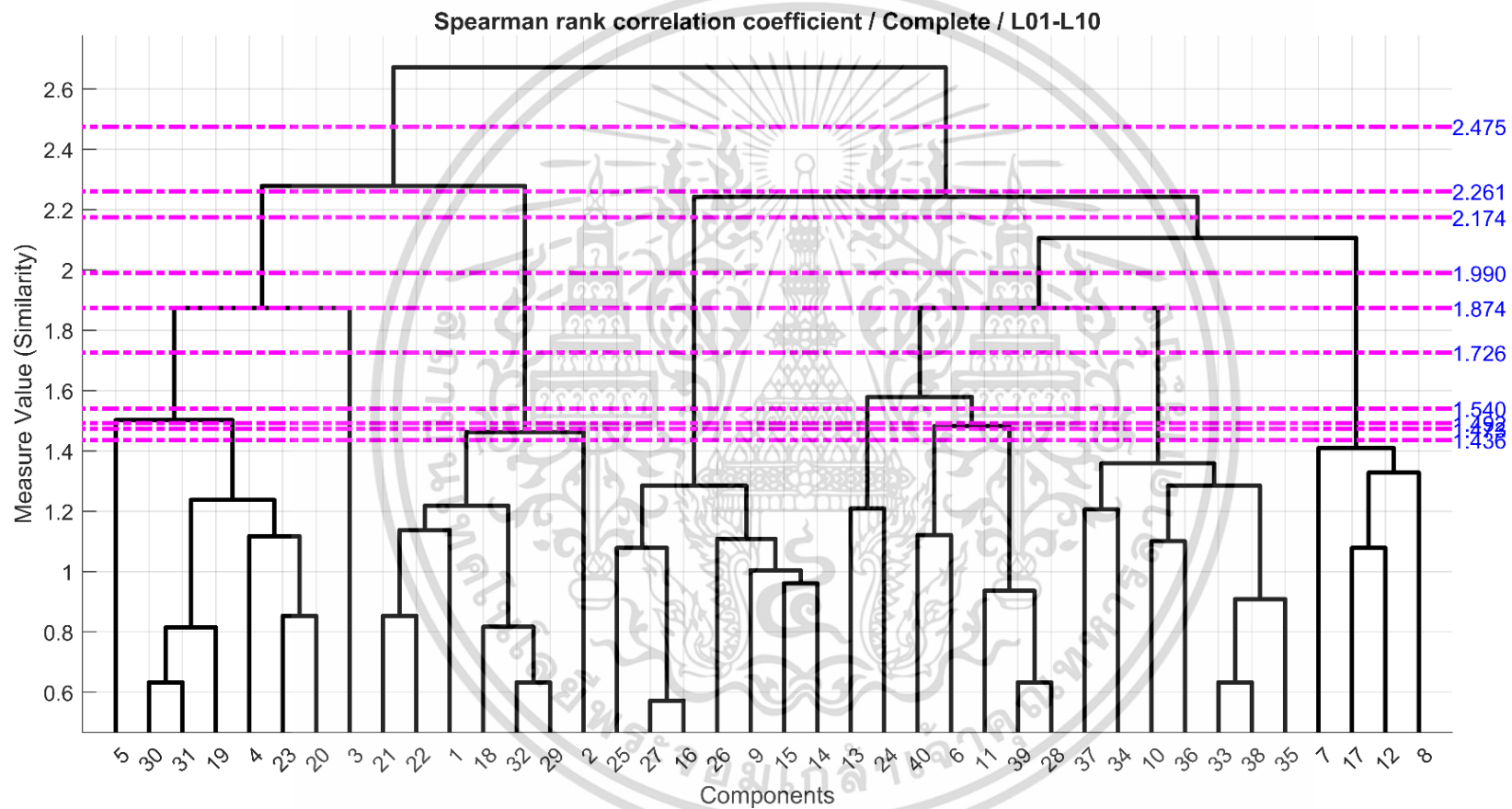
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.121	3.129%
Level 2 (L02)	3	0.393	10.200%
Level 3 (L03)	4	0.470	12.211%
Level 4 (L04)	5	0.357	9.258%
Level 5 (L05)	6	0.439	11.397%
Level 6 (L06)	7	0.401	10.424%
Level 7 (L07)	7	0.401	10.424%
Level 8 (L08)	9	0.386	10.031%
Level 9 (L09)	10	0.410	10.647%
Level 10 (L10)	11	0.473	12.279%

**ตารางที่ ก.50** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	10	L09	1.605	12.217%
New-B	2	Silhouette Method	11	L10	0.473	12.279%

### 2.3 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SSC

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Similarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.11 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.51 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	2.475	25	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	5.000
Level 2 (L02)	2.261	7	25	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	8.260
Level 3 (L03)	2.174	7	7	18	8	-	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.637
Level 4 (L04)	1.990	4	7	7	14	8	-	-	-	-	-	-	-	40	8.000	3.286
Level 5 (L05)	1.874	7	4	7	7	7	8	-	-	-	-	-	-	40	6.667	1.247
Level 6 (L06)	1.726	1	7	4	7	7	7	7	-	-	-	-	-	40	5.714	2.185
Level 7 (L07)	1.540	2	1	7	4	7	7	5	7	-	-	-	-	40	5.000	2.291
Level 8 (L08)	1.492	1	2	1	7	4	7	7	6	5	-	-	-	40	4.444	2.409
Level 9 (L09)	1.473	3	1	2	1	7	4	7	7	2	6	-	-	40	4.000	2.408
Level 10 (L10)	1.436	1	3	1	2	1	7	4	7	6	2	6	-	40	3.636	2.346

ตารางที่ ก.52 ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																						
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Level 1 (L01)	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	25	2	0.675	5.678%
Level 2 (L02)	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	8	-	-	-	-	40	15	1.256	10.564%
Level 3 (L03)	4	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	22	21	0.944	7.943%
Level 4 (L04)	5	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	4	-	-	-	26	28	1.085	9.129%
Level 5 (L05)	6	7	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	8	4	-	-	-	40	36	1.439	12.099%
Level 6 (L06)	7	7	7	7	7	7	1	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	40	38	1.360	11.441%
Level 7 (L07)	8	7	7	7	7	-	1	-	-	2	-	-	-	-	4	-	5	-	40	43	1.291	10.862%
Level 8 (L08)	9	7	7	7	-	-	1	1	-	2	-	6	-	-	4	-	5	-	40	46	1.296	10.903%
Level 9 (L09)	10	7	7	7	-	-	1	1	-	2	2	6	-	-	4	3	-	-	40	48	1.309	11.011%
Level 10 (L10)	11	7	7	-	-	-	1	1	1	2	2	6	6	-	4	3	-	-	40	45	1.233	10.370%
Number of Repeating (l)	9	8	5	3	1	5	3	1	4	2	3	1	2	4	7	2	2					

**ตารางที่ ก.53** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

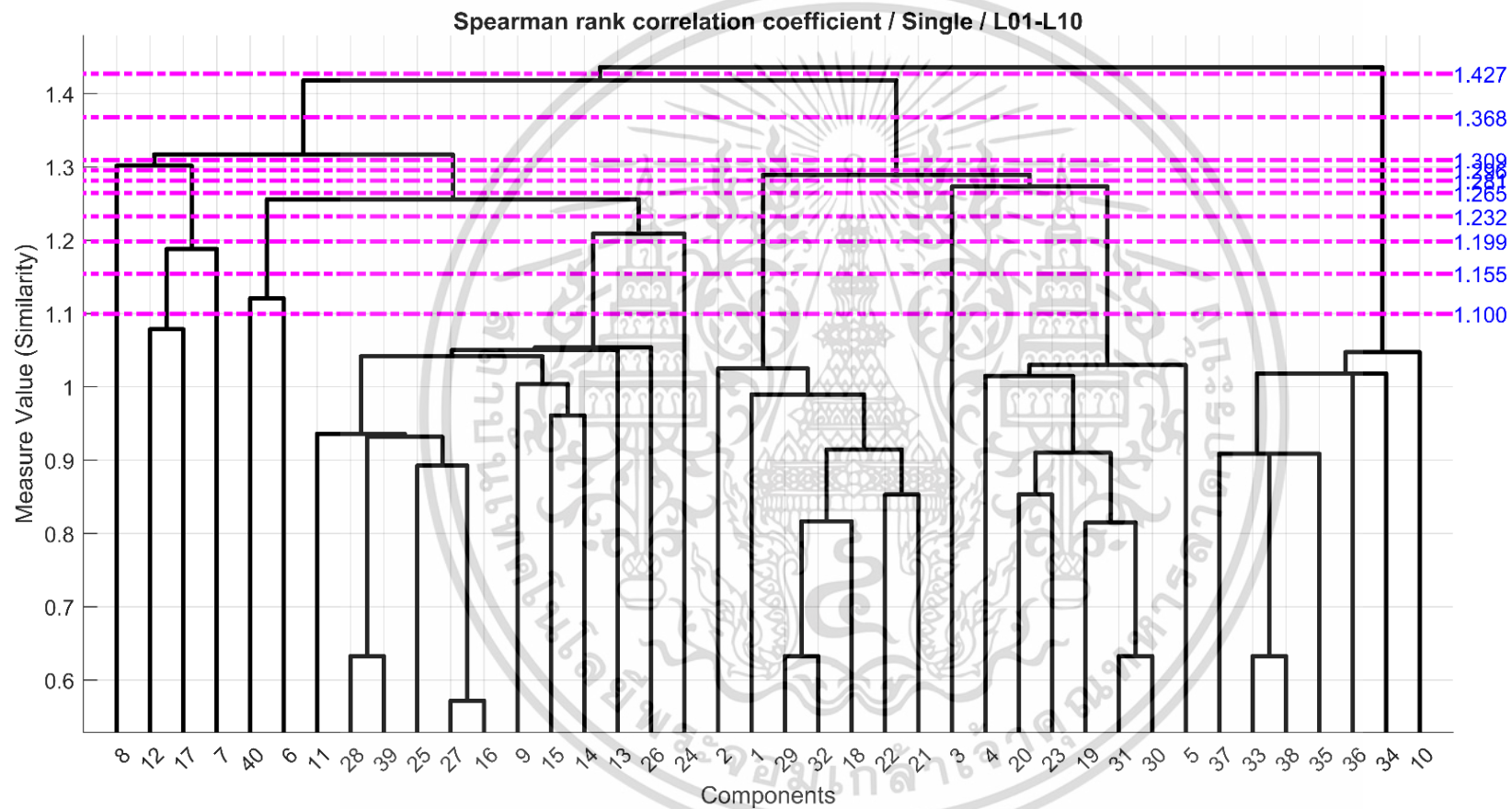
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.465	9.872%
Level 2 (L02)	3	0.497	10.540%
Level 3 (L03)	4	0.441	9.353%
Level 4 (L04)	5	0.488	10.350%
Level 5 (L05)	6	0.519	11.003%
Level 6 (L06)	7	0.491	10.427%
Level 7 (L07)	8	0.474	10.049%
Level 8 (L08)	9	0.446	9.471%
Level 9 (L09)	10	0.458	9.715%
Level 10 (L10)	11	0.434	9.220%

**ตารางที่ ก.54** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	6	L05	1.439	12.099%
New-B	2	Silhouette Method	6	L05	0.519	11.003%

2.4 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SSS

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Similarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.12 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.55 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	1.427	7	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	13.000
Level 2 (L02)	1.368	15	7	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	4.643
Level 3 (L03)	1.309	14	15	7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.637
Level 4 (L04)	1.296	1	14	15	7	3	-	-	-	-	-	-	-	40	8.000	5.657
Level 5 (L05)	1.281	7	1	14	7	8	3	-	-	-	-	-	-	40	6.667	4.110
Level 6 (L06)	1.265	1	7	1	14	7	7	3	-	-	-	-	-	40	5.714	4.233
Level 7 (L07)	1.232	2	1	7	1	7	12	7	3	-	-	-	-	40	5.000	3.640
Level 8 (L08)	1.199	1	2	1	7	1	7	11	7	3	-	-	-	40	4.444	3.435
Level 9 (L09)	1.155	1	1	2	1	7	1	7	2	11	7	-	-	40	4.000	3.464
Level 10 (L10)	1.100	1	1	1	1	7	1	7	1	2	11	7	-	40	3.636	3.471



**ตารางที่ ก.57** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

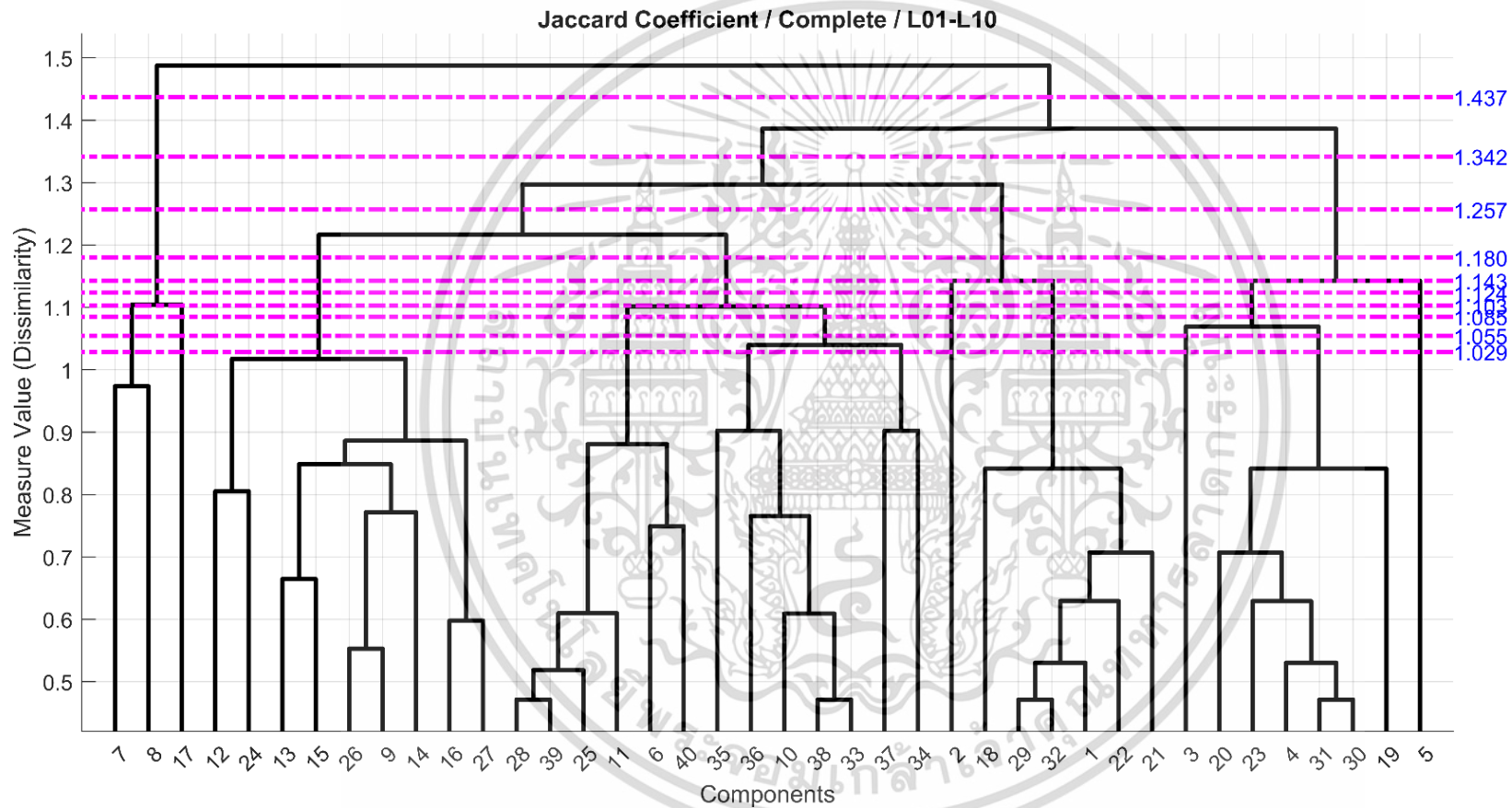
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.075	1.771%
Level 2 (L02)	3	0.368	8.743%
Level 3 (L03)	4	0.461	10.951%
Level 4 (L04)	5	0.424	10.062%
Level 5 (L05)	6	0.517	12.272%
Level 6 (L06)	7	0.489	11.623%
Level 7 (L07)	8	0.469	11.142%
Level 8 (L08)	9	0.447	10.612%
Level 9 (L09)	10	0.471	11.189%
Level 10 (L10)	11	0.490	11.636%

**ตารางที่ ก.58** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	9	L08	1.445	13.147%
New-B	2	Silhouette Method	6	L05	0.517	12.272%

2.5 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JDC

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Dissimilarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.13 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.59 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล														SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size																
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12					
Level 1 (L01)	1.437	3	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	17.000	
Level 2 (L02)	1.342	8	3	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	11.264	
Level 3 (L03)	1.257	7	8	3	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	7.176	
Level 4 (L04)	1.180	9	7	8	3	13	-	-	-	-	-	-	-	-	40	8.000	3.225	
Level 5 (L05)	1.143	9	7	8	3	13	-	-	-	-	-	-	-	-	40	8.000	3.225	
Level 6 (L06)	1.124	1	1	9	3	6	7	13	-	-	-	-	-	-	40	5.714	4.096	
Level 7 (L07)	1.103	1	1	1	9	2	6	7	13	-	-	-	-	-	40	5.000	4.213	
Level 8 (L08)	1.085	6	1	1	1	9	7	2	6	7	-	-	-	-	40	4.444	2.986	
Level 9 (L09)	1.055	1	6	1	1	1	9	6	7	2	6	-	-	-	40	4.000	2.933	
Level 10 (L10)	1.029	2	1	6	1	1	1	9	5	6	2	6	-	-	40	3.636	2.706	

ตารางที่ ก.60 ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																						
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Level 1 (L01)	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-				3	6	0.177	1.923%
Level 2 (L02)	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	8	-	-				11	10	0.386	4.189%
Level 3 (L03)	4	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	8	-	-				18	17	0.603	6.539%
Level 4 (L04)	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	8	9	13				40	28	1.099	11.925%
Level 5 (L05)	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	8	9	13				40	28	1.065	11.553%
Level 6 (L06)	7	7	-	6	-	-	1	1	-	-	-	3	-	9	13				40	39	1.216	13.195%
Level 7 (L07)	8	7	-	6	-	-	1	1	1	-	2	-	-	9	13				40	41	1.224	13.278%
Level 8 (L08)	9	7	7	6	6	-	1	1	1	-	2	-	-	9	-				40	41	1.204	13.067%
Level 9 (L09)	10	7	-	6	6	6	1	1	1	1	2	-	-	9	-				40	44	1.213	13.168%
Level 10 (L10)	11	-	-	6	6	6	1	1	1	1	2	2	-	9	-				35	38	1.029	11.164%
Number of Repeating (l)	7	1	5	3	2	5	5	4	2	4	4	1	6	4	7	4						

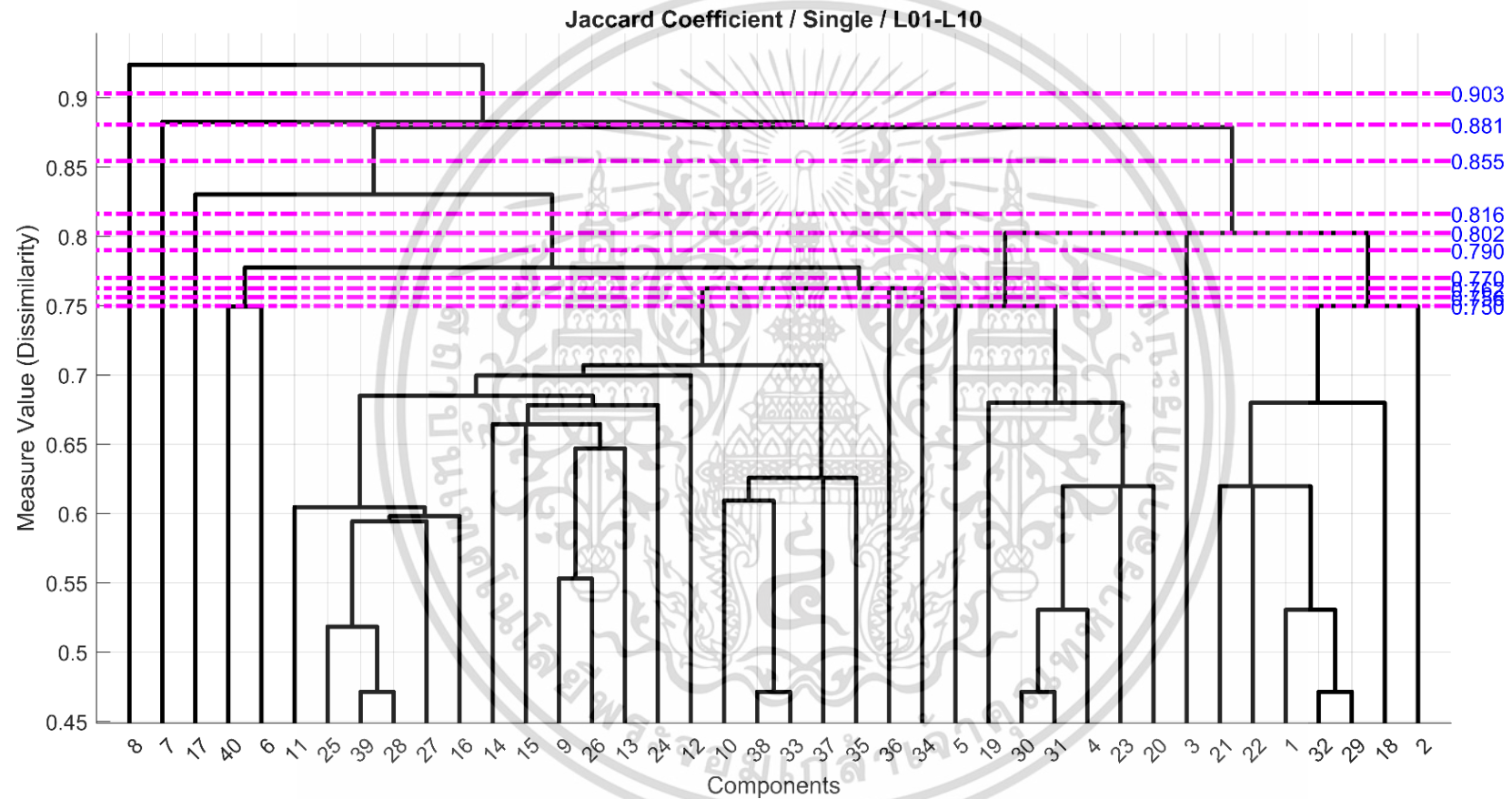
**ตารางที่ ก.61** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.313	8.490%
Level 2 (L02)	3	0.337	9.145%
Level 3 (L03)	4	0.481	13.046%
Level 4 (L04)	5	0.374	10.144%
Level 5 (L05)	5	0.374	10.144%
Level 6 (L06)	7	0.342	9.294%
Level 7 (L07)	8	0.331	8.993%
Level 8 (L08)	9	0.384	10.414%
Level 9 (L09)	10	0.398	10.803%
Level 10 (L10)	11	0.351	9.527%

**ตารางที่ ก.62** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

## 2.6 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JDS

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Dissimilarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.14 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.63 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล														SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size																
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12					
Level 1 (L01)	0.903	1	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	19.000	
Level 2 (L02)	0.881	1	1	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	17.442	
Level 3 (L03)	0.855	15	1	1	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	9.434	
Level 4 (L04)	0.816	1	15	1	1	22	-	-	-	-	-	-	-	-	40	8.000	8.854	
Level 5 (L05)	0.802	1	15	1	1	22	-	-	-	-	-	-	-	-	40	8.000	8.854	
Level 6 (L06)	0.790	1	7	1	1	1	7	22	-	-	-	-	-	-	40	5.714	7.146	
Level 7 (L07)	0.770	2	1	7	1	1	1	20	7	-	-	-	-	-	40	5.000	6.185	
Level 8 (L08)	0.762	2	1	7	1	1	1	20	7	-	-	-	-	-	40	5.000	6.185	
Level 9 (L09)	0.756	1	1	2	1	7	1	1	1	18	7	-	-	-	40	4.000	5.215	
Level 10 (L10)	0.750	1	1	2	1	7	1	1	1	18	7	-	-	-	40	4.000	5.215	



**ตารางที่ ก.65** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

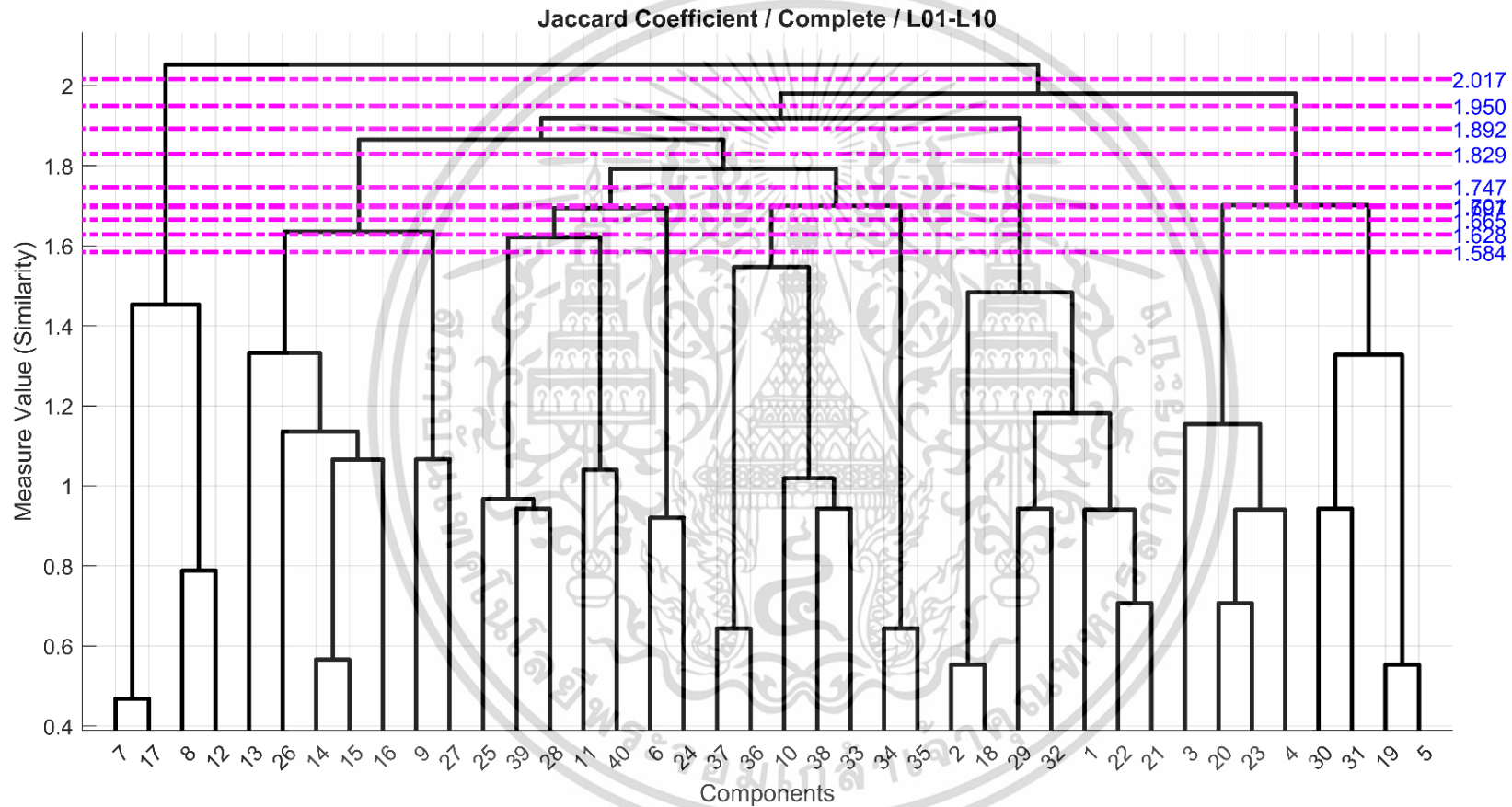
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.262	7.969%
Level 2 (L02)	3	0.277	8.426%
Level 3 (L03)	4	0.409	12.470%
Level 4 (L04)	5	0.454	13.824%
Level 5 (L05)	5	0.454	13.824%
Level 6 (L06)	7	0.455	13.852%
Level 7 (L07)	8	0.219	6.678%
Level 8 (L08)	8	0.219	6.678%
Level 9 (L09)	10	0.267	8.139%
Level 10 (L10)	10	0.267	8.139%

**ตารางที่ ก.66** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	10	L10	0.455	13.852%
New-B	2	Silhouette Method	7	L06	0.455	13.852%

2.7 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JSC

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Similarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.15 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.67 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	2.017	4	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	16.000
Level 2 (L02)	1.950	8	4	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	10.499
Level 3 (L03)	1.892	7	8	4	21	-	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	6.519
Level 4 (L04)	1.829	7	7	8	4	14	-	-	-	-	-	-	-	40	8.000	3.286
Level 5 (L05)	1.747	7	7	7	8	4	7	-	-	-	-	-	-	40	6.667	1.247
Level 6 (L06)	1.701	4	7	7	7	4	4	7	-	-	-	-	-	40	5.714	1.485
Level 7 (L07)	1.697	2	4	7	7	7	4	5	4	-	-	-	-	40	5.000	1.732
Level 8 (L08)	1.665	2	2	4	7	7	4	5	5	4	-	-	-	40	4.444	1.707
Level 9 (L09)	1.628	2	2	2	4	7	4	5	5	5	4	-	-	40	4.000	1.549
Level 10 (L10)	1.584	3	2	2	2	4	7	4	2	5	5	4	-	40	3.636	1.553

ตารางที่ ก.68 ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

		การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)
		Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)
k		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)
Level 1 (L01)	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	10	0.398	2.645%
Level 2 (L02)	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	12	14	0.714	4.749%
Level 3 (L03)	4	4	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	19	22	1.093	7.268%
Level 4 (L04)	5	4	-	-	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	26	27	1.365	9.080%
Level 5 (L05)	6	4	-	-	7	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	40	32	1.772	11.782%
Level 6 (L06)	7	4	4	4	7	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	38	1.868	12.426%
Level 7 (L07)	8	4	4	4	7	7	7	-	2	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	40	44	2.008	13.353%
Level 8 (L08)	9	4	4	4	7	7	-	-	2	2	-	-	5	5	-	-	-	-	-	40	47	2.040	13.568%
Level 9 (L09)	10	4	4	4	7	-	-	-	2	2	2	-	5	5	5	-	-	-	-	40	45	1.949	12.964%
Level 10 (L10)	11	4	4	4	7	-	-	-	2	2	2	2	5	5	-	-	-	-	-	37	45	1.829	12.166%
Number of Repeating (l)		10	5	5	8	5	3	2	4	3	2	1	4	3	1	4							

**ตารางที่ ก.69** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

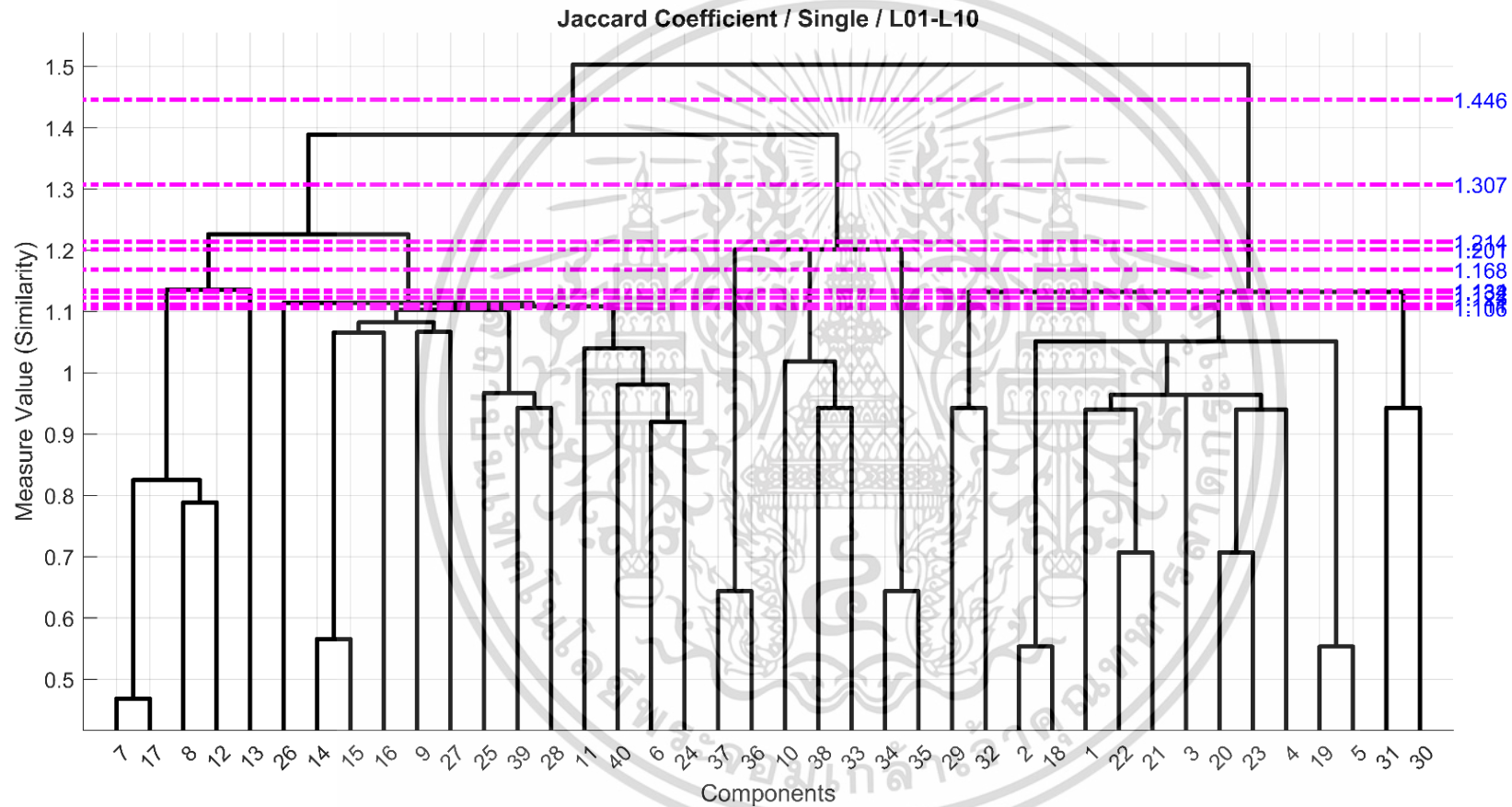
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.243	5.982%
Level 2 (L02)	3	0.297	7.316%
Level 3 (L03)	4	0.432	10.625%
Level 4 (L04)	5	0.414	10.176%
Level 5 (L05)	6	0.482	11.849%
Level 6 (L06)	7	0.450	11.075%
Level 7 (L07)	8	0.449	11.039%
Level 8 (L08)	9	0.449	11.058%
Level 9 (L09)	10	0.420	10.341%
Level 10 (L10)	11	0.428	10.540%

**ตารางที่ ก.70** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	9	L08	2.040	13.568%
New-B	2	Silhouette Method	6	L05	0.482	11.849%

2.8 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JSS

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Similarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.16 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.71 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	1.446	15	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	5.000
Level 2 (L02)	1.307	7	15	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	4.643
Level 3 (L03)	1.214	13	7	15	5	-	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.123
Level 4 (L04)	1.201	13	7	15	5	-	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.123
Level 5 (L05)	1.168	2	2	13	15	3	5	-	-	-	-	-	-	40	6.667	5.312
Level 6 (L06)	1.134	1	2	2	13	15	4	3	-	-	-	-	-	40	5.714	5.338
Level 7 (L07)	1.132	1	2	2	13	15	4	3	-	-	-	-	-	40	5.714	5.338
Level 8 (L08)	1.123	2	2	1	2	2	13	11	4	3	-	-	-	40	4.444	4.140
Level 9 (L09)	1.111	1	2	2	1	2	2	12	11	4	3	-	-	40	4.000	3.847
Level 10 (L10)	1.106	4	1	2	2	1	2	2	8	11	4	3	-	40	3.636	2.993



**ตารางที่ ก.73** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.348	12.564%
Level 2 (L02)	3	0.318	11.468%
Level 3 (L03)	4	0.367	13.219%
Level 4 (L04)	4	0.367	13.219%
Level 5 (L05)	6	0.381	13.729%
Level 6 (L06)	7	0.297	10.694%
Level 7 (L07)	7	0.297	10.694%
Level 8 (L08)	9	0.143	5.142%
Level 9 (L09)	10	0.101	3.652%
Level 10 (L10)	11	0.156	5.618%

**ตารางที่ ก.74** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	9	L08	1.295	12.710%
New-B	2	Silhouette Method	6	L05	0.381	13.729%

## 2.9 สรุปผล

**ตารางที่ ก.75** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 1 (L01)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.969	25	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	5.000
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.940	7	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	13.000
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.475	25	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	5.000
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.427	7	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	13.000
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.437	3	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	17.000
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.903	1	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	19.000
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	2.017	4	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	16.000
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.446	15	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	20.000	5.000

**ตารางที่ ก.76** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 2 (L02)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.780	7	25	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	8.260
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.684	15	7	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	4.643
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.261	7	25	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	8.260
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.368	15	7	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	4.643
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.342	8	3	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	11.264
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.881	1	1	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	17.442
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.950	8	4	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	10.499
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.307	7	15	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	13.333	4.643

**ตารางที่ ก.77** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 3 (L03)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.688	11	7	14	8	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	2.739	
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.419	13	15	7	5	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.123	
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.174	7	7	18	8	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.637	
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.309	14	15	7	4	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.637	
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.257	7	8	3	22	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	7.176	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.855	15	1	1	23	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	9.434	
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.892	7	8	4	21	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	6.519	
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.214	13	7	15	5	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.123	

**ตารางที่ ก.78** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 4 (L04)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.473	7	11	7	7	8	-	-	-	-	-	-	40	8.000	1.549	
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.352	1	13	15	7	4	-	-	-	-	-	-	40	8.000	5.292	
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.990	4	7	7	14	8	-	-	-	-	-	-	40	8.000	3.286	
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.296	1	14	15	7	3	-	-	-	-	-	-	40	8.000	5.657	
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.180	9	7	8	3	13	-	-	-	-	-	-	40	8.000	3.225	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.816	1	15	1	1	22	-	-	-	-	-	-	40	8.000	8.854	
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.829	7	7	8	4	14	-	-	-	-	-	-	40	8.000	3.286	
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.201	13	7	15	5	-	-	-	-	-	-	-	40	10.000	4.123	

**ตารางที่ ก.79** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 5 (L05)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.314	4	7	11	7	3	8	-	-	-	-	-	40	6.667	2.625	
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.266	3	1	15	7	10	4	-	-	-	-	-	40	6.667	4.714	
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.874	7	4	7	7	7	8	-	-	-	-	-	40	6.667	1.247	
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.281	7	1	14	7	8	3	-	-	-	-	-	40	6.667	4.110	
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.143	9	7	8	3	13	-	-	-	-	-	-	40	8.000	3.225	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.802	1	15	1	1	22	-	-	-	-	-	-	40	8.000	8.854	
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.747	7	7	7	8	4	7	-	-	-	-	-	40	6.667	1.247	
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.168	2	2	13	15	3	5	-	-	-	-	-	40	6.667	5.312	

**ตารางที่ ก.80** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 6 (L06)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.269	1	4	7	11	7	7	3	-	-	-	-	40	5.714	3.057	
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.197	1	3	1	15	7	9	4	-	-	-	-	40	5.714	4.682	
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.726	1	7	4	7	7	7	7	-	-	-	-	40	5.714	2.185	
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.265	1	7	1	14	7	7	3	-	-	-	-	40	5.714	4.233	
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.124	1	1	9	3	6	7	13	-	-	-	-	40	5.714	4.096	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.790	1	7	1	1	1	7	22	-	-	-	-	40	5.714	7.146	
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.701	4	7	7	7	4	4	7	-	-	-	-	40	5.714	1.485	
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.134	1	2	2	13	15	4	3	-	-	-	-	40	5.714	5.338	

**ตารางที่ ก.81** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 7 (L07)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.099	4	1	4	7	7	7	7	3	-	-	-	40	5.000	2.179	
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.177	1	3	1	15	7	9	4	-	-	-	-	40	5.714	4.682	
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.540	2	1	7	4	7	7	5	7	-	-	-	40	5.000	2.291	
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.232	2	1	7	1	7	12	7	3	-	-	-	40	5.000	3.640	
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.103	1	1	1	9	2	6	7	13	-	-	-	40	5.000	4.213	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.770	2	1	7	1	1	1	20	7	-	-	-	40	5.000	6.185	
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.697	2	4	7	7	7	4	5	4	-	-	-	40	5.000	1.732	
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.132	1	2	2	13	15	4	3	-	-	-	-	40	5.714	5.338	

**ตารางที่ ก.82** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 8 (L08)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	1.946	4	4	1	4	7	7	3	7	3	-	-	-	40	4.444	2.006
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.172	2	2	1	3	1	15	3	9	4	-	-	-	40	4.444	4.374
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.492	1	2	1	7	4	7	7	6	5	-	-	-	40	4.444	2.409
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.199	1	2	1	7	1	7	11	7	3	-	-	-	40	4.444	3.435
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.085	6	1	1	1	9	7	2	6	7	-	-	-	40	4.444	2.986
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.762	2	1	7	1	1	1	20	7	-	-	-	-	40	5.000	6.185
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.665	2	2	4	7	7	4	5	5	4	-	-	-	40	4.444	1.707
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.123	2	2	1	2	2	13	11	4	3	-	-	-	40	4.444	4.140

**ตารางที่ ก.83** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 9 (L09)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	1.844	2	4	4	1	4	7	5	3	7	3	-	-	40	4.000	1.844
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.162	1	2	2	1	1	15	2	3	9	4	-	-	40	4.000	4.313
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.473	3	1	2	1	7	4	7	7	2	6	-	-	40	4.000	2.408
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.155	1	1	2	1	7	1	7	2	11	7	-	-	40	4.000	3.464
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.055	1	6	1	1	1	9	6	7	2	6	-	-	40	4.000	2.933
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.756	1	1	2	1	7	1	1	1	18	7	-	-	40	4.000	5.215
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.628	2	2	2	4	7	4	5	5	5	4	-	-	40	4.000	1.549
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.111	1	2	2	1	2	2	12	11	4	3	-	-	40	4.000	3.847

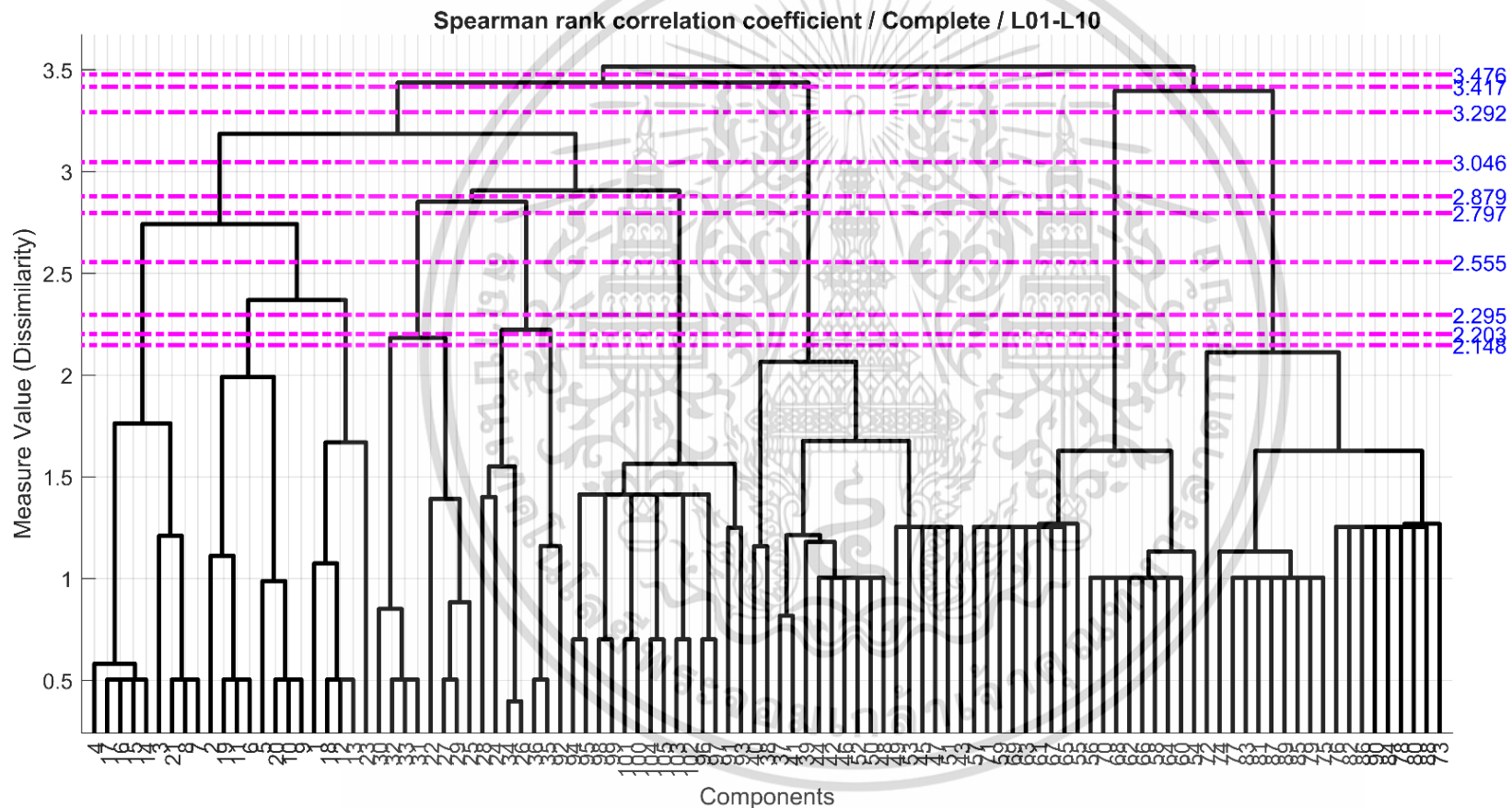
**ตารางที่ ก.84** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 10 (L10)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	1.758	2	2	4	4	1	4	7	5	5	3	3	-	40	3.636	1.611
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.150	3	1	2	2	1	1	15	6	2	3	4	-	40	3.636	3.868
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.436	1	3	1	2	1	7	4	7	6	2	6	-	40	3.636	2.346
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.100	1	1	1	1	7	1	7	1	2	11	7	-	40	3.636	3.471
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.029	2	1	6	1	1	1	9	5	6	2	6	-	40	3.636	2.706
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.750	1	1	2	1	7	1	1	1	18	7	-	-	40	4.000	5.215
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.584	3	2	2	2	4	7	4	2	5	5	4	-	40	3.636	1.553
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.106	4	1	2	2	1	2	2	8	11	4	3	-	40	3.636	2.993

### 3. การศึกษาวิธีการสร้างโมดูลเครื่องจักร: กรณีศึกษาที่ 3 ชุดส่งกำลังเครื่องพิมพ์อุตสาหกรรม (Industrial Printer Powertrain Set)

#### 3.1 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SDC

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Dissimilarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.17 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.85 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	3.476	37	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	15.500
Level 2 (L02)	3.417	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
Level 3 (L03)	3.292	18	17	19	51	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	14.307
Level 4 (L04)	3.046	22	18	17	29	19	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	4.336
Level 5 (L05)	2.879	14	22	18	17	15	19	-	-	-	-	-	-	105	17.500	2.630
Level 6 (L06)	2.797	8	14	22	18	17	7	19	-	-	-	-	-	105	15.000	5.237
Level 7 (L07)	2.555	9	8	14	18	17	13	7	19	-	-	-	-	105	13.125	4.400
Level 8 (L08)	2.295	5	9	8	14	18	17	8	7	19	-	-	-	105	11.667	5.033
Level 9 (L09)	2.203	3	5	9	8	14	18	17	4	8	19	-	-	105	10.500	5.714
Level 10 (L10)	2.148	4	3	5	9	14	18	17	4	4	8	19	-	105	9.545	5.990

ตารางที่ ก.86 ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																						
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_l$	RV	RV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Level 1 (L01)	2	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	2	0.589	3.996%
Level 2 (L02)	3	-	-	-	-	-	37	51	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	105	13	1.753	11.885%
Level 3 (L03)	4	-	-	-	-	-	-	51	19	17	18	-	-	-	-	-	-	-	105	27	1.889	12.806%
Level 4 (L04)	5	-	-	-	-	-	-	-	19	17	18	22	-	-	-	-	-	-	76	28	1.378	9.339%
Level 5 (L05)	6	-	-	-	-	-	-	-	19	17	18	22	14	-	-	-	-	-	90	34	1.552	10.524%
Level 6 (L06)	7	8	-	-	-	-	-	-	19	17	18	22	14	-	-	-	7	-	105	39	1.751	11.872%
Level 7 (L07)	8	8	-	-	-	-	-	-	19	17	18	-	14	9	-	-	7	-	92	40	1.467	9.942%
Level 8 (L08)	9	8	8	-	-	-	-	-	19	17	18	-	14	9	5	-	7	-	105	45	1.497	10.148%
Level 9 (L09)	10	8	8	4	-	-	-	-	19	17	18	-	14	9	5	3	-	-	105	47	1.456	9.868%
Level 10 (L10)	11	8	-	4	4	4	-	-	19	17	18	-	14	9	5	3	-	-	105	47	1.419	9.621%
Number of Repeating (l)	5	2	2	1	1	2	2	8	9	8	3	6	4	3	2	3	-	-	-	-	-	-

**ตารางที่ ก.87** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

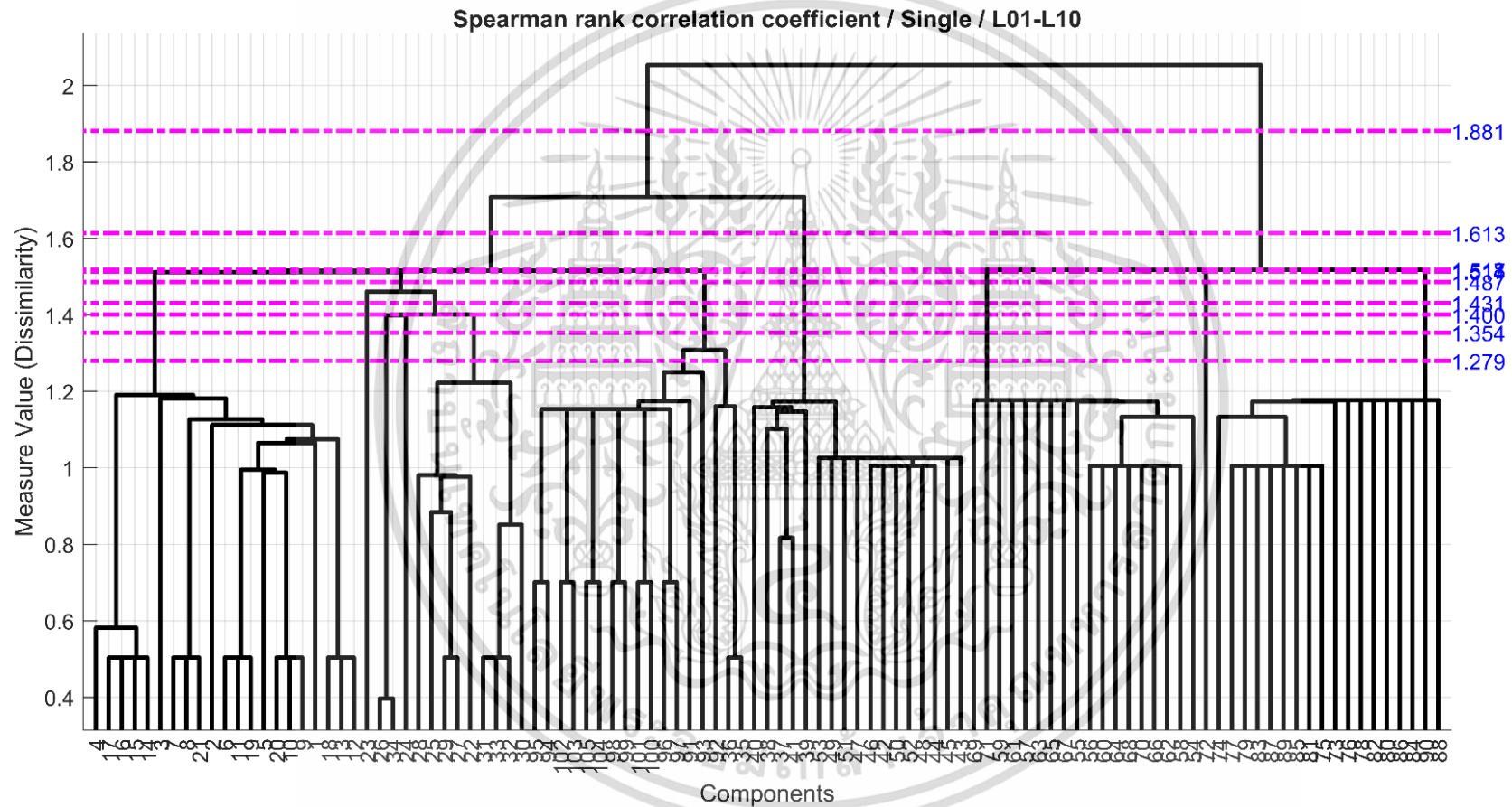
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.439	6.851%
Level 2 (L02)	3	0.495	7.722%
Level 3 (L03)	4	0.622	9.712%
Level 4 (L04)	5	0.689	10.759%
Level 5 (L05)	6	0.705	11.000%
Level 6 (L06)	7	0.709	11.066%
Level 7 (L07)	8	0.695	10.847%
Level 8 (L08)	9	0.702	10.951%
Level 9 (L09)	10	0.676	10.554%
Level 10 (L10)	11	0.675	10.537%

**ตารางที่ ก.88** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	4	L03	1.889	12.806%
New-B	2	Silhouette Method	7	L06	0.709	11.066%

### 3.2 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SDS

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Dissimilarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.18 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.89 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	1.881	37	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	15.500
Level 2 (L02)	1.613	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
Level 3 (L03)	1.518	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
Level 4 (L04)	1.517	1	18	17	18	51	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	16.334
Level 5 (L05)	1.514	17	1	18	17	34	18	-	-	-	-	-	-	105	17.500	9.535
Level 6 (L06)	1.487	21	17	1	18	17	13	18	-	-	-	-	-	105	15.000	6.118
Level 7 (L07)	1.431	1	21	17	1	18	17	12	18	-	-	-	-	105	13.125	7.373
Level 8 (L08)	1.400	9	1	21	17	1	18	17	3	18	-	-	-	105	11.667	7.703
Level 9 (L09)	1.354	1	9	1	21	17	1	18	17	2	18	-	-	105	10.500	8.078
Level 10 (L10)	1.279	3	1	9	1	21	1	18	17	14	2	18	-	105	9.545	7.797

ตารางที่ ก.90 ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																							
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
Level 1 (L01)	2	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	3	0.384	4.139%
Level 2 (L02)	3	17	-	-	-	-	-	-	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	15	0.988	10.650%
Level 3 (L03)	3	17	-	-	-	-	-	-	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	15	0.929	10.021%
Level 4 (L04)	5	17	-	18	18	1	-	-	-	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	33	1.068	11.515%
Level 5 (L05)	6	17	17	18	18	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71	35	0.819	8.827%
Level 6 (L06)	7	17	17	18	18	1	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	92	40	1.001	10.795%
Level 7 (L07)	8	17	17	18	18	1	1	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	93	44	1.000	10.787%
Level 8 (L08)	9	17	17	18	18	1	1	-	-	-	21	9	-	3	-	-	-	-	-	105	49	1.100	11.863%
Level 9 (L09)	10	17	17	18	18	1	1	1	-	-	21	9	2	-	-	-	-	-	-	105	51	1.077	11.618%
Level 10 (L10)	11	17	-	18	18	1	1	1	-	-	21	9	2	3	-	-	-	-	-	91	48	0.907	9.783%
Number of Repeating (l)	9	5	7	7	7	4	2	3	3	5	3	2	2	-	-	-	-	-	-				

**ตารางที่ ก.91** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

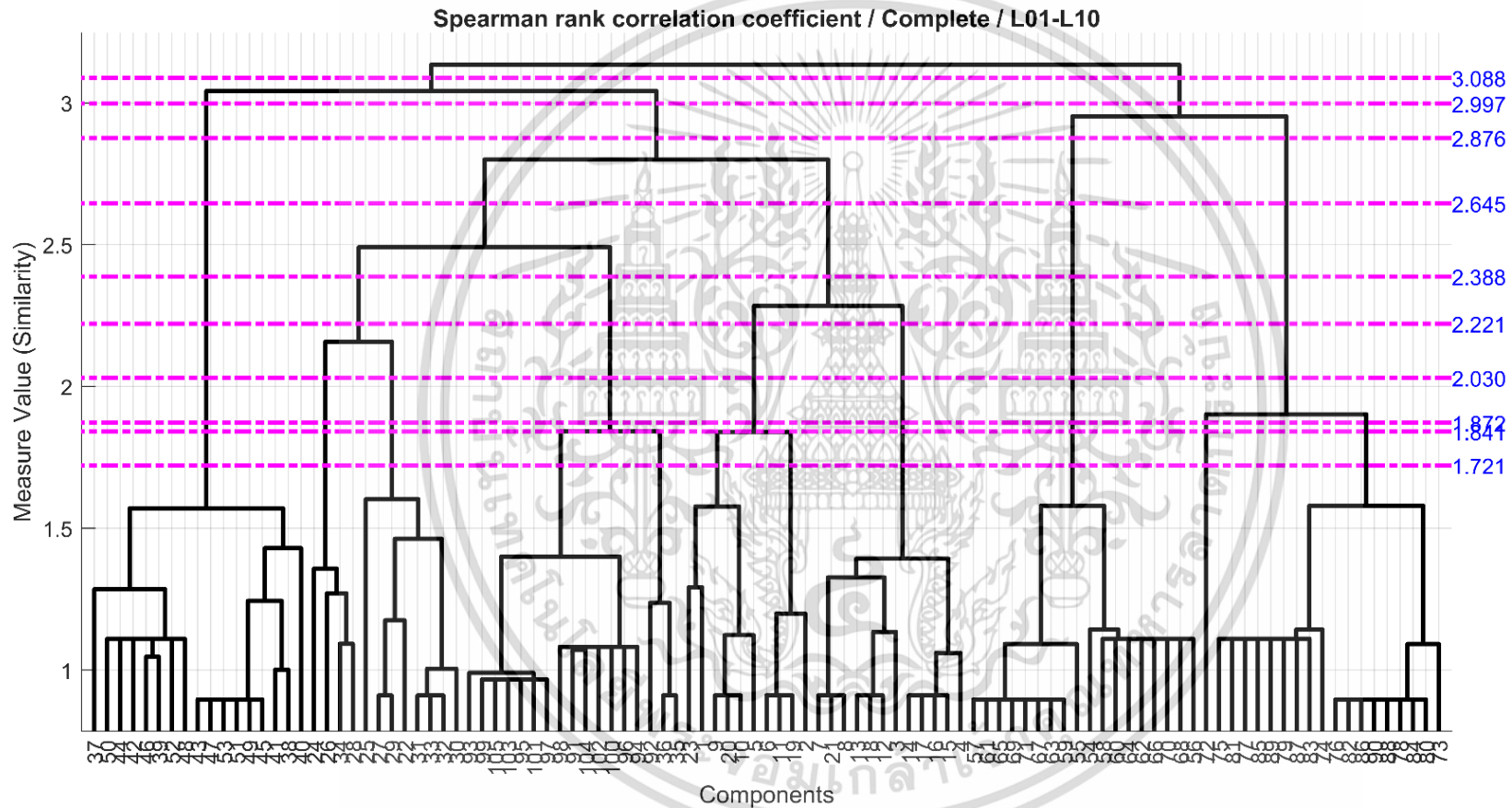
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.439	8.052%
Level 2 (L02)	3	0.495	9.075%
Level 3 (L03)	3	0.495	9.075%
Level 4 (L04)	5	0.543	9.957%
Level 5 (L05)	6	0.612	11.223%
Level 6 (L06)	7	0.644	11.811%
Level 7 (L07)	8	0.548	10.058%
Level 8 (L08)	9	0.558	10.241%
Level 9 (L09)	10	0.562	10.305%
Level 10 (L10)	11	0.556	10.202%

**ตารางที่ ก.92** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	9	L08	1.100	11.863%
New-B	2	Silhouette Method	7	L06	0.644	11.811%

### 3.3 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SSC

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Similarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.19 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.93 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล														SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size																
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12					
Level 1 (L01)	3.088	37	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	15.500	
Level 2 (L02)	2.997	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952	
Level 3 (L03)	2.876	18	17	19	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	14.307	
Level 4 (L04)	2.645	22	18	17	29	19	-	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	4.336	
Level 5 (L05)	2.388	17	22	18	17	12	19	-	-	-	-	-	-	-	105	17.500	2.986	
Level 6 (L06)	2.221	12	17	18	17	10	12	19	-	-	-	-	-	-	105	15.000	3.295	
Level 7 (L07)	2.030	4	12	17	18	17	8	10	19	-	-	-	-	-	105	13.125	5.110	
Level 8 (L08)	1.872	1	4	12	17	18	17	18	8	10	-	-	-	-	105	11.667	6.018	
Level 9 (L09)	1.841	3	1	4	12	18	17	14	18	8	10	-	-	-	105	10.500	6.037	
Level 10 (L10)	1.721	4	3	1	4	12	18	17	6	14	18	8	-	-	105	9.545	6.155	

ตารางที่ ก.94 ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																						
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_l$	RV	RV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Level 1 (L01)	2	-	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	37	2	0.451	4.213%
Level 2 (L02)	3	17	-	-	-	-	-	-	-	37	51	-	-	-	-	-	-	-	105	13	1.325	12.371%
Level 3 (L03)	4	17	-	18	-	-	-	-	-	-	51	19	-	-	-	-	-	-	105	24	1.390	12.978%
Level 4 (L04)	5	17	-	18	-	-	-	-	-	-	-	19	22	-	-	-	-	-	76	24	0.991	9.252%
Level 5 (L05)	6	17	17	18	-	12	-	-	-	-	-	19	22	-	-	-	-	-	105	34	1.243	11.608%
Level 6 (L06)	7	17	17	18	-	12	12	-	-	-	-	19	-	10	-	-	-	-	105	37	1.181	11.031%
Level 7 (L07)	8	17	17	18	-	12	-	4	-	-	-	19	-	10	8	-	-	-	105	44	1.133	10.578%
Level 8 (L08)	9	17	17	18	18	12	-	4	-	-	-	-	-	10	8	-	1	-	105	45	1.052	9.822%
Level 9 (L09)	10	17	-	18	18	12	-	4	-	-	-	-	-	10	8	3	1	14	105	45	1.034	9.659%
Level 10 (L10)	11	17	-	18	18	12	-	4	4	-	-	-	-	-	8	3	1	14	99	42	0.909	8.489%
Number of Repeating (l)	9	4	8	3	6	1	4	1	2	2	5	2	4	4	2	3	2					

**ตารางที่ ก.95** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

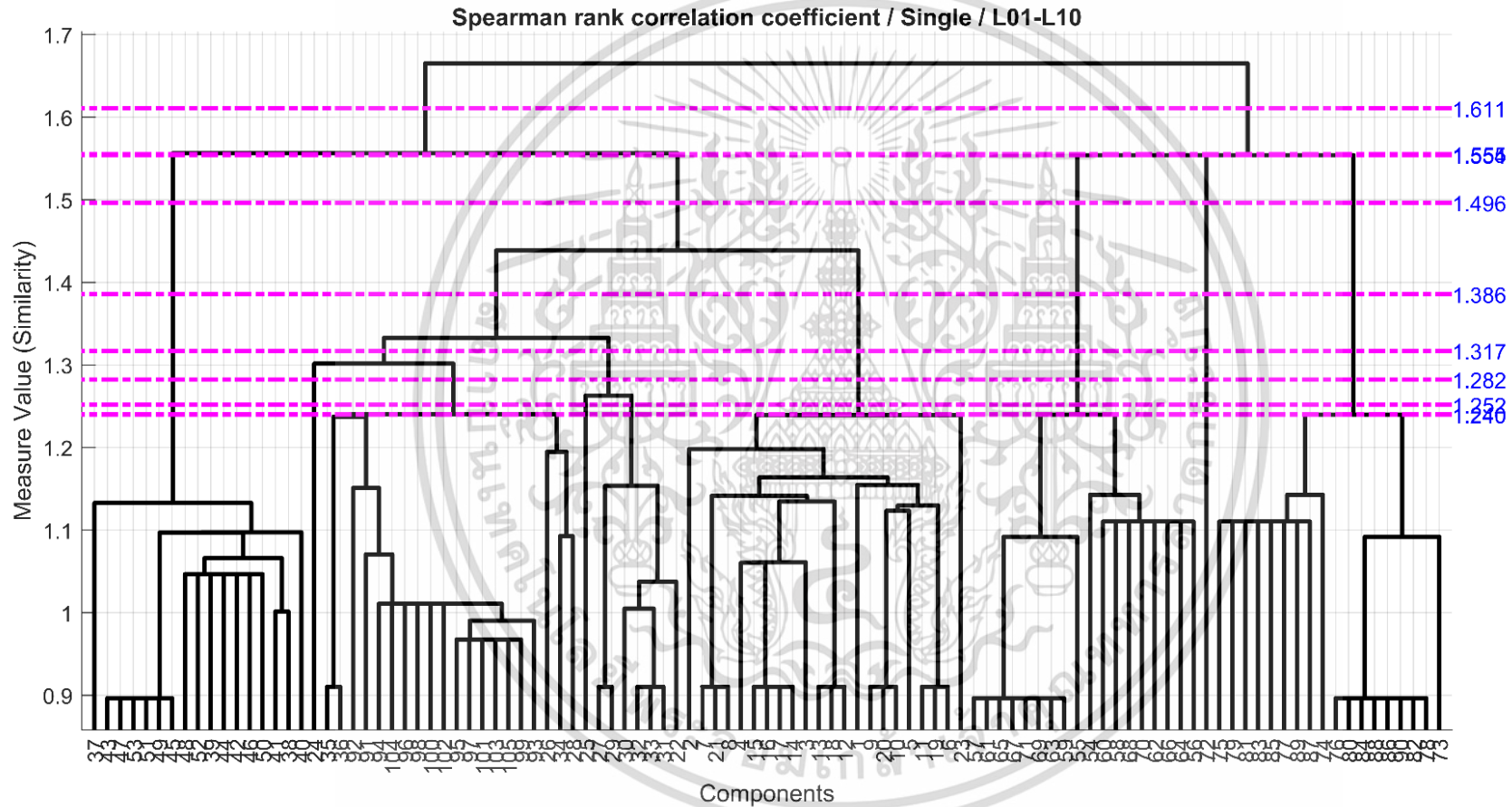
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.470	7.760%
Level 2 (L02)	3	0.513	8.475%
Level 3 (L03)	4	0.635	10.504%
Level 4 (L04)	5	0.685	11.318%
Level 5 (L05)	6	0.702	11.603%
Level 6 (L06)	7	0.686	11.346%
Level 7 (L07)	8	0.663	10.955%
Level 8 (L08)	9	0.589	9.733%
Level 9 (L09)	10	0.566	9.363%
Level 10 (L10)	11	0.541	8.943%

**ตารางที่ ก.96** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	4	L03	1.390	12.978%
New-B	2	Silhouette Method	4	L03	0.635	10.504%

3.4 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ SSS

3D-Models → Assembly of Component → Spearman → Similarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.20 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.97 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	1.611	37	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	15.500
Level 2 (L02)	1.555	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
Level 3 (L03)	1.554	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
Level 4 (L04)	1.496	1	18	17	18	51	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	16.334
Level 5 (L05)	1.386	22	1	18	17	29	18	-	-	-	-	-	-	105	17.500	8.421
Level 6 (L06)	1.317	8	22	1	18	17	21	18	-	-	-	-	-	105	15.000	7.091
Level 7 (L07)	1.282	1	8	22	1	18	17	20	18	-	-	-	-	105	13.125	7.976
Level 8 (L08)	1.252	1	1	22	1	18	17	7	20	18	-	-	-	105	11.667	8.485
Level 9 (L09)	1.240	3	1	1	22	1	18	17	17	7	18	-	-	105	10.500	8.176
Level 10 (L10)	1.240	3	1	1	22	1	18	17	17	7	18	-	-	105	10.500	8.176



**ตารางที่ ก.99** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

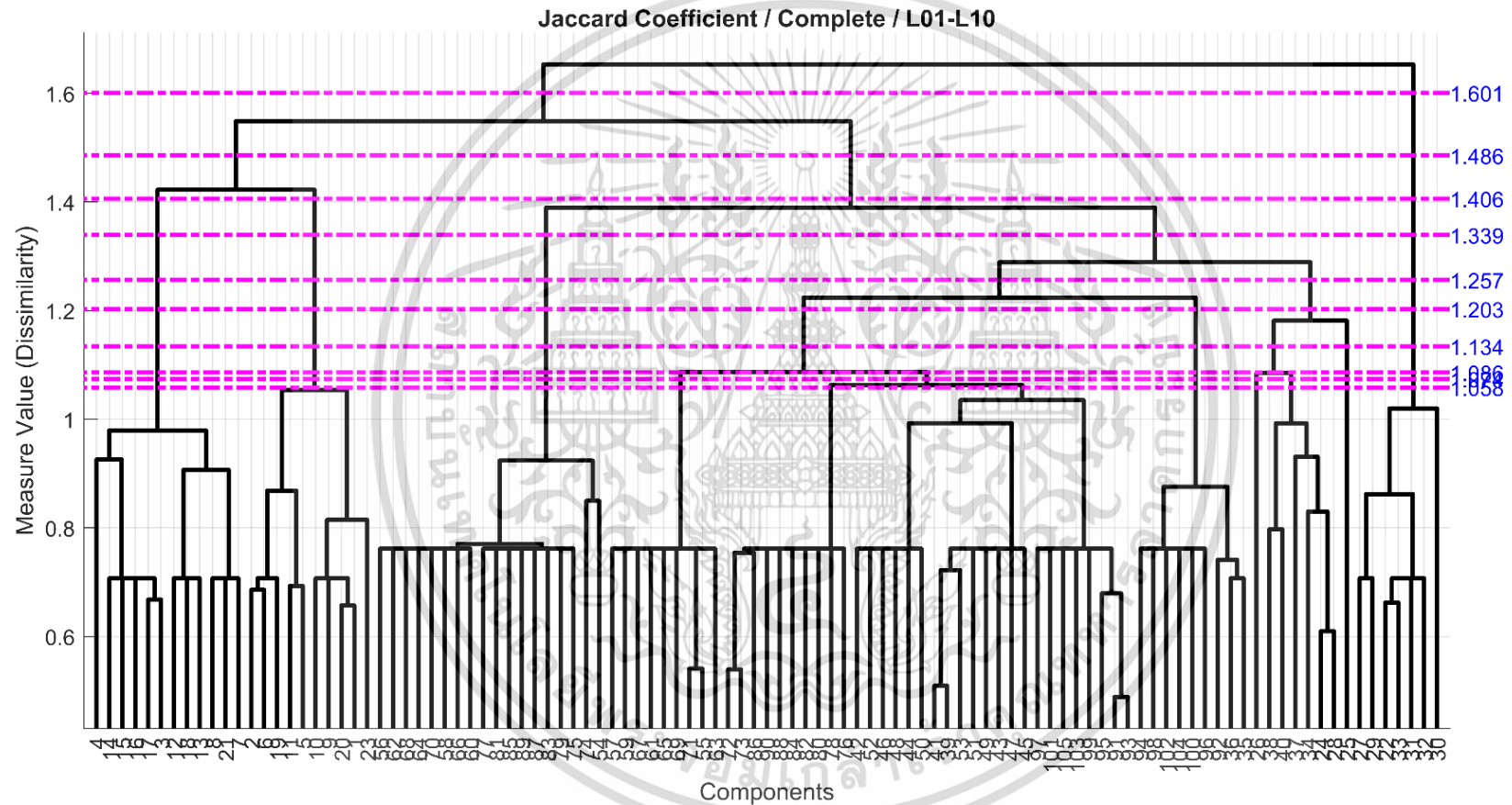
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.470	8.597%
Level 2 (L02)	3	0.513	9.389%
Level 3 (L03)	3	0.513	9.389%
Level 4 (L04)	5	0.535	9.790%
Level 5 (L05)	6	0.586	10.734%
Level 6 (L06)	7	0.570	10.433%
Level 7 (L07)	8	0.566	10.368%
Level 8 (L08)	9	0.547	10.009%
Level 9 (L09)	10	0.581	10.646%
Level 10 (L10)	10	0.581	10.646%

**ตารางที่ ก.100** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	5	L04	0.934	11.958%
New-B	2	Silhouette Method	6	L05	0.586	10.734%

### 3.5 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JDC

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Dissimilarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.21 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

**ตารางที่ ก.101** ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	1.601	7	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	45.500
Level 2 (L02)	1.486	76	7	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	29.631
Level 3 (L03)	1.406	12	76	7	10	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	28.778
Level 4 (L04)	1.339	18	12	7	58	10	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	18.847
Level 5 (L05)	1.257	8	18	12	7	50	10	-	-	-	-	-	-	105	17.500	14.964
Level 6 (L06)	1.203	9	8	18	12	7	41	10	-	-	-	-	-	105	15.000	11.136
Level 7 (L07)	1.134	1	9	18	12	7	7	41	10	-	-	-	-	105	13.125	11.461
Level 8 (L08)	1.086	9	1	9	18	12	7	32	7	10	-	-	-	105	11.667	8.353
Level 9 (L09)	1.074	1	9	1	9	18	12	7	6	32	10	-	-	105	10.500	8.594
Level 10 (L10)	1.058	10	1	9	1	9	18	12	7	22	6	10	-	105	9.545	6.021

ตารางที่ ก.102 ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																							
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
Level 1 (L01)	2	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	10	0.094	1.867%
Level 2 (L02)	3	7	-	-	-	-	-	-	-	76	-	-	-	-	-	-	-	-	22	105	13	0.602	12.025%
Level 3 (L03)	4	7	-	10	-	-	-	-	-	76	12	-	-	-	-	-	-	-	-	105	28	0.643	12.828%
Level 4 (L04)	5	7	-	10	-	-	-	-	-	-	12	-	18	-	-	-	-	-	-	47	33	0.368	7.350%
Level 5 (L05)	6	7	-	10	-	-	-	-	-	-	12	-	18	-	8	-	-	-	-	55	35	0.389	7.758%
Level 6 (L06)	7	7	-	10	-	-	-	9	-	-	12	-	18	41	8	-	-	-	-	105	42	0.608	12.128%
Level 7 (L07)	8	7	7	10	-	1	-	9	-	-	12	-	18	41	-	-	-	-	-	105	46	0.589	11.749%
Level 8 (L08)	9	7	7	10	-	1	-	9	9	-	12	-	18	-	-	32	-	-	-	105	49	0.575	11.474%
Level 9 (L09)	10	7	-	10	-	1	1	9	9	-	12	6	18	-	-	32	-	-	-	105	51	0.576	11.495%
Level 10 (L10)	11	7	-	10	10	1	1	9	9	-	12	6	18	-	-	-	22	-	-	105	51	0.567	11.326%
Number of Repeating (l)	10	2	8	1	4	2	5	3	5	3	5	3	5	3	5	1	1						

**ตารางที่ ก.103** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

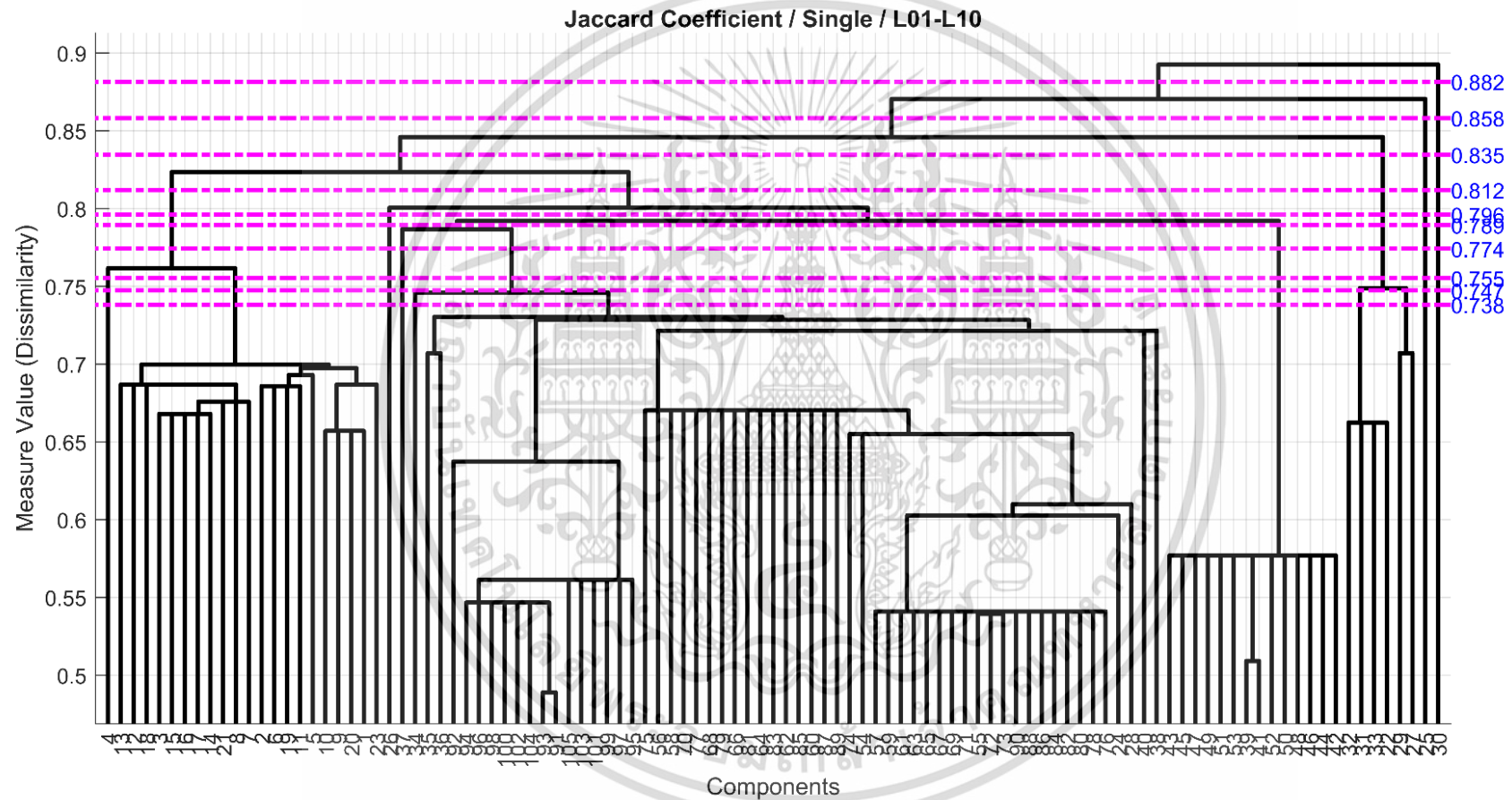
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.289	6.761%
Level 2 (L02)	3	0.501	11.719%
Level 3 (L03)	4	0.458	10.707%
Level 4 (L04)	5	0.498	11.646%
Level 5 (L05)	6	0.451	10.564%
Level 6 (L06)	7	0.426	9.975%
Level 7 (L07)	8	0.406	9.506%
Level 8 (L08)	9	0.403	9.431%
Level 9 (L09)	10	0.387	9.055%
Level 10 (L10)	11	0.455	10.637%

**ตารางที่ ก.104** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	4	L03	0.643	12.828%
New-B	2	Silhouette Method	3	L02	0.501	11.719%

### 3.6 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JDS

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Dissimilarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.22 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.105 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Dissimilarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	0.882	1	104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	51.500
Level 2 (L02)	0.858	1	1	103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	48.083
Level 3 (L03)	0.835	6	1	1	97	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	40.899
Level 4 (L04)	0.812	22	6	1	1	75	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	28.078
Level 5 (L05)	0.796	1	22	6	1	1	74	-	-	-	-	-	-	105	17.500	26.336
Level 6 (L06)	0.789	14	1	22	6	1	1	60	-	-	-	-	-	105	15.000	19.799
Level 7 (L07)	0.774	1	14	1	22	6	1	1	59	-	-	-	-	105	13.125	18.785
Level 8 (L08)	0.755	1	1	14	1	6	1	1	21	59	-	-	-	105	11.667	18.055
Level 9 (L09)	0.747	4	1	1	14	1	1	1	2	21	59	-	-	105	10.500	17.437
Level 10 (L10)	0.738	1	4	1	1	14	1	1	1	58	2	21	-	105	9.545	16.582

ตารางที่ ก.106 ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

การเกิดซ้ำของโมดูล (Repeating Method)																							
k	Repeating Size of Module (i)																		$r_i$	$r_i$	RV	RV (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
Level 1 (L01)	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	10	0.073	1.521%
Level 2 (L02)	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	19	0.136	2.827%
Level 3 (L03)	4	1	1	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	25	0.207	4.320%
Level 4 (L04)	5	1	1	-	-	-	6	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	29	0.360	7.513%
Level 5 (L05)	6	1	1	1	-	-	6	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	35	0.395	8.243%
Level 6 (L06)	7	1	1	1	-	-	6	22	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	40	0.504	10.524%
Level 7 (L07)	8	1	1	1	1	-	6	22	14	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	47	0.885	18.458%
Level 8 (L08)	9	1	1	1	1	1	6	-	14	59	21	-	-	-	-	-	-	-	-	105	49	0.875	18.242%
Level 9 (L09)	10	1	1	1	1	1	-	-	14	59	21	2	4	-	-	-	-	-	-	105	47	0.854	17.817%
Level 10 (L10)	11	1	1	1	1	1	-	-	14	-	21	2	4	-	-	-	-	-	-	46	45	0.505	10.535%
Number of Repeating (l)	10	9	6	4	3	6	4	5	3	3	2	2	-	-	-	-	-	-	-				

**ตารางที่ ก.107** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

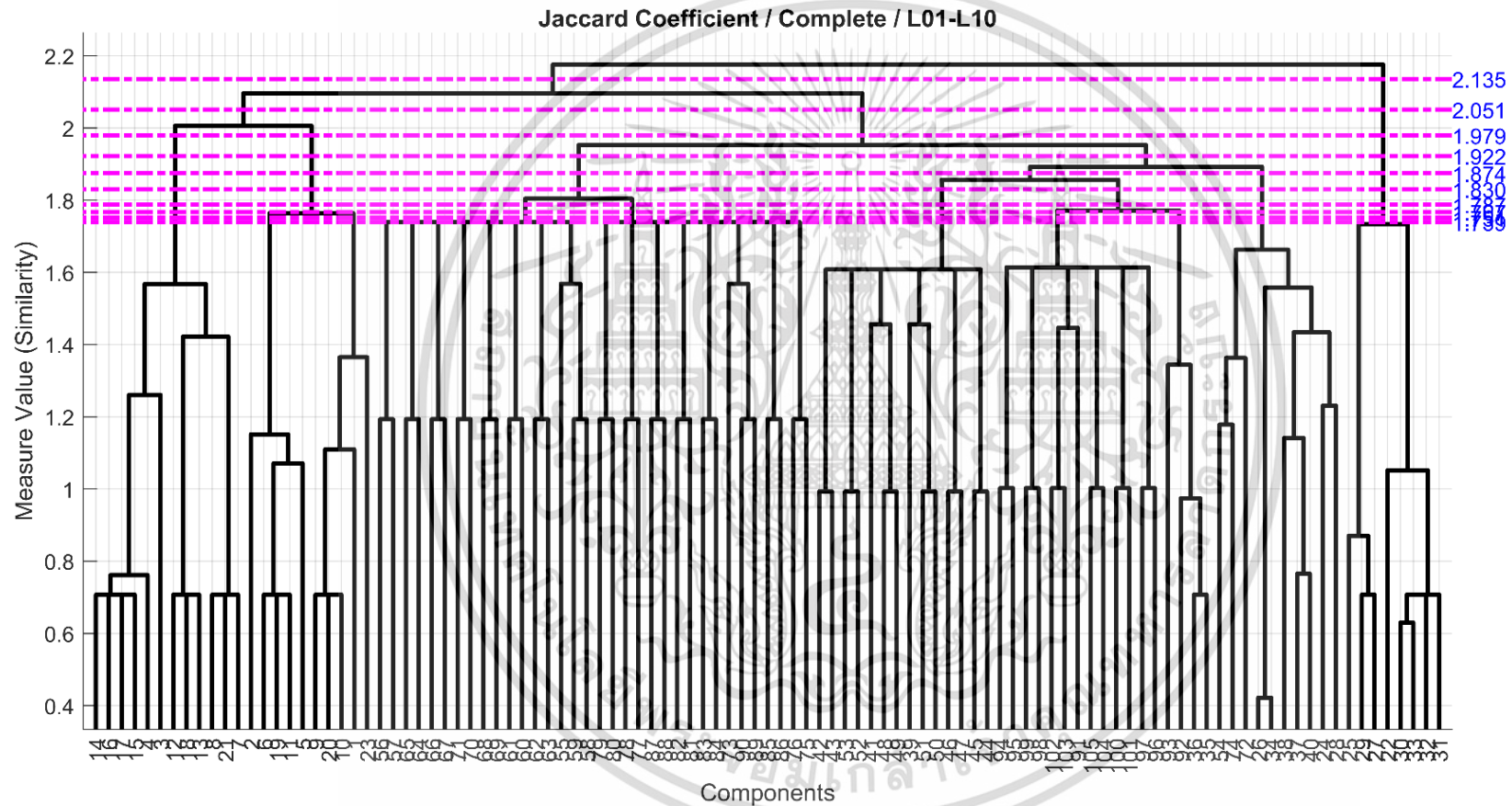
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.434	18.875%
Level 2 (L02)	3	0.088	3.838%
Level 3 (L03)	4	0.157	6.803%
Level 4 (L04)	5	0.394	17.108%
Level 5 (L05)	6	0.270	11.730%
Level 6 (L06)	7	0.219	9.506%
Level 7 (L07)	8	0.237	10.295%
Level 8 (L08)	9	0.153	6.659%
Level 9 (L09)	10	0.168	7.303%
Level 10 (L10)	11	0.181	7.883%

**ตารางที่ ก.108** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	8	L07	0.885	18.458%
New-B	2	Silhouette Method	2	L01	2	0.434

### 3.7 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JSC

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Similarity → Complete Linkage → Modules



รูปที่ ก.23 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.109 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	2.135	8	97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	44.500
Level 2 (L02)	2.051	75	8	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	28.856
Level 3 (L03)	1.979	12	75	8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	28.181
Level 4 (L04)	1.922	34	12	8	41	10	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	13.711
Level 5 (L05)	1.874	10	34	12	8	31	10	-	-	-	-	-	-	105	17.500	10.704
Level 6 (L06)	1.830	14	10	34	12	8	17	10	-	-	-	-	-	105	15.000	8.229
Level 7 (L07)	1.787	17	14	10	12	8	17	17	10	-	-	-	-	105	13.125	3.407
Level 8 (L08)	1.767	4	17	14	10	12	8	13	17	10	-	-	-	105	11.667	3.972
Level 9 (L09)	1.751	5	4	17	14	10	12	8	5	13	17	-	-	105	10.500	4.631
Level 10 (L10)	1.739	5	4	17	14	10	12	8	5	13	17	-	-	105	10.500	4.631



**ตารางที่ ก.111** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

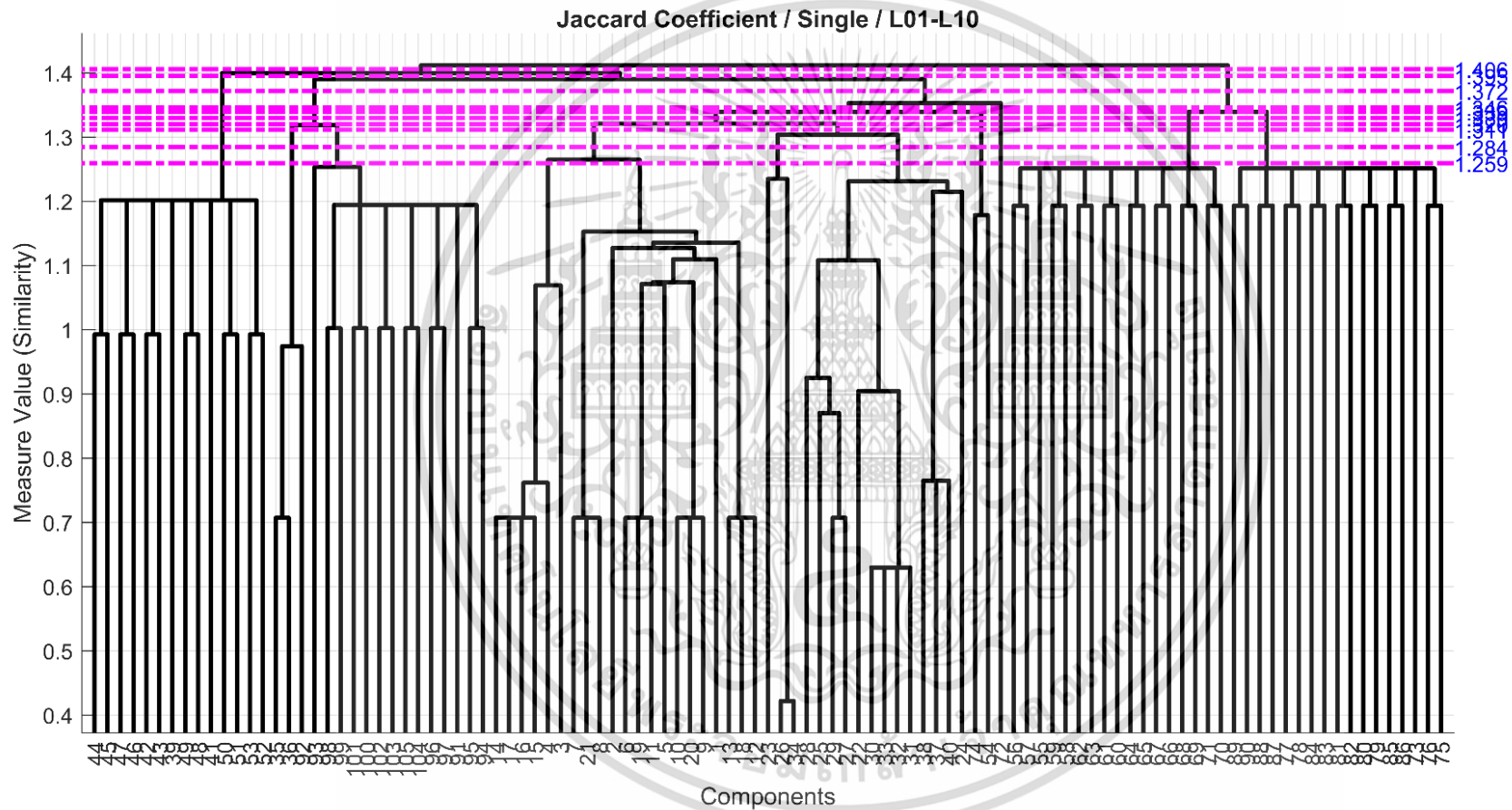
พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.296	8.006%
Level 2 (L02)	3	0.432	11.664%
Level 3 (L03)	4	0.416	11.239%
Level 4 (L04)	5	0.364	9.831%
Level 5 (L05)	6	0.364	9.831%
Level 6 (L06)	7	0.402	10.869%
Level 7 (L07)	8	0.386	10.438%
Level 8 (L08)	9	0.353	9.544%
Level 9 (L09)	10	0.344	9.288%
Level 10 (L10)	10	0.344	9.288%

**ตารางที่ ก.112** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	9	L10	1.137	12.285%
New-B	2	Silhouette Method	3	L02	0.432	11.664%

### 3.8 ผลลัพธ์การสร้างโมดูลด้วยวิธีการ JSS

3D-Models → Assembly of Component → Jaccard → Similarity → Single Linkage → Modules



รูปที่ ก.24 ผลลัพธ์การสร้างเส้นตัดลำดับชั้นจำนวน 10 ระดับ บนแผนภาพ (Dendrogram)

ตารางที่ ก.113 ผลลัพธ์ที่ได้จากระดับชั้นต่าง ๆ บนแผนภาพ (Dendrogram)

	Similarity	ผลลัพธ์การสร้างโมดูล												SUM.	Avg.	S.D.
		Modules Size														
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12			
Level 1 (L01)	1.406	34	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	18.500
Level 2 (L02)	1.395	14	34	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	17.569
Level 3 (L03)	1.372	17	14	34	40	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	11.009
Level 4 (L04)	1.346	1	17	14	34	39	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	13.842
Level 5 (L05)	1.339	17	1	17	14	17	39	-	-	-	-	-	-	105	17.500	11.162
Level 6 (L06)	1.330	2	17	1	17	14	37	17	-	-	-	-	-	105	15.000	11.097
Level 7 (L07)	1.320	21	2	17	1	17	14	16	17	-	-	-	-	105	13.125	6.954
Level 8 (L08)	1.311	3	21	2	17	1	14	14	16	17	-	-	-	105	11.667	7.118
Level 9 (L09)	1.284	13	3	21	2	17	1	14	3	14	17	-	-	105	10.500	7.075
Level 10 (L10)	1.259	6	13	3	2	17	1	14	15	3	14	17	-	105	9.545	6.184



**ตารางที่ ก.115** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการจัดเนื้อหาและอัตราการศึกษาของอิเล็กทรอนิกส์

พิจารณาจำนวนโมดูลของเครื่องจักรจากค่าความสอดคล้อง (Silhouette Coefficients)			
Levels	k	Silhouette Coefficients	%
Level 1 (L01)	2	0.184	8.987%
Level 2 (L02)	3	0.119	5.824%
Level 3 (L03)	4	0.224	10.923%
Level 4 (L04)	5	0.131	6.375%
Level 5 (L05)	6	0.180	8.789%
Level 6 (L06)	7	0.170	8.278%
Level 7 (L07)	8	0.268	13.076%
Level 8 (L08)	9	0.244	11.928%
Level 9 (L09)	10	0.264	12.869%
Level 10 (L10)	11	0.265	12.950%

**ตารางที่ ก.116** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการจัดเนื้อหาและอัตราการศึกษาของอิเล็กทรอนิกส์

Selecting Number of Modules (k)						
	NO.	Method	k	Laves	Values	%
New-A	1	Repeating Method	9	L08	0.938	13.036%
New-B	2	Silhouette Method	8	L07	0.268	13.076%

## 3.9 สรุปผล

**ตารางที่ ก.117** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 1 (L01)												SUM.	Avg.	S.D.	
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	3.476	37	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	15.500
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.881	37	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	15.500
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	3.088	37	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	15.500
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.611	37	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	15.500
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.601	7	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	45.500
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.882	1	104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	51.500
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	2.135	8	97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	44.500
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.406	34	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	52.500	18.500

**ตารางที่ ก.118** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 2 (L02)												SUM.	Avg.	S.D.	
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	3.417	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.613	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.997	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.555	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.486	76	7	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	29.631
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.858	1	1	103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	48.083
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	2.051	75	8	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	28.856
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.395	14	34	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	17.569

**ตารางที่ ก.119** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 3 (L03)												SUM.	Avg.	S.D.	
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	3.292	18	17	19	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	14.307
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.518	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.876	18	17	19	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	14.307
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.554	17	37	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	35.000	13.952
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.406	12	76	7	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	28.778
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.835	6	1	1	97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	40.899
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.979	12	75	8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	28.181
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.372	17	14	34	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	26.250	11.009

**ตารางที่ ก.120** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 4 (L04)												SUM.	Avg.	S.D.	
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	3.046	22	18	17	29	19	-	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	4.336
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.517	1	18	17	18	51	-	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	16.334
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.645	22	18	17	29	19	-	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	4.336
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.496	1	18	17	18	51	-	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	16.334
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.339	18	12	7	58	10	-	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	18.847
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.812	22	6	1	1	75	-	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	28.078
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.922	34	12	8	41	10	-	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	13.711
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.346	1	17	14	34	39	-	-	-	-	-	-	-	-	105	21.000	13.842

**ตารางที่ ก.121** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 5 (L05)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.879	14	22	18	17	15	19	-	-	-	-	-	-	105	17.500	2.630
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.514	17	1	18	17	34	18	-	-	-	-	-	-	105	17.500	9.535
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.388	17	22	18	17	12	19	-	-	-	-	-	-	105	17.500	2.986
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.386	22	1	18	17	29	18	-	-	-	-	-	-	105	17.500	8.421
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.257	8	18	12	7	50	10	-	-	-	-	-	-	105	17.500	14.964
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.796	1	22	6	1	1	74	-	-	-	-	-	-	105	17.500	26.336
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.874	10	34	12	8	31	10	-	-	-	-	-	-	105	17.500	10.704
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.339	17	1	17	14	17	39	-	-	-	-	-	-	105	17.500	11.162

**ตารางที่ ก.122** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 6 (L06)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.797	8	14	22	18	17	7	19	-	-	-	-	-	105	15.000	5.237
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.487	21	17	1	18	17	13	18	-	-	-	-	-	105	15.000	6.118
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.221	12	17	18	17	10	12	19	-	-	-	-	-	105	15.000	3.295
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.317	8	22	1	18	17	21	18	-	-	-	-	-	105	15.000	7.091
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.203	9	8	18	12	7	41	10	-	-	-	-	-	105	15.000	11.136
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.789	14	1	22	6	1	1	60	-	-	-	-	-	105	15.000	19.799
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.830	14	10	34	12	8	17	10	-	-	-	-	-	105	15.000	8.229
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.330	2	17	1	17	14	37	17	-	-	-	-	-	105	15.000	11.097

**ตารางที่ ก.123** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 7 (L07)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.555	9	8	14	18	17	13	7	19	-	-	-	105	13.125	4.400	
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.431	1	21	17	1	18	17	12	18	-	-	-	105	13.125	7.373	
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	2.030	4	12	17	18	17	8	10	19	-	-	-	105	13.125	5.110	
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.282	1	8	22	1	18	17	20	18	-	-	-	105	13.125	7.976	
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.134	1	9	18	12	7	7	41	10	-	-	-	105	13.125	11.461	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.774	1	14	1	22	6	1	1	59	-	-	-	105	13.125	18.785	
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.787	17	14	10	12	8	17	17	10	-	-	-	105	13.125	3.407	
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.320	21	2	17	1	17	14	16	17	-	-	-	105	13.125	6.954	

**ตารางที่ ก.124** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 8 (L08)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.295	5	9	8	14	18	17	8	7	19	-	-	105	11.667	5.033	
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.400	9	1	21	17	1	18	17	3	18	-	-	105	11.667	7.703	
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.872	1	4	12	17	18	17	18	8	10	-	-	105	11.667	6.018	
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.252	1	1	22	1	18	17	7	20	18	-	-	105	11.667	8.485	
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.086	9	1	9	18	12	7	32	7	10	-	-	105	11.667	8.353	
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.755	1	1	14	1	6	1	1	21	59	-	-	105	11.667	18.055	
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.767	4	17	14	10	12	8	13	17	10	-	-	105	11.667	3.972	
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.311	3	21	2	17	1	14	14	16	17	-	-	105	11.667	7.118	

**ตารางที่ ก.125** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 9 (L09)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.203	3	5	9	8	14	18	17	4	8	19	-	-	105	10.500	5.714
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.354	1	9	1	21	17	1	18	17	2	18	-	-	105	10.500	8.078
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.841	3	1	4	12	18	17	14	18	8	10	-	-	105	10.500	6.037
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.240	3	1	1	22	1	18	17	17	7	18	-	-	105	10.500	8.176
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.074	1	9	1	9	18	12	7	6	32	10	-	-	105	10.500	8.594
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.747	4	1	1	14	1	1	1	2	21	59	-	-	105	10.500	17.437
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.751	5	4	17	14	10	12	8	5	13	17	-	-	105	10.500	4.631
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.284	13	3	21	2	17	1	14	3	14	17	-	-	105	10.500	7.075

**ตารางที่ ก.126** ผลกระทบของการปรับค่าเวลาเปิดที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กทรอนิกส์

NO.	Method		Distances	Modules of Level 10 (L10)												SUM.	Avg.	S.D.
	3D-Models → Assembly of Component			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Spearman (Dis) → Complete Linkage	SDC	2.148	4	3	5	9	14	18	17	4	4	8	19	-	105	9.545	5.990
2	Spearman (Dis) → Single linkage	SDS	1.279	3	1	9	1	21	1	18	17	14	2	18	-	105	9.545	7.797
3	Spearman (Sim) → Complete Linkage	SSC	1.721	4	3	1	4	12	18	17	6	14	18	8	-	105	9.545	6.155
4	Spearman (Sim) → Single linkage	SSS	1.240	3	1	1	22	1	18	17	17	7	18	-	-	105	10.500	8.176
5	Jaccard (Dis) → Complete Linkage	JDC	1.058	10	1	9	1	9	18	12	7	22	6	10	-	105	9.545	6.021
6	Jaccard (Dis) → Single linkage	JDS	0.738	1	4	1	1	14	1	1	1	58	2	21	-	105	9.545	16.582
7	Jaccard (Sim) → Complete Linkage	JSC	1.739	5	4	17	14	10	12	8	5	13	17	-	-	105	10.500	4.631
8	Jaccard (Sim) → Single linkage	JSS	1.259	6	13	3	2	17	1	14	15	3	14	17	-	105	9.545	6.184

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายทงศักดิ์ คงสินธุ์
วัน เดือน ปีเกิด	27 มิถุนายน 2529 ที่สุราษฎร์ธานี
ที่อยู่	50/2 หมู่ที่ 3 ตำบลทุ่งหลวง อำเภอเวียงสระ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84190
ประวัติการศึกษา	2553 อดุสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล (ออกแบบเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2558 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบเครื่องมือกลและระบบอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ประสบการณ์ทำงาน	2557 - ปัจจุบัน ตำแหน่ง อาจารย์พิเศษ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม การออกแบบและผลิตเครื่องจักรกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผลงานทางวิชาการ	T. Kongsin, and S. Klongboonjit, Machine components clustering with DSM and repeating method: case study of a soil mixing machine, in: The 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology, July 4-7, Phuket, Thailand, 2018. T. Kongsin, and S. Klongboonjit, Machine component clustering with mixing technique of DSM, jaccard distance coefficient and k-means algorithm, in: The 7 th International Conference on Industrial Engineering and Applications, April 16-21, Bangkok, Thailand, 2020. T. Kongsin, and S. Klongboonjit, 2021, Machine Component Clustering with Connection Correlation Method, International Journal of Intelligent Engineering and Systems, vol. 14, no. 3, pp. 537-544