การวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ตัววัดหลายตัว

นางสาวสุธีรา ภู่กลาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ANALYSIS OF CO-AUTHORSHIP GRAPH USING MULTIPLE METRICS

Miss Suteera Phuklang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ตัววัดหลายตัว
โดย	นางสาวสุธีรา ภู่กลาง
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระ เหมืองสิน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระ เหมืองสิน)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวิตีย์ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรเศรษฐ สุวรรณิก)

สุธีรา ภู่กลาง : การวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ตัววัดหลายตัว. (ANALYSIS OF CO-AUTHORSHIP GRAPH USING MULTIPLE METRICS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วีระ เหมืองสิน, 106 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอและพัฒนาเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัยโดยใช้ตัววัดหลายตัวในการวิเคราะห์ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม ผู้วิจัยได้นำเสนอ 3 ตัววัดโดยชุดของตัววัดประกอบไปด้วยตัววัด Component leadership (CL) , ตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) และตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) ซึ่งตัววัดแรกเป็นตัววัดใหม่ที่ผู้วิจัยนำเสนอ ตัววัดอื่นๆเป็นที่เกิดจากการประยุกต์ตัววัดที่วัดที่มีอยู่แล้วให้เหมาะกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม โดยผลลัพธ์ของตัววัดชุดนี้จะอยู่ในช่วง[0-1] เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีจำนวนโหนดไม่เท่ากัน และผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการนี้ในการวิเคราะห์เครือข่ายผู้วิจัยร่วมของสาขาวิชาต่างๆ รวมทั้งเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของ 9 มหาวิทยาลัยที่สังกัดมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการผสมกันของตัววัดทั้งสามมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัยได้ ซึ่งมหาวิทยาลัยหรือสถาบันวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางหนึ่งสำหรับประเมินพฤติกรรมการทำวิจัยและการนำไปใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวางแผนยุทธศาสตร์การวิจัยได้

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5470423021 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEYWORDS: CO-AUTHORSHIP GRAPH / COMPARING GRAPH / NETWORK ANALYSIS / SCIENTIFIC COLLABORATION / REPRESENTING GRAPH

SUTEERA PHUKLANG: ANALYSIS OF CO-AUTHORSHIP GRAPH USING MULTIPLE METRICS. ADVISOR: ASST. PROF. VEERA MUANGSIN, ,Ph.D., 106 pp.

Research collaboration is increasingly involved with the growth of co-authored publication. Studying the structure of co-authorship graphs can lead to insights about the collaboration. This paper presents a study of co-authorship graphs using multiple graph analysis metrics. We propose that three metrics including component leadership, weighted betweenness centralization, weighted clustering coefficient can effectively capture the structural distinctiveness of co-authorship graphs. We used this method to analyze co-authorship graphs of nine leading Thai research universities. The results show that the 3-metric combination can effectively represent the structures of the co-authorship graphs. Therefore, it can be used as a tool for strategic research planning.

Department: Computer Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาสละเวลาช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งให้แนวคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย และช่วยชี้แนะการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย ขอขอบพระคุณอาจารย์มา ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่แนะนำสั่งสอนและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิตีย์ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วรเศรษฐ สุวรรณิก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไข ทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ นายเจริญ ภู่กลาง , นางอารี ภู่กลาง รวมถึงขอขอบคุณนางสาวพิมพ์แพร ภู่กลาง บิดามารดาและน้องสาวของผู้วิจัยซึ่งให้การสนับสนุน เอาใจใส่ คอยห่วงใย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการ Scientific parallel computer engineering (Space Lab) โดยเฉพาะนางสาวนันทนัช ตั้งปัญจศิล , นายเลอศักดิ์ บุญเพ็ง และนางสาวธภัทร หมู่ภัทรโรจน์ ที่ร่วมกันแบ่งปันข้อคิดและแลกเปลี่ยนความรู้ในระหว่างการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณนายเกียรติมนตรี บุญเกื้อ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในทำวิจัยตลอดมา ขอขอบคุณนางสาวประภาวดี เอกวงศ์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในด้านต่างๆแก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณ นางสาวกาญจนา โพนภาค ที่คอยให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์สกล ซื่อธนาพรกุล และนางสาวพิชยพัชยา ศรีคร้าม ที่ให้คำแนะนำในการเขียนบทความวิจัยฉบับภาษาอังกฤษ

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยลงได้ด้วยดีทุกประการ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 5

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 5

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 6

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย 6

1.6 ผลงานตีพิมพ์ 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 Bibliometric 8

2.2 กราฟ 8

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.3.1 ตัววัดต่างๆสำหรับการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 10

2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 13

2.3.3 งานวิจัยวิเคราะห์และเปรียบเทียบกราฟต่างประเภท 14

บทที่ 3 แนวคิดและวิธีดำเนินงานวิจัย 15

3.1 การเก็บข้อมูลงานวิจัย 16

3.2 การสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 17

3.3 ชุดตัววัดสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 18

3.3.1 พฤติกรรมการทำวิจัยที่ทำให้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมมีความแตกต่าง 18

3.3.2 การคัดเลือกตัววัด 20

3.3.2.1 การคัดแยกประเภทตัววัด 20

หน้า

3.3.2.2 การคัดเลือกตัววัดสำหรับพฤติกรรมที่ 1 การรวมกลุ่มวิจัย 21
3.3.2.3 การคัดเลือกตัววัดสำหรับพฤติกรรมที่ 2 การเชื่อมโยงภายในกลุ่ม ที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม 26
3.3.2.4 การคัดเลือกตัววัดสำหรับพฤติกรรมที่ 3 การเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น 29
3.3.3 ตัววัดที่เลือกใช้และการประยุกต์ใช้ตัววัด 32
บทที่ 4 การพัฒนาเครื่องมือและการทดลอง 38
4.1 กระบวนการในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัด 38
4.2 การพัฒนาซอฟแวร์ 40
4.2.1 สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ 40
4.2.3 สภาพแวดล้อมและเครื่องมือในการพัฒนา 41
4.3 ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัด 43
4.3.1 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลบรรณานุกรมของงานวิจัยจากฐานข้อมูล SCOPUS 43
4.3.2 ขั้นตอนการสกัดกราฟผู้วิจัยร่วมด้วยเครื่องมือ Sci^2 45
4.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมด้วยตัววัดต่างๆ 48
4.3.3 ขั้นตอนการแสดงภาพข้อมูล 49
4.4 การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 50
4.4.1 แบบที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีลักษณะรูปกราฟเหมือนกัน 50
4.4.2 แบบที่ 2 การทดสอบความสามารถในการแยกแยะรูปร่างของกราฟที่มีลักษณะแตกต่างกัน 54
4.5 การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัด 61
4.5.1 แบบที่ 1 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยในสาขาวิชาต่างๆ 61
4.5.2 แบบที่ 2 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ 62
4.5.3 แบบที่ 3 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่อง ของ 9 มหาวิทยาลัย 66
4.5.3.1 กลุ่มที่ 1 กลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีนักวิจัยจำนวนมาก 67

หน้า

4.5.3.2 กลุ่มที่ 2 กลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีนักวิจัยจำนวนปานกลาง 72
4.5.3.3 กลุ่มที่ 3 กลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีนักวิจัยจำนวนน้อย..... 79
บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ..... 87
5.1 บทสรุป 87
5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ..... 88
รายการอ้างอิง 89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 106

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะกลุ่มที่แตกต่างกันมากที่สุด 22
ตารางที่ 2 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะกลุ่มที่มีขนาดกลางหลายกลุ่มและขนาดใหญ่ 1 กลุ่ม 23
ตารางที่ 3 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ 1 กลุ่ม, ขนาดใหญ่ 1 กลุ่มรวมขนาดกลาง 1 กลุ่ม และขนาดใหญ่ 2 กลุ่ม 25
ตารางที่ 4 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม 27
ตารางที่ 5 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่นระหว่างโหนด 30
ตารางที่ 6 กราฟตัวอย่างแสดงค่าตัววัดระดับต่ำสุด, ระดับกลาง, ระดับสูงสุดของตัววัดที่เลือกใช้ .. 33

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ตัวอย่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม (co-authorship graph) 2
ภาพที่ 2 รูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และเกษตรศาสตร์ ปี ค.ศ.2008 2
ภาพที่ 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยมหิดล..... 3
ภาพที่ 4 กราฟผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 4
ภาพที่ 5 แผนภาพแบบ 3 แกนของงานวิจัยที่วิเคราะห์และเปรียบเทียบกราฟชนิดต่างๆ(19, 20)14
ภาพที่ 6 แนวคิดของงานวิจัยในการวิเคราะห์รูปร่างของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 15
ภาพที่ 7 ตัวอย่างการสืบค้นและการเก็บข้อมูลงานวิจัยในฐานข้อมูล SCOPUS..... 16
ภาพที่ 8 สัญลักษณ์และตัวอย่างรูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของเครื่องมือ Sci^2..... 17
ภาพที่ 9 รูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีความแตกต่างในพฤติกรรมการรวมกลุ่มวิจัย..... 18
ภาพที่ 10 รูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีความแตกต่างในพฤติกรรมการเชื่อมโยงที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม..... 19
ภาพที่ 11 รูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ช่วงปี ค.ศ. 2001-2012 ที่มีความแตกต่างในพฤติกรรมการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น . 20
ภาพที่ 12 ตัววัดสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงภายในกลุ่ม ที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม 35
ภาพที่ 13 ตัววัดสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น 36
ภาพที่ 14 ตัวอย่างการแสดงระดับค่าชุดตัววัดด้วยแผ่นภูมิแท่งแบบ 2 มิติ ในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายร่วม 1 กราฟ 37
ภาพที่ 15 ตัวอย่างการแสดงระดับค่าชุดตัววัดด้วยแผ่นภูมิแท่งแบบ 2 มิติ..... 37
ภาพที่ 16 กระบวนการในการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัด..... 39
ภาพที่ 17 สถาปัตยกรรมของซอฟแวร์วิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม โดยใช้ชุดของตัววัด 40
ภาพที่ 18 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัด (flowchart) 42
ภาพที่ 19 ตัวอย่างการสืบค้นข้อมูลในฐานข้อมูล SCOPUS..... 43
ภาพที่ 20 ตัวอย่างผลลัพธ์ในการสืบค้นข้อมูลผลงานวิจัยในฐานข้อมูล SCOPUS..... 43
ภาพที่ 21 การกำหนดรูปแบบไฟล์และชนิดของข้อมูลในการเก็บข้อมูลงานวิจัย ในฐานข้อมูล SCOPUS 44
ภาพที่ 22 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลงานวิจัยแบบจุลภาคกั้นระหว่างข้อมูล (.csv)..... 44
ภาพที่ 23 ตัวอย่างการสกัดกราฟผู้วิจัยร่วมด้วยเครื่องมือ Sci^2..... 45
ภาพที่ 24 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลกราฟผู้วิจัยร่วม (co-author graph file) 46

หน้า

ภาพที่ 25 ตัวอย่างไฟล์กลุ่มที่โหนดสังกัด (cluster component file)..... 46
ภาพที่ 26 ตัวอย่างไฟล์จำนวนโหนดในแต่ละกลุ่ม (size component file)..... 47
ภาพที่ 27 การสร้างรูปกราฟผู้วิจัยร่วมในเครื่องมือ Sci^2..... 47
ภาพที่ 28 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลกราฟเครือข่ายร่วมแต่ละกลุ่ม ในไฟล์ข้อมูลแบบตารางงาน..... 48
ภาพที่ 29 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมในไฟล์ข้อมูลตารางงาน ... 49
ภาพที่ 30 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์และการแสดงผล..... 49
ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบรูปกราฟมีลักษณะกระจายเป็นกลุ่มย่อยขนาดเล็ก 51
ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบรูปกราฟมีกลุ่มที่มีขนาดใหญ่..... 53
ภาพที่ 33 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของสาขาวิชาต่างๆ ของประเทศไทย..... 55
ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบกราฟผู้วิจัยร่วมที่มีค่าตัววัด Component leadership แตกต่างกัน .. 57
ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบกราฟผู้วิจัยร่วม ที่มีค่าตัววัด Weighted betweenness centralization แตกต่างกัน..... 58
ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบกราฟผู้วิจัยร่วม ที่มีค่า Weighted global clustering coefficient (W-GCC)แตกต่างกัน 60
ภาพที่ 37 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาต่างๆ ปี ค.ศ.2008 ในประเทศไทย..... 62
ภาพที่ 38 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2001-2012..... 64
ภาพที่ 39 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่อง ของมหาวิทยาลัยมหิดล ปี ค.ศ. 2001-2012..... 69
ภาพที่ 40 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่อง ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี ค.ศ. 2001-2012..... 70
ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม ของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 1 71
ภาพที่ 42 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี ค.ศ.2001-2012..... 74
ภาพที่ 43 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี ค.ศ.2001-2012 75
ภาพที่ 44 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปี ค.ศ.2001-2012..... 76
ภาพที่ 45 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี ค.ศ.2001-2012 77

หน้า

ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม ของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 2 78
ภาพที่ 47 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี ค.ศ.2001-2012 81
ภาพที่ 48 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปี ค.ศ.2001-2012..... 82
ภาพที่ 49 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปี ค.ศ.2001-2012..... 83
ภาพที่ 50 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม ของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 3 84

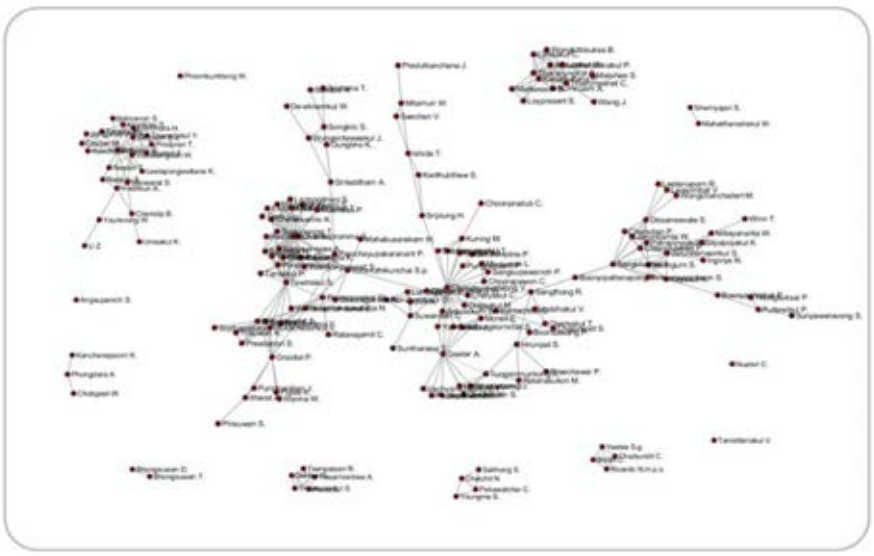
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันการทำวิจัยร่วมกันมีแนวโน้มมากขึ้นเนื่องจากการวิจัยสมัยใหม่ที่จำเป็นต้องแบ่งปันทรัพยากรต่างๆและการร่วมแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ดังนั้นหน่วยงานวิจัยต่างๆมีแนวโน้มที่จะส่งเสริมให้เกิดการทำวิจัยร่วมกันและการทำวิจัยร่วมกันระหว่างสาขาวิชาต่างๆมากขึ้น ผลลัพธ์คือการทำวิจัยร่วมกันและมีการตีพิมพ์งานวิจัยร่วมกันของกลุ่มนักวิจัยต่างๆมากขึ้น [1]

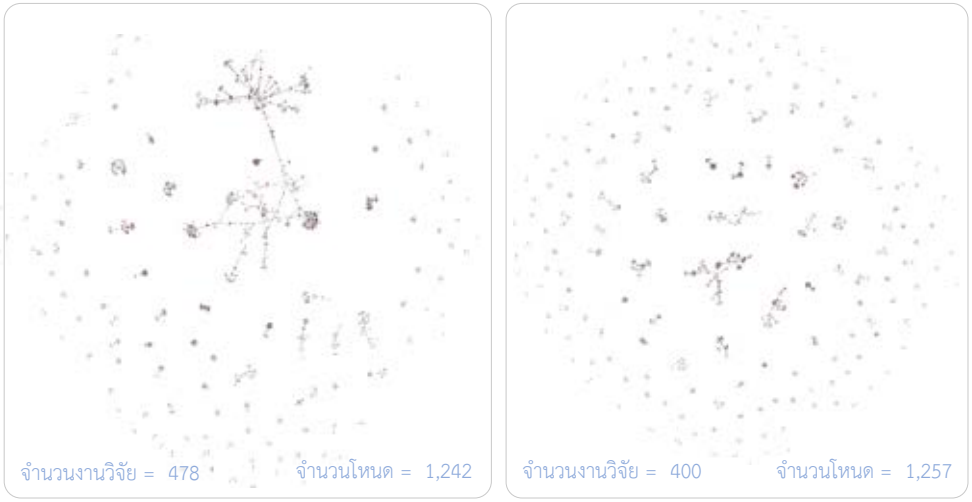
การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันมีการนำวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเครือข่าย (network analysis) มาใช้เพื่อแสดงถึงภาพรวมและความสัมพันธ์ของกลุ่มทำวิจัย โดยจะแสดงออกมาในรูปแบบของกราฟเครือข่ายหลายรูปแบบ เช่น กราฟเครือข่ายงานวิจัยที่ใช้คำสำคัญร่วมกัน (co-word graph), กราฟเครือข่ายงานวิจัยที่อ้างอิงงานวิจัยร่วมกัน (bibliographic coupling graph), กราฟเครือข่ายงานวิจัยที่ถูกอ้างอิงพร้อมกัน (co-citation graph), กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม (co-authorship graph) เป็นต้น ซึ่งกราฟเครือข่ายงานวิจัยที่ใช้คำสำคัญร่วมกัน, กราฟเครือข่ายงานวิจัยที่อ้างอิงงานวิจัยร่วมกันและกราฟเครือข่ายงานวิจัยที่ถูกอ้างอิงพร้อมกันแสดงถึงความสนใจในข้อมูลบางอย่างร่วมกัน ส่วนกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมแสดงถึงการทำงานร่วมกันจนเกิดการตีพิมพ์ผลงานวิจัยร่วมกัน ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงภาพรวมและความสัมพันธ์ของกลุ่มทำวิจัยได้ดีที่สุด งานวิจัยนี้จึงเน้นศึกษากราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมเพียงอย่างเดียว

กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่สร้างมาจากข้อมูลการตีพิมพ์วิจัยร่วมกัน มีลักษณะดังตัวอย่างในภาพที่ 1 โดยแต่ละโหนดแทนนักวิจัยหนึ่งคน และเส้นเชื่อมระหว่างนักวิจัยแสดงถึงการตีพิมพ์งานวิจัยร่วมกันอย่างน้อย 1 ฉบับ [2] และภาพที่ 1 ยังแสดงให้เห็นว่าโหนดต่างๆในกราฟเครือข่ายผู้วิจัยจะแยกกันออกเป็นหลายกลุ่มซึ่งเราจะเรียกว่า กลุ่มวิจัย (component) ดังนั้นกลุ่มวิจัยคือกลุ่มของโหนดที่มีการเชื่อมโยงระหว่างกันภายในกลุ่มทั้งเชื่อมถึงกันโดยตรงระหว่างโหนดและการเชื่อมถึงกันทางอ้อมผ่านโหนดอื่น โดยกลุ่มวิจัยต่างๆจะไม่มีส่วนเชื่อมโยงถึงกัน [2] และกลุ่มวิจัยที่มีเพียงโหนดเดียวมีชื่อเรียกเฉพาะว่า กลุ่มวิจัยเดี่ยว (isolate)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม (co-authorship graph)

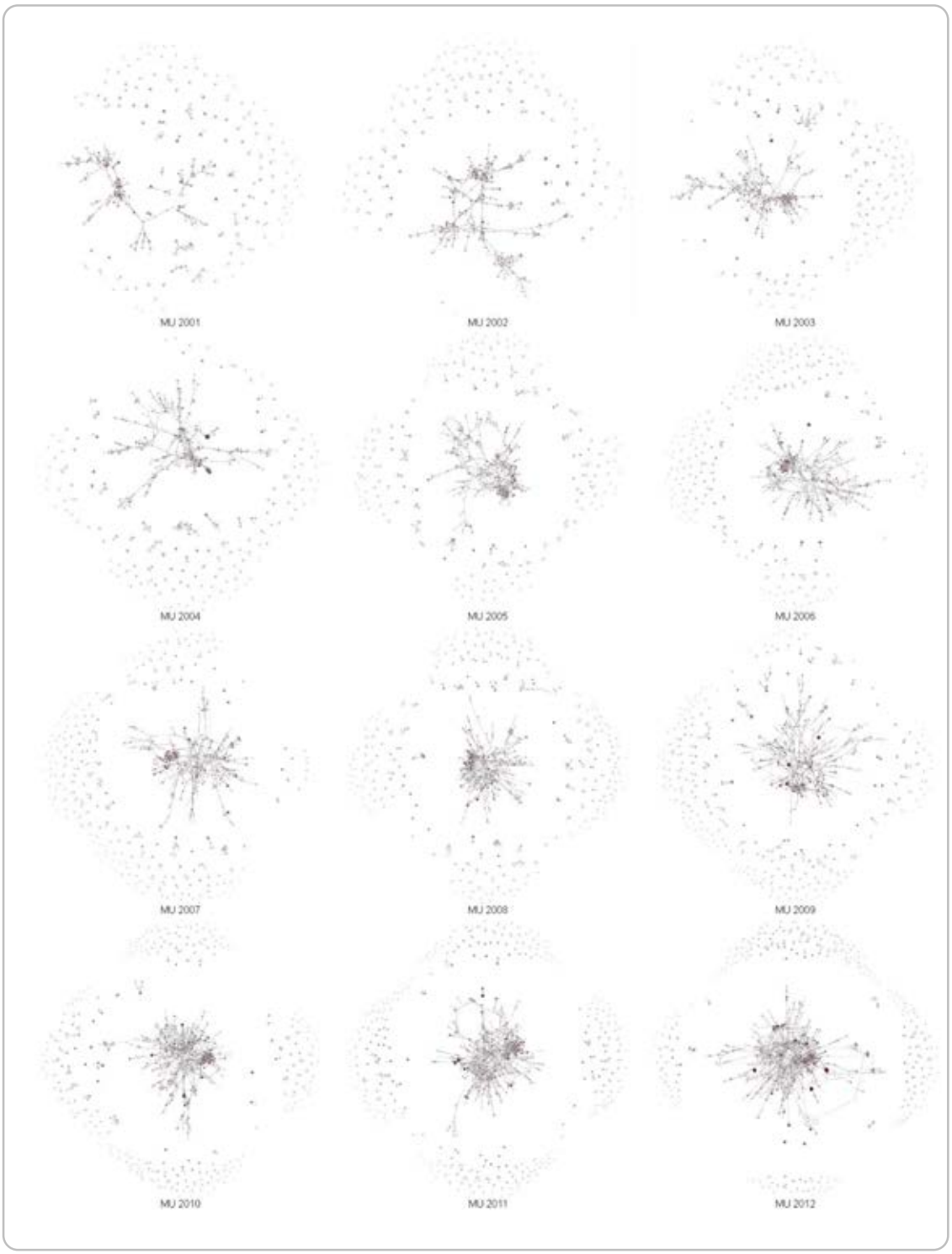
คำถามที่น่าสนใจ คือ กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของหน่วยงานวิจัยที่มีจำนวนนักวิจัยใกล้เคียงกัน รูปร่างของกราฟจะมีลักษณะเหมือนกันหรือไม่ ผู้วิจัยจึงได้นำรูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่สร้างจากข้อมูลงานวิจัยในปี ค.ศ.2008 ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ภาพที่ 2) ซึ่งทั้ง 2 กราฟมีจำนวนนักวิจัยจำนวนใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเราสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนว่า รูปกราฟในภาพที่ 2 (ก) ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์มีหนึ่งกลุ่มวิจัยที่ขนาดใหญ่รวมกันกลุ่มวิจัยอื่นๆที่มีขนาดเล็ก ขณะเดียวกัน รูปกราฟในภาพที่ 2 (ข) ประกอบจากกลุ่มวิจัยที่มีขนาดเล็กกว่ารูปกราฟในภาพที่ 2 (ก) จำนวนหลายกลุ่มวิจัย จากรูปกราฟทั้ง 2 กราฟชี้ให้เห็นว่านักวิจัยของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์มีความร่วมมือในการทำวิจัยมากกว่านักวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



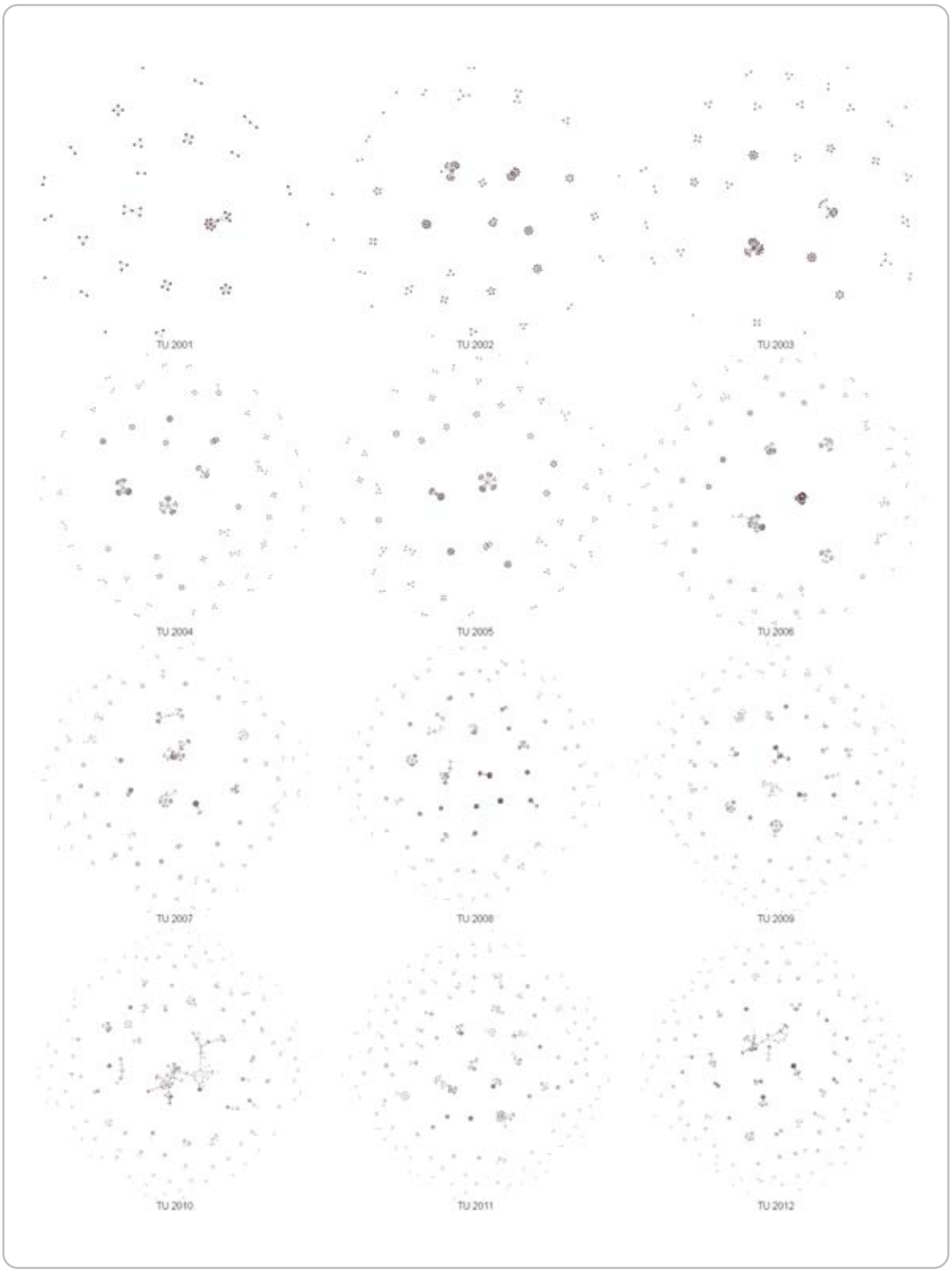
(ก) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ข) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 2 รูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และเกษตรศาสตร์ปี ค.ศ.2008

จึงเกิดคำถามต่อไปว่า ในช่วงเวลาต่างๆกราฟในหน่วยงานวิจัยเดียวกัน จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ตัวอย่างที่สองจึงได้เปรียบเทียบรูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมในช่วงปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยมหิดล (ภาพที่ 3) และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยมหิดล



ภาพที่ 4 กราฟผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

จากรูปกราฟของมหาวิทยาลัยมหิดลในภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่ากราฟในช่วงเวลาดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงโดยสังเกตได้จากช่วงปีแรกกลุ่มวิจัยขนาดใหญ่มีขนาดเล็กกว่ากลุ่มวิจัยขนาดใหญ่ของช่วงปีหลัง รวมทั้งความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของช่วงปีแรกน้อยกว่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของช่วงปีหลังเป็นอย่างมาก และจากรูปกราฟของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ในภาพที่ 4 สังเกตได้ว่าจำนวนนักวิจัยในช่วงปีแรกมีจำนวนน้อยและจำนวนนักวิจัยเพิ่มขึ้นมากในช่วงปีหลัง ลักษณะกลุ่มวิจัยมีขนาดค่อนข้างเล็กในช่วงปีแรกและเริ่มมีการรวมตัวเป็นกลุ่มวิจัยที่ใหญ่ขึ้นในช่วงปีหลัง จากกราฟของ 2 มหาวิทยาลัยสามารถเห็นได้ถึงการเปลี่ยนแปลงของกราฟ เช่น การเพิ่มขึ้นของจำนวนนักวิจัย การเพิ่มขึ้นของขนาดของกลุ่มวิจัยและความหนาแน่นในการเชื่อมโยงระหว่างโหนด แต่แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ 2 มหาวิทยาลัยอยู่ในระดับที่ไม่เท่ากัน

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์หรือเปรียบเทียบโดยพิจารณาจากกราฟทำได้ยาก เนื่องจากการพิจารณารูปกราฟจากการสังเกตไม่สามารถอธิบายถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจนและการสร้างรูปกราฟทำได้หลากหลายวิธี งานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะนำเสนอค่าดัชนีชี้วัดแทนรูปร่างกราฟเพื่อการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาชุดของตัววัดสำหรับการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัย เพื่อการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมและการนำไปใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวางแผนยุทธศาสตร์การวิจัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- ชุดตัววัดรองรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัยของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม
- ตัวอย่างข้อมูลงานวิจัยสำหรับการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลงานวิจัยของสถาบันวิจัยในประเทศไทยโดยจะเก็บข้อมูลงานวิจัยจากฐานข้อมูล SCOPUS
- ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เป็นข้อมูลบรรณานุกรมของงานวิจัย
- กระบวนการส่วนการสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมจากข้อมูลงานวิจัยใช้เครื่องมือ Sci^2 ซึ่งอยู่ในรูปแบบกราฟไม่มีทิศทาง
- กระบวนการในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้วยชุดตัววัดเป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาจาวา

- เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้บนระบบปฏิบัติการที่มีจาวาแพลตฟอร์ม (Java Platform)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

มีเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัย และสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม โดยสถาบันวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางหนึ่งสำหรับประเมินพฤติกรรมการทำวิจัยและการนำไปใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวางแผนยุทธศาสตร์การวิจัยได้

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย

- ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลงานวิจัยและวิธีการสำหรับวิเคราะห์ฐานข้อมูลผลงานวิจัย
- ศึกษาวิธีการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล กราฟเครือข่าย วิธีการจัดเก็บข้อมูล
- สืบค้นและสำรวจแหล่งข้อมูลงานวิจัย
- ศึกษาเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยต่างๆ
- ศึกษาและสำรวจเทคนิคและตัววัดในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลเครือข่าย (network analysis)
- วิเคราะห์ลักษณะของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านต่างๆที่เกี่ยวกับพฤติกรรมการทำงานร่วมกัน
- คัดเลือกตัววัดที่สามารถวิเคราะห์ลักษณะของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านต่างๆได้
- ประยุกต์ใช้เทคนิคและตัววัดวิเคราะห์ลักษณะของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม
- ทดสอบชุดตัววัดกับข้อมูลงานวิจัยในสถาบันการวิจัยของประเทศไทย
- ออกแบบการแสดงผลเพื่อเปรียบเทียบกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม
- ประเมินวิธีการการวิเคราะห์ลักษณะของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม
- ปรับปรุงแก้ไขและประเมินผลการวิจัย
- สรุปผลการวิจัยและตีพิมพ์ผลการทำวิจัย
- เรียบเรียงและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.6 ผลงานตีพิมพ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการ ดังนี้

- Suteera Phuklang and Veera Muangsin , Analysis of co-authorship graph using multiple metrics , The 39th Congress on Science and Technology of Thailand , BITEC, Bangkok, Thailand, October 21 - 23, 2013

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Bibliometric

J. Pritchard ได้คิดคำว่า “ดัชนีวรรณกรรม” (Bibliometric) และให้คำนิยามว่า "การประยุกต์วิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติเพื่อใช้วัดสิ่งพิมพ์ด้านวิทยาศาสตร์ " จัดอยู่ในสาขาวิชาบรรณารักษศาสตร์และสารสนเทศศาสตร์ สามารถนำไปประยุกต์ในสาขาวิชาต่างๆได้มากมาย [3]

ดัชนีวรรณกรรมถูกประยุกต์เป็นเทคนิควิธีการในการค้นหาโครงสร้างและพัฒนาการของวิทยาศาสตร์บนพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล โดยมีข้อมูลงานวิจัยเป็นแหล่งข้อมูล ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น งานวิจัย, สาขาวิชา, วารสาร, สถาบัน และนักวิจัย ฯลฯ [4] ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลมีหลายรูปแบบ เช่น ความสัมพันธ์ในการอ้างอิง (citation based), ความสัมพันธ์ในการทำงานร่วมกัน (collaboration based), ความสัมพันธ์ในเนื้อหา (content based), ความสัมพันธ์แบบผสมผสาน (hybrid based) และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลบนกราฟที่เรียกว่าแผนที่ของวิทยาศาสตร์ (mapping of science) [4]

กราฟที่ประกอบไปด้วยเซตของโหนด (node) แทนข้อมูลที่ต้องการจะวิเคราะห์ เช่น สิ่งตีพิมพ์งานวิจัย (publication), สาขาวิชา (discipline), วารสาร (journal), สถาบันวิจัย (institution) และนักวิจัย (researcher) และเซตของเส้นเชื่อม (edge) แทนความสัมพันธ์แบบต่างๆ จากข้อมูลและความสัมพันธ์หลากหลายรูปแบบจึงทำให้กราฟความสัมพันธ์มีหลายชนิด เช่น กราฟเครือข่ายงานวิจัยที่ใช้คำสำคัญร่วมกัน (co-word graph) คือกราฟแสดงความสัมพันธ์การใช้คำสำคัญร่วมของข้อมูล, กราฟเครือข่ายงานวิจัยที่ถูกอ้างอิงพร้อมกัน (co-citation graphs) คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 งานวิจัยถูกอ้างอิงพร้อมกัน, กราฟเครือข่ายงานวิจัยที่อ้างอิงงานวิจัยร่วมกัน (bibliographic coupling graph) คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างงานวิจัยที่อ้างอิงงานวิจัยชิ้นเดียวกัน, กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม (co-authorship graph) คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างนักวิจัยที่ตีพิมพ์งานวิจัยร่วมกัน เป็นต้น

2.2 กราฟ

ทุกเครือข่ายความสัมพันธ์สามารถนำเสนอในรูปแบบของกราฟ โดยวัตถุในเครือข่ายแทนด้วยโหนด (node) ในกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุในเครือข่ายแทนด้วยเส้นเชื่อม (edge) ซึ่งจะเชื่อมโยงระหว่างโหนด [5] ในหัวข้อนี้จะแนะนำทฤษฎีกราฟเบื้องต้นซึ่งจะมีประโยชน์ในการพิจารณาลักษณะของกราฟ

กราฟประกอบไปด้วยเซตของโหนดและเซตของเส้นเชื่อมที่เชื่อมโยงกันระหว่างโหนดที่มีความสัมพันธ์กัน ขนาดของกราฟ, N จะมีค่าเท่ากับจำนวนโหนดที่อยู่ในกราฟ และเมื่อ 2 โหนดเชื่อมโยงกันด้วยเส้นเชื่อม แสดงว่า 2 โหนดนั้นเป็นโหนดที่ติดต่อกัน (adjacent) [5]

โดยทั่วไปเส้นเชื่อมจะมี 2 ประเภท ประกอบด้วย ประเภทแรกเส้นเชื่อมที่มีทิศทาง คือ เส้นเชื่อมที่เชื่อมโยงกันระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางมีความหมายแตกต่างกับเส้นเชื่อมที่เชื่อมโยงกันระหว่างโหนดปลายทางกลับมายังโหนดต้นทาง และสัญลักษณ์ของเส้นเชื่อมจะเป็นเส้นเชื่อมที่มีหัวลูกศรทิศทางชี้ไปโหนดปลายทาง เราจะเรียกกราฟที่เส้นเชื่อมลักษณะดังกล่าวว่า กราฟมีทิศทาง ประเภทที่สองเส้นเชื่อมที่ไม่มีทิศทาง คือ เส้นเชื่อมที่ไม่มีความแตกต่างระหว่างการเชื่อมโยงจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง และการเชื่อมโยงกลับจากโหนดปลายทางมายังโหนดต้นทาง และสัญลักษณ์ของเส้นเชื่อมจะเป็นเส้นเชื่อมที่ไม่มีหัวลูกศรทิศทาง เราจะเรียกกราฟประเภทนี้ว่ากราฟไม่มีทิศทาง ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะกราฟที่ไม่มีทิศทางเท่านั้น

ดีกรี (degree) ของโหนดคือจำนวนโหนดในกราฟเป็นโหนดที่ติดต่อกัน (adjacent) กับโหนดนั้น, ทางเชื่อมระหว่าง 2 โหนดใดๆในกราฟคือเส้นทาง (path), ความยาวของเส้นทาง (path) จะเท่ากับจำนวนเส้นเชื่อมในเส้นทางนั้น, เส้นทาง (path) ที่สั้นที่สุดระหว่างสองโหนดใดๆในกราฟเรียกว่า เส้นทางที่สั้นที่สุด (shorted path หรือ geodesics), เส้นทาง (path) ที่ยาวที่สุดระหว่างสองโหนดใดๆในกราฟ เรียกว่า เส้นทางที่ยาวที่สุด (diameter), ค่าเฉลี่ยของเส้นทาง (path) ระหว่าง 2 โหนดใดๆ ในกราฟ เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเส้นทาง (characteristic path length) [6], กราฟประกอบจากกลุ่มย่อยหลายกลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะเชื่อมโยงภายในและไม่มีส่วนเชื่อมโยงกับกลุ่มอื่นๆ เรียกว่ากลุ่ม (component), ภายในกลุ่มของบางกลุ่มอาจจะมีบางส่วนที่โหนดต่างๆเชื่อมโยงด้วยเส้นเชื่อม อย่างหนาแน่นและส่วนนั้นเชื่อมโยงกับส่วนอื่นๆ เพียงเล็กน้อย เรียกว่า ชุมชนของโหนด (community), กลุ่มที่มีโหนดเดียวและไม่มีการเชื่อมโยงกับกลุ่มอื่นๆ เรียกว่า กลุ่มเดี่ยว (isolate), ส่วนโหนดที่เป็นจุดเชื่อมระหว่างชุมชนของโหนด (community) ถ้านำโหนดดังกล่าวออกจะทำให้ชุมชนของโหนด (community) ต่างๆ ไม่มีจุดเชื่อมโยงถึงกัน เรียกว่า จุดเชื่อม (cut point), เส้นเชื่อมที่เป็นเส้นเชื่อมโยงระหว่างชุมชนของโหนด (community) ต่างๆในกลุ่ม ถ้านำเส้นเชื่อมดังกล่าวออกจะทำให้ชุมชนของโหนด (community) ไม่มีเส้นทางเชื่อมโยงถึงกัน เรียกว่า สะพานเชื่อม (bridge) [7]

นอกจากการแสดงในรูปแบบของกราฟเครือข่ายแล้ว การเก็บข้อมูลกราฟสำหรับการคำนวณกับเทคนิคต่างๆ จะเก็บใน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบแรกไฟล์ข้อมูลกราฟแบบเมตริกซ์ (adjacency matrices) กับรูปแบบที่ 2 ไฟล์ข้อมูลกราฟแบบรายการ (adjacency lists) ในส่วนของไฟล์ข้อมูลกราฟแบบเมตริกซ์สำหรับกราฟประเภทไม่มีทิศทางจะเป็นเมตริกซ์จัตุรัสมีมิติเท่ากับ $N \times N$ เมตริกซ์ สมาชิกของเมตริกซ์ a_{ij} =1 ถ้าแถว $i \neq$ หลัก j และโหนด n_i มีเส้นเชื่อมกับ n_j กรณีอื่นๆ สมาชิกของ เมตริกซ์ a_{ij} = 0 ซึ่งการเก็บข้อมูลในรูปแบบเมตริกซ์จะสามารถค้นหาเส้นทาง (path) ได้ง่ายแต่วิธีการนี้สิ้นเปลืองหน่วยความจำ รูปแบบที่ 2 ไฟล์ข้อมูลกราฟแบบรายการ จะเป็นการเก็บข้อมูลอย่างง่ายที่ไม่สิ้นเปลืองหน่วยความจำ โดยจะเก็บข้อมูลเป็น 2 หลักจะเก็บค่า n_i และ n_j ที่มี

ความสัมพันธ์กันซึ่งจะใช้ได้ดีในบางเทคนิควิธีการ [6] งานวิจัยนี้เลือกเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ข้อมูลกราฟแบบรายการ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ตัววัดต่างๆสำหรับการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

จากการสำรวจตัววัดในโดเมนของการวิเคราะห์ข้อมูลเครือข่าย (network analysis) พบตัววัดที่สามารถวิเคราะห์กราฟหลายระดับ คือ ระดับหน่วยข้อมูล (micro) วิเคราะห์กราฟทีละโหนด, ระดับกราฟหน่วยงาน (meso) วิเคราะห์กราฟที่เป็นข้อมูลในระดับสถาบัน เช่น มหาวิทยาลัย, ระดับกราฟระดับโลก (macro) วิเคราะห์กราฟที่เป็นข้อมูลในระดับโลก [8] งานวิจัยนี้สนใจตัววัดในระดับกราฟหน่วยงาน (meso) เพราะเป็นการวัดทั้งกราฟข้อมูลในระดับมหาวิทยาลัย ในหัวข้อนี้จึงขอแนะนำตัววัดเหล่านั้น

ตัววัด Average degree คือ ค่าเฉลี่ยดีกรี (degree) ของทุกโหนดในกราฟ โดยดีกรี (degree) คือจำนวนโหนดที่มาเชื่อมโยงกับโหนดนั้นเป็นตัววัดที่จะแสดงถึงความหนาแน่นของการเชื่อมโยงในกราฟ [9] สมการของตัววัด Average degree แสดงในสมการที่ (1)

$$Avg.degree(G) = \frac{\sum_{v \in n} deg(v)}{N} \quad (1)$$

ตัววัด Network density คือ สัดส่วนของจำนวนเส้นเชื่อมที่มีอยู่จริงในกราฟกับจำนวนเส้นเชื่อมที่สามารถเกิดขึ้นได้สูงสุดในกราฟ [6] สมการของตัววัด Network density แสดงในสมการที่ (2)

$$pE(G) = \frac{2 \times |E|}{N(N-1)} \quad (2)$$

โดย $|E|$ คือ จำนวนเส้นเชื่อมที่มีทั้งหมดในกราฟ

ตัววัดเส้นทางที่ยาวที่สุด (diameter) คือ ตัววัดที่วัดเส้นทาง (path) ที่ยาวที่สุดระหว่าง 2 โหนดใดๆในกลุ่ม [10] สมการของตัววัดเส้นทางที่ยาวที่สุด (diameter) แสดงในสมการที่ (3)

$$diam(G) = max_{i,j \in n, i \neq j} d_{ij} \quad (3)$$

โดย d_{ij} คือระยะของเส้นทางระหว่างโหนด i และโหนด j

ตัววัด Average shortest path คือ ตัววัดที่วัดค่าเฉลี่ยของเส้นทาง (path) ที่สั้นที่สุดระหว่าง 2 โหนดใดๆ ในกลุ่ม [10] สมการของตัววัด Average shortest path แสดงในสมการที่ (4)

$$L(G) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in n, i \neq j} d_{ij} \quad (4)$$

ตัววัด Component ratio คือ ตัววัดลักษณะกลุ่มของกราฟที่สามารถบอกถึงลักษณะการรวมกลุ่มของโหนดจนเกิดเป็นกลุ่มต่างๆ เป็นสัดส่วนระหว่างจำนวนกลุ่มกับจำนวนโหนดที่มีอยู่ในกราฟ [11] สมการของตัววัด Component ratio แสดงในสมการที่ (5)

$$CR = \frac{(m-1)}{(N-1)} \quad (5)$$

โดย m คือจำนวนกลุ่มในกราฟ

ตัววัด Fragmentation คือ ตัววัดลักษณะกลุ่มของกราฟอีกวิธีที่เป็นสัดส่วนระหว่างจำนวนผลรวมจำนวนเส้นเชื่อมที่สามารถเกิดขึ้นได้ในแต่ละกลุ่มกับจำนวนเส้นเชื่อมสามารถเกิดขึ้นได้ในกราฟ [12] สมการของตัววัด Fragmentation แสดงในสมการที่ (6)

$$F = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{m} S_k(S_k-1)}{N(N-1)} \quad (6)$$

โดย S_k คือ จำนวนโหนดในแต่ละกลุ่ม

ตัววัด Degree centralization คือ ตัววัดลักษณะภายในกลุ่มที่เกี่ยวกับลักษณะความสัมพันธ์ที่มีโหนดศูนย์กลางการเชื่อมโยงไปยังโหนดอื่นๆ โดยมีหลักการคือสัดส่วนของผลรวมความแตกต่างระหว่างโหนดที่มีค่าดีกรี (degree) สูงที่สุด และค่าดีกรี (degree)ของโหนดอื่นในกราฟกับค่าดีกรี (degree) สูงสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งตัววัด Degree centralization จะมีผลการวิเคราะห์เป็นระดับตัวเลขในช่วง 0 – 1 [5] สมการของตัววัด Degree centralization แสดงในสมการที่ (7)

$$DC = \frac{\sum_{i=1}^{n} [C_D(p*) - C_D(p_i)]}{n^2 - 3n + 2} \quad (7)$$

โดย $C_D(p*)$ คือโหนดที่มีค่าดีกรี (degree) สูงที่สุดในกลุ่ม, $C_D(p_i)$ คือค่าดีกรี (degree) ของโหนดอื่นๆ และ n คือจำนวนโหนดในแต่ละกลุ่ม

ตัววัด Betweenness centralization คือตัววัดลักษณะภายในกลุ่มที่เกี่ยวกับลักษณะความสัมพันธ์ของเส้นทาง (path) ระหว่าง 2 โหนดต่างๆ ในกลุ่มที่ส่วนใหญ่ต้องผ่านโหนดศูนย์กลาง จะแสดงว่ากลุ่มดังกล่าวมีโหนดที่มีความสำคัญอยู่ โดยการคำนวณจะใช้

ค่าตัววัด Betweenness centrality ซึ่งเป็นตัววัดในระดับหน่วยข้อมูล (micro) คือตัววัดที่วิเคราะห์กราฟที่เป็นข้อมูลในระดับโหนด ตัววัด Betweenness centrality คือค่าสัดส่วนจำนวนของเส้นทางที่สั้นที่สุด (shorted path) ที่ผ่านโหนดนั้นกับจำนวนของเส้นทางที่สั้นที่สุด (shorted path) มีทั้งหมดในกลุ่ม [13] ดังนั้น ตัววัด Betweenness centralization คือสัดส่วนของผลรวมความแตกต่างระหว่างโหนดที่มีค่าตัววัด Betweenness centrality สูงที่สุด และค่าตัววัด Betweenness centrality ของโหนดอื่นในกราฟกับค่าตัววัด Betweenness centrality สูงสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งตัววัด Betweenness centralization จะมีผลการวิเคราะห์เป็นระดับตัวเลขในช่วง 0 – 1 [5] สมการของตัววัด Betweenness centralization แสดงในสมการที่ (8)

$$BC = \frac{\sum_{i=1}^{n}[C_B(p*)-C_B(p_i)]}{n^3-4n^2+5n+2} \quad (8)$$

โดย $C_B(p*)$ คือโหนดที่มีค่าตัววัด Betweenness centrality สูงที่สุดในกลุ่มและ $C_B(p_i)$ คือค่าตัววัด Betweenness centrality ของโหนดอื่นๆ และ n คือจำนวนโหนดในแต่ละกลุ่ม

ตัววัด Closure คือ ตัววัดลักษณะรูปร่างของกราฟที่มีรูปแบบความเชื่อมโยงเป็นสามเหลี่ยมสูง [10] ซึ่งเกี่ยวกับการรู้จักกันของโหนด ตัววัด Closure คือ ตัววัดลักษณะรูปร่างของกราฟที่มีรูปแบบความเชื่อมโยงเป็นสามเหลี่ยมสูง [10] ซึ่งเกี่ยวกับการรู้จักกันของโหนดหมายความว่า 2 โหนดที่มีเพื่อนร่วมกันมักจะรู้จักกันด้วย [14] สามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ใกล้ชิดของโหนดได้ สมการของตัววัด Closure แสดงในสมการที่(9)

$$T(G) = \frac{3 \times triangles}{triples} \quad (9)$$

โดย $triangles$ คือจำนวนความสัมพันธ์ในรูปแบบความเชื่อมโยงระหว่าง 3 โหนดที่มีเส้นเชื่อมเชื่อมถึงกันจนครบที่เกิดขึ้นในกราฟ และ $triples$ คือจำนวนความสัมพันธ์ในรูปแบบความเชื่อมโยงระหว่าง 3 โหนดที่มีเส้นเชื่อมเชื่อมระหว่างโหนดกลางกับโหนดปลายทั้งสองด้านที่เกิดขึ้นในกราฟ

ตัววัด Global clustering coefficient คือ ตัววัดลักษณะรูปร่างของกราฟที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดระหว่างโหนด ค่าเฉลี่ยของค่าตัววัด Clustering coefficient $= \frac{n_x}{k_x}$ โดย n_x คือจำนวนเส้นเชื่อมระหว่างโหนดเพื่อนบ้านของโหนด x และ k_x คือจำนวนเส้นเชื่อมที่เป็นไปได้สูงสุดระหว่างโหนดเพื่อนบ้านของโหนด x ดังนั้นตัววัด Clustering coefficient จึงเป็นค่าความเชื่อมโยงเป็นสามเหลี่ยมในแต่ละโหนด ค่าตัววัด Global clustering coefficient จะสื่อถึงการรู้จักกันของโหนดหมายความว่าสองโหนดที่มีเพื่อนร่วมกันมักจะรู้จักกันด้วย [15] สมการของตัววัด Global clustering coefficient แสดงในสมการที่(10)

$$C = \sum_{i=1}^{N} \frac{C_i}{N} \quad (10)$$

โดย C_i คือค่าตัววัด Clustering coefficient ของแต่ละโหนดและ N คือ จำนวนโหนดในกราฟ

2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

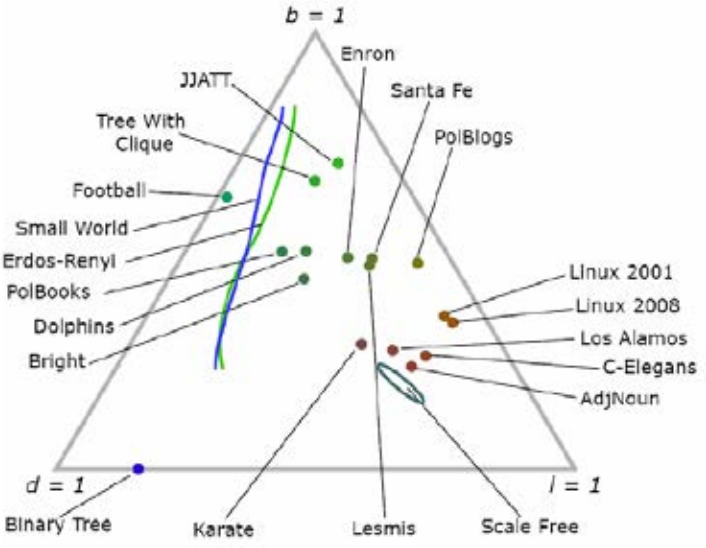
จากการสำรวจพบงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษากราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมส่วนใหญ่เน้นการนำวิธีการวิเคราะห์กราฟในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลเครือข่าย (network analysis) ที่มีอยู่แล้วเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยจากสถาบันวิจัยต่างๆในลักษณะงานวิจัยแบบกรณีศึกษา (case study) เช่น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และประสิทธิภาพการทำวิจัยของกราฟผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาเคมีในประเทศปากีสถาน [16], การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟผู้วิจัยร่วมกับจำนวนผลงานวิจัยและผลกระทบอื่นๆในสาขาวิชาแพทยศาสตร์ของประเทศอิหร่าน [17], การวิเคราะห์การทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัยในสถาบันการวิจัยของประเทศอินเดีย [18] เป็นต้น

ซึ่งสามารถสรุปข้อเสียของตัววัดในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลเครือข่าย (network analysis) และวิธีการของงานวิจัยดังกล่าวหลายอย่างดังต่อไปนี้

- ประการแรก ตัววัดเพียงตัวเดียวไม่สามารถอธิบายความแตกต่างของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมได้ครบทุกคุณลักษณะ
- ประการที่ 2 บางตัววัดไม่มีช่วงของผลลัพธ์ ทำให้การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกราฟทำได้ยาก
- ประการที่ 3 ค่าของบางตัววัดขึ้นกับขนาดของกราฟซึ่งไม่เหมาะกับการเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่มีขนาดต่างกันมากอย่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

2.3.3 งานวิจัยวิเคราะห์และเปรียบเทียบกราฟต่างประเภท

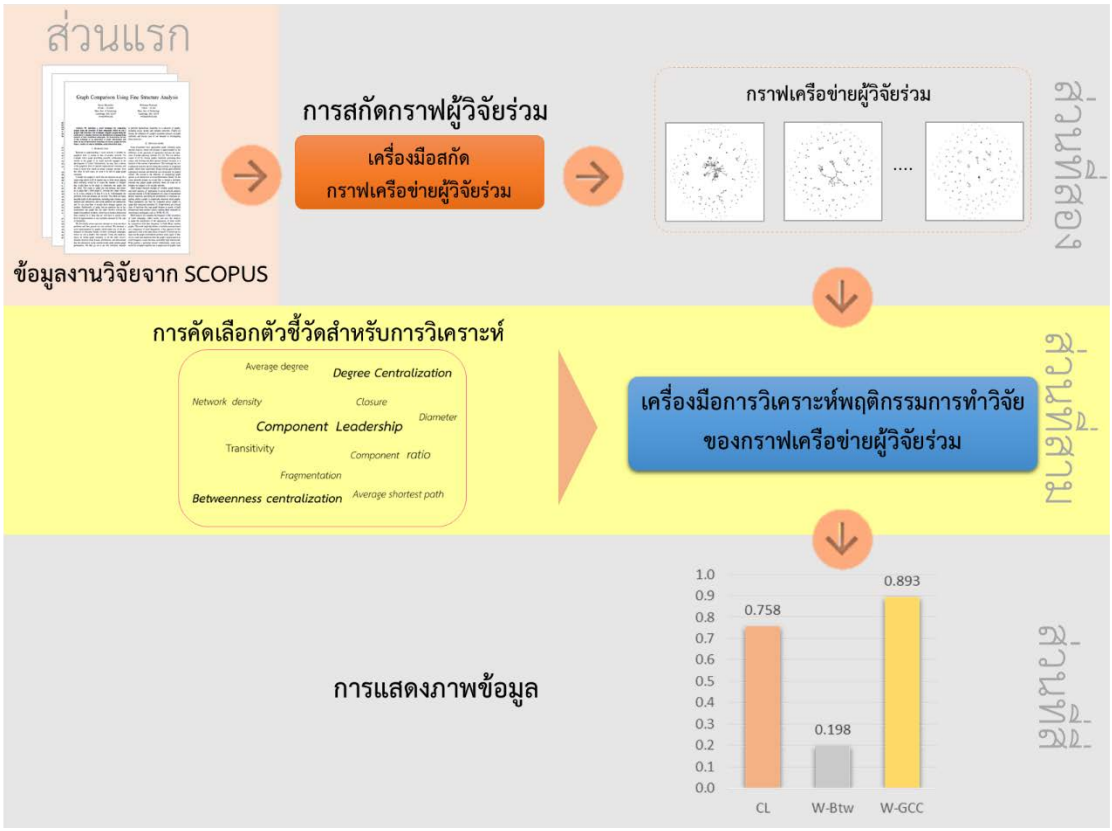
งานวิจัยที่นำเสนอวิธีการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกราฟชนิดต่างๆ เช่น กราฟไบนารีทรี (binary tree) กราฟสังคมออนไลน์ (social network) กราฟการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) เป็นต้น วิธีการประกอบด้วย 3 ตัววัด ทำการวิเคราะห์โครงสร้างย่อยภายในกราฟและนำผลการวิเคราะห์ [19, 20] และแสดงผลบนแผนภาพแบบ 3 แกนแสดงในภาพที่ 5 งานวิจัยดังกล่าวเน้นการใช้ตัววัดที่ชี้ให้เห็นความแตกต่างของกราฟต่างชนิดไม่เหมาะกับการอธิบายความแตกต่างระหว่างกราฟชนิดเดียวกัน และตัววัดที่นำมาใช้สามารถคำนวณได้เฉพาะที่มีเพียง 1 กลุ่ม คือ กราฟที่ทุกโหนดในกราฟเชื่อมถึงกัน ซึ่งไม่เหมาะกับกราฟที่มีลักษณะหลายกลุ่มอย่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม



ภาพที่ 5 แผนภาพแบบ 3 แกนของงานวิจัยที่วิเคราะห์และเปรียบเทียบกราฟชนิดต่างๆ[19, 20]

บทที่ 3
แนวคิดและวิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอแนวคิดของการแก้ปัญหา พร้อมรายละเอียดการจัดทำเครื่องมือการวิเคราะห์รูปร่างของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมในรูปแบบของระดับตัวเลข เพื่อการเปรียบเทียบพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัย



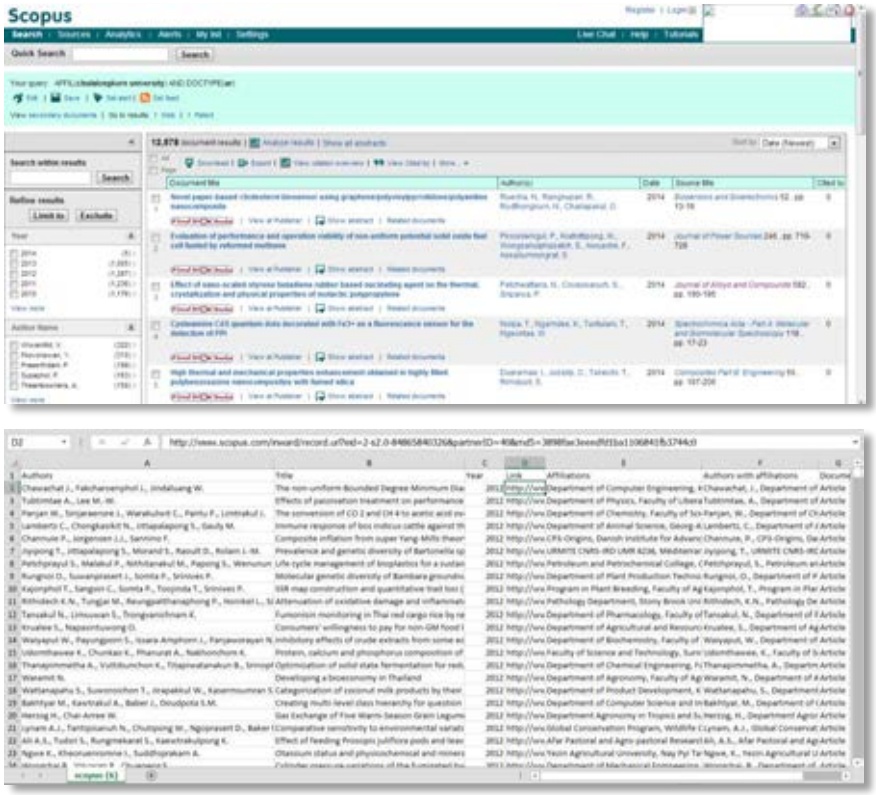
ภาพที่ 6 แนวคิดของงานวิจัยในการวิเคราะห์รูปร่างของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

ผู้วิจัยได้แบ่งองค์ประกอบออกเป็น 4 ส่วน (ภาพที่ 6) ประกอบไปด้วย

- องค์ประกอบส่วนที่ 1 อธิบายถึงข้อมูลงานวิจัยจะใช้ข้อมูลบรรณานุกรมของงานวิจัยจากฐานข้อมูลงานวิจัย SCOPUS
- องค์ประกอบส่วนที่ 2 อธิบายถึงการสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม โดยใช้เครื่องมือทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูลเครือข่าย (network analysis)
- องค์ประกอบส่วนที่ 3 อธิบายถึงชุดของตัววัดและเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการทำวิจัยของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม
- องค์ประกอบส่วนที่ 4 อธิบายถึงการนำผลลัพธ์ทำการแสดงภาพข้อมูล

3.1 การเก็บข้อมูลงานวิจัย

การรวบรวมข้อมูลงานวิจัยจะใช้ข้อมูลบรรณานุกรมของงานวิจัยจากฐานข้อมูลงานวิจัย SCOPUS เนื่องจากเป็นฐานข้อมูลงานวิจัยระดับนานาชาติ ครอบคลุมงานวิจัยทุกสาขาวิชา และง่ายต่อการเก็บข้อมูลบรรณานุกรมงานวิจัยสำหรับนำมาวิเคราะห์ โดยการสืบค้นข้อมูลงานวิจัยในหมวดการค้นหาขั้นสูง (advanced search) โดยเงื่อนไขในการสืบค้นขึ้นอยู่กับต้องการของผู้ใช้และเก็บข้อมูลชนิดที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วม ประกอบไปด้วย ชื่อนักวิจัย (author), ชื่อหัวข้อวิจัย (title), ชื่อสถาบันวิจัย (affiliation), ปีที่งานวิจัยถูกเผยแพร่ (year), ประเภทเอกสาร (document type) ฯลฯ ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูลงานวิจัยอย่างละเอียดในหัวข้อ 4.3.1



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการสืบค้นและการเก็บข้อมูลงานวิจัยในฐานข้อมูล SCOPUS

3.2 การสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

การสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมจะใช้เครื่องมือ Sci^2 (The Science of Science Tool) ซึ่งเป็นเครื่องมือทางด้านการวิเคราะห์เครือข่าย (network analysis) สำหรับการสกัดกราฟผู้วิจัยร่วม และรองรับไฟล์ข้อมูลจากฐานข้อมูลงานวิจัย SCOPUS ด้วย ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูลงานวิจัยอย่างละเอียดในหัวข้อ 4.3.2 โดยผลลัพธ์จากเครื่องมือ Sci^2 ที่ต้องการประกอบด้วยไฟล์ข้อมูลกราฟผู้วิจัยร่วม (adjacency list), ไฟล์กลุ่มที่สมาชิกสังกัด, ไฟล์จำนวนสมาชิกในแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะถูกเก็บได้รูปแบบไฟล์ข้อมูล (text file) เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าตัววัดต่างๆ ในเครื่องมือการวิเคราะห์รูปร่างของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้น นอกจากนี้เครื่องมือ Sci^2 จะช่วยสร้างรูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่จะช่วยนำไปตรวจสอบกับค่าตัววัดต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย

ภาพที่ 8 สัญลักษณ์และตัวอย่างรูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของเครื่องมือ Sci^2

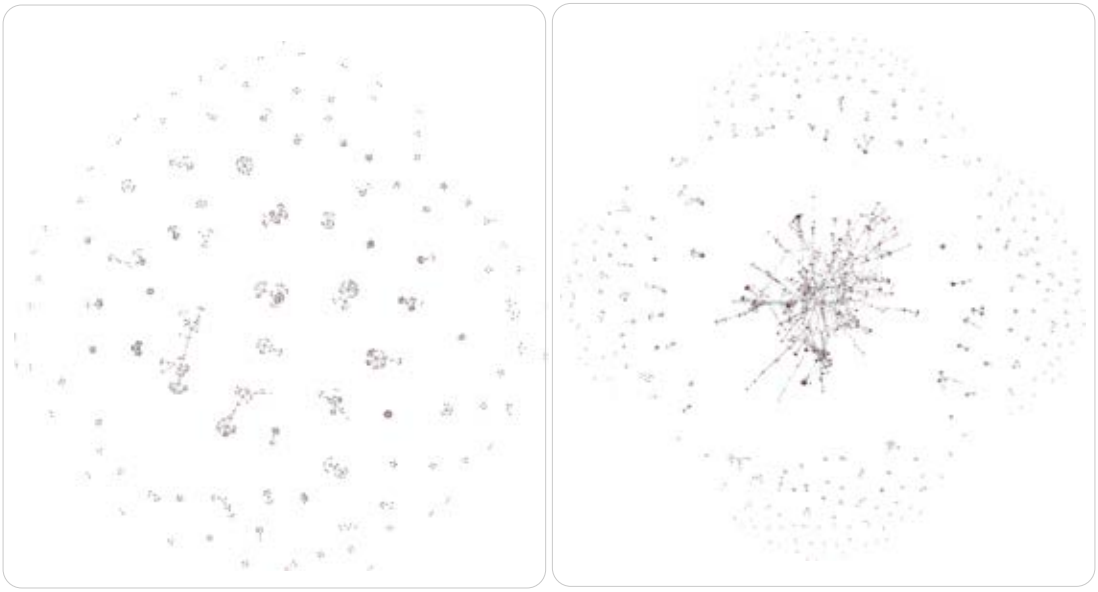
3.3 ชุดตัววัดสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

3.3.1 พฤติกรรมการทำวิจัยที่ทำให้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมมีความแตกต่าง

จากการสำรวจกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของสถาบันวิจัยต่างๆ ผู้วิจัยสามารถสรุปพฤติกรรมการทำวิจัยที่ส่งผลให้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมมีความแตกต่าง 3 คุณลักษณะดังต่อไปนี้

- **พฤติกรรมที่ 1 การรวมกลุ่มวิจัย**

ลักษณะกลุ่มที่เกิดขึ้นภายในกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม มีลักษณะการเชื่อมโยงของโหนดเกิดเป็นกลุ่มวิจัยจำนวนหลายกลุ่ม ซึ่งจะสื่อถึงพฤติกรรมการรวมกลุ่มวิจัย ขนาดของกลุ่มวิจัยมีความหลากหลายตั้งแต่ 1 – 100,000 โหนดโดยจะขึ้นกับข้อมูลวิจัยที่ทำการวิเคราะห์ ในบางกรณีกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมประกอบขึ้นจากกลุ่มวิจัยขนาดเล็กจำนวนมากแสดงตัวอย่างในภาพที่ 9 (ก) บางกรณีกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมประกอบด้วยกลุ่มวิจัยหลายขนาดที่มีความแตกต่างกันมากแสดงตัวอย่างในภาพที่ 9 (ข)



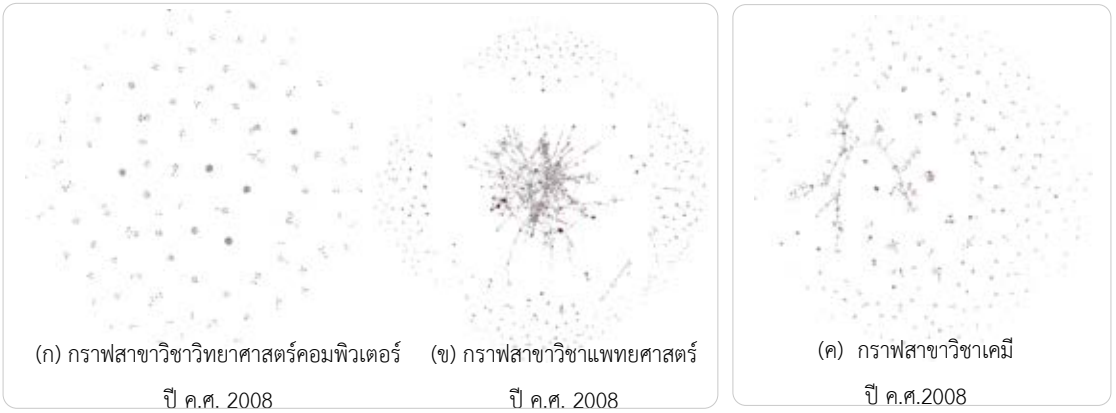
(ก) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ค.ศ.2011 (ข) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ค.ศ.2011

ภาพที่ 9 รูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีความแตกต่างในพฤติกรรมการรวมกลุ่มวิจัย

- **พฤติกรรมที่ 2 การเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม**

ลักษณะการเชื่อมโยงภายในของแต่ละกลุ่มวิจัยแบบที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม ส่งผลให้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมมีความแตกต่าง

โดยจะเกิดได้ 2 กรณีดังภาพที่ 10 กรณีแรกการเชื่อมโยงที่ไม่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ทั้งในกลุ่มวิจัยขนาดเล็กและกลุ่มวิจัยขนาดใหญ่ แสดงตัวอย่างในภาพที่ 10 (ก) และ(ข) กรณีที่ 2 การเชื่อมโยงที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม จะทำให้รูปร่างของกลุ่มเป็นลักษณะที่เป็นกิ่งก้านสาขา แสดงตัวอย่างในภาพที่ 10 (ค)

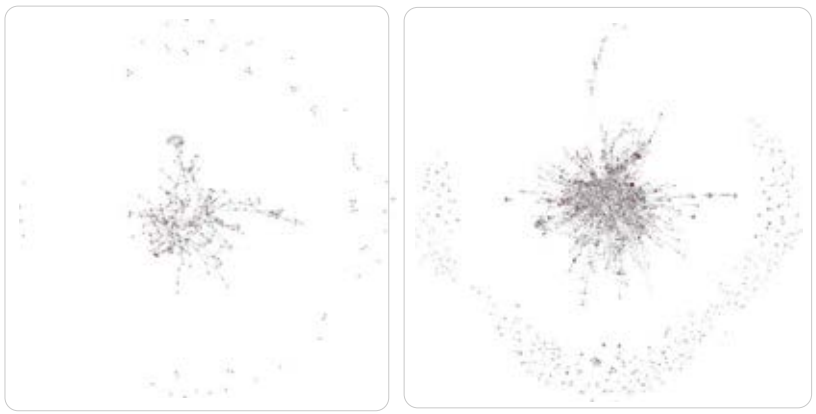


(ก) กราฟสาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ปี ค.ศ. 2008 (ข) กราฟสาขาวิชาแพทยศาสตร์ ปี ค.ศ. 2008 (ค) กราฟสาขาวิชาเคมี ปี ค.ศ.2008

ภาพที่ 10 รูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีความแตกต่างในพฤติกรรมการเชื่อมโยงที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม

- **พฤติกรรมที่ 3 การเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น**

ลักษณะการเชื่อมโยงภายในของแต่ละกลุ่มวิจัยแบบมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยไม่เท่ากัน ส่งผลให้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมมีความแตกต่าง จากภาพที่ 11 แสดงกราฟผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี ค.ศ. 2001-2012 โดยภาพที่ 11 (ก) แสดงเฉพาะนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่อง 5 ปี จากช่วง 12 ปี และภาพที่ 11 (ข) แสดงนักวิจัยทั้งหมดที่ตีพิมพ์ผลงานวิจัยในช่วงดังกล่าว ซึ่งกราฟทั้ง 2 รูปมีความแตกต่างในด้านความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของนักวิจัย โดยภาพที่ 11 (ก) มีความเชื่อมระหว่างนักวิจัยที่เบาบางกว่าภาพที่ 11 (ข)



(ก) กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม ผู้ที่มีผลงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง

(ข) กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

ภาพที่ 11 รูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ช่วงปี ค.ศ. 2001-2012 ที่มีความแตกต่างในพฤติกรรมการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น

3.3.2 การคัดเลือกตัววัด

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอแนวคิดของการเลือกตัววัดที่จะใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการทำวิจัยแบบต่างๆที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3.1 ด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.2.1 การคัดแยกประเภทตัววัด

แยกประเภทของตัววัดที่ได้ทำการสำรวจในด้านวิเคราะห์ข้อมูลเครือข่าย (network analysis) ออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการวิเคราะห์ของตัววัด ดังต่อไปนี้

- **<u>ประเภทที่ 1</u>** คือ ตัววัดวิเคราะห์ลักษณะกลุ่มของกราฟ ซึ่งสามารถวิเคราะห์กราฟที่มีกลุ่มวิจัยหลายกลุ่มได้ จะใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการรวมกลุ่มวิจัย
    - ตัววัด Giant component
    - ตัววัด Component SD
    - ตัววัด Component ratio
    - ตัววัด Fragmentation
    - ตัววัด Component leadership

ตัววัด Component leadership ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอขึ้นมาใหม่ ซึ่งนิยามจะขอกล่าวถึงในหัวข้อ 3.3.3

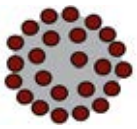
- **<u>ประเภทที่ 2</u>** ตัววัดวิเคราะห์การเชื่อมโยงระหว่างโหนดใน 1 กลุ่ม ซึ่งหมายความว่าสามารถวิเคราะห์กราฟที่มีกลุ่มวิจัยเพียง 1 กลุ่ม จะใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีโหนดศูนย์กลางเป็นจุดเชื่อมโยงและพฤติกรรมการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น

    - ตัววัด Average degree
    - ตัววัด Closure
    - ตัววัด Global clustering coefficient
    - ตัววัด Network density
    - ตัววัด Degree centralization
    - ตัววัด Betweenness centralization
    - ตัววัด Diameter

3.3.2.2 การคัดเลือกตัววัดสำหรับพฤติกรรมที่ 1 การรวมกลุ่มวิจัย

การคัดเลือกตัววัดสำหรับพฤติกรรมที่ 1 จะใช้ตัววัดต่างๆในประเภทที่ 1 โดยชุดกราฟทดสอบถูกสร้างขึ้นมาแทนลักษณะกลุ่มของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบความสามารถของตัววัดต่างๆ และค้นหาตัววัดที่สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการรวมกลุ่มวิจัยได้ดีที่สุด สำหรับพฤติกรรมที่ 1 จะใช้ชุดกราฟทดสอบ 3 ชุดดังต่อไปนี้

- **ชุดกราฟทดสอบที่ 1 วิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะกลุ่มที่แตกต่างกันมากที่สุด**

ชุดกราฟทดสอบ	จำนวนโหนด,*N*	จำนวนกลุ่มวิจัย, *m*	Giant compo-nent (%)	Component SD,*CSD (G)*	Component ratio,*CR(G)*	Fragmentation,*F(G)*	Component Leadership, *CL(G)*
กราฟทดสอบที่ 1 ก	24	24	4.16%	0	1	1	0
กราฟทดสอบที่ 1 ข 	24	1	100%	0	0	0	1

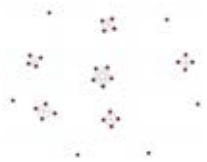
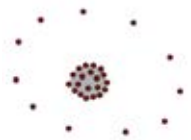
ตารางที่ 1 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะกลุ่มที่แตกต่างกันมากที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ของชุดกราฟทดสอบที่ 1 ในตารางที่ 1 วิเคราะห์รูปร่างกราฟทดสอบที่ 1 ก ลักษณะกลุ่มของกราฟประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยว (isolate) จำนวนหลายกลุ่ม และกราฟทดสอบที่ 1 ข ลักษณะกลุ่มของกราฟรวมเป็น 1 กลุ่ม ซึ่งทั้ง 2 กราฟมีความแตกต่างในลักษณะกลุ่มของกราฟมากที่สุด ตัววัดต่างๆ วิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

- ตัววัดแรก Giant component(%) วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 1 ก เท่ากับ 4.16% และกราฟทดสอบที่ 1 ข เท่ากับ 100% ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของ 2 กราฟได้ดี
- ตัววัดที่ 2 Component SD ไม่สามารถแยกแยะลักษณะกลุ่มของกราฟเนื่องจากให้ 2 กราฟมีค่าเท่ากับ 0
- ตัววัดที่ 3 Component ratio ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 1 ก ค่าสูงสุดคือ 1 และกราฟทดสอบที่ 1 ข ค่าต่ำสุดคือ 0 ซึ่งหมายความว่ากราฟที่มีกลุ่มกระจัดกระจายมีค่าสูงสุดและกราฟที่มีการรวมตัวเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียวมีค่าน้อยสุด
- ตัววัดที่ 4 Fragmentation ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 1 ก ค่าสูงสุดคือ 1 และกราฟทดสอบที่ 1 ข ค่าต่ำสุดคือ 0 ซึ่งมีความหมายเหมือนกันตัววัดที่ 3
- ตัววัดที่ 5 Component leadership ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 1 ก ค่าต่ำสุดคือ 0 และกราฟทดสอบที่ 1 ข ค่าสูงสุดคือ 1 ซึ่งมีความหมาย

แตกต่างจากตัววัดที่ 3 และ 4 คือ กราฟที่มีกลุ่มกระจัดกระจายมีค่าน้อยสุดและกราฟที่มีการรวมตัวเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเดียวมีค่าสูงสุด

- **ชุดกราฟทดสอบที่ 2 วิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะกลุ่มที่มีขนาดกลางหลายกลุ่มและขนาดใหญ่ 1 กลุ่ม**

ชุดกราฟทดสอบ	จำนวนโหนด,***N***	จำนวนกลุ่มวิจัย, ***m***	Giant compo-nent (%)	Component SD,*CSD (G)*	Component ratio,*CR(G)*	Fragmentation,*F(G)*	Component Leadership, *CL(G)*
กราฟทดสอบที่ 2 ก 	31	12	16%	1.68	0.35	0.91	0.08
กราฟทดสอบที่ 2 ข 	31	12	64.5%	5.48	0.35	0.59	0.73

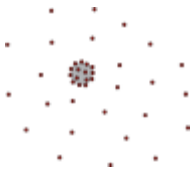
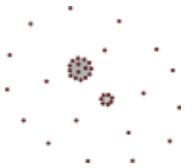
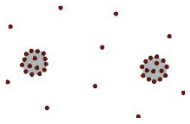
ตารางที่ 2 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะกลุ่ม
ที่มีขนาดกลางหลายกลุ่มและขนาดใหญ่ 1 กลุ่ม

จากผลการวิเคราะห์ของชุดกราฟทดสอบที่ 2 ในตารางที่ 2 วิเคราะห์รูปร่างกราฟทดสอบที่ 2 ก ลักษณะกลุ่มของกราฟประกอบด้วยกลุ่มขนาดเล็กหลายกลุ่มรวมกับกลุ่มเดี่ยว (isolate) และกราฟทดสอบที่ 2 ข ลักษณะกลุ่มของกราฟประกอบด้วยกลุ่มขนาดใหญ่รวมกับกลุ่มเดี่ยว (isolate) ซึ่งทั้ง 2 กราฟมีความแตกต่างในเฉพาะขนาดของกลุ่มที่ใหญ่สุด ตัววัดต่างๆวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

- ตัววัดแรก Giant component(%) วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 2 ก เท่ากับ 16% และกราฟทดสอบที่ 2 ข เท่ากับ 64.5% ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของ 2 กราฟได้ดี
- ตัววัดที่ 2 Component SD วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 2 ก เท่ากับ 1.68 และกราฟทดสอบที่ 2 ข เท่ากับ 5.48 แต่เนื่องจากตัววัด Component SD ไม่มีช่วงของผลลัพธ์จึงไม่สามารถบอกระดับของความแตกต่างได้

- ตัววัดที่ 3 Component ratio ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 2 ก และกราฟทดสอบที่ 2 ข มีค่าเท่ากับ 0.35 ไม่สามารถแยกแยะลักษณะกลุ่มของชุดกราฟทดสอบนี้ได
- ตัววัดที่ 4 Fragmentation ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 2 ก เท่ากับ 0.91 และกราฟทดสอบที่ 2 ข เท่ากับ 0.59 ซึ่งหมายความว่ากราฟที่มีกลุ่มขนาดเล็กหลายกลุ่มรวมกับกลุ่มเดี่ยว (isolate) มีค่ามากและกราฟที่มีกลุ่มขนาดใหญ่รวมกับกลุ่มเดี่ยว (isolate) มีค่าน้อย
- ตัววัดที่ 5 Component leadership ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 2 ก เท่ากับ 0.08 และกราฟทดสอบที่ 2 ข เท่ากับ 0.73 ซึ่งมีความหมายแตกต่างจากตัววัดที่ 4 คือ ซึ่งหมายความว่ากราฟที่มีกลุ่มขนาดเล็กหลายกลุ่มรวมกับกลุ่มเดี่ยว (isolate) มีค่าน้อยและกราฟที่มีกลุ่มขนาดใหญ่รวมกับกลุ่มเดี่ยว (isolate) มีค่ามาก

- **ชุดกราฟทดสอบที่ 3 วิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ 1 กลุ่ม,ขนาดใหญ่ 1 กลุ่มรวมขนาดกลาง 1 กลุ่ม และขนาดใหญ่ 2 กลุ่ม**

ชุดกราฟทดสอบ	จำนวนโหนด,***N***	จำนวนกลุ่มวิจัย, ***m***	Giant compo-nent (%)	Component SD,***CSD (G)***	Component ratio,***CR(G)***	Fragmentation,***F(G)***	Component Leadership, ***CL(G)***
กราฟทดสอบที่ 3 ก 	40	26	37.5%	2.70	0.64	0.87	0.34
กราฟทดสอบที่ 3 ข 	40	20	37.5%	3.26	0.49	0.84	0.33
กราฟทดสอบที่ 3 ค 	40	12	37.5%	5.22	0.28	0.73	0.29

ตารางที่ 3 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ 1 กลุ่ม, ขนาดใหญ่ 1 กลุ่มรวมขนาดกลาง 1 กลุ่ม และขนาดใหญ่ 2 กลุ่ม

จากผลการวิเคราะห์ของชุดกราฟทดสอบที่ 3 ในตารางที่ 3 วิเคราะห์รูปร่างกราฟทดสอบที่ 3 ก ลักษณะกลุ่มของกราฟประกอบด้วยกลุ่ม 1 กลุ่มขนาดใหญ่รวมกับกลุ่มเดี่ยว (isolate), กราฟทดสอบที่ 3 ข ลักษณะกลุ่มของกราฟประกอบด้วยกลุ่ม 1 กลุ่มขนาดใหญ่ 1 กลุ่มขนาดกลางรวมกับกลุ่มเดี่ยว (isolate) และกราฟทดสอบที่ 3 ค ลักษณะกลุ่มของกราฟประกอบด้วย 2 กลุ่มขนาดใหญ่รวมกับกลุ่มเดี่ยว (isolate) ซึ่งทั้ง 3 กราฟมีความแตกต่างขนาดกลุ่มที่ใหญ่อันดับ 2 ตัววัดต่างๆวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

- ตัววัดแรก Giant component(%) ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก, กราฟทดสอบที่ 3 ข และกราฟทดสอบที่ 3 ค มีค่าเท่ากัน 37.5% ไม่สามารถแยกแยะลักษณะกลุ่มของชุดกราฟทดสอบนี้ได้
- ตัววัดที่ 2 Component SD วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก เท่ากับ 2.70, กราฟทดสอบที่ 3 ข เท่ากับ 3.26 และกราฟทดสอบที่ 3 ค เท่ากับ 5.22

แต่เนื่องจากตัววัด Component SD ไม่มีช่วงของผลลัพธ์จึงไม่สามารถบอกระดับของความแตกต่างได้

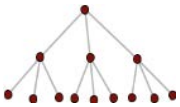
- ตัววัดที่ 3 Component ratio วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก เท่ากับ 0.64, กราฟทดสอบที่ 3 ข เท่ากับ 0.49 และกราฟทดสอบที่ 3 ค เท่ากับ 0.28 ซึ่งหมายความว่ากราฟมีกลุ่มที่ใหญ่เพียงกลุ่ม 1 กลุ่มมีค่ามากที่สุดและเมื่อกราฟที่มีกลุ่มขนาดใหญ่เพิ่มเข้ามาจะทำให้ค่าตัววัดนี้มีค่าน้อยลง
- ตัววัดที่ 4 Fragmentation วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก เท่ากับ 0.87, กราฟทดสอบที่ 3 ข เท่ากับ 0.84 และกราฟทดสอบที่ 3 ค เท่ากับ 0.73 ซึ่งมีความหมายเหมือนกันตัววัดที่ 3 แต่มีตัวเลขที่สูงกว่า
- ตัววัดที่ 5 Component leadership ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก เท่ากับ 0.29, กราฟทดสอบที่ 3 ข เท่ากับ 0.33 และกราฟทดสอบที่ 3 ค เท่ากับ 0.34 ซึ่งมีความหมายแตกต่างจากตัววัดที่ 3 และ 4 คือ กราฟมีกลุ่มที่ใหญ่เพียงกลุ่ม 1 กลุ่มมีค่าน้อยที่สุดและเมื่อกราฟที่มีกลุ่มขนาดใหญ่เพิ่มเข้ามา จะทำให้ค่าตัววัดนี้มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของกลุ่มที่เพิ่มเข้ามาในกราฟ

สรุปจากการวิเคราะห์แยกแยะลักษณะกลุ่มของชุดกราฟทดสอบ 3 ชุด ตัววัดที่สามารถแยกแยะรูปร่างได้จะมี 2 ตัววัด คือ ตัววัด Fragmentation และตัววัด Component leadership มีค่าวิเคราะห์อยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 1 แต่เนื่องจากเป็นตัววัดที่วิเคราะห์กรณีลักษณะกลุ่มของกราฟที่มีการกระจายของกลุ่มมีค่าน้อยและกรณีรูปร่างกราฟที่มีการรวมกลุ่มมีค่ามาก ซึ่งเป็นตัวเลขที่สามารถสื่อถึงการรวมกลุ่มได้ดีกว่า ผู้วิจัยจึงเลือกเฉพาะตัววัด Component leadership สำหรับพฤติกรรมที่ 1 การรวมกลุ่มวิจัย

3.3.2.3 การคัดเลือกตัววัดสำหรับพฤติกรรมที่ 2 การเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม

การคัดเลือกตัววัดสำหรับพฤติกรรมที่ 2 จะใช้ตัววัดต่างๆในประเภทที่ 2 โดยชุดกราฟทดสอบถูกสร้างขึ้นมาแทนลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อมในกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบความสามารถของตัววัดต่างๆ และค้นหาตัววัดที่สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อมได้ดีที่สุดสำหรับพฤติกรรมที่ 2 โดยจะใช้ชุดกราฟทดสอบ 1 ชุดดังต่อไปนี้

- **ชุดกราฟทดสอบที่ 1 วิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีโหนดใดโหนดหนึ่งเป็นจุดศูนย์กลาง**

ชุดกราฟทดสอบ	จำนวน node, N	จำนวน edge, $\|E\|$	Avg. degree	Closure, $T(G)$	Clustering_ coefficient	Network density, $pE(G)$	Degree_ Centralization , $C_D(G)$	Betweenness_centralization , $C_B(G)$	Diameter, $diam(G)$	Average shortest path, $L(G)$
กราฟทดสอบที่ 1 ก	7	42	6.0	1	1	1	0	0	1	1.00
กราฟทดสอบที่ 1 ข 	13	12	1.84	0	0	0.15	0.21	0.61	4	2.77
กราฟทดสอบที่ 1 ค	8	7	1.75	0	0	0.25	1	1.0	2	1.75

ตารางที่ 4 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม

จากผลการวิเคราะห์ของชุดกราฟทดสอบที่ 1 ในตารางที่ 4 วิเคราะห์รูปร่างกราฟทดสอบที่ 1 ก การเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีเชื่อมโยงระหว่างทุกโหนดเชื่อมถึงกันหมด (complete graph), กราฟทดสอบที่ 1 ข การเชื่อมโยงภายในกลุ่มโหนดเชื่อมโยงต่อกันเป็นระดับชั้นและกราฟทดสอบที่ 1 ค การเชื่อมโยงภายในกลุ่มโหนดเชื่อมโยงต่อกันจากศูนย์กลาง ซึ่งทั้ง 3 กราฟจะมีความแตกต่างในเรื่องโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยง ตัววัดต่างๆวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

- ตัววัดแรก Average degree ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 6.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 1.84 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 1.75 ไม่สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงของชุดกราฟทดสอบนี้ได้
- ตัววัดที่ 2 Closure วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 1.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.0 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 0.0

ไม่สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงของชุดกราฟทดสอบนี้ได้

- ตัววัดที่ 3 Clustering coefficient วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 1.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.0 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 0.0 ซึ่งมีความหมายเหมือนกันตัววัดที่ 2
- ตัววัดที่ 4 Network density วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 1.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.15 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 0.25 ไม่สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงของชุดกราฟทดสอบนี้ได้ เนื่องจากโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงของกราฟทดสอบที่ 1 ค มากที่สุด รองลงมาคือกราฟทดสอบที่ 1 ข ตามด้วยกราฟทดสอบที่ 1 ก ซึ่งผลการวิเคราะห์ไม่ได้ผลตามที่คาดหวัง
- ตัววัดที่ 5 Degree centralization วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 0.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.21 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 1.0 สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงของชุดกราฟทดสอบนี้ได้ แต่ค่าการวิเคราะห์ระหว่างกราฟทดสอบที่ 1 ข กับกราฟทดสอบที่ 1 ค ควรใกล้เคียงกันมากกว่านี้ เนื่องจากมีโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยง
- ตัววัดที่ 6 Betweenness centralization วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 1.0 ,กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.61 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 1.0 สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงของชุดกราฟทดสอบนี้ได้ และค่าการวิเคราะห์ระหว่างกราฟทดสอบที่ 1 ข กับกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่ามากกว่า 0.6 ซึ่งมีความใกล้เคียงกัน
- ตัววัดที่ 7 Diameter วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 1, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 4 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 2 ไม่สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงของชุดกราฟทดสอบนี้ได้
- ตัววัดที่ 8 Average shortest path วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 1.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 2.77 และกราฟทดสอบ

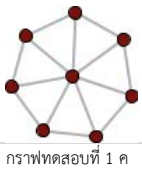
ที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 1.75 ไม่มีช่วงของผลลัพธ์จึงไม่สามารถบอกระดับของความแตกต่างได้

สรุปจากการวิเคราะห์แยกแยะลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อมของชุดกราฟทดสอบ 1 ชุด ตัววัดที่สามารถแยกแยะรูปร่างได้จะมี 2 ตัววัด คือ ตัววัด Betweenness centralization และตัววัด Degree centralization มีค่าวิเคราะห์อยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 1 แต่เนื่องจากกราฟทดสอบที่ 1 ข ตัววัด Degree centralization วิเคราะห์ค่าได้น้อยกว่าตัววัด Betweenness centralization มาก ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ผลตามที่คาดหวังมากกว่า ผู้วิจัยจึงเลือกเฉพาะตัววัด Betweenness centralization สำหรับพฤติกรรมที่ 2 การเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม

3.3.2.4 การคัดเลือกตัววัดสำหรับพฤติกรรมที่ 3 การเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น

การคัดเลือกตัววัดสำหรับพฤติกรรมที่ 3 จะใช้ตัววัดต่างๆในประเภทที่ 2 โดยชุดกราฟทดสอบถูกสร้างขึ้นมาแทนลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีการเชื่อมโยงระหว่างโหนดของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบความสามารถของตัววัดต่างๆ และค้นหาตัววัดที่สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่นได้ดีที่สุด สำหรับพฤติกรรมที่ 3 จะใช้ชุดกราฟทดสอบ 1 ชุดดังต่อไปนี้

- **ชุดกราฟทดสอบที่ 1 วิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่นระหว่างโหนด**

ชุดกราฟทดสอบ	จำนวน node, N	จำนวน edge, $\|E\|$	Avg. degree	Closure, $T(G)$	Clustering_ coefficient	Network density, $pE(G)$	Degree_ Centralization , $C_D(G)$	Betweenness_centralization , $C_B(G)$	Diameter, $diam(G)$	Average shortest path, $L(G)$
กราฟทดสอบที่ 1 ก	9	9	2.0	0	0	0.25	0	0	4	2.5
กราฟทดสอบที่ 1 ข 	8	14	3.5	0.5	0.65	0.5	0.67	0.48	2	1.5
กราฟทดสอบที่ 1 ค	7	42	6.0	1	1	1	0	0	1	1.0

ตารางที่ 5 การทดสอบวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่นระหว่างโหนด

จากผลการวิเคราะห์ของชุดกราฟทดสอบที่ 1 ในตารางที่ 5 วิเคราะห์รูปร่างกราฟทดสอบที่ 1 ก การเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีเชื่อมโยงระหว่างโหนดเชื่อมถึงกันอย่างเบาบาง, ทดสอบที่ 1 ข การเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีเชื่อมโยงระหว่างโหนดเชื่อมถึงกันมากขึ้น และทดสอบที่ 1 ค การเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีเชื่อมโยงระหว่างทุกโหนดเชื่อมถึงกันหมด (complete graph) ซึ่งทั้ง 3 กราฟจะมีความแตกต่างในเรื่องความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของโหนดที่อยู่ภายในกราฟ ตัววัดต่างๆ วิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

- ตัววัดแรก Average degree ที่วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 2.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 3.5 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 6.0 ไม่มีช่วงของผลลัพธ์จึงไม่สามารถบอกระดับของความแตกต่างได้
- ตัววัดที่ 2 Closure วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 0.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.5 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 1.0

สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของโหนดที่อยู่ภายในกราฟของชุดกราฟทดสอบนี้ได้

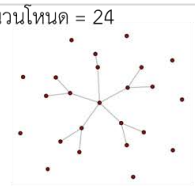
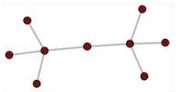
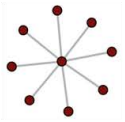
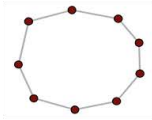
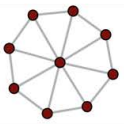
- ตัววัดที่ 3 Global clustering coefficient วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 0.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.65 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 1.0 สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของโหนดที่อยู่ภายในกราฟของชุดกราฟทดสอบนี้ได้
- ตัววัดที่ 4 Network density วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 0.25, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.5 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 1.0 สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของโหนดที่อยู่ภายในกราฟของชุดกราฟทดสอบนี้ได้
- ตัววัดที่ 5 Degree centralization วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 0.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.67และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 0.0 ไม่สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของโหนดที่อยู่ภายในกราฟของชุดกราฟทดสอบนี้ได้
- ตัววัดที่ 6 Betweenness centralization วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 0.0, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 0.48 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 0.0 ไม่สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของโหนดที่อยู่ภายในกราฟของชุดกราฟทดสอบนี้ได้
- ตัววัดที่ 7 Diameter วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 4, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 2 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 1 ไม่มีช่วงของผลลัพธ์จึงไม่สามารถบอกระดับของความแตกต่างได้
- ตัววัดที่ 8 Average shortest path วิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 3 ก มีค่าเท่ากับ 2.5, กราฟทดสอบที่ 1 ข มีค่าเท่ากับ 1.5 และกราฟทดสอบที่ 1 ค มีค่าเท่ากับ 1.0 ไม่มีช่วงของผลลัพธ์จึงไม่สามารถบอกระดับของความแตกต่างได้

สรุปจากการวิเคราะห์แยกแยะลักษณะความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของโหนดที่อยู่ภายในกราฟของชุดกราฟทดสอบ 1 ชุด ตัววัดที่สามารถแยกแยะรูปร่างได้จะมี 3 ตัววัด คือตัววัด Closure, ตัววัด Global clustering coefficient

และตัววัด Network density แต่เนื่องจากตัววัด Network density จะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันเลขชี้กำลัง (exponential) ซึ่งจะทำให้ค่าผลลัพธ์ลู่เข้าสู่ 0 เมื่อจำนวน โหนดเพิ่มขึ้น ทำให้การเปรียบเทียบระหว่างกราฟทำได้แค่กราฟที่มีจำนวนโหนดเท่ากันเท่านั้น ในส่วนตัววัด Closure และตัววัด Global clustering coefficient มีค่าวิเคราะห์อยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 1 สามารถแยกแยะลักษณะความแตกต่างในเรื่องความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของโหนดที่อยู่ภายในกราฟของชุดกราฟทดสอบนี้ได้ แต่ตัววัด Global clustering ให้ค่าวิเคราะห์กราฟทดสอบที่ 1 ข มากกว่า ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ผลตามที่คาดหวังมากกว่าตัววัด Closure ผู้วิจัยจึงเลือกเฉพาะตัววัด Global clustering coefficient สำหรับพฤติกรรมที่ 3 การเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่นระหว่างโหนด

3.3.3 ตัววัดที่เลือกใช้และการประยุกต์ใช้ตัววัด

จากทดสอบตัววัดต่างๆด้วยชุดกราฟทดสอบในหัวข้อที่ 3.3.2 สามารถสรุปตัววัดที่เลือกใช้คือตัววัด Component leadership, ตัววัด Betweenness centralization, ตัววัด Clustering Coefficient โดยกราฟตัวอย่างที่มีค่าตัววัดระดับต่างๆ ตารางที่ 6 แต่เนื่องจากตัววัดที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงภายในกลุ่มสามารถวิเคราะห์ได้แค่เพียง 1 กลุ่ม จึงต้องมีการประยุกต์ใช้ตัววัดในบางตัว เพื่อให้เหมาะกับการวิเคราะห์พฤติกรรมการวิจัยของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่ประกอบด้วยหลายกลุ่มวิจัย ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไปนี้

	ค่าตัววัดระดับต่ำสุด	ค่าตัววัดระดับกลาง	ค่าตัววัดระดับสูงสุด
Component leadership (CL)	จำนวนโหนด = 24 CL= 0.0	จำนวนโหนด = 24  CL= 0.525	จำนวนโหนด = 24 CL= 1.0
Weighted Betweenness Centralization (W-BC)	จำนวนโหนด = 9 W-BC = 0.0	จำนวนโหนด = 9  W-BC = 0.5	จำนวนโหนด = 9  W-BC = 1.0
Weighted Clustering Coefficient (W-CC)	จำนวนโหนด = 9  W-CC = 0.0	จำนวนโหนด = 9  W-CC = 0.65	จำนวนโหนด = 9 W-CC = 1.0

ตารางที่ 6 กราฟตัวอย่างแสดงค่าตัววัดระดับต่ำสุด, ระดับกลาง, ระดับสูงสุดของตัววัดที่เลือกใช้

- **ตัววัด Component leadership (CL)**

ตัววัดแรกคือ Component leadership (CL) โดยผู้วิจัยได้นำเสนอขึ้นมาใหม่ สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการรวมกลุ่มวิจัยของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม ค่าตัววัด Component leadership (CL) ระดับสูงสุดเท่ากับ 1 จะชี้ให้เห็นถึงการเชื่อมโยงของโหนดเป็นกลุ่มเดียวกัน, ค่าตัววัด Component leadership (CL) ระดับกลางในกราฟที่โหนดจำนวนหนึ่งมีการเชื่อมโยงเป็นกลุ่ม และค่าตัววัด Component leadership (CL) ต่ำสุดเท่ากับ 0 ในกราฟที่โหนดกระจายตัวไม่มีการเชื่อมโยงเป็นกลุ่ม โดยกราฟตัวอย่างที่มีค่าตัววัดระดับต่างๆของค่าตัววัด Component leadership (CL) แสดงในตารางที่ 6

สมการของตัววัด Component leadership (CL) คือค่าเฉลี่ยของผลรวมความแตกต่างของจำนวนโหนดในกลุ่มที่ใหญ่ที่สุดในกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมและจำนวนโหนดของกลุ่มอื่นๆ และหารด้วยจำนวนกลุ่มในกราฟ แสดงในสมการที่ (11) โดย S^* คือ จำนวนโหนดในกลุ่มที่ใหญ่ที่สุดของกราฟ, S_k คือ จำนวนโหนดในกลุ่มอื่นของกราฟ และ m คือ จำนวนกลุ่มในกราฟ

$$CL = \frac{\sum_{k=1}^{m} S^* - S_k}{m} \tag{11}$$

- **ตัววัด *Weighted betweenness centralization (W-BC)***

ตัววัดที่ 2 คือ Betweenness centralization สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม ค่าตัววัด Betweenness centralization ระดับสูงสุดเท่ากับ 1 จะชี้ให้เห็นกราฟที่มีโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงเพียงจุดเดียวซึ่งถือว่าเป็นจุดศูนย์กลางที่มีอิทธิพลมากที่สุด, ค่าตัววัด Betweenness centralization ระดับกลางจะชี้ให้เห็นกราฟที่มีโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงหลายจุด และค่าตัววัด Betweenness centralization ระดับต่ำสุดเท่ากับ 0 จะชี้ให้เห็นกราฟที่ไม่มีโหนดที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยง โดยกราฟตัวอย่างที่มีค่าตัววัดระดับต่างๆของค่าตัววัด Betweenness centralization แสดงในตารางที่ 6

สมการของตัววัด Betweenness centralization จะคำนวณโดยใช้ค่าตัววัด Betweenness centrality เป็นพื้นฐานในการคำนวณ โดยจะเป็นค่าบอกความเป็นจุดศูนย์กลางในการเชื่อมโยงของแต่ละโหนดเป็นการคำนวณจากเส้นทาง (path) ที่ต้องผ่านโหนดนั้นๆ หารด้วยเส้นทางทั้งหมดที่เกิดขึ้นจริงในกราฟ แสดงในสมการที่ (12)

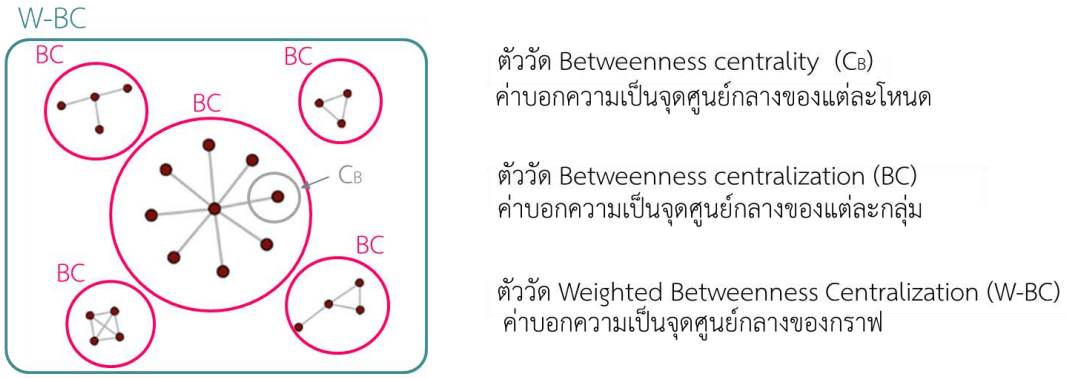
$$\text{Betweenness centrality } (C_B) = \sum_{s\neq \text{v}\neq \text{t}} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \qquad (12)$$

จากนั้นนำตัววัด Betweenness centrality มาคำนวณตัววัด Betweenness centralization ซึ่งตัววัด Betweenness centralization จะเป็นค่าบอกความเป็นจุดศูนย์กลางในการเชื่อมโยงของแต่ละกลุ่ม และตัววัด Betweenness centralization คือสัดส่วนของผลรวมความแตกต่างระหว่างโหนดที่มีค่าตัววัด Betweenness centrality สูงที่สุด และค่าตัววัด Betweenness centrality ของโหนดอื่นในกราฟ กับค่าตัววัด Betweenness centrality สูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในกราฟ แสดงในสมการที่ (13) โดย $C_B(p*)$คือโหนดที่มีค่าตัววัด Betweenness centrality สูงที่สุด, $C_B(p_i)$ คือค่าตัววัด Betweenness centrality ของโหนดอื่นในกราฟ และ n คือจำนวนโหนดในกลุ่ม

$$\text{Betweenness centralization (BC)} = \frac{\sum_{i=1}^{n}[C_B(p*)-C_B(p_i)]}{n^3-4n^2+5n+2} \qquad (13)$$

แต่เนื่องจากตัววัด Betweenness centralization สามารถวิเคราะห์ได้แค่เพียง 1 กลุ่ม ซึ่งยังไม่เหมาะกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่ประกอบด้วยหลายกลุ่มวิจัย ผู้วิจัยจึงต้องมีการประยุกต์ใช้ตัววัดด้วยการค่าเฉลี่ยค่าตัววัด Betweenness centralization ของแต่ละกลุ่มแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted arithmetic mean) [9] โดยจะคำนวณจากตัววัด Betweenness centralization ของแต่ละกลุ่มคูณด้วยน้ำหนักแล้วหาค่าเฉลี่ย จะใช้จำนวนโหนดของแต่ละกลุ่มเป็นน้ำหนัก ซึ่งจะเรียกว่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) โดยกลุ่มใหญ่จะมีอิทธิพลต่อค่าตัววัดมากกว่ากลุ่มขนาดเล็ก แสดงในสมการที่ (14) โดย n คือจำนวนโหนดในกลุ่ม j, BC_j คือ ค่าตัววัด Betweenness centrality ในกลุ่ม j, s คือ จำนวนกลุ่มในกราฟ และ N คือ จำนวนโหนดทั้งหมดในกราฟ

$$\text{Weighted betweenness centralization (W} - \text{BC)} = \sum_{j=1}^{s}\left[\frac{n_j}{N}\left[BC_j\right]\right] \qquad (14)$$



ภาพที่ 12 ตัววัดสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงภายในกลุ่ม
ที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม

- **ตัววัด *Weighted betweenness centralization (W-BC)***

ตัววัดที่ 3 คือ Global clustering coefficient สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น ค่าตัววัด Global clustering coefficient ระดับสูงสุดเท่ากับ 1 จะชี้ให้เห็นกราฟที่มีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงสูงสุด คือทุกโหนดในกราฟเชื่อมถึงกันหมด, ค่าตัววัด Global clustering coefficient ระดับระดับกลางจะชี้ให้เห็นกราฟที่มีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น และค่าตัววัด Global clustering coefficient ระดับต่ำสุดเท่ากับ 0 จะชี้ให้เห็นกราฟที่ไม่มีความหนาแน่นในการเชื่อมโยง โดยกราฟตัวอย่างที่มีค่าตัววัดระดับต่างๆของค่าตัววัด Global clustering coefficient แสดงในตารางที่ 6

สมการของตัววัด Global clustering coefficient จะคำนวณโดยใช้ค่าตัววัด Clustering coefficient เป็นพื้นฐานในการคำนวณ โดยจะเป็นค่าบอกถึงความหนาแน่นในเชื่อมโยงของแต่ละโหนดเป็นการคำนวณจากจำนวนเส้นเชื่อมที่มีอยู่จริงของโหนดเพื่อนบ้านของโหนดนั้นๆ หารด้วยจำนวนเส้นเชื่อมที่สามารถเกิดขึ้นได้สูงสุดของโหนดเพื่อนบ้านของโหนดนั้นๆ แสดงในสมการที่ (15) โดย n_x คือจำนวนเส้นเชื่อมระหว่างโหนดเพื่อนบ้านของโหนด x และ k_x คือจำนวนเส้นเชื่อมที่เป็นไปได้สูงสุดระหว่างโหนดเพื่อนบ้านของโหนด x

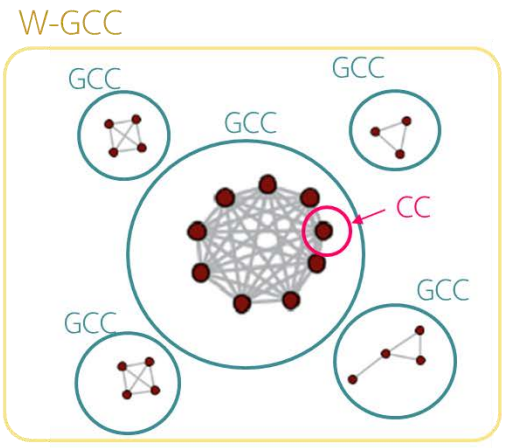
$$\text{Clustering coefficient (CC)} = \frac{n_x}{k_x} \qquad (15)$$

จากนั้นนำตัววัด Clustering coefficient มาคำนวณตัววัด Global clustering coefficient ซึ่งตัววัด Global clustering coefficient จะเป็นค่าบอกถึงความหนาแน่นในเชื่อมโยงของแต่ละกลุ่ม และตัววัด Global clustering coefficient คือ ค่าเฉลี่ยของ Clustering coefficient ของทุกโหนดกลุ่มนั้นๆ แสดงในสมการที่ (16)

$$Global\ clustering\ coefficient\ \ (GCC)\ = \sum_{i=1}^{N} \frac{CC_i}{N} \qquad (16)$$

แต่เนื่องจากตัววัด Global clustering coefficient สามารถวิเคราะห์ได้แค่เพียง 1 กลุ่มซึ่งยังไม่เหมาะกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่ประกอบด้วยหลายกลุ่มวิจัย ผู้วิจัยจึงต้องมีการประยุกต์ใช้ตัววัดด้วยการค่าเฉลี่ยค่า Global clustering coefficient ของแต่ละกลุ่มแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted arithmetic mean) [9] โดยจะคำนวณจาก Global clustering coefficient ของแต่ละกลุ่มคูณด้วยน้ำหนักแล้วหาค่าเฉลี่ย จะใช้จำนวนโหนดของแต่ละกลุ่มเป็นน้ำหนัก ซึ่งจะเรียกว่า Weighted global clustering coefficient (W-GCC) โดยกลุ่มใหญ่จะมีอิทธิพลต่อค่าตัววัดมากกว่ากลุ่มขนาดเล็ก แสดงในสมการที่ (17) โดย n คือจำนวนโหนดในกลุ่ม j, GCC_j คือ ค่าตัววัด Global clustering coefficient ในกลุ่ม j, s คือ จำนวนกลุ่มในกราฟ และ N คือ จำนวนโหนดทั้งหมดในกราฟ

$$Weighted\ global\ clustering\ coefficient(W-BC) = \sum_{j=1}^{s} \left[\frac{n_j}{N}\left[GCC_j\right]\right] \qquad (17)$$



Clustering coefficient (CC)
ค่าบอกความหนาแน่นของการเชื่อมโยงในแต่ละโหนด

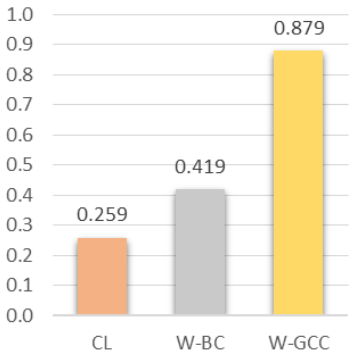
Global clustering coefficient (GCC)
ค่าบอกความหนาแน่นของการเชื่อมโยงในแต่ละกลุ่ม

Weighted Global clustering coefficient (W-BC)
ค่าบอกความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของกราฟ

ภาพที่ 13 ตัววัดสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น

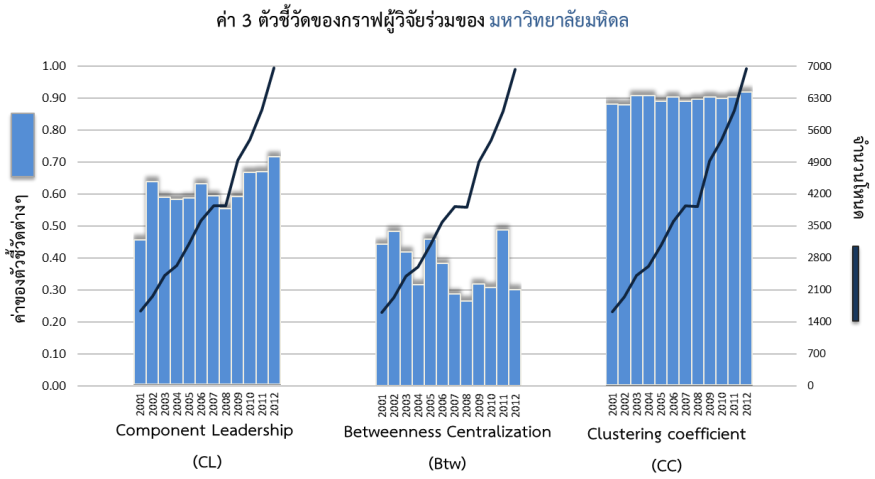
3.4 การแสดงภาพข้อมูล

การนำเสนอระดับค่าชุดตัววัดจะใช้แผ่นภูมิแท่งแบบ 2 มิติ แกนหลักค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 แต่ละแท่งแทนค่าตัววัดต่างๆ



ภาพที่ 14 ตัวอย่างการแสดงระดับค่าชุดตัววัดด้วยแผ่นภูมิแท่งแบบ 2 มิติ ในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายร่วม 1 กราฟ

และในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสถาบันการวิจัยต่างๆ จะนำเสนอระดับค่าชุดตัววัดจะใช้แผ่นภูมิแท่งแบบ 2 มิติ แกนหลักค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 โดยจะแบ่งแท่งข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มตามจำนวนตัววัด แท่งข้อมูลแต่ละพวกจะเริ่มจากข้อมูลในปีต่ำสุดในขอบเขตของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ แกนทางด้านขวาจะใช้กับแผนภูมิเส้นแสดงถึงจำนวนโหนดที่มีอยู่ในกราฟของแต่ละปี



ภาพที่ 15 ตัวอย่างการแสดงระดับค่าชุดตัววัดด้วยแผ่นภูมิแท่งแบบ 2 มิติ ในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายร่วมหลายกราฟ

บทที่ 4
การพัฒนาเครื่องมือและการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายองค์ประกอบของการพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันโดยใช้ชุดของตัววัด ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัย และการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นโดยเน้นการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมจากสถาบันวิจัยต่างๆ ดังนั้นในบทนี้ผู้วิจัยจึงอธิบายรายละเอียดประกอบไปด้วย

- กระบวนการในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัด
- การพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัด ซึ่งจะกล่าวถึงองค์ประกอบของซอฟแวร์ที่จัดทำขึ้น และสภาพแวดล้อมสำหรับการพัฒนาซอฟแวร์
- ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัด จะกล่าวถึงการเก็บข้อมูลจากฐานข้อมูลงานวิจัยสากลที่ผู้วิจัยเลือก ซึ่งสรุปเป็นขั้นตอนวิธีในการทดลองประกอบกับการใช้งานเครื่องมือต่างๆที่ในงานวิจัยนี้ รวมทั้งซอฟแวร์วิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่พัฒนาขึ้นด้วย
- การทดสอบความสามารถในการแยกแยะรูปร่างของกราฟของชุดตัววัด ประกอบด้วยการทดลองใช้วิธีการกับกราฟลักษณะต่างๆ
- การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัดกับกราฟผู้วิจัยร่วมของสาขาวิชาต่างๆ และมหาวิทยาลัย 9 แห่งที่สังกัดมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ

แต่ละหัวข้อสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.1 กระบวนการในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัด

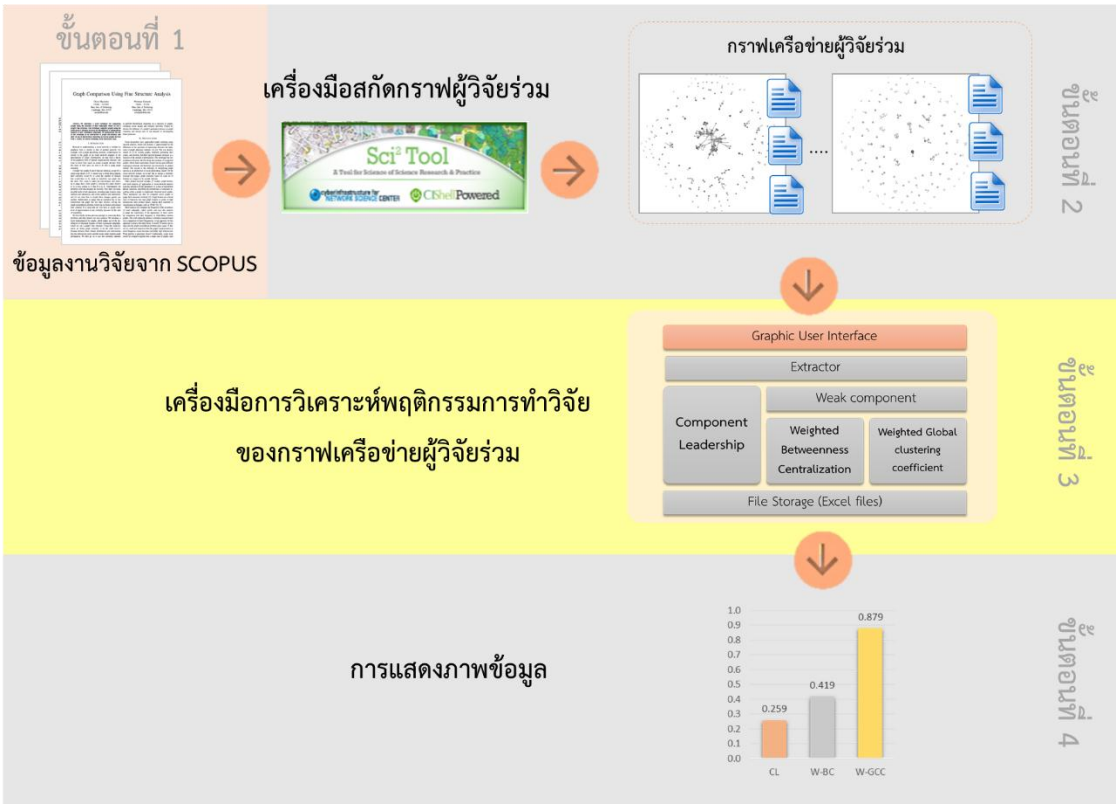
กระบวนการในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัดประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน คือ การรวบรวมข้อมูลงานวิจัย การสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม การวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้วยตัววัดต่างๆ (แสดงดังภาพที่ 16)

ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมข้อมูลงานวิจัยจะใช้ข้อมูลบรรณานุกรมของงานวิจัยจากฐานข้อมูลงานวิจัย SCOPUS เนื่องจากเป็นฐานข้อมูลงานวิจัยระดับนานาชาติ ครอบคลุมงานวิจัยทุกสาขาวิชาและง่ายต่อการเก็บข้อมูลบรรณานุกรมงานวิจัยสำหรับนำมาวิเคราะห์เครือข่ายผู้วิจัยร่วม

ขั้นตอนที่ 2 การสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องมือ Sci^2 สำหรับการสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีประสิทธิภาพและรองรับไฟล์เอกสารแบบจุลภาคกั้นระหว่างข้อมูล (.csv) จากฐานข้อมูลงานวิจัย SCOPUS ด้วย

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัยโดยใช้ชุดของตัววัดเป็นของซอฟแวร์ที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น โดยจะนำผลลัพธ์จากเครื่องมือ Sci^2 มาทำการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมของตัววัดต่างๆที่ได้นำเสนอในบทที่ 3

ขั้นตอนที่ 4 การแสดงภาพข้อมูลด้วยการผลการวิเคราะห์จากเครื่องมือวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัยโดยใช้ชุดของตัววัดนำเสนอระดับค่าชุดตัววัดจะใช้แผ่นภูมิแท่งแบบ 2 มิติ



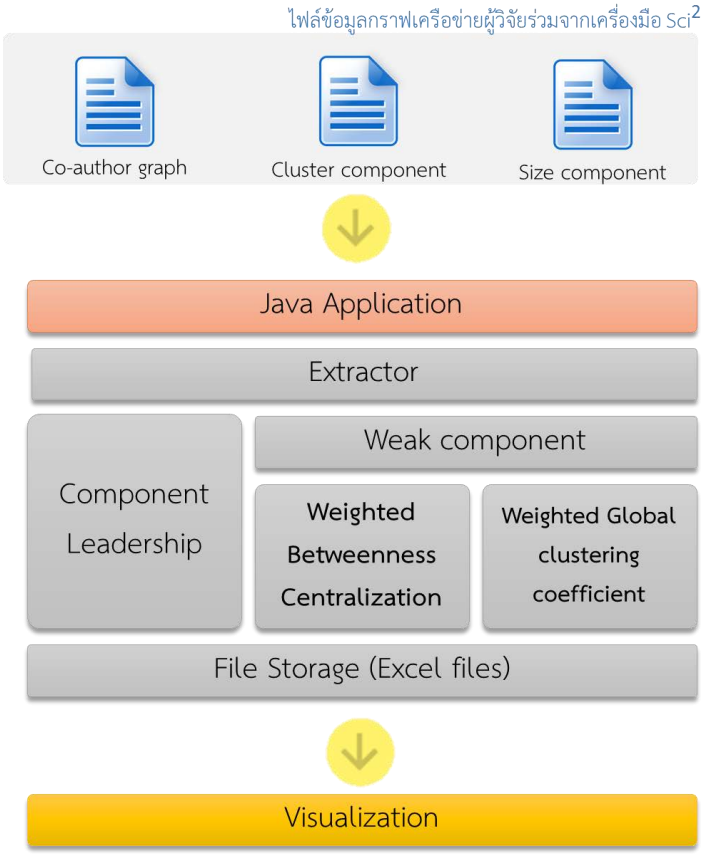
ภาพที่ 16 กระบวนการในการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัด

4.2 การพัฒนาซอฟแวร์

ในส่วนของซอฟแวร์ที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นเกี่ยวกับการนำกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่อยู่ในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมจากเครื่องมือ Sci^2 มาทำการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมของตัววัดต่างๆเพื่อวิเคราะห์เครือข่ายและพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกัน การพัฒนาซอฟแวร์จะเป็นการพัฒนาองค์ประกอบต่างๆจากล่างขึ้นบน (Bottom-Up design) คือ การพัฒนาแยกตามฟังก์ชันการทำงานต่างๆ จนครบถ้วนแล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกัน

4.2.1 สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์

ซอฟแวร์ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นจะใช้แนวคิดของการออกแบบโปรแกรมประยุกต์บนจาวาแพลตฟอร์ม (Java Platform) ซึ่งข้อดีของการพัฒนาเครื่องมือบนจาวาแฟลตฟอร์มคือสามารถนำไปใช้ได้ในหลากหลายระบบปฏิบัติการ รวมทั้งผู้วิจัยได้ออกแบบการเก็บข้อมูลสำหรับการประมวลผลในรูปแบบตารางงาน (Excel file) และไฟล์ข้อมูล (text file) เพื่อง่ายต่อการประมวลผล การจัดเก็บและตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล การพัฒนาซอฟแวร์จะมีสถาปัตยกรรมของซอฟแวร์ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 สถาปัตยกรรมของซอฟแวร์วิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัด

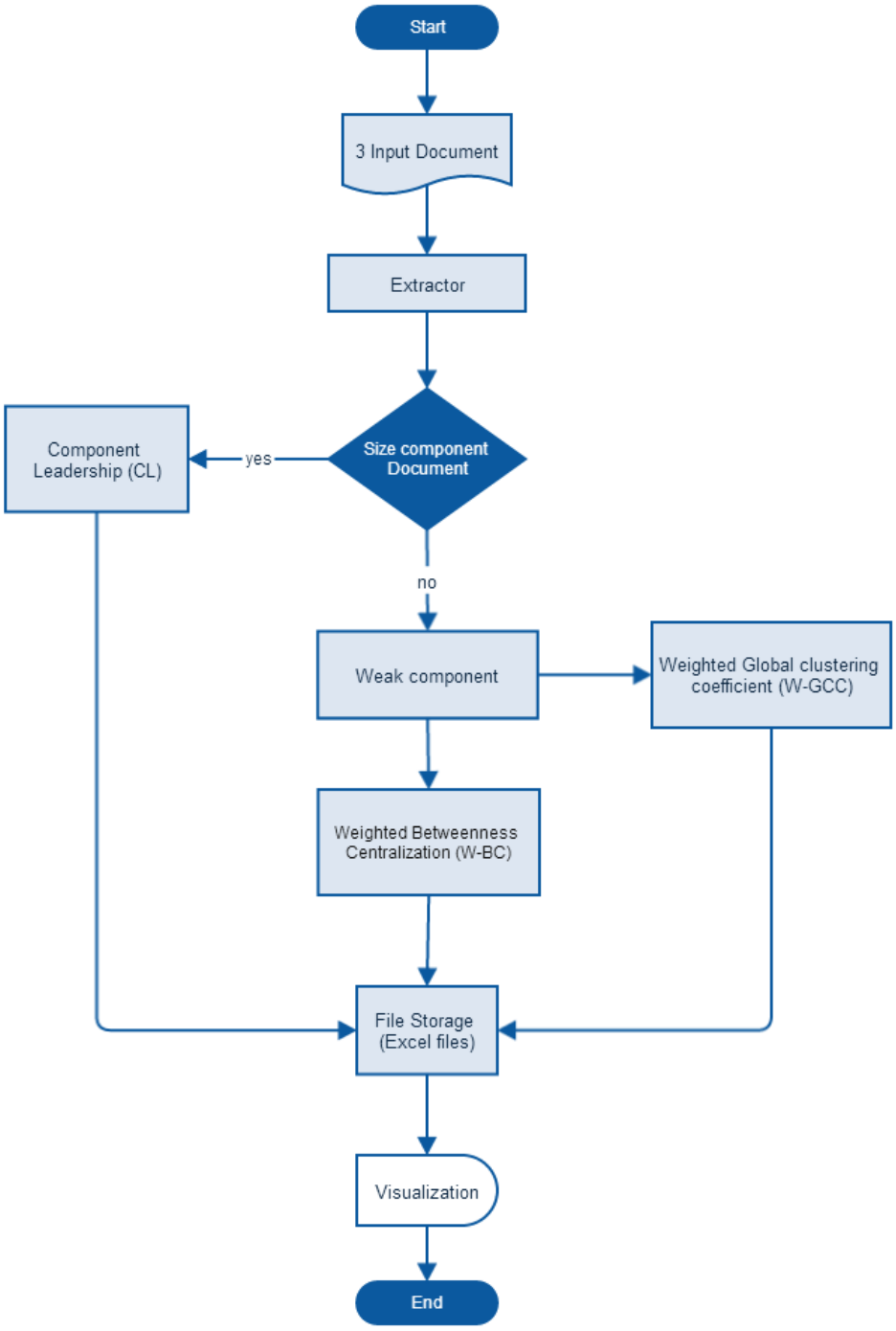
4.2.2 กระแสการดำเนินการ (Execution workflow)

การดำเนินการในเครื่องมือวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้หลายตัววัดนี้ จะมีลักษณะการทำงานเป็นทอดๆ เริ่มต้นจากการนำผลลัพธ์การสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมจากเครื่องมือ Sci^2 คือ ไฟล์ข้อมูลกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 3 ประเภทป้อนเข้าสู่ระบบ จากนั้นจะมีส่วนคัดกรองข้อมูล (Extractor) สำหรับการแยกประเภทของนักวิจัยตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้งานระบุในพารามิเตอร์ โดยจะนำไฟล์จำนวนโหนดในแต่ละกลุ่ม (size component file) มาคำนวณด้วยตัววัด Component leadership (CL) ในส่วนของการแยกกลุ่ม (Weak component) รับช่วงต่อจากส่วนคัดกรองข้อมูล (Extractor) เพื่อทำหน้าที่แยกกลุ่มภายในแต่ละกราฟออกเป็นไฟล์โดยจะใช้ข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลกราฟผู้วิจัยร่วม (co-author graph file) และไฟล์กลุ่มที่โหนดสังกัด (cluster component file) เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะภายในของแต่ละกลุ่มด้วยตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) และ Weighted global clustering coefficient (W-GCC) และภายหลังวิเคราะห์ตัววัดต่างๆ แล้วบันทึกผลลงในไฟล์ข้อมูลแบบตารางงาน (Excel file) เพื่อนำไปทำการแสดงผลต่อไป โดยขั้นตอนการทำงานแสดงในภาพที่ 18

4.2.3 สภาพแวดล้อมและเครื่องมือในการพัฒนา

การพัฒนาซอฟแวร์วิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัดนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาอยู่บนจาวาแพลตฟอร์มและสามารถนำไปใช้บนระบบปฏิบัติการที่ติดตั้งจาวาแพลตฟอร์ม โดยเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนามีดังนี้

- ภาษาจาวา (Java programming language) เป็นภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุที่ใช้พัฒนาองค์ประกอบต่างๆตามสถาปัตยกรรมที่ได้นำเสนอ
- Eclipse (Integrated development environment) โปรแกรมที่ใช้สำหรับพัฒนาภาษาจาวา
- Sci^2 (The science of science tool) [8] ซึ่งเป็นเครื่องมือทางด้านการวิเคราะห์เครือข่าย (network analysis) สำหรับการสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมและการสร้างรูปกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม
- JXL (Java excel API) สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างไฟล์เอกสารแบบตารางงาน (Excel file) กับภาษาจาวา
- Microsoft Office Excel โปรแกรมสำหรับทำแผ่นภูมิแท่ง 2 มิติ



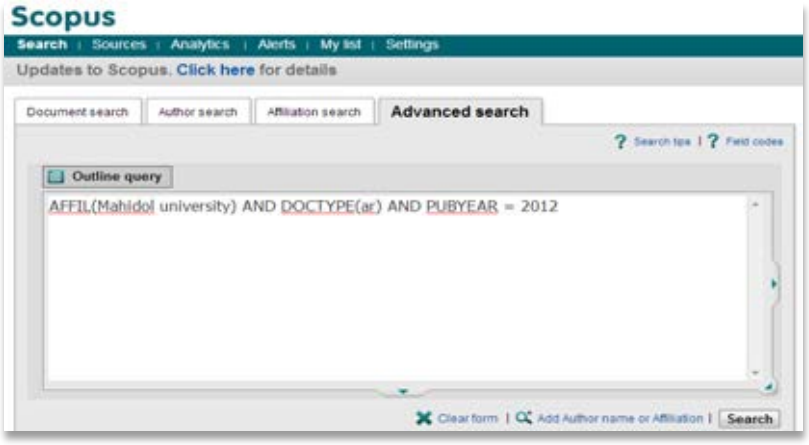
ภาพที่ 18 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัด (flowchart)

4.3 ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัด

4.3.1 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลบรรณานุกรมของงานวิจัยจากฐานข้อมูล SCOPUS

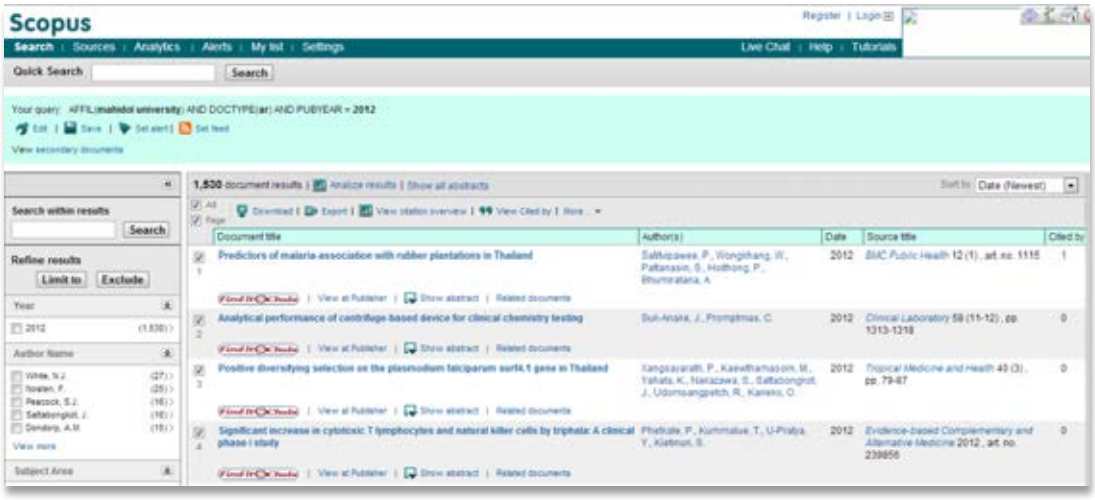
ข้อมูลงานวิจัยสำหรับการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลงานวิจัยของสถาบันวิจัยในประเทศไทย โดยจะเก็บข้อมูลงานวิจัยจากฐานข้อมูล SCOPUS โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- สืบค้นข้อมูลงานวิจัยในการค้นหาขั้นสูง (advanced search) โดยเงื่อนไขในการสืบค้นขึ้นอยู่กับข้อมูลงานวิจัยที่ต้องการ เช่น จากตัวอย่างการสืบค้นในภาพที่ 19 คือ AFFIL(ชื่อมหาวิทยาลัย), DOCTYPE(ประเภทเอกสาร), PUBYEAR =(ปีที่ต้องการสืบค้น)



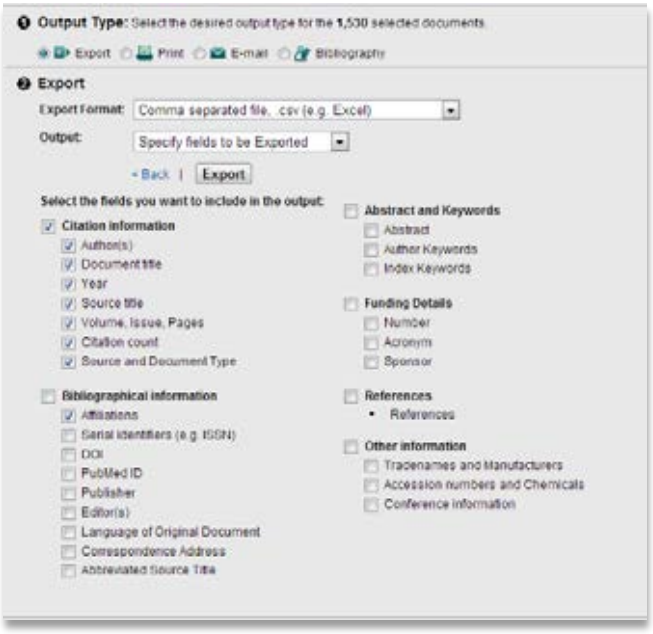
ภาพที่ 19 ตัวอย่างการสืบค้นข้อมูลในฐานข้อมูล SCOPUS

- ผลลัพธ์ของการสืบค้นจะปรากฏเป็นรายการของงานวิจัยดังภาพที่ 20 โดยจะกดเลือกข้อมูลบรรณานุกรมทั้งหมด แล้วกดส่งออก (Export) เพื่อทำการเก็บข้อมูลงานวิจัยที่เลือกไว้



ภาพที่ 20 ตัวอย่างผลลัพธ์ในการสืบค้นข้อมูลผลงานวิจัยในฐานข้อมูล SCOPUS

- รูปแบบไฟล์ในการเก็บข้อมูลงานวิจัย ผู้วิจัยเลือกเก็บข้อมูลในไฟล์เอกสารแบบจุลภาคกั้นระหว่างข้อมูล (.csv) และไม่เก็บชนิดข้อมูลทุกชนิดโดยที่เลือกชนิดที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมเท่านั้นดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การกำหนดรูปแบบไฟล์และชนิดของข้อมูลในการเก็บข้อมูลงานวิจัยในฐานข้อมูล SCOPUS

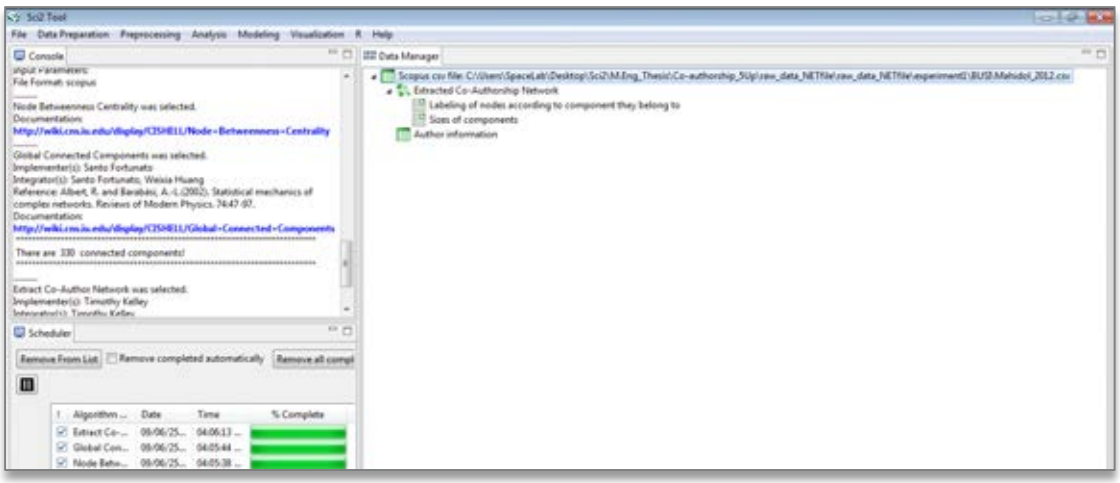
- ไฟล์ข้อมูลงานวิจัยแบบจุลภาคกั้นระหว่างข้อมูล (.csv) แสดงในภาพที่ 22

ภาพที่ 22 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลงานวิจัยแบบจุลภาคกั้นระหว่างข้อมูล (.csv)

4.3.2 ขั้นตอนการสกัดกราฟผู้วิจัยร่วมด้วยเครื่องมือ Sci^2

กระบวนการส่วนการสกัดกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมจากข้อมูลงานวิจัยใช้เครื่องมือ Sci^2 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

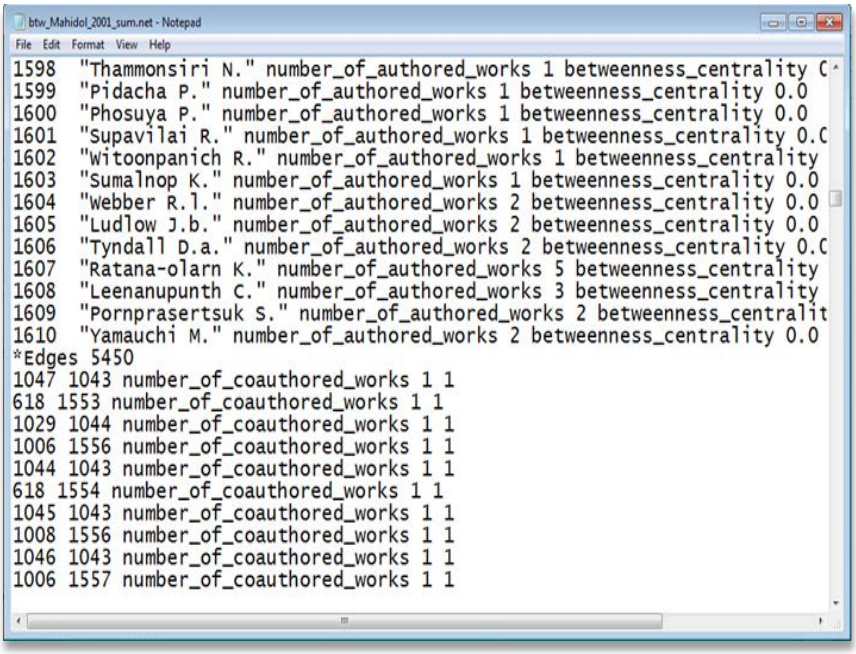
- ไฟล์เอกสารแบบจุลภาคกั้นระหว่างข้อมูล (.csv) จากฐานข้อมูลงานวิจัย SCOPUS ถูกนำมาสกัดกราฟผู้วิจัยร่วมด้วยเครื่องมือ Sci^2 ฟังก์ชันที่เลือกใช้คือ ฟังก์ชันการสกัดข้อมูลเครือข่ายผู้วิจัยร่วม (extract co-author network), ฟังก์ชันการคำนวณค่าตัววัด Betweenness centrality ของโหนด (Node betweenness centrality) และฟังก์ชันสกัดกลุ่มที่โหนดสังกัดและจำนวนโหนดในแต่ละกลุ่ม (Global connected components) แสดงในภาพที่ 23



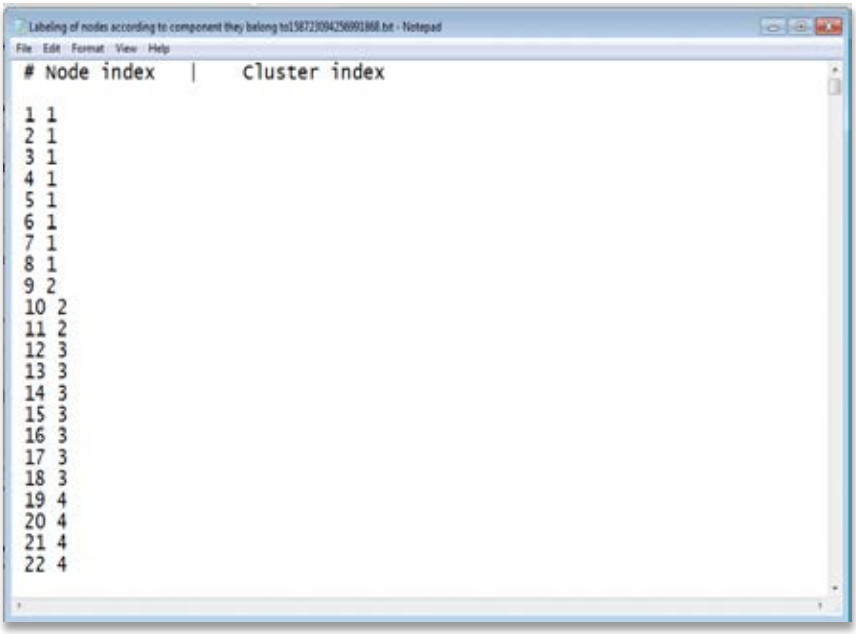
ภาพที่ 23 ตัวอย่างการสกัดกราฟผู้วิจัยร่วมด้วยเครื่องมือ Sci^2

- หลังจากการสกัดกราฟผู้วิจัยร่วมด้วยเครื่องมือ Sci^2 ด้วยฟังก์ชันต่างๆแล้ว ผลลัพธ์ที่ต้องการประกอบด้วย 3 ไฟล์ข้อมูลดังต่อไปนี้
  - ไฟล์ข้อมูลกราฟผู้วิจัยร่วม (co-author graph file) มีข้อมูล 2 ส่วน คือ ส่วนด้านบนข้อมูลของแต่ละโหนด เช่น ชื่อของนักวิจัย จำนวนผลงานวิจัย เป็นต้น ข้อมูลส่วนด้านล่าง คือ ข้อมูลเลขที่ของโหนดที่มีความสัมพันธ์ในการตีพิมพ์งานวิจัยร่วมกัน แสดงภาพที่ 24
  - ไฟล์กลุ่มที่โหนดสังกัด (cluster component file) จะเป็นข้อมูลกลุ่มที่โหนดสังกัด ตัวเลขแรกเลขที่โหนดและตัวเลขหลังเป็นเลขที่ของกลุ่ม แสดงภาพที่ 25

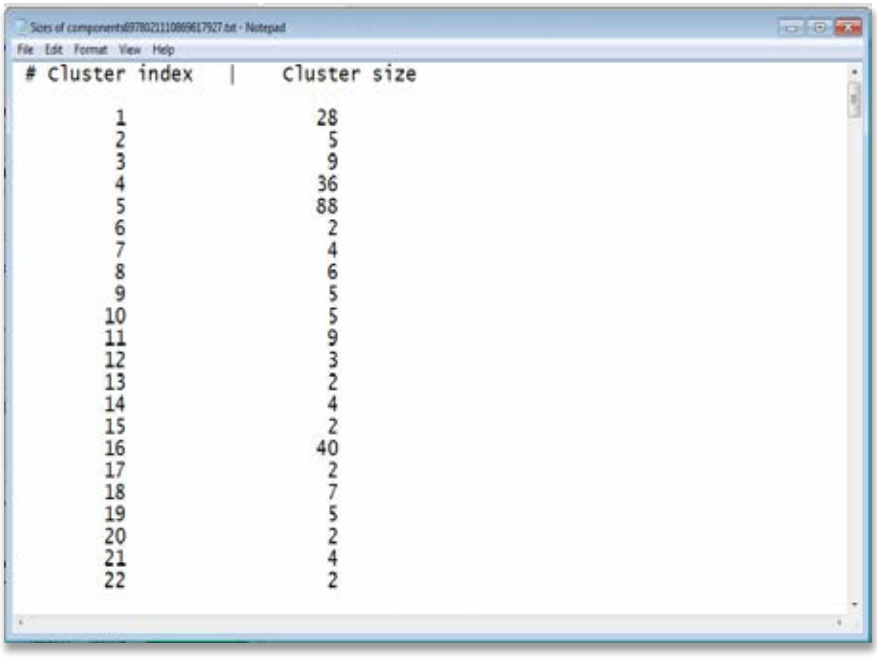
- ไฟล์จำนวนโหนดในแต่ละกลุ่ม (size component file) จะเป็นข้อมูลจำนวนโหนดในแต่ละกลุ่ม ตัวเลขแรกเลขที่ของกลุ่มและตัวเลขหลังเป็นจำนวนโหนดที่มีในกลุ่ม แสดงภาพที่ 26



ภาพที่ 24 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลกราฟผู้วิจัยร่วม (co-author graph file)



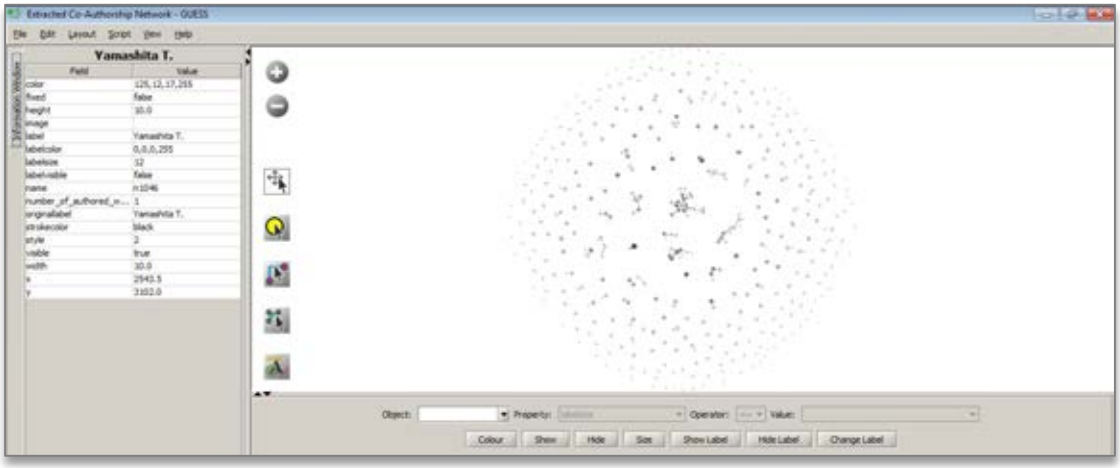
ภาพที่ 25 ตัวอย่างไฟล์กลุ่มที่โหนดสังกัด (cluster component file)



# Cluster index	Cluster size
1	28
2	5
3	9
4	36
5	88
6	2
7	4
8	6
9	5
10	5
11	9
12	3
13	2
14	4
15	2
16	40
17	2
18	7
19	5
20	2
21	4
22	2

ภาพที่ 26 ตัวอย่างไฟล์จำนวนโหนดในแต่ละกลุ่ม (size component file)

- นำไฟล์ข้อมูลกราฟผู้วิจัยร่วม (co-author graph file) สร้างรูปกราฟด้วยฟังก์ชัน GUESS ในเครื่องมือ Sci^2 โดยรูปแบบของการแสดงกราฟ (layout) ในแบบ GEM [21] แสดงภาพที่ 27

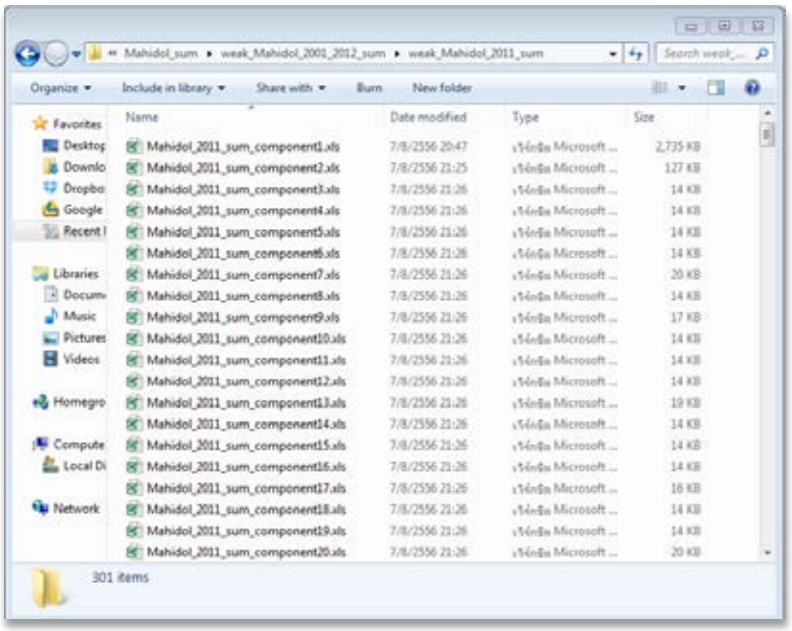


ภาพที่ 27 การสร้างรูปกราฟผู้วิจัยร่วมในเครื่องมือ Sci^2

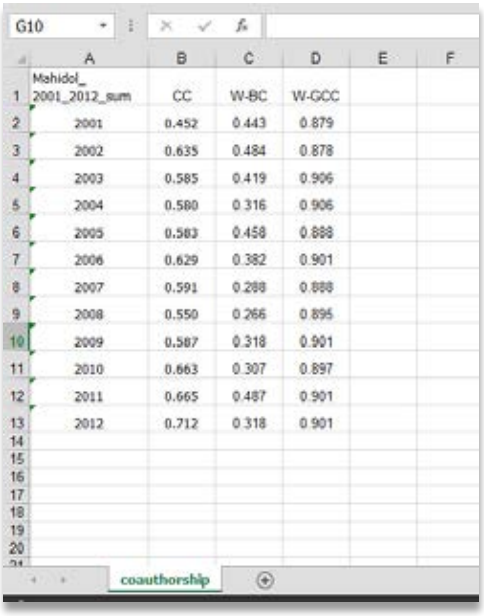
4.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมด้วยตัววัดต่างๆ

กระบวนการส่วนการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมด้วยตัววัดต่างๆ ด้วยซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- นำผลลัพธ์จากเครื่องมือ Sci^2 ทั้ง 3 ไฟล์มาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัยโดยใช้ชุดของตัววัดที่ได้พัฒนาขึ้นด้วยภาษาจาวา โดยการพัฒนาซอฟแวร์จะพัฒนาฟังก์ชันต่างๆออกเป็นคลาส (class) เพื่อสะดวกในการเรียกใช้งานและง่ายต่อแก้ไขเมื่อเกิดข้อผิดพลาด และเรียกใช้ฟังก์ชันต่างๆ ตามลำดับการทำงานและการตั้งค่าการใช้งานต่างๆ จะทำผ่านคลาสหลัก (main class) การเก็บข้อมูลในกระบวนการต่างๆจะเก็บในไฟล์ข้อมูลแบบตารางงาน (Excel file) เนื่องจากข้อมูลมีปริมาณมากและง่ายต่อการประมวลผล เช่น การเก็บข้อมูลกราฟเครือข่ายร่วมแต่ละกลุ่มที่จากฟังก์ชันแยกกลุ่ม (Weak component) แสดงในภาพที่ 28 และการเก็บข้อมูลผลการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม แสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 28 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลกราฟเครือข่ายร่วมแต่ละกลุ่ม
ในไฟล์ข้อมูลแบบตารางงาน

- 

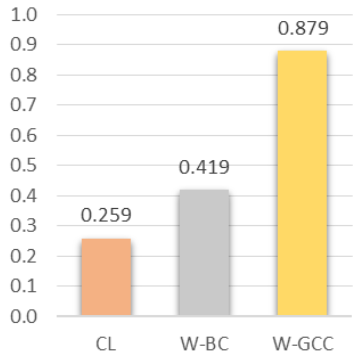
	A	B	C	D	E	F
1	Mahidol_ 2001_2012_sum	CC	W-BC	W-GCC		
2	2001	0.452	0.443	0.879		
3	2002	0.635	0.484	0.878		
4	2003	0.585	0.419	0.906		
5	2004	0.580	0.316	0.906		
6	2005	0.583	0.458	0.888		
7	2006	0.629	0.382	0.901		
8	2007	0.591	0.288	0.888		
9	2008	0.550	0.266	0.895		
10	2009	0.587	0.318	0.901		
11	2010	0.663	0.307	0.897		
12	2011	0.665	0.487	0.901		
13	2012	0.712	0.318	0.901		
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

ภาพที่ 29 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม ในไฟล์ข้อมูลแบบตารางงาน

4.3.3 ขั้นตอนการแสดงภาพข้อมูล

ส่วนสุดท้ายเป็นการแสดงภาพข้อมูล โดยจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- นำผลการวิเคราะห์จากซอฟแวร์วิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดของตัววัด จะนำเสนอระดับค่าตัววัดต่างๆ ด้วยแผ่นภูมิแท่งแบบ 2 มิติ ใน Microsoft Office Excel ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์และการแสดงผล

4.4 การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องมือวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัดในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านเครือข่ายทางสังคมและพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยได้ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองในหลายรูปแบบดังต่อไปนี้

- แบบที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีลักษณะรูปกราฟเหมือนกัน
- แบบที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีลักษณะรูปกราฟแตกต่างกัน

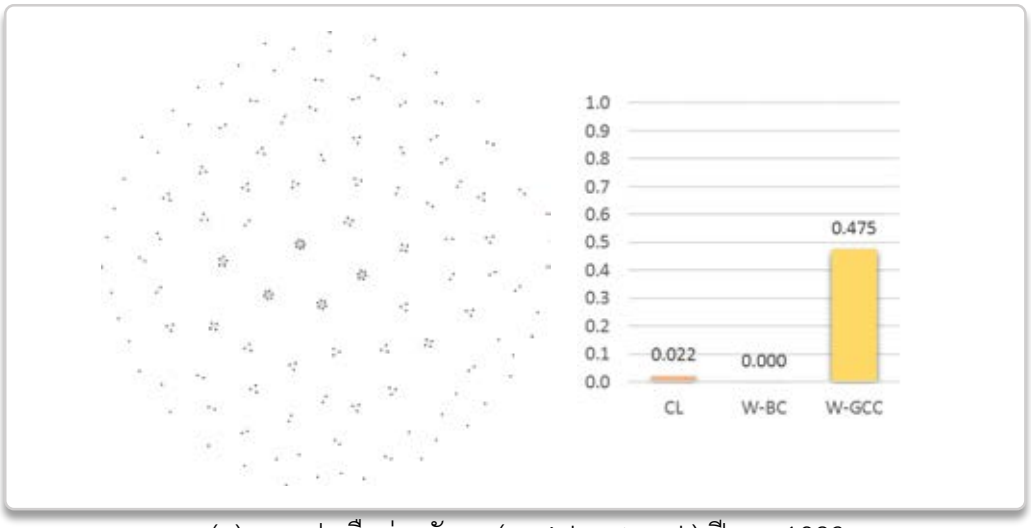
แต่ละแบบจะอธิบายดังต่อไปนี้

4.4.1 แบบที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีลักษณะรูปกราฟเหมือนกัน

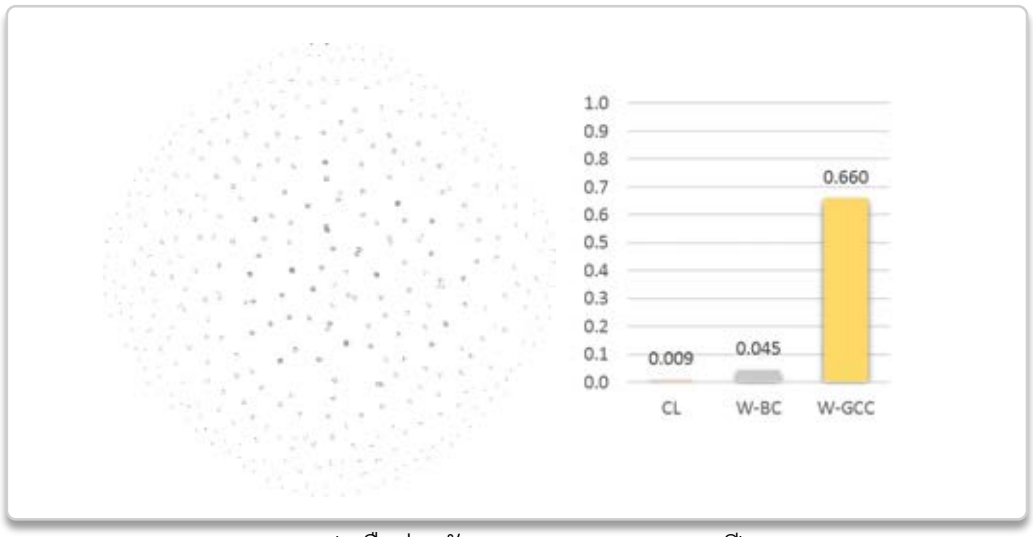
เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัววัดที่ใช้มีความสม่ำเสมอ (consistency) ในการบ่งบอกลักษณะของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีรูปร่างคล้ายกันแต่มีจำนวนโหนดต่างกัน กล่าวคือ หากกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมมีลักษณะคล้ายกัน ค่าของชุดตัววัดก็จะคล้ายกันด้วย โดยจะประกอบด้วย 2 ชุดการทดสอบ แสดงดังต่อไปนี้

<u>การทดสอบชุดที่ 1</u> กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่รูปกราฟมีกลุ่มเล็กจำนวนมาก

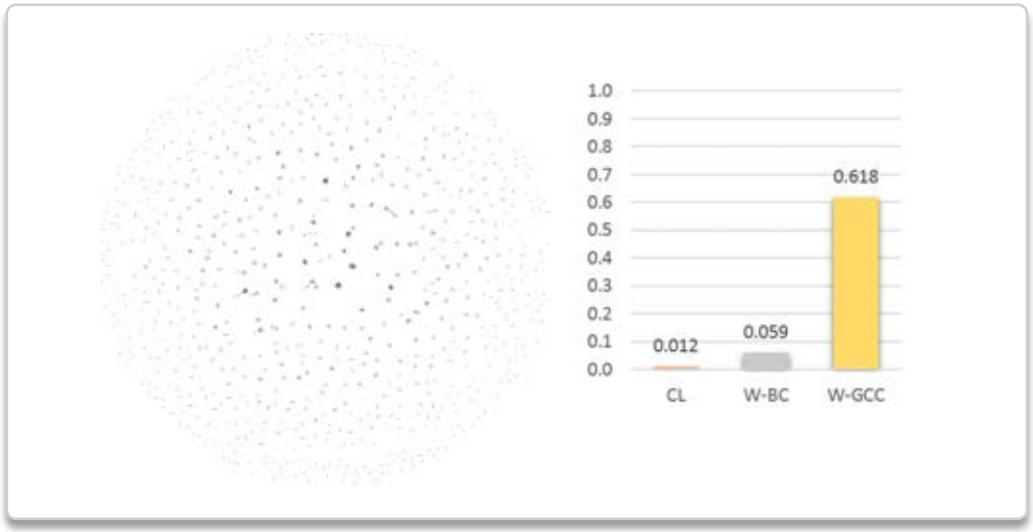
ผู้วิจัยจะใช้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 3 กราฟที่มีรูปกราฟมีลักษณะกระจายเป็นกลุ่มย่อยขนาดเล็กจำนวนมาก ข้อมูลงานวิจัยที่ใช้สร้างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม คือ ข้อมูลงานวิจัยด้านเครือข่ายสังคม (social network) ประเภทเอกสาร คือ บทความวิจัย (article) ปี ค.ศ.1983,ค.ศ.1995, ค.ศ.2001 ในฐานข้อมูล SCOPUS และเมื่อนำข้อมูลงานวิจัยดังกล่าวมาสกัดเป็นกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมจะมีโหนดเป็นนักวิจัย เส้นเชื่อมเป็นความสัมพันธ์ในการตีพิมพ์งานวิจัยร่วมกันดังภาพที่ 31



(ก) กราฟเครือข่ายสังคม (social network) ปี ค.ศ.1983



(ข) กราฟเครือข่ายสังคม (social network) ปี ค.ศ.1995



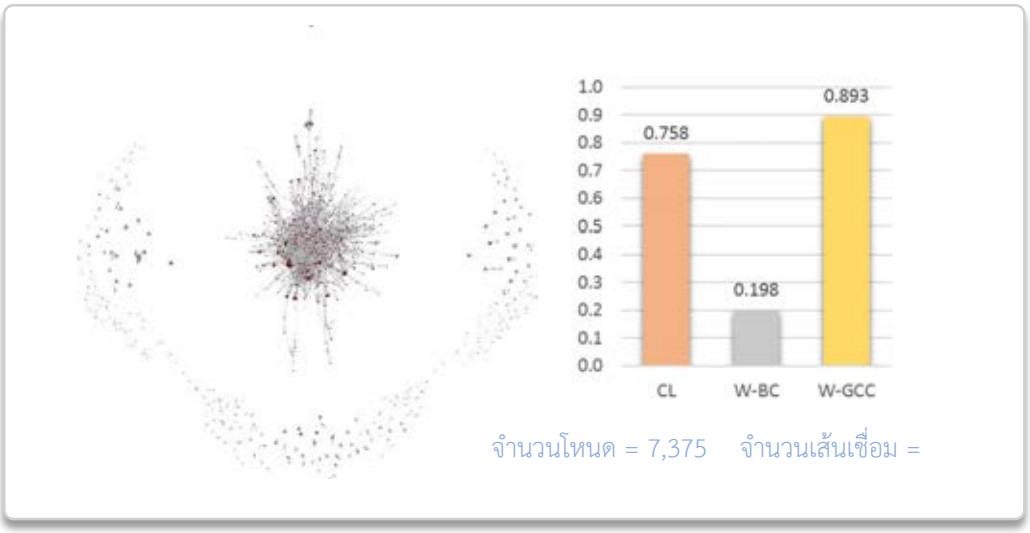
(ค) กราฟเครือข่ายสังคม (social network) ปี ค.ศ.2001

ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบรูปกราฟมีลักษณะกระจายเป็นกลุ่มย่อยขนาดเล็ก

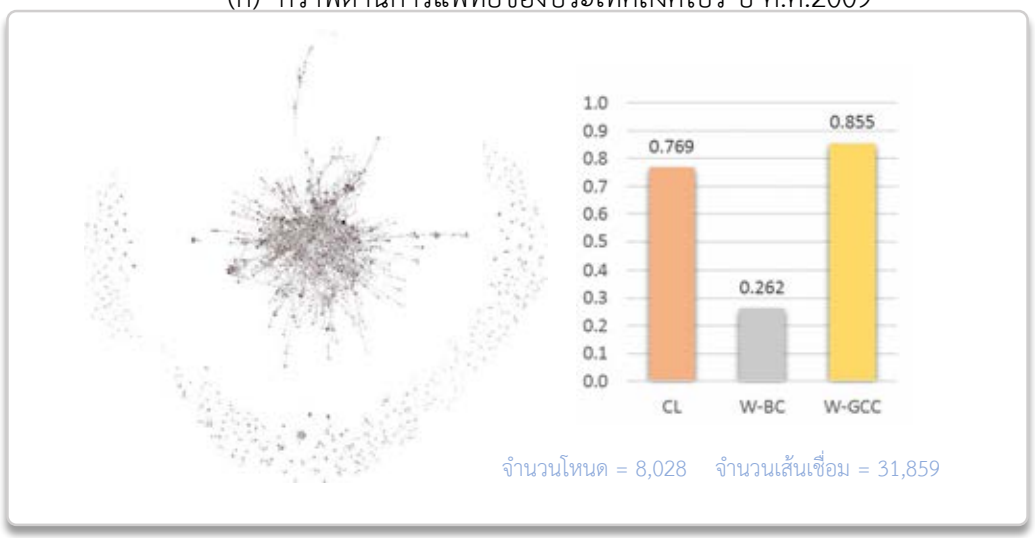
จากรูปจะเห็นได้ว่าการผลวิเคราะห์ของทั้ง 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีรูปกราฟลักษณะมีกลุ่มขนาดเล็กจำนวนมาก จะได้ค่าตัววัดแต่ละตัวมีความใกล้เคียงกัน การวิเคราะห์ค่าของตัววัด Component leadership (CL) ทั้ง 3 กราฟมีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งจะสื่อถึงภาพรวมทั้งหมดของนักวิจัยด้านเครือข่ายสังคม (social network) ว่าในงานวิจัยเหล่านั้นแบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มที่มีขนาดเล็กจำนวนมาก และกลุ่มเล็กๆดังกล่าวลักษณะภายในส่วนใหญ่เกิดการที่นักวิจัยภายกลุ่มนั้นตีพิมพ์งานวิจัยฉบับเดียวกันโดยสังเกตจากการมีเชื่อมโยงส่วนใหญ่เป็นลักษณะการเชื่อมโยงเพียงชั้นเดียว ซึ่งหมายความว่าจะไม่ค่อยมีนักวิจัยหลักที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างนักวิจัย จึงส่งผลให้การวิเคราะห์ตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของทั้ง 3 กราฟจะมีค่าเข้าใกล้ 0 ด้วย และการวิเคราะห์ตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) ของทั้ง 3 กราฟจะมีค่าค่อนข้างสูงค่าประมาณ 0.5 – 0.7 เนื่องจากเส้นเชื่อมภายในกลุ่มส่วนใหญ่จะเกิดลักษณะความสัมพันธ์แบบเชื่อมถึงกันหมด (all-to-all) ส่งผลให้ความสัมพันธ์เส้นเชื่อมจำนวนมากซึ่งจะแสดงถึงความสัมพันธ์ใกล้ชิดของนักวิจัยในโลกความเป็นจริง แต่อย่างไรก็ตามค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) ยังไม่เข้าใกล้ 1.0 เนื่องจากจะมีกลุ่มที่ไม่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดภายในเลยจำนวนหลายกลุ่ม นั้นก็คือกลุ่มที่มีนักวิจัย 2 คน และกลุ่มที่มีนักวิจัยเพียงคนเดียวหรือทีเรียกว่ากลุ่มเดี่ยว (isolate) ซึ่งค่าตัววัดต่างๆ เป็นไปตามลักษณะที่คาดหวังไว้

<u>การทดสอบชุดที่ 2</u> กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่รูปกราฟมีกลุ่มขนาดใหญ่

ผู้วิจัยจะใช้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 2 กราฟที่มีรูปกราฟมีลักษณะที่โหนดจำนวนมากรวมตัวกันกลายเป็นกลุ่มที่มีขนาดใหญ่มาก ข้อมูลงานวิจัยที่ใช้สร้างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม คือ ข้อมูลงานวิจัยด้านการแพทย์ของประเทศสิงคโปร์ ปี ค.ศ.2009 และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ช่วงปี ค.ศ.2001-2012 ประเภทเอกสาร คือ บทความวิจัย (article) ในฐานข้อมูล SCOPUS และเมื่อนำข้อมูลงานวิจัยดังกล่าวมาสกัดเป็นกราฟผู้วิจัยร่วมจะมีโหนดเป็นนักวิจัย เส้นเชื่อมเป็นความสัมพันธ์ในการตีพิมพ์งานวิจัยร่วมกันดังภาพที่ 32



(ก) กราฟด้านการแพทย์ของประเทศสิงคโปร์ ปี ค.ศ.2009



(ข) กราฟมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ช่วงปี ค.ศ.2001-2012

ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบรูปกราฟมีกลุ่มที่มีขนาดใหญ่

จากรูปจะเห็นได้ว่าการผลวิเคราะห์ของทั้ง 2 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีรูปกราฟลักษณะมีกลุ่มใหญ่ จะได้ค่าตัววัดแต่ละตัวมีความใกล้เคียงกัน การวิเคราะห์ค่าของตัววัด Component leadership (CL) ทั้ง 2 กราฟมีค่าที่สูงมาก ซึ่งจะสื่อถึงภาพรวมทั้งหมดของนักวิจัยด้านการแพทย์ของประเทศสิงคโปร์และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ช่วงเวลาดังกล่าวมีนักวิจัยจำนวนมากรวมตัวกันกลายเป็นกลุ่มที่มีขนาดใหญ่มาก และภายในกลุ่มใหญ่มีการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยกันอย่างหนาแน่น มีการเชื่อมโยงระหว่างกันทั้งทางตรงและทางอ้อม แต่จะไม่มีนักวิจัยหลักที่เป็นคนเชื่อมโยงส่วนต่างๆของกลุ่มเข้าไว้ด้วยกัน จึงส่งผลให้การวิเคราะห์ตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของทั้ง 2 กราฟมีค่าประมาณ 0.1-0.2 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ และการเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่นของกลุ่มใหญ่ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีสัดส่วนของโหนดมากที่สุด ส่งผลให้

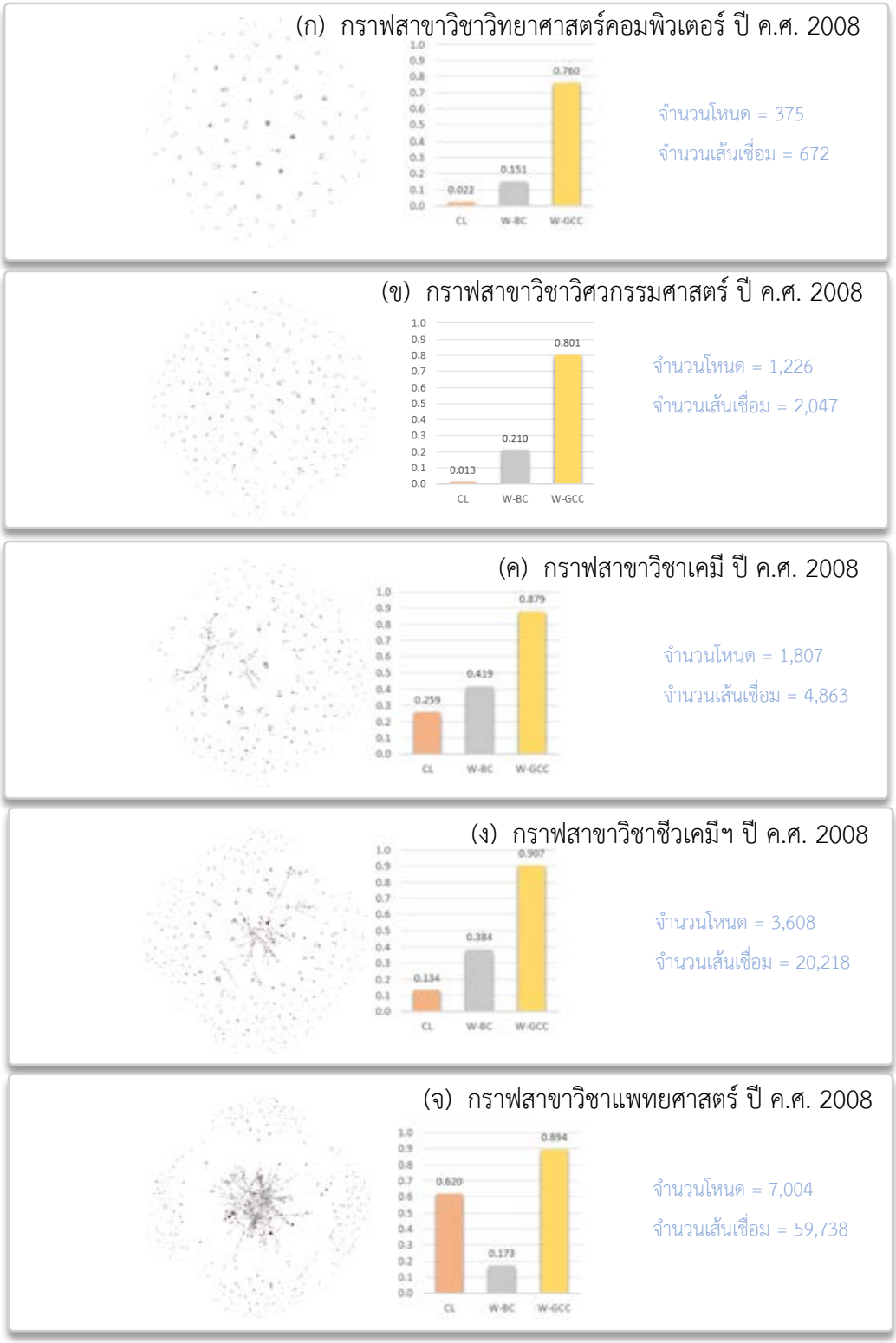
ความสัมพันธ์ที่หนาแน่นซึ่งจะแสดงถึงความสัมพันธ์ใกล้ชิดของนักวิจัยในโลกความเป็นจริง ค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าประมาณ 0.8-0.9 ซึ่งค่าตัววัดต่างๆ เป็นไปตามลักษณะที่คาดหวังไว้

4.4.2 แบบที่ 2 การทดสอบความสามารถในการแยกแยะรูปร่างของกราฟที่มีลักษณะแตกต่างกัน

เพื่อจะแสดงความสามารถของชุดตัววัดสำหรับการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมในเปรียบเทียบรูปกราฟที่มีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ กราฟที่มีลักษณะแตกต่างกัน จะต้องมีค่าชุดตัววัดที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย 4 ชุดการทดสอบ แสดงดังต่อไปนี้

<u>การทดสอบชุดที่ 1</u> กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของสาขาวิชาต่างๆ

เพื่อแสดงว่าชุดตัววัดสามารถแยกแยะกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีความแตกต่างกันได้ ผู้วิจัยจะใช้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 5 กราฟ โดยข้อมูลงานวิจัยที่ใช้สร้างกราฟเป็นข้อมูลงานวิจัย 5 สาขาวิชาของประเทศไทย ในช่วงเวลาเดียวกัน คือ ปี ค.ศ.2008 ประเภทเอกสาร คือ บทความวิจัย (article) ในฐานข้อมูล SCOPUS และเมื่อนำข้อมูลงานวิจัยดังกล่าวมาสกัดเป็นกราฟผู้วิจัยร่วมจะมีโหนดเป็นนักวิจัย เส้นเชื่อมเป็นความสัมพันธ์ในการตีพิมพ์งานวิจัยร่วมกันดังภาพที่ 33 ซึ่งจะเห็นได้รูปแบบกราฟิกของทั้ง 5 กราฟมีความแตกต่างกัน

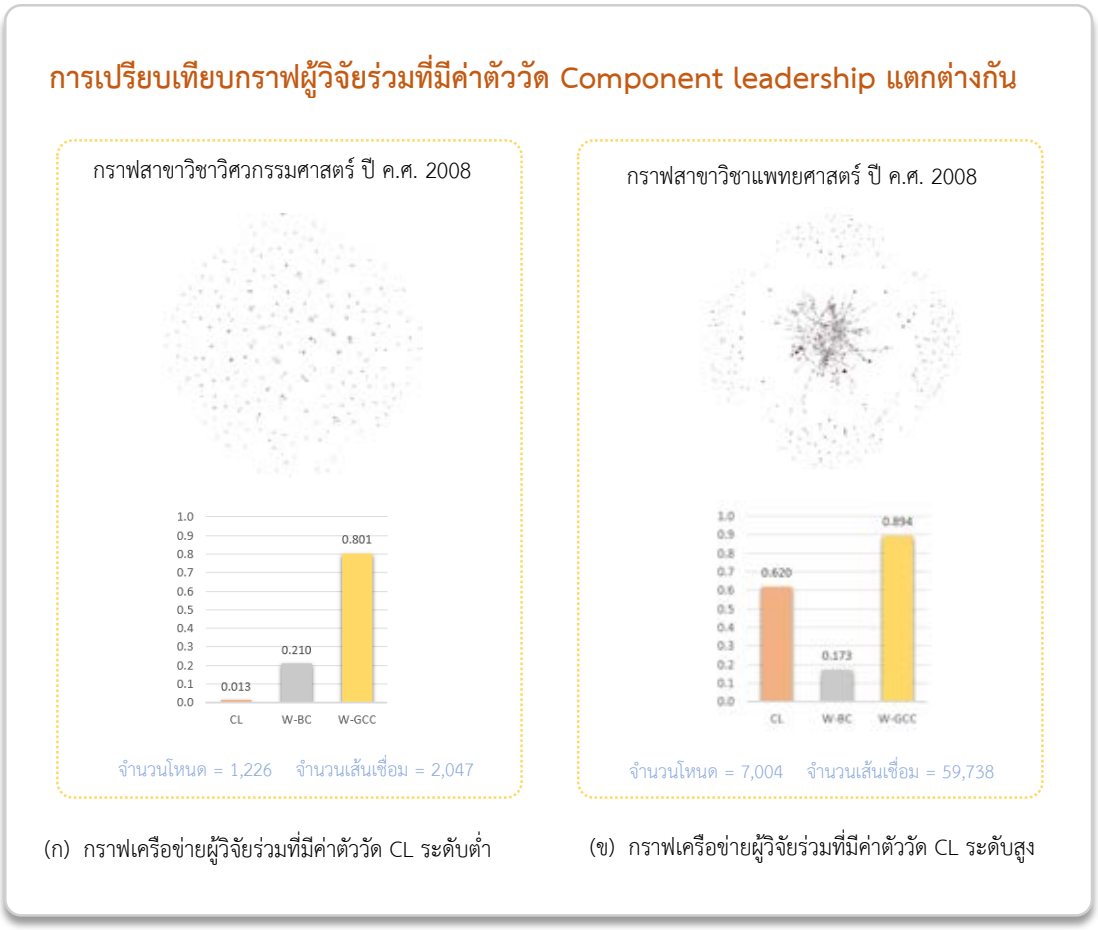


ภาพที่ 33 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของสาขาวิชาต่างๆ ของประเทศไทย

จากภาพที่ 33 จะเห็นได้ว่าการผลวิเคราะห์ของ 5 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของสาขาวิชาต่างๆ มีรูปกราฟที่มีความแตกต่างกัน ทั้งในด้านลักษณะของกลุ่มและการเชื่อมโยงภายในกลุ่ม จึงส่งผลให้การวิเคราะห์ค่าของแต่ละตัววัดมีความแตกต่างกัน ค่าของตัววัด Component leadership (CL) สามารถแยกแยะกราฟที่มีลักษณะกลุ่มที่แตกต่างกันได้ ค่าของตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) สามารถวิเคราะห์กราฟที่มีลักษณะการเชื่อมโยงผ่านผู้วิจัยที่เป็นศูนย์กลางแตกต่างกันได้ ส่วน Weighted global clustering coefficient (W-GCC) ของ 5 กราฟจะมีค่าสูงมาก แสดงว่ากราฟทั้งหมดมีความสัมพันธ์ที่หนาแน่นเกิดขึ้นภายในกลุ่ม ซึ่งจะแสดงถึงความสัมพันธ์ใกล้ชิดระหว่างนักวิจัย

<u>การทดสอบชุดที่ 2</u> กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีค่าตัววัด Component leadership (CL) แตกต่างกัน

เพื่อแสดงให้เห็นว่ากราฟที่มีลักษณะกลุ่มแตกต่างกันจะส่งผลให้ค่าตัววัด Component leadership (CL) แตกต่างกันด้วย ผู้วิจัยจะใช้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 2 กราฟจากการทดสอบชุดที่ 1 คือกราฟผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ภาพที่ 33 (ข) และกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาแพทย์ศาสตร์ ภาพที่ 33 (จ) ที่มีลักษณะกลุ่มที่แตกต่างกันมากซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปกราฟ แสดงในภาพที่ 34



(ก) กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีค่าตัววัด CL ระดับต่ำ (ข) กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีค่าตัววัด CL ระดับสูง

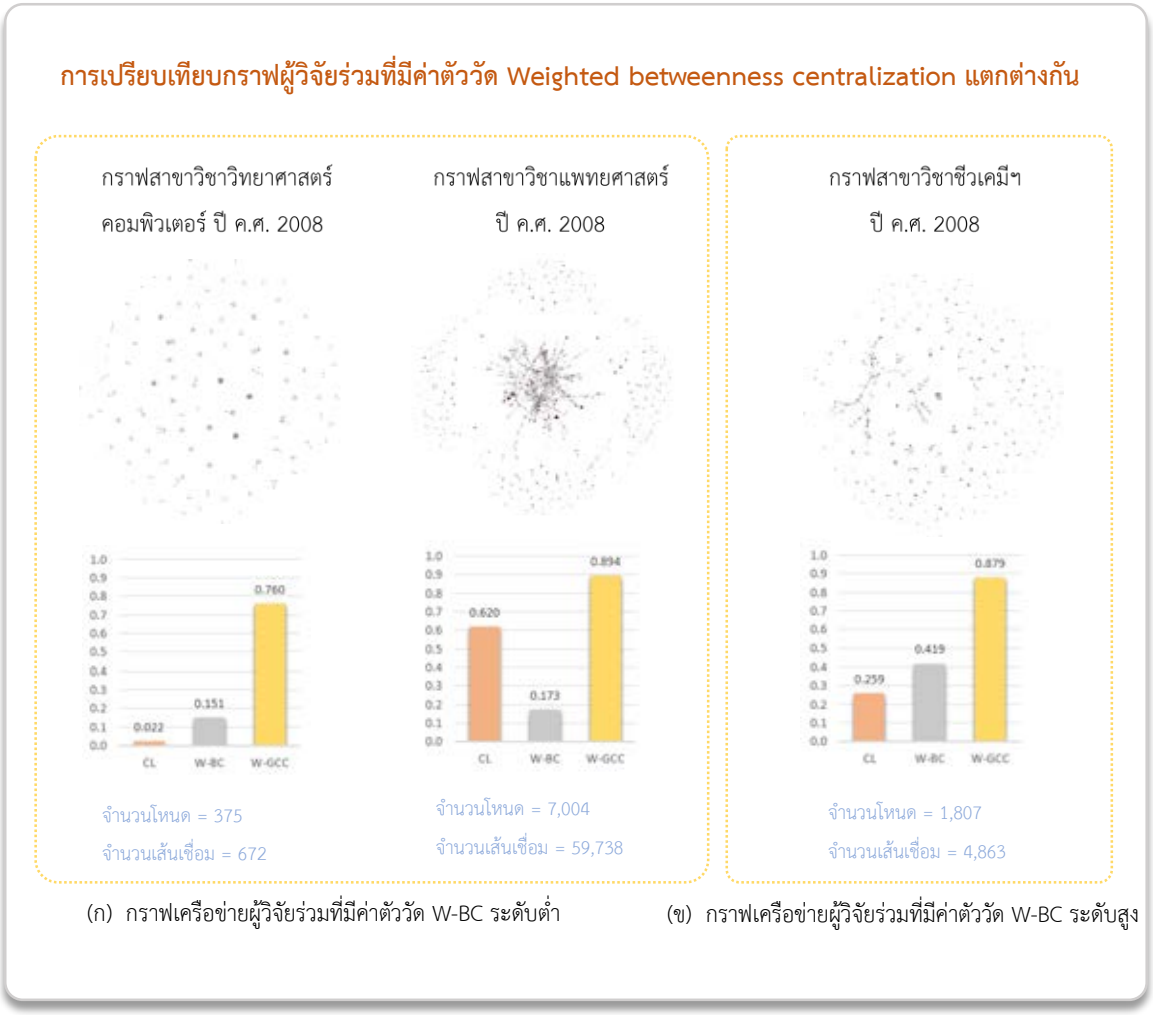
ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบกราฟผู้วิจัยร่วมที่มีค่าตัววัด Component leadership แตกต่างกัน

จากภาพที่ 34 การวิเคราะห์ของตัววัด Component leadership (CL) ทั้ง 2 กราฟมีค่าแตกต่างกันตามลักษณะกลุ่มที่เกิดขึ้นในแต่ละกราฟ ค่าน้อยสุดในการทดลองชุดนี้ คือ 0.013 ของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ภาพที่ 33 (ก) ที่มีลักษณะมีกลุ่มขนาดเล็กจำนวนมาก และค่าสูงสุดในการทดลองชุดนี้คือ 0.620 ของกราฟผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาแพทย์ศาสตร์ ภาพที่ 34 (จ) มีลักษณะที่โหนดจำนวนมากรวมตัวกันกลายเป็นกลุ่มที่มีขนาดใหญ่มาก

<u>การทดสอบชุดที่ 3</u> กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) แตกต่างกัน

เพื่อแสดงให้เห็นว่ากราฟที่มีลักษณะการเชื่อมโยงผ่านผู้วิจัยศูนย์กลางจะส่งผลให้ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) แตกต่างกันด้วย ผู้วิจัยจะใช้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 3 กราฟจากการทดสอบชุดที่ 1 กลุ่มแรก คือ กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์

กับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาแพทยศาสตร์ที่แสดงให้เห็นกราฟที่มีลักษณะการเชื่อมโยงไม่ผ่านผู้วิจัยที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงในภาพที่ 35 (ก) และกลุ่มที่ 2 คือ กราฟผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาเคมีแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเชื่อมโยงไม่ผ่านผู้วิจัยที่เป็นศูนย์กลางในภาพที่ 35 (ข) ซึ่งทั้ง 2 แบบมีลักษณะกลุ่มที่แตกต่างกันมาก ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปกราฟแสดงในภาพที่ 35



(ก) กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีค่าตัววัด W-BC ระดับต่ำ (ข) กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีค่าตัววัด W-BC ระดับสูง

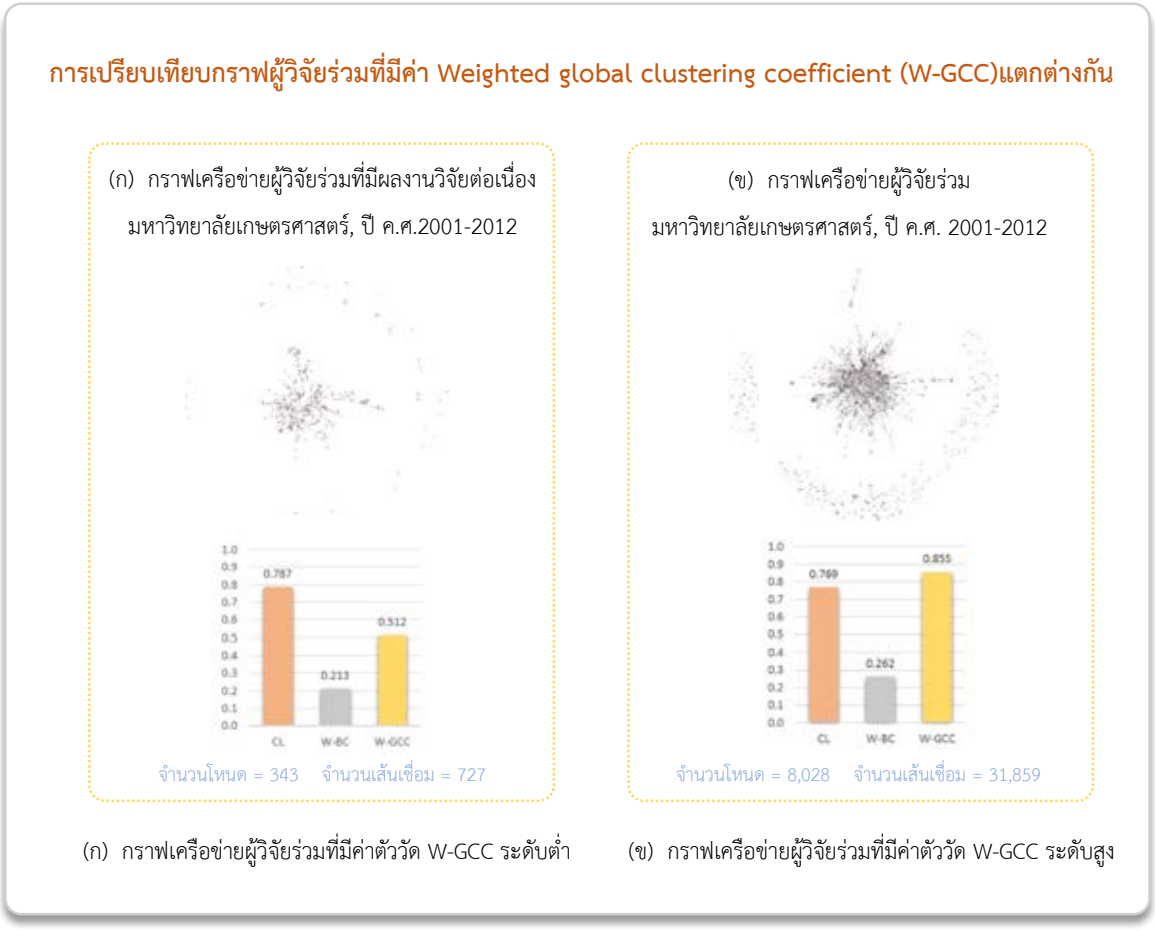
ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบกราฟผู้วิจัยร่วม
ที่มีค่าตัววัด Weighted betweenness centralization แตกต่างกัน

จากภาพที่ 35 การวิเคราะห์ค่าของตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของกลุ่มแรกจะมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีนักวิจัยที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยจำนวนน้อย แบ่งออกเป็น 2 กรณี กรณีแรก คือ 0.151 ของกราฟผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ที่มีลักษณะมีกลุ่มขนาดเล็กจำนวนมาก กลุ่มเล็กๆดังกล่าวลักษณะภายใน

มีเชื่อมโยงส่วนใหญ่เป็นลักษณะการเชื่อมโยงกันโดยตรงระหว่างนักวิจัย ซึ่งหมายความว่าจะมีนักวิจัยที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยจำนวนน้อย และกรณีที่ 2 คือ 0.173 ของกราฟผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาแพทยศาสตร์ที่ลักษณะภายในกลุ่มใหญ่มีการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยกันอย่างหนาแน่น แต่จะไม่มีนักวิจัยที่ที่เป็นศูนย์กลางที่มีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงส่วนต่างๆของกลุ่มเข้าไว้ด้วยกัน ทั้ง 2 กรณีจะแสดงในภาพที่ 35 (ก) และกลุ่มที่ 2 มีค่าระดับกลาง คือ 0.419 ของกราฟผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาเคมีในภาพที่ 35 (ข) มีลักษณะที่เกิดจากชุมชนของโหนดมาเชื่อมโยงกันระหว่างกลุ่มผ่านผู้วิจัยที่เป็นศูนย์กลางจนกลายกลุ่มใหญ่ รูปกราฟมีลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขา

<u>การทดสอบชุดที่ 4</u> กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) แตกต่างกัน

เพื่อแสดงให้เห็นว่ากราฟที่มีลักษณะความหนาแน่นในการเชื่อมโยงแตกต่างกันจะส่งผลให้ค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) แตกต่างกันด้วย ผู้วิจัยจะใช้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 2 กราฟ โดยข้อมูลงานวิจัยที่ใช้สร้างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม จะเป็นข้อมูลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ช่วงปี ค.ศ.2001-2012 ประเภทเอกสาร คือบทความวิจัย (article) ในฐานข้อมูล SCOPUS และเมื่อนำข้อมูลงานวิจัยดังกล่าวมาสกัดเป็นกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมจะทำการแบ่งกราฟออกเป็น 2 แบบคือ กราฟเครือข่ายผู้วิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่อง เป็นกราฟที่มีโหนดเป็นนักวิจัยที่ตีพิมพ์ผลงานวิจัยอย่างต่อเนื่องเป็นเวลามากกว่า 5 ปีจาก 12 ปี (ช่วง ค.ศ. 2001-2012) เส้นเชื่อมเป็นความสัมพันธ์ในการตีพิมพ์งานวิจัยร่วมกันของผู้วิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องในภาพที่ 36 (ก) และกราฟผู้วิจัยร่วมทั้งหมดที่ไม่คัดแยกประเภทของผู้วิจัยในภาพที่ 36 (ข)



ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบกราฟผู้วิจัยร่วม
ที่มีค่า Weighted global clustering coefficient (W-GCC)แตกต่างกัน

จากภาพที่ 36 การวิเคราะห์ค่าของตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) ของทั้ง 2 กราฟจะมีความแตกต่างกัน กราฟเครือข่ายผู้วิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องคือกราฟที่คัดเลือกเอาเฉพาะผู้วิจัยคนสำคัญ จึงทำให้ผู้วิจัยอื่นๆที่เป็นจุดเชื่อมโยงลดน้อยลง ความสัมพันธ์ใกล้ชิดระหว่างนักวิจัยลดน้อยลง ซึ่งแตกต่างกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมทั้งหมดที่ไม่คัดเลือกประเภทนักวิจัย จะมีการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยกันอย่างหนาแน่น มีการเชื่อมโยงระหว่างกันทั้งทางตรงและทางอ้อมระหว่างโหนด ซึ่งจะแสดงถึงความสัมพันธ์ใกล้ชิดของนักวิจัยมากกว่ากราฟเครือข่ายผู้วิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่อง

4.5 การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัด

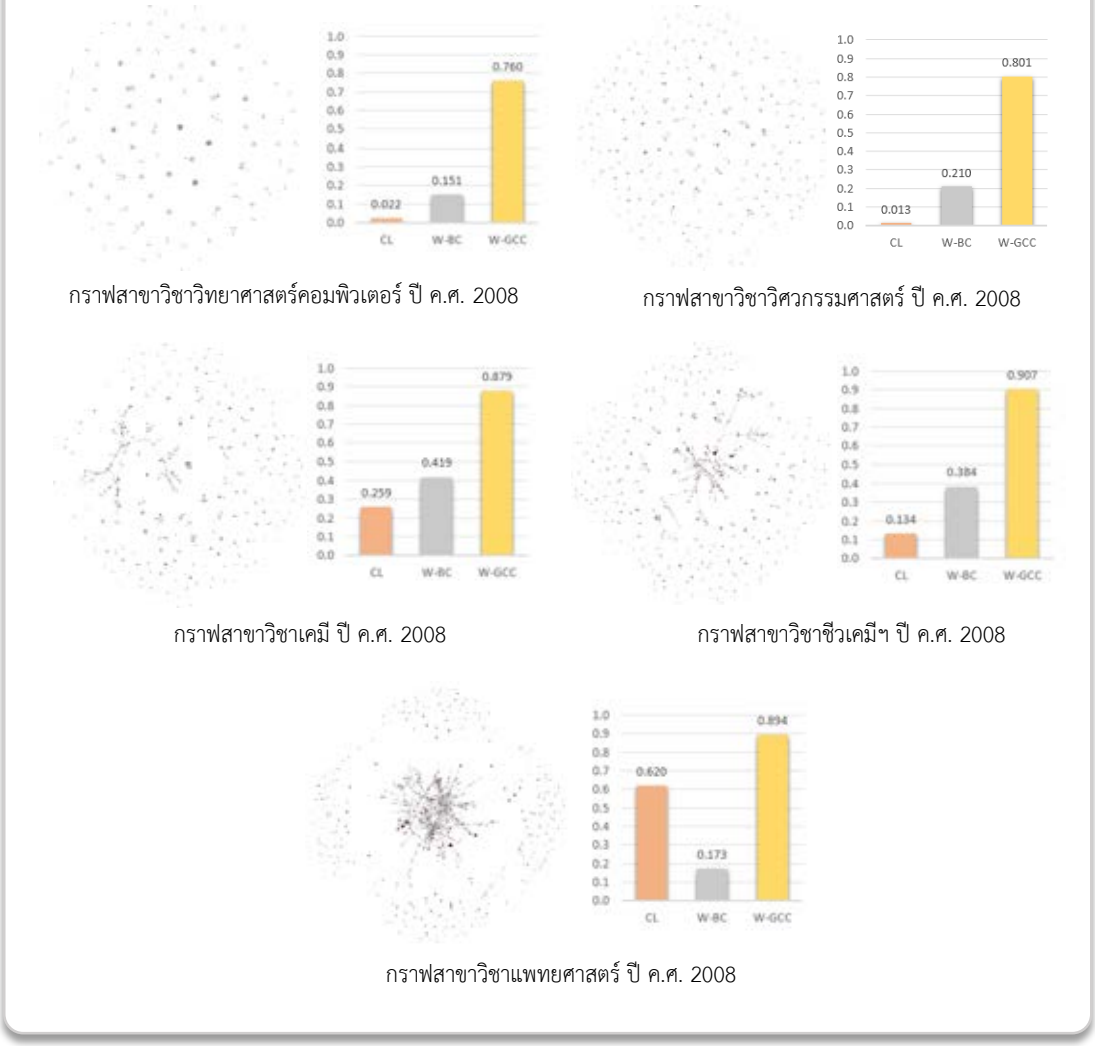
เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยในสาขาวิชาต่างๆ และรวมทั้งศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยในมหาวิทยาลัย 9 แห่งที่สังกัดมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (National Research Universities) ทั้งหมด 238 กราฟด้วยวิธีการวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัด ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองในหลายรูปแบบดังต่อไปนี้

- แบบที่ 1 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยในสาขาวิชาต่างๆ
- แบบที่ 2 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ
- แบบที่ 3 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของมหาวิทยาลัย 9 แห่ง

แต่ละแบบจะอธิบายดังต่อไปนี้

4.5.1 แบบที่ 1 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยในสาขาวิชาต่างๆ

ผู้วิจัยจะใช้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม 5 กราฟจากการทดสอบชุดที่ 1 ของ 4.4.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยในสาขาวิชาต่างๆ ภาพที่ 37 รูปกราฟและค่าตัววัดของแต่ละสาขาวิชาในประเทศไทย ปี ค.ศ.2008 จากวิเคราะห์อันดับแรกจำนวนนักวิจัยแต่ละสาขาวิชามีความแตกต่างกัน และแต่ละสาขาวิชามีพฤติกรรมการทำวิจัยที่แตกต่างกันด้วย เช่น สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์พฤติกรรมการทำวิจัยเป็นกลุ่มขนาดเล็ก ซึ่งจะสื่อถึงนักวิจัยส่วนใหญ่ของสาขาวิชาเหล่านี้มักจะทำวิจัยแบบเดี่ยวหรือกลุ่มเล็ก ส่วนสาขาวิชาเคมีและสาขาชีวเคมี,พันธุศาสตร์ และชีว-โมเลกุล มีการทำวิจัยเป็นกลุ่มใหญ่ที่เกิดจากการเชื่อมโยงถึงกันของส่วนต่างๆเข้าไว้ด้วยกัน แสดงว่าสาขาวิชาดังกล่าวพฤติกรรมการทำงานเป็นกลุ่มเพิ่มขึ้นมากกว่าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ในส่วนสาขาวิชาแพทยศาสตร์พฤติกรรมการทำวิจัยแบบเชื่อมโยงถึงกันทั้งทางตรงและทางอ้อมจนกลายเป็นกลุ่มใหญ่และมีความเชื่อมโยงเกิดขึ้นอย่างหนาแน่น แสดงว่าสาขาวิชาแพทยศาสตร์มักจะทำงานร่วมกันเป็นทีมใหญ่

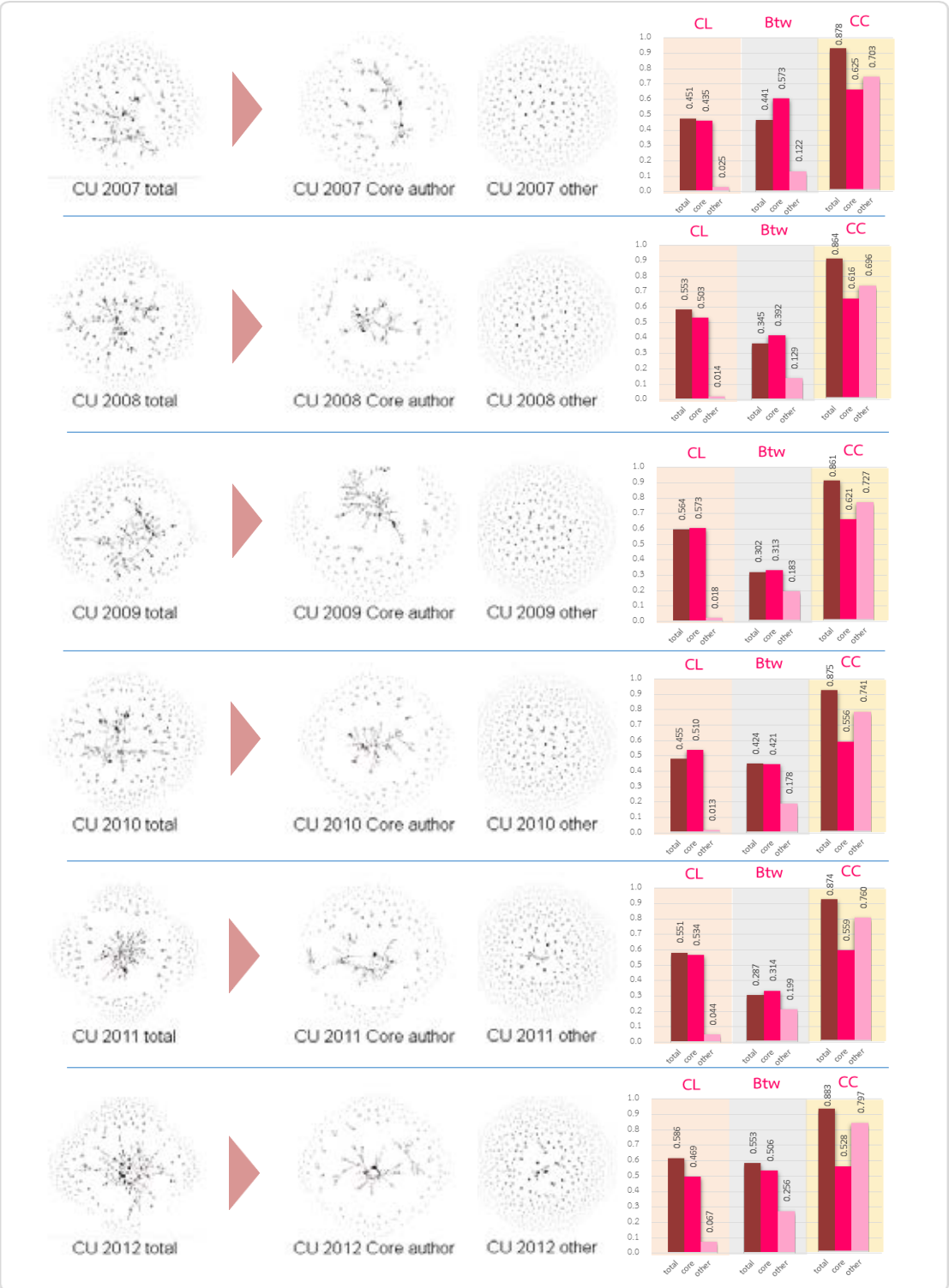


ภาพที่ 37 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมสาขาวิชาต่างๆ ปี ค.ศ.2008 ในประเทศไทย

4.5.2 แบบที่ 2 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ

ข้อมูลงานวิจัยจากฐานข้อมูลงานวิจัย SCOPUS จะประกอบด้วยนักวิจัยหลายประเภท ทั้งอาจารย์ นิสิตนักศึกษา และผู้ร่วมวิจัยจากต่างสถาบัน เพื่อการศึกษาเครือข่ายของนักวิจัยผู้ที่มีความสำคัญต่อวงการวิจัยในแต่ละมหาวิทยาลัยและเครือข่ายของนักวิจัยอื่นๆ ผู้วิจัยจึงคัดกรองนักวิจัยจากข้อมูลงานวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยออกเป็นกราฟ 3 ประเภท ประเภทแรก คือ กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมทั้งหมด ประเภทที่ 2 คือ กราฟนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่อง นักวิจัยกลุ่มนี้มีผลงานวิจัยต่อเนื่องเป็นเวลามากกว่า 5 ปีภายในช่วงเวลา 12 ปี (ค.ศ.2001-2012) และประเภทที่ 3 คือ กราฟนักวิจัยอื่นๆ ที่มีผลงานวิจัยน้อยกว่า 5 ปี ในช่วงเวลาเดียวกัน

(ก) กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆปี ค.ศ.2001-2006



(ข) กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆปี ค.ศ.2007-2012

ภาพที่ 38 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2001-2012

จากภาพที่ 38 เมื่อแยกกราฟออกเป็น 3 ประเภทของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในแต่ละปี แสดงให้เห็นว่า ประเภทแรก คือ กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมทั้งหมด คือ นักวิจัยทั้งหมดที่ไม่ได้คัดกรองประเภทของนักวิจัย ประเภทที่ 2 คือ กราฟนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่อง ซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นอาจารย์ โดยจะถือว่านักวิจัยกลุ่มนี้เป็นกลุ่มนักวิจัยสำคัญ และประเภทที่ 3 คือ กราฟนักวิจัยอื่นๆเป็นนักวิจัยที่ไม่ใช่นักวิจัยในกราฟต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นนิสิตนักศึกษาและผู้ร่วมวิจัยจากต่างสถาบัน ซึ่งผลการวิเคราะห์สังเกตได้ดังต่อไปนี้

- อันดับแรก คือจำนวนของนักวิจัยในกราฟประเภทที่ 2 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่องมีจำนวนน้อยกว่านักวิจัยในกราฟประเภทที่ 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมอื่นๆมาก ซึ่งหมายถึงจำนวนอาจารย์จะน้อยกว่านักวิชากลุ่มอื่น
- อันดับที่ 2 คือ กราฟประเภทที่ 2 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่องมีกลุ่มขนาดใหญ่คล้ายกับกราฟประเภทที่ 1 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมทั้งหมด คือ นักวิจัยจำนวนมากเชื่อมโยงกันจนเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ ส่งผลให้ค่าตัววัด Component leadership (CL) และค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) กราฟประเภทที่ 2 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่องมีค่าใกล้เคียงกับกราฟประเภทที่ 1 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมทั้งหมดมาก
- อันดับที่ 3 กราฟประเภทที่ 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมอื่นๆมีลักษณะเป็นกลุ่มขนาดเล็กกระจายทั่วกราฟและไม่ปรากฏกลุ่มขนาดใหญ่ การเชื่อมโยงภายในกลุ่มไม่มีนักวิจัยที่เป็นจุดศูนย์กลาง ส่งผลให้ค่าตัววัด Component leadership (CL) และค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของกราฟประเภทที่ 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมอื่นๆต่ำมาก
- อันดับที่ 4 ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ที่สูงขึ้นกรณีที่ที่กลุ่มขนาดใหญ่มาเชื่อมโยงกันผ่านจุดเชื่อมจำนวนน้อย เช่น กราฟประเภทที่ 2 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่อง ปี ค.ศ.2003 และ 2007
- อันดับที่ 5 เมื่อพิจารณาค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) ของทั้ง 3 กราฟ จะเห็นว่ากราฟประเภทที่ 1 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมทั้งหมดมีค่าสูงสุด ค่ารองลงมาคือ กราฟประเภทที่ 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมอื่นๆ และค่าน้อยสุดคือ กราฟประเภทที่ 2 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่อง ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่านักวิจัยอื่นๆ เช่น นิสิตนักศึกษาและผู้ร่วมวิจัยจากต่างสถาบัน การเชื่อมโยงจะเป็นลักษณะวงแคบๆ แต่ความเชื่อมโยงค่อนข้างหนาแน่น จึงส่งผลให้ค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) สูง
- อันดับที่ 6 ค่าตัววัด Component leadership (CL) จะมีอิทธิพลต่อค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) โดยค่าตัววัด Weighted betweenness

centralization (W-BC) จะแปรผันตรงหรือมีค่าเพิ่มลดตามค่าตัววัด Component leadership (CL) ซึ่งต่างกับค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) จะแปรผกผันหรือมีค่าเพิ่มลดต่างจากค่าตัววัด Component leadership (CL) เสมอ

- อันดับที่ 7 รูปแบบการเพิ่มลดของทุกตัววัดของทั้ง 3 กราฟเป็นไปในทิศทางเดียวกันตลอด 12 ปี คือ
    - ค่าตัววัด Component leadership (CL) ของกราฟประเภทที่ 1 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมทั้งหมดใกล้เคียงกับกราฟประเภทที่ 2 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่อง ส่วนกราฟประเภทที่ 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมอื่นๆจะต่ำมาก
    - ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของ กราฟประเภทที่ 1 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมทั้งหมดใกล้เคียงกราฟประเภทที่ 2 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่อง และกราฟประเภทที่ 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมอื่นๆมีค่าต่ำมาก
    - ค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) ของกราฟประเภทที่ 1 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมทั้งหมดมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ กราฟประเภทที่ 3 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมอื่นๆ และกราฟประเภทที่ 2 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่องมีค่าต่ำสุด

สรุปได้ว่านักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องมากกว่า 5 ปี มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดเครือข่ายการทำวิจัยร่วมกันเนื่องจากกราฟยังคงมีโครงร่างของกลุ่มเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ในลักษณะกิ่งก้านสาขา ส่วนนักวิจัยอื่นๆจะช่วยเพิ่มความเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยให้มีความหนาแน่นมากขึ้น และจากรูปแบบการเพิ่มลดของค่าตัววัดต่างๆ เราสามารถคาดคะเนค่าตัววัดของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมในอนาคตได้

4.5.3 แบบที่ 3 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของ 9 มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยจะใช้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่ใช้ข้อมูลงานวิจัยของ 9 มหาวิทยาลัยที่สังกัดมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (National Research Universities) ช่วงปี ค.ศ.2001-2012 ประเภทเอกสาร คือบทความวิจัย (article) ในฐานข้อมูล SCOPUS เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยในมหาวิทยาลัยต่างๆของประเทศไทยแยกเป็นรายปีและจะใช้ข้อมูลนักวิจัยเฉพาะนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเป็นเวลามากกว่า 5 ปีภายในช่วงเวลา 12 ปี (ค.ศ. 2001-2012) เนื่องจากเป็นนักวิจัยกลุ่มสำคัญที่ทำให้เกิดการทำวิจัยร่วมกัน

ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มมหาวิทยาลัยตามจำนวนของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่อง สาเหตุของการแบ่งกลุ่มเนื่องจากจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถของชุดตัววัดที่แยกแยะกราฟขนาดใกล้เคียงกันแต่ลักษณะรูปร่างแตกต่างกันได้ ประกอบด้วย 3 กลุ่มดังต่อไปนี้

- กลุ่มที่ 1 กลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีนักวิจัยจำนวนมาก ประกอบด้วย
    - มหาวิทยาลัยมหิดล
    - จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- กลุ่มที่ 2 กลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีนักวิจัยจำนวนปานกลาง ประกอบด้วย
    - มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
    - มหาวิทยาลัยขอนแก่น
    - มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
    - มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- กลุ่มที่ 3 กลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีนักวิจัยจำนวนน้อย ประกอบด้วย
    - มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
    - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
    - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

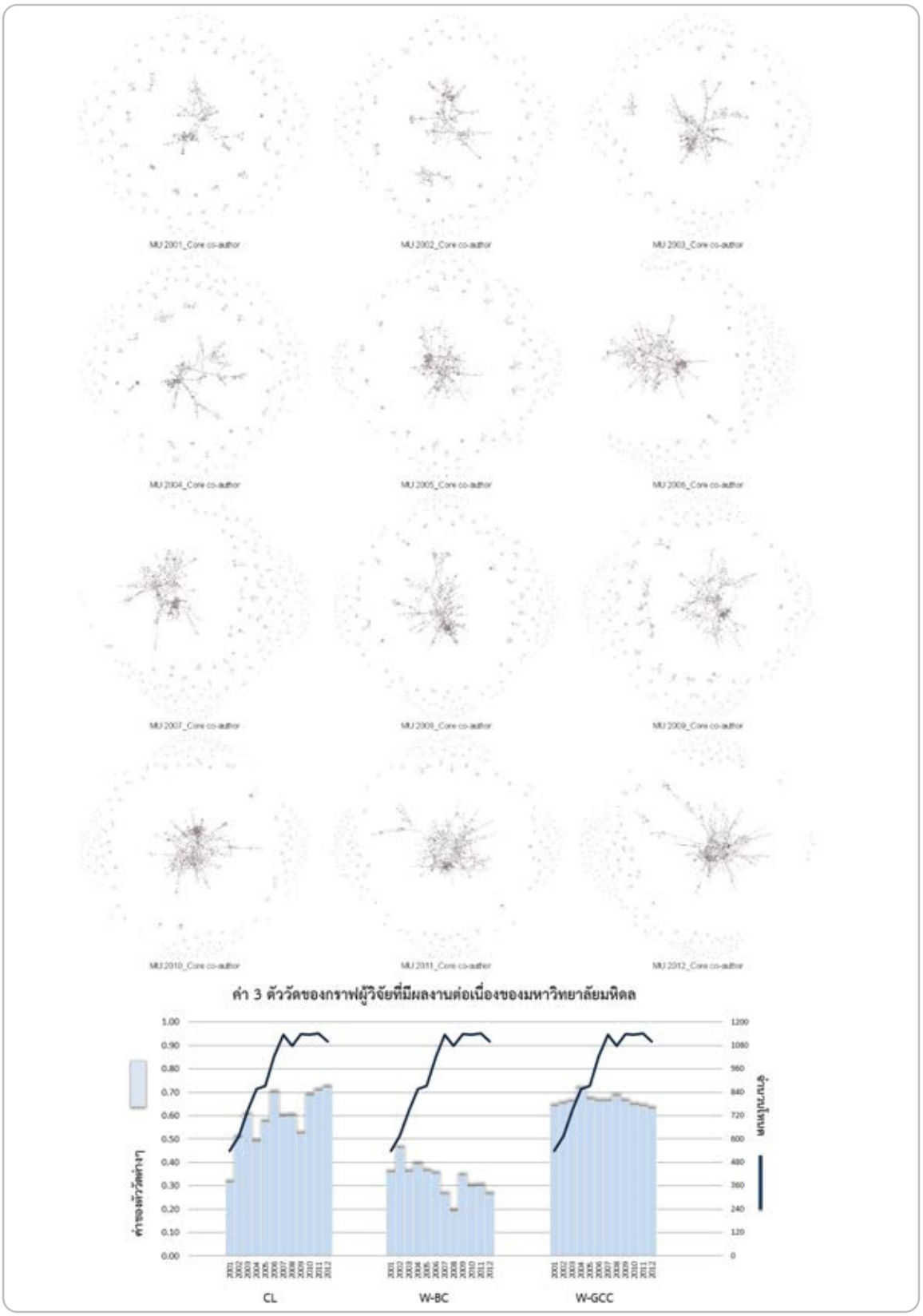
4.5.3.1 กลุ่มที่ 1 กลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีนักวิจัยจำนวนมาก

กลุ่มมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ ประกอบด้วย มหาวิทยาลัยมหิดล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยมหิดล (ภาพที่ 39) มีจำนวนโหนดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจาก 540 คนในปี ค.ศ.2001 เป็นจำนวน 1,100 คนในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Component leadership (CL) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่า 0.312 ในปี ค.ศ. 2001 เป็นค่า 0.718 ในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) มีค่าลดลงเล็กน้อยจากค่า 0.353 ในปี ค.ศ.2001 เป็นค่า 0.261 ในปี ค.ศ.2012 และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับประมาณ 0.65

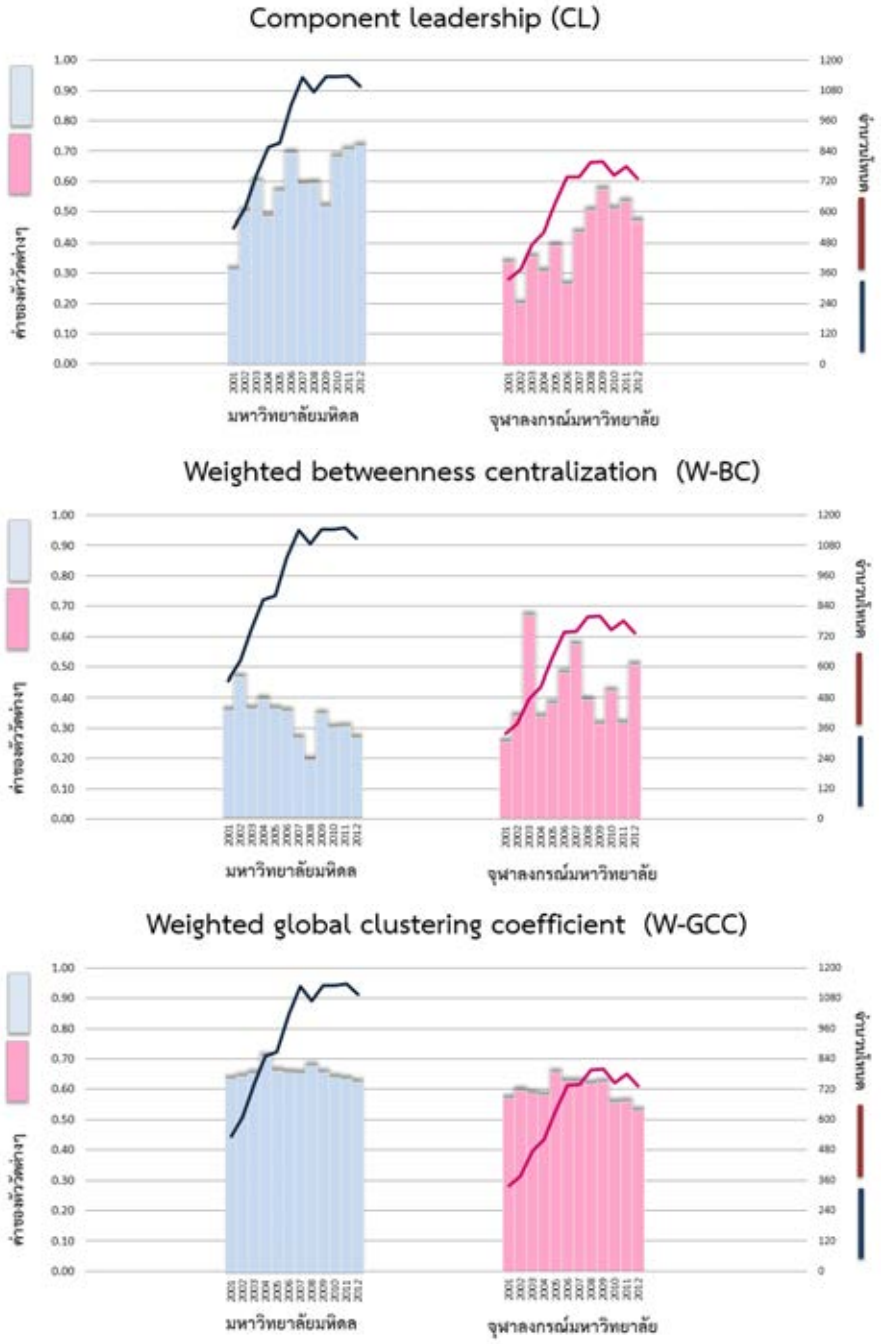
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภาพที่ 40) จำนวนโหนดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นพอสมควรจาก 339 คนในปี ค.ศ.2001 จำนวนนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นเป็น 733 คนในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Component leadership (CL) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่า 0.337 ในปี ค.ศ.2001 เป็นค่า 0.469 ในปี ค.ศ.2012 ยกเว้นในปี ค.ศ.2001และ 2006 ค่าตัววัด Component leadership (CL) ลดลง

มากพอสมควร เนื่องจากใน 2 ปีดังกล่าวมีกลุ่มใหญ่ขนาดใกล้เคียงกันหลายกลุ่ม ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) มีค่าค่อนข้างแปรปรวนในช่วง 12 ปี โดยจะมีค่อนข้างสูงมากในปี ค.ศ. 2003 ,ค.ศ. 2007 และ ค.ศ. 2012 เนื่องจากมีกลุ่มใหญ่ที่เกิดจากการเชื่อมโยงของชุมชนโหนดและการเชื่อมโยงมีจุดเชื่อมเพียงจำนวนเล็กน้อย และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับประมาณ 0.6



ภาพที่ 39 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่อง
ของมหาวิทยาลัยมหิดล ปี ค.ศ. 2001-2012

ภาพที่ 40 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี ค.ศ. 2001-2012



ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม
ของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 1

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ค่าตัววัด Component leadership (CL) ของ 2 มหาวิทยาลัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่มหาวิทยาลัยมหิดลมีค่าสูงกว่าของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพอสมควร เนื่องจากรูปกราฟของมหาวิทยาลัยมหิดลมีลักษณะที่โหนดจำนวนมากรวมตัวกันกลายเป็นกลุ่มที่มีขนาดใหญ่มากกว่า

ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของมหาวิทยาลัยมหิดลมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีการกระจายความเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้นในช่วงปีหลัง ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) จึงลดลง ในส่วนค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีความแปรปรวน เนื่องจากลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มเนื่องจากลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีความเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 12 ปี และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าใกล้เคียงกันและค่อนข้างคงที่อยู่ที่ระดับสูงแสดงถึงลักษณะความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของนักวิจัยมีมากพอสมควร

สรุปภาพรวมกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 1 จะมีลักษณะโหนดจำนวนมากรวมตัวกันกลายเป็นกลุ่มที่มีขนาดใหญ่มาก การเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีการกระจายความเชื่อมโยงค่อนข้างมาก ลักษณะความสัมพันธ์ใกล้ชิดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องมีปริมาณมาก

4.5.3.2 กลุ่มที่ 2 กลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีนักวิจัยจำนวนปานกลาง

กลุ่มมหาวิทยาลัยขนาดกลาง ประกอบด้วยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

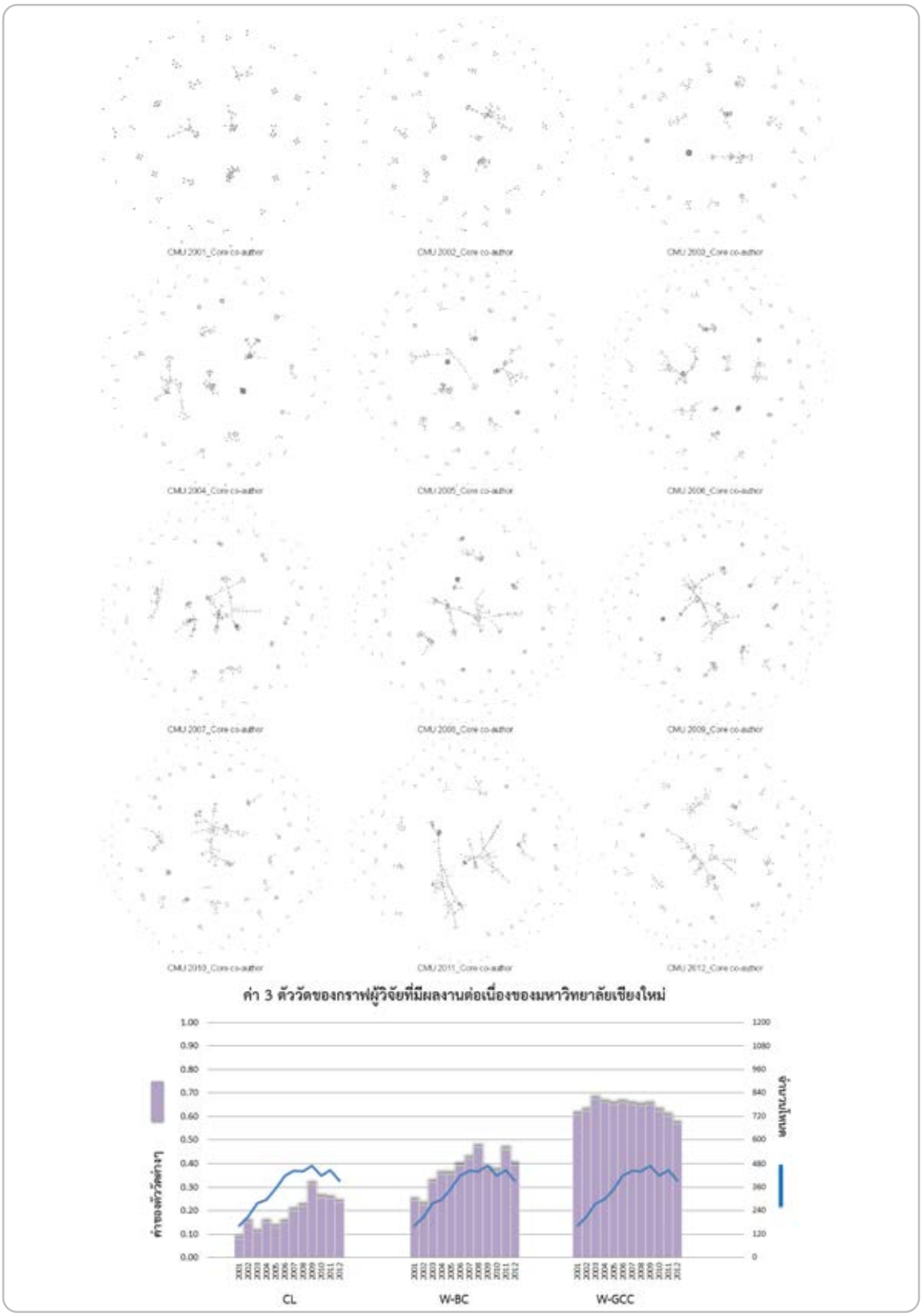
จากภาพที่ 42 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีจำนวนโหนดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจาก 162 คนในปี ค.ศ.2001 เพิ่มขึ้นเป็น 394 คนในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Component leadership (CL) มีแนวโน้มเพิ่มทีละน้อยจากค่า 0.080 ในปี ค.ศ.2001 เป็นค่า 0.296 ในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่า 0.242 ในปี ค.ศ.2001 เป็นค่า 0.395 ในปี ค.ศ.2012 และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับประมาณ 0.650

ในส่วนของมหาวิทยาลัยขอนแก่นภาพที่ 43 จำนวนโหนดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจาก 132 คนในปี ค.ศ.2001 เพิ่มขึ้นเป็น 359 คนในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Component leadership (CL) ค่อนข้างต่ำมากในช่วงปีแรก อยู่ที่ระดับประมาณ 0.090 และเพิ่มขึ้นอย่างมากในปี ค.ศ. 2004 อยู่ที่ระดับ 0.495 มีระดับใกล้เคียงกันไปจนถึง ปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) มีค่าค่อนข้างแปรปรวนในช่วง 12 ปี โดยจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 2003 - 2004 และในช่วงปี ค.ศ. 2007 - 2009 อยู่ที่ระดับประมาณ 0.400 เนื่องจากมีกลุ่มใหญ่ที่เกิดจากการเชื่อมโยงของ

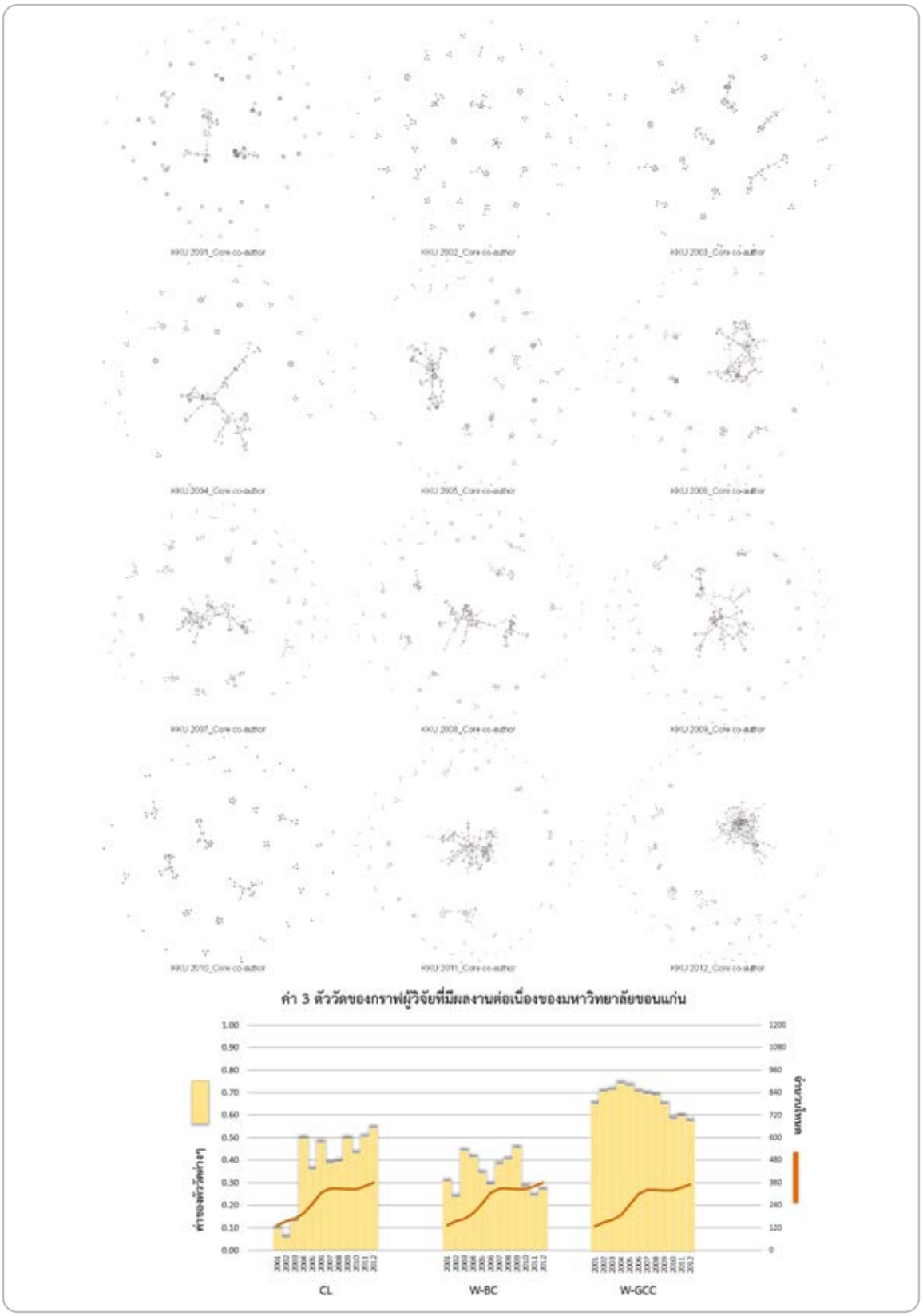
ชุมชนโหนดและการเชื่อมโยงมีจุดเชื่อมเพียงจำนวนเล็กน้อย และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับประมาณ 0.650

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภาพที่ 44 มีจำนวนโหนดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจาก 70 คนในปี ค.ศ.2001 เพิ่มขึ้นเป็น 236 คนในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Component leadership (CL) มีอยู่ที่ระดับประมาณ 0.200 ยกเว้นในปี ค.ศ.2008 , ค.ศ. 2009 และ ค.ศ. 2011 เพิ่มสูงขึ้นไปอยู่ที่ระดับ 0.500 เนื่องจากใน 3 ปีดังกล่าวมีกลุ่มใหญ่ขนาดใหญ่ภายในกราฟ ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทีละน้อย จากค่า 0.184 ในปี ค.ศ.2001 เป็นค่า 0.388 ในปี ค.ศ.2012 และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับประมาณ 0.600

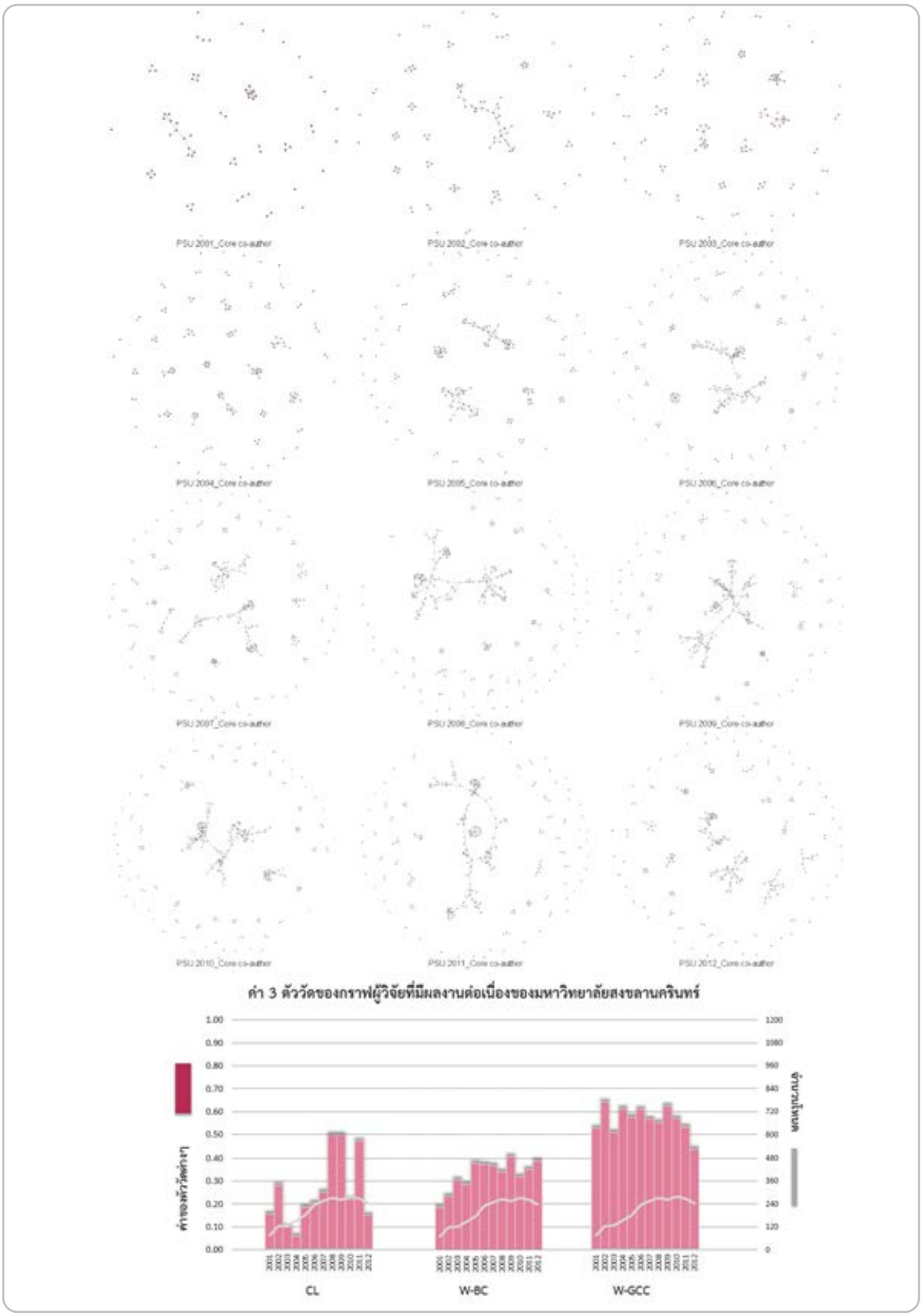
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาพที่ 45 จำนวนโหนดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจาก 51 คนในปี ค.ศ.2001 จำนวนนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นเป็น 238 คนในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Component leadership (CL) ค่อนข้างต่ำมากอยู่ที่ระดับประมาณ 0.090 ในช่วง 12 ปี ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) มีค่าค่อนข้างต่ำมากในช่วงปี ค.ศ. 2001 – 2004 อยู่ที่ระดับประมาณ 0.100 และเพิ่มมากขึ้นในช่วงปีอื่นๆ อยู่ที่ระดับประมาณ 0.250 มียกเว้นในปี ค.ศ.2007 , ค.ศ. 2009 และค.ศ. 2011 เพิ่มสูงขึ้นไปอยู่ที่ระดับ 0.350 เนื่องจากใน 3 ปีดังกล่าวมีกลุ่มใหญ่ที่เกิดจากการเชื่อมโยงของชุมชนโหนดและการเชื่อมโยงมีจุดเชื่อมเพียงจำนวนเล็กน้อย และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับประมาณ 0.450



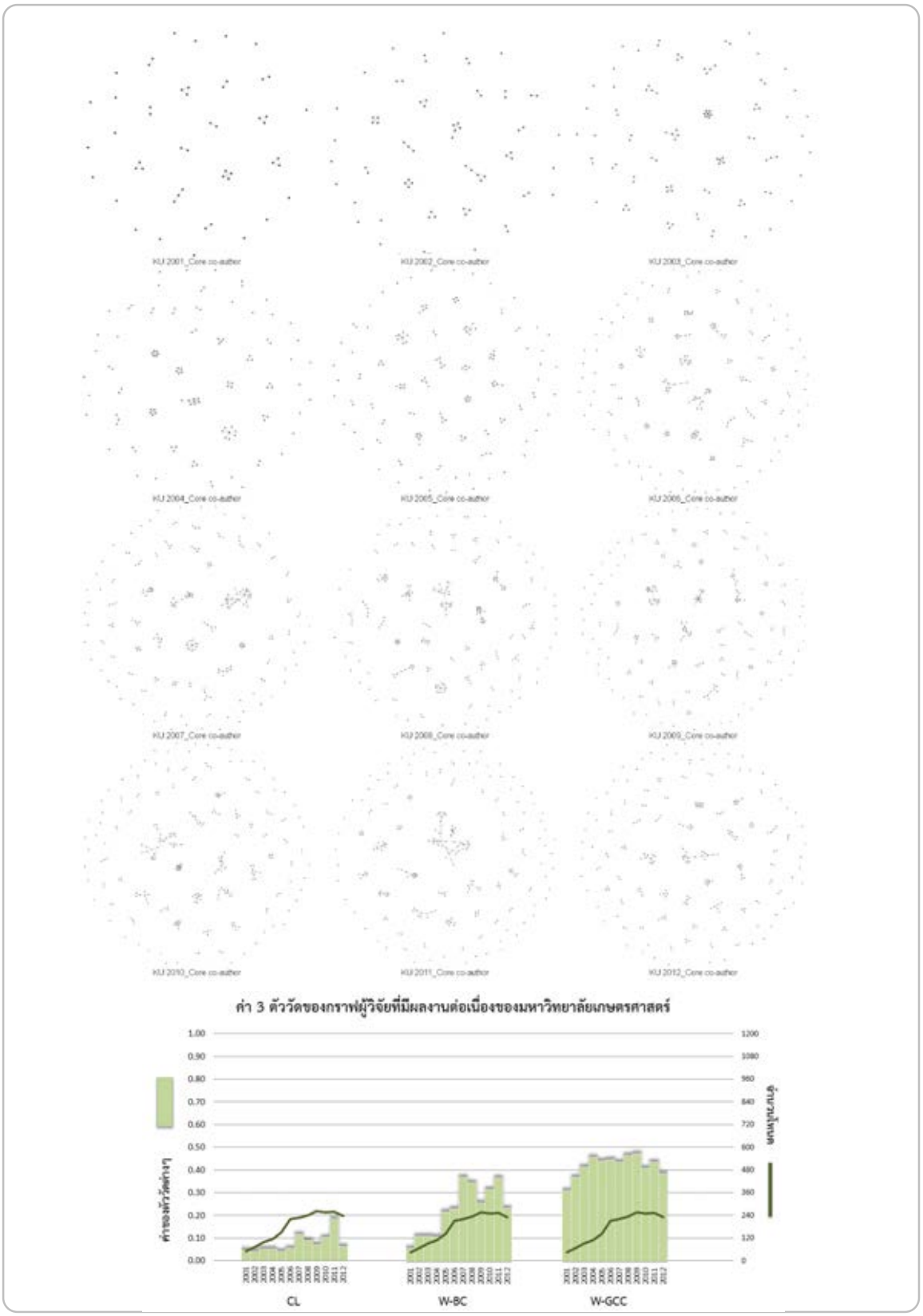
ภาพที่ 42 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี ค.ศ.2001-2012



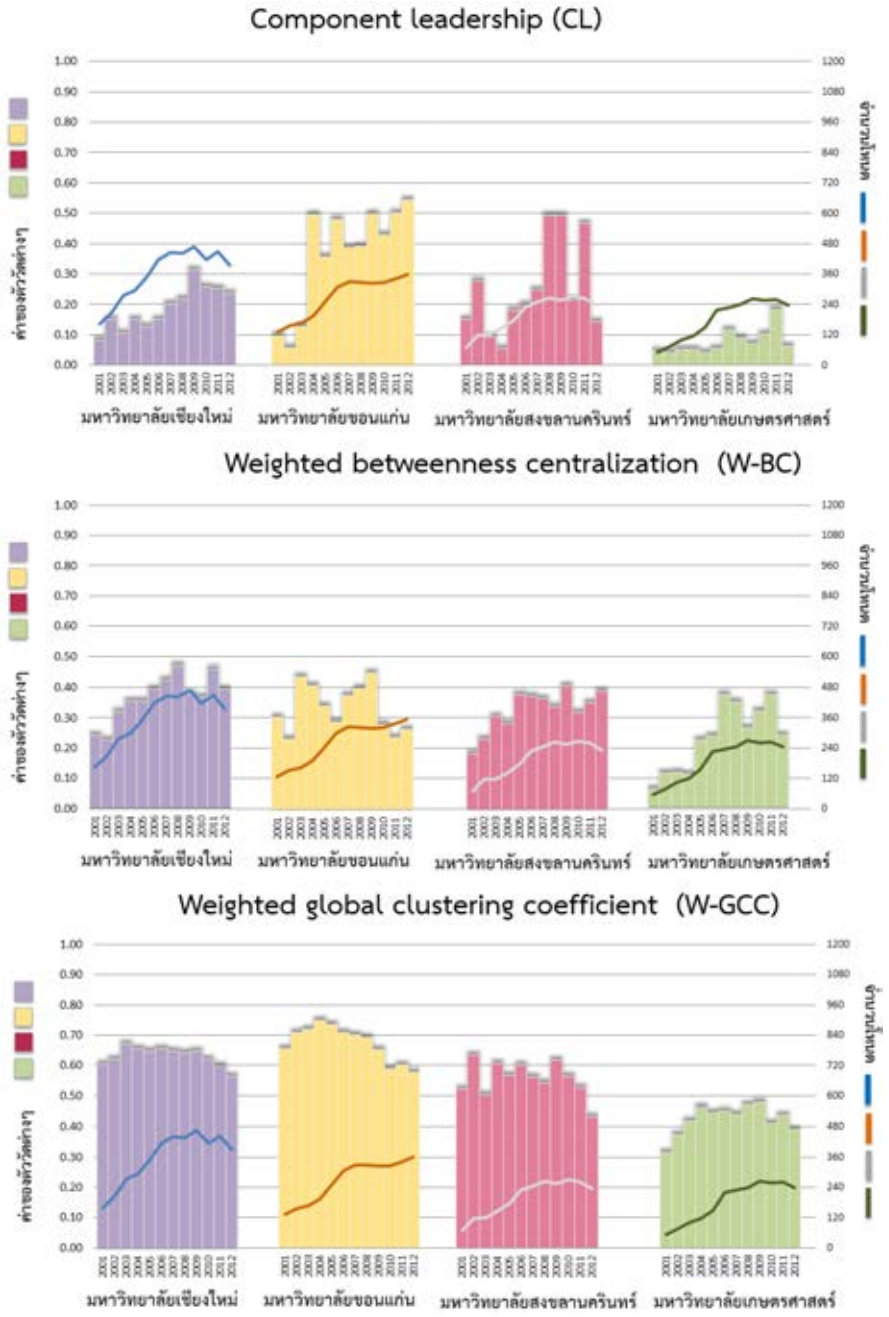
ภาพที่ 43 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี ค.ศ.2001-2012



ภาพที่ 44 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปี ค.ศ.2001-2012



ภาพที่ 45 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี ค.ศ.2001-2012



ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม
ของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 2

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ค่าตัววัด Component leadership (CL) ของ 4 มหาวิทยาลัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ที่ระดับ 0.046 – 0.550 ค่าสูงสุด คือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อยู่ที่ระดับ 0.050 – 0.550 เนื่องจากรูปกราฟมีลักษณะกลุ่มขนาดใหญ่กว่ามหาวิทยาลัยอื่นๆในกลุ่มนี้ ค่าต่ำสุด คือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อยู่ที่ระดับ 0.046 – 0.062 เนื่องจากรูปกราฟมีลักษณะกลุ่มเล็ก

กระจายอยู่ทั่วกราฟ ไม่มีกลุ่มขนาดใหญ่ ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของมหาวิทยาลัยในกลุ่มนี้มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีการกระจายความเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้นในช่วงปีหลัง ยกเว้น ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของมหาวิทยาลัยขอนแก่นมีความแปรปรวน เนื่องจากลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีความเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 12 ปี และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าใกล้เคียงกันและค่อนข้างคงที่อยู่ที่ระดับ 0.600 ลักษณะความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของนักวิจัยมีมากพอสมควร ยกเว้นมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อยู่ที่ระดับ 0.600 มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมหาวิทยาลัยอื่นๆในกลุ่มนี้

สรุปภาพรวมกราฟผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 2 จะมีลักษณะโหนดบางส่วนรวมตัวกันกลายเป็นกลุ่มที่มีขนาดกลาง การเชื่อมโยงภายในกลุ่มมีการกระจายความเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น ลักษณะความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องมีพอสมควร ยกเว้นมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่มีพฤติกรรมการทำวิจัยที่แตกต่างจากมหาวิทยาลัยในกลุ่มนี้

4.5.3.3 กลุ่มที่ 3 กลุ่มมหาวิทยาลัยที่มีนักวิจัยจำนวนน้อย

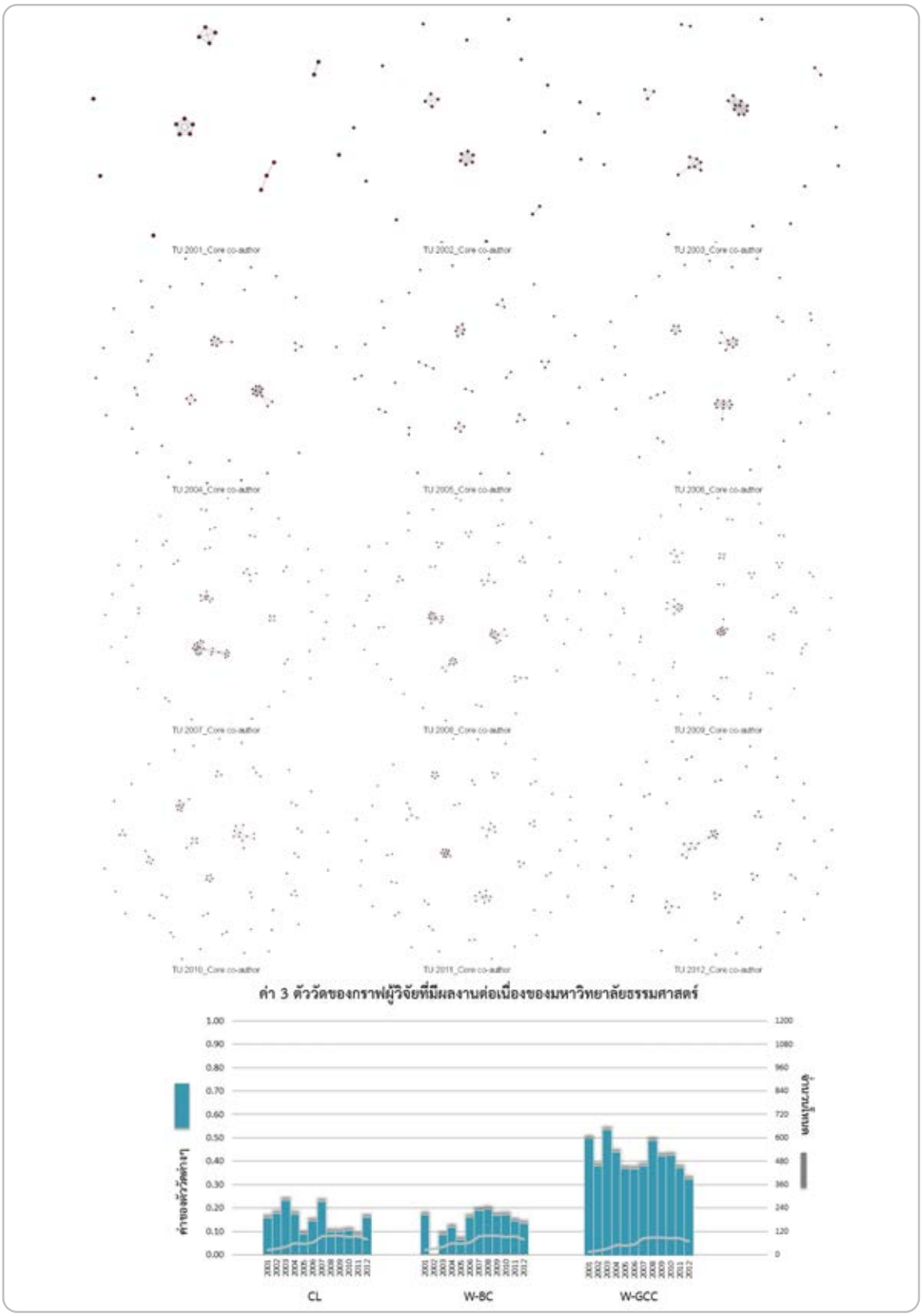
กลุ่มมหาวิทยาลัยขนาดเล็ก ประกอบด้วย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ภาพที่ 47) จำนวนโหนดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจาก 19 คนในปี ค.ศ.2001 เป็น 126 คนในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Component leadership (CL) ค่อนข้างต่ำมาก อยู่ที่ระดับประมาณ 0.050 – 0.200 ในช่วง 12 ปี ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากระดับ 0.140 ในปี ค.ศ.2001 เป็นระดับ 0.381 ในปี ค.ศ.2012 ยกเว้นในปี ค.ศ.2001 และ ค.ศ. 2003 ค่าต่ำสุดคือ 0.000 เนื่องจากจำนวนนักวิจัยน้อยมากและไม่มีผู้วิจัยที่เป็นจุดศูนย์กลางในการเชื่อมโยง และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าแปรปรวนในช่วงปีแรก ค่าต่ำสุดคือ 0.000 ไม่มีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัย และเพิ่มอย่างมากในปี ค.ศ.2004 อยู่ที่ระดับ 0.500มีระดับใกล้เคียงกันไปจนถึงปี ค.ศ.2012

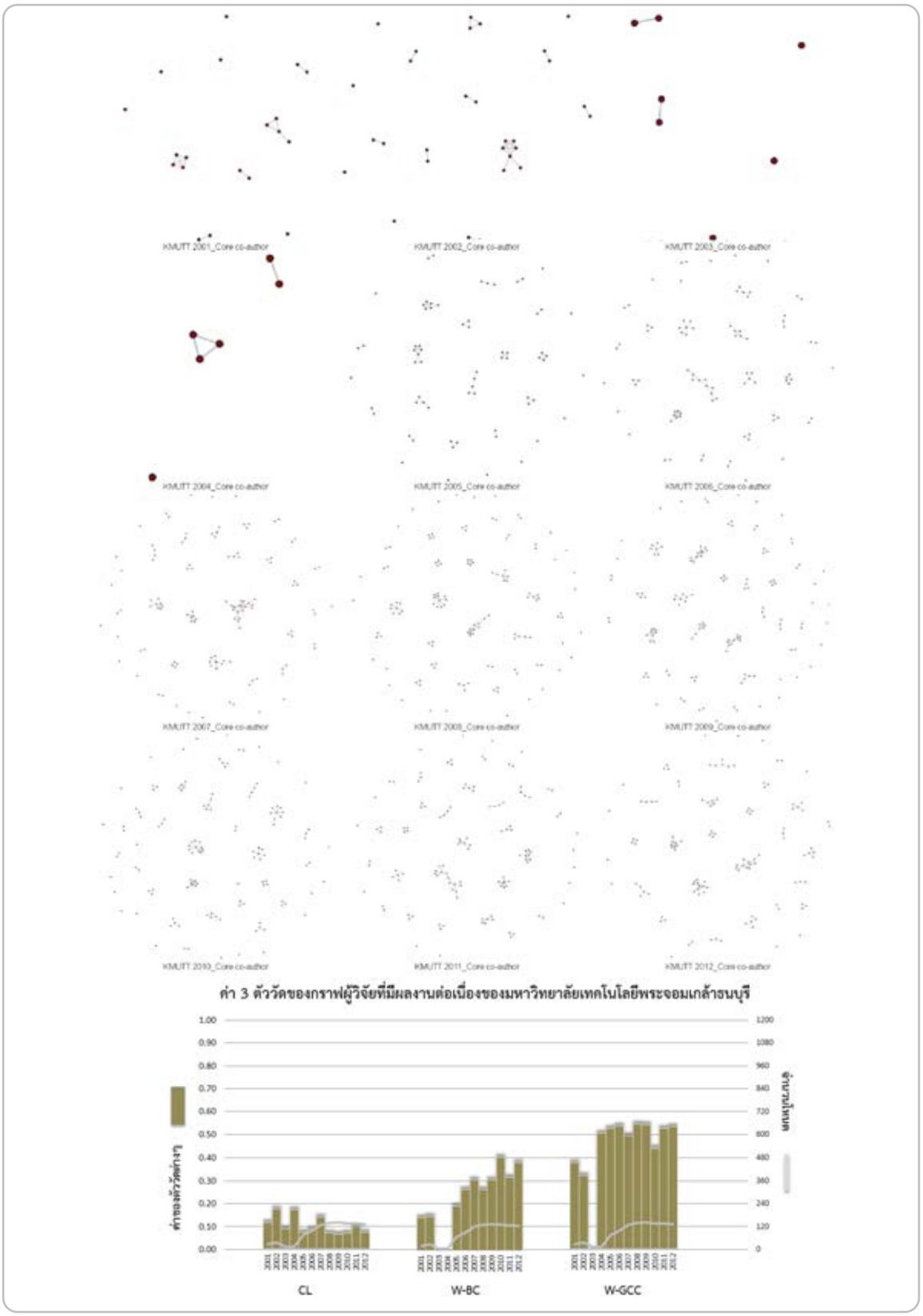
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ภาพที่ 48) จำนวนโหนดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจาก 18 คนในปี ค.ศ.2001 เป็น 73 คนในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Component leadership (CL) ค่อนข้างต่ำมากอยู่ที่ระดับประมาณ

0.100 – 0.200 ในช่วง 12 ปี ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) มีค่าค่อนข้างต่ำมากในช่วงปีแรก อยู่ที่ระดับประมาณ 0.100 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงปีอื่นๆ อยู่ที่ระดับประมาณ 0.150 และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับประมาณ 0.400 ยกเว้นในปี ค.ศ.2001, ค.ศ. 2003 และ ค.ศ.2008 อยู่ในระดับประมาณ 0.500

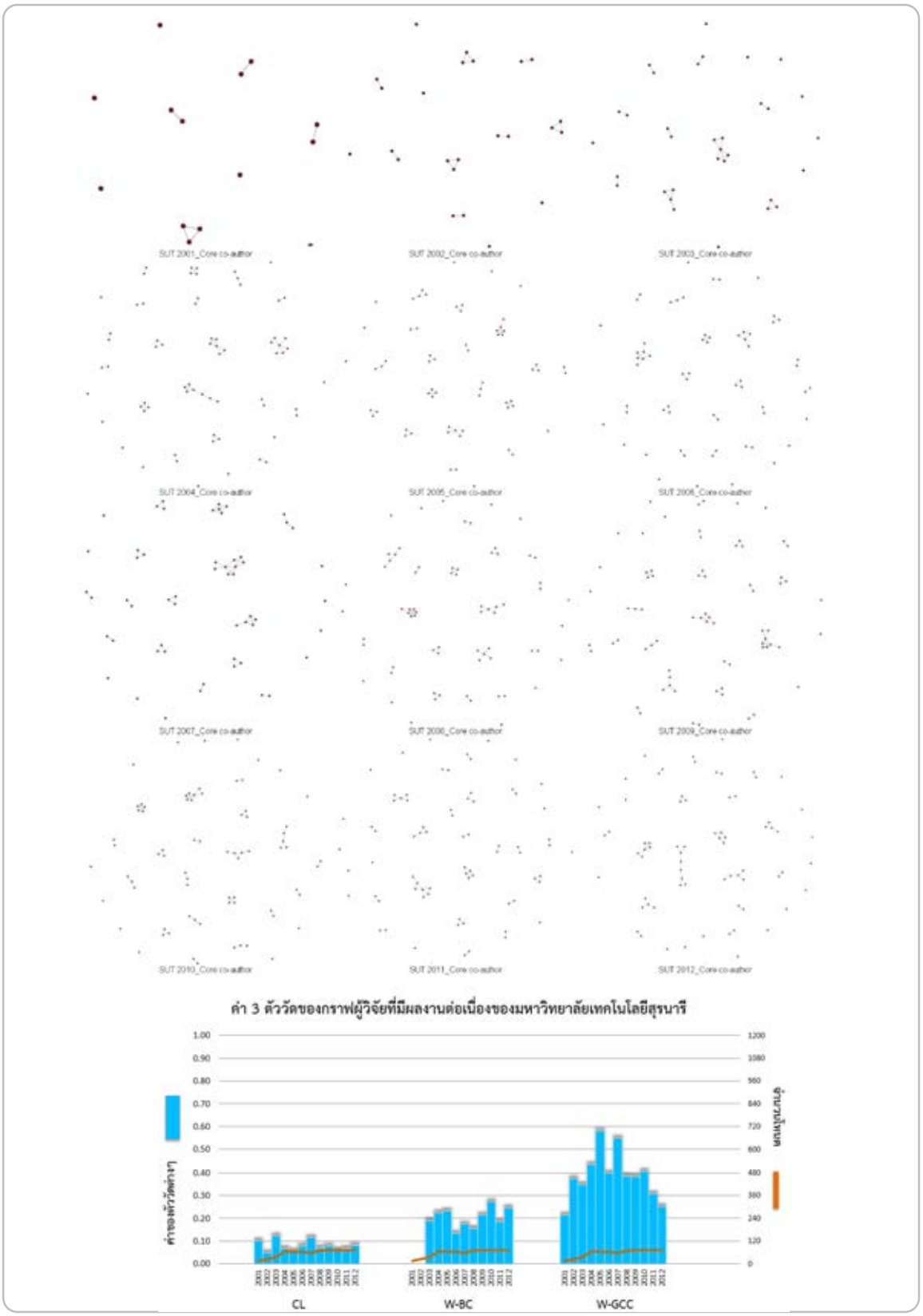
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ภาพที่ 49 จำนวนโหนดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจาก 14 คนในปี ค.ศ.2001 เป็น 73 คนในปี ค.ศ.2012 ค่าตัววัด Component leadership (CL) ค่อนข้างต่ำมากอยู่ที่ระดับ 0.048 – 0.123 ในช่วง 12 ปี ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) มีค่าค่อนข้างต่ำมากในช่วง 2 ปีแรก ค่าต่ำสุดคือ 0.000 และเพิ่มขึ้นในช่วงปีอื่นๆ อยู่ที่ระดับประมาณ 0.200 และและค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าแปรปรวน อยู่ที่ระดับประมาณ 0.200-0.400 ยกเว้นในปี ค.ศ.2005 และ ค.ศ.2007 อยู่ในระดับประมาณ 0.580



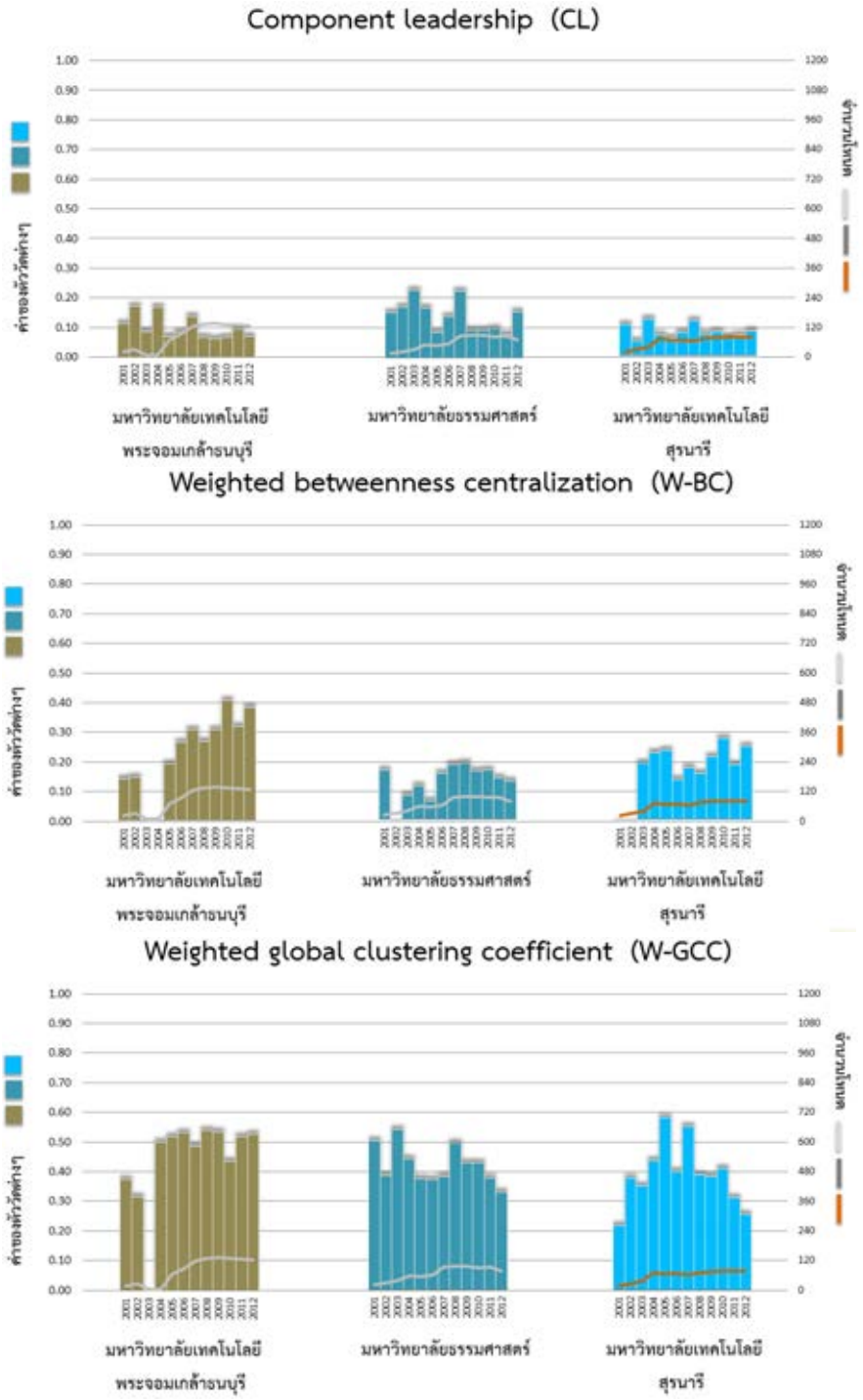
ภาพที่ 47 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี ค.ศ.2001-2012



ภาพที่ 48 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปี ค.ศ.2001-2012



ภาพที่ 49 กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปี ค.ศ.2001-2012



ภาพที่ 50 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม
ของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 3

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ค่าตัววัด Component leadership (CL) ของ 3 มหาวิทยาลัยมีค่าค่อนข้างต่ำมากอยู่ที่ระดับ 0.048 – 0.200 เนื่องจาก

รูปกราฟมีลักษณะกลุ่มเล็กกระจายอยู่ทั่วกราฟ ไม่มีกลุ่มขนาดใหญ่ ค่าตัววัด Weighted betweenness centralization (W-BC) ของมหาวิทยาลัยในกลุ่มนี้มีค่าแปรปรวนและค่อนข้างต่ำ เนื่องจากลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มขนาดเล็กส่วนใหญ่ค่อนข้างหนาแน่น และค่าตัววัด Weighted global clustering coefficient (W-GCC) มีค่าใกล้เคียงกันและค่อนข้างคงที่อยู่ที่ระดับ 0.400 ลักษณะความสัมพันธ์ใกล้ชิดของนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องมีค่อนข้างน้อย

สรุปภาพรวมกราฟผู้วิจัยร่วมของมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 3 จะมีลักษณะเป็นกลุ่มขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วกราฟ ไม่มีกลุ่มขนาดใหญ่ ลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มขนาดเล็กส่วนใหญ่จะเป็นเชื่อมโยงแบบเชื่อมถึงกันหมด (all-to-all) ลักษณะความหนาแน่นในการเชื่อมโยงของนักวิจัยมีน้อยเมื่อเทียบกับมหาวิทยาลัยในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2

จากการประยุกต์ใช้ชุดตัววัดวิเคราะห์พฤติกรรมการทำวิจัยของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมกับข้อมูลงานวิจัยของสาขาวิชาและมหาวิทยาลัยต่างๆ ที่เก็บข้อมูลบรรณานุกรมจากฐานข้อมูลงานวิจัย SCOPUS แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการทำวิจัยของแต่ละหน่วยงานมีความแตกต่างกัน จะเห็นว่าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์พฤติกรรมการทำวิจัยแบบเดี่ยวหรือกลุ่มเล็ก ส่วนสาขาวิชาเคมีและสาขาชีวเคมี,พันธุศาสตร์ และชีวโมเลกุลพฤติกรรมการทำวิจัยมีกลุ่มใหญ่ขึ้น โดยเกิดจากการเชื่อมโยงถึงกันของชุมชนโหนดผ่านผู้วิจัยที่เป็นศูนย์กลาง ซึ่งแตกต่างการสาขาแพทยศาสตร์ที่มีพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันเป็นกลุ่มใหญ่ตลอดช่วงระยะเวลา 12 ปีที่ทำการวิเคราะห์ เมื่อนำข้อมูลงานวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในช่วงปี ค.ศ.2001-2012 แล้วแยกกราฟนักวิจัยทั้งหมดออกเป็นกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่องกับกราฟนักวิจัยอื่นๆ ในแต่ละปี แสดงให้เห็นว่าจำนวนนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องที่มีจำนวนน้อยกลับมีส่วนสำคัญต่อการทำวิจัยร่วมกันในมหาวิทยาลัยมากกว่านักวิจัยประเภทอื่นๆ และสุดท้ายในส่วนการเปรียบเทียบความแตกต่างของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมของ 9 มหาวิทยาลัย ผลเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่ามหาวิทยาลัยมหิดลและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีพฤติกรรมการทำวิจัยเป็นกลุ่มขนาดใหญ่และขนาดกลุ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยค่อนข้างหนาแน่น ตลอด 12 ปี ในส่วนของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , มหาวิทยาลัยขอนแก่น และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์มีแนวโน้มพฤติกรรมการทำวิจัยที่กลุ่มมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงปีแรก โดยกลุ่มใหญ่เกิดจากการเชื่อมโยงของชุมชนโหนดผ่านนักวิจัยที่เป็นศูนย์กลาง ซึ่งต่างกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่มีจำนวนนักวิจัยใกล้เคียงกับ 3 มหาวิทยาลัยในกลุ่มนี้ แต่มีพฤติกรรมการทำวิจัยที่แตกต่างออกไป

โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีพฤติกรรมการทำวิจัยแบบเดี่ยวหรือกลุ่มเล็ก โดยการเชื่อมโยงภายในกลุ่มส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะเชื่อมถึงกันหมด (all-to-all) การเชื่อมโยงจะเกิดขึ้นเฉพาะกลุ่มนักวิจัยที่ตีพิมพ์งานวิจัยฉบับเดียวกันเท่านั้นจึงมีลักษณะความสัมพันธ์ในวงแคบๆ ส่งผลให้การเชื่อมโยงกันนักวิจัยอื่นๆค่อนข้างน้อยมาก

บทที่ 5
บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอและพัฒนาเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัยโดยใช้ตัววัดหลายตัวในการวิเคราะห์ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม ผู้วิจัยได้นำเสนอ 3 ตัววัดโดยชุดของตัววัดประกอบไปด้วย

- ตัววัด Component leadership (CL) วิเคราะห์พฤติกรรมการรวมกลุ่มวิจัย เนื่องจากกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมมีลักษณะการเชื่อมโยงของโหนดเกิดเป็นกลุ่มวิจัยจำนวนหลายกลุ่ม ค่าระดับสูงสุด คือ 1.0 ในกราฟที่ทุกโหนดเชื่อมโยงกลายเป็น 1 กลุ่ม ค่าระดับต่ำสุด คือ 0.0 ในกราฟที่ทุกโหนดไม่มีการเชื่อมโยงเกิดขึ้น
- ตัววัด Weighted betweenness centralization (W-Btw) วิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีโหนดใดโหนดหนึ่งเป็นจุดศูนย์กลาง เนื่องจากลักษณะการเชื่อมโยงภายในกลุ่มที่มีเส้นทางผ่านจุดศูนย์กลางที่เป็นจุดเชื่อม ส่งผลให้กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมมีความแตกต่าง ค่าระดับสูงสุด คือ 1.0 ในกราฟที่ทุกโหนดภายในแต่ละกลุ่มเชื่อมโยงผ่านศูนย์กลาง ค่าระดับต่ำสุด คือ 0.0 ในกราฟที่ทุกโหนดภายในแต่ละกลุ่มเชื่อมโยงถึงกันหมด (complete graph)
- ตัววัด Weighted clustering coefficient (W-CC) วิเคราะห์พฤติกรรมการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยภายในกลุ่มที่มีความหนาแน่น เนื่องจากลักษณะการเชื่อมโยงภายในของแต่ละกลุ่มวิจัยแบบมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยไม่เท่ากัน ค่าระดับสูงสุด คือ 1.0 ในกราฟที่ทุกโหนดภายในแต่ละกลุ่มเชื่อมโยงถึงกันหมด (complete graph) ค่าระดับต่ำสุด คือ 0. 0 ในกราฟที่ทุกโหนดภายในแต่ละกลุ่มเชื่อมโยงเบาบาง

โดยผลลัพธ์ของตัววัดชุดนี้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0-1 ตัววัดมีช่วงของผลลัพธ์จะทำให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีจำนวนโหนดไม่เท่ากันได้ และตัววัดแรกผู้วิจัยได้นำเสนอขึ้นมาใหม่ ตัววัดอื่นๆเกิดจากการประยุกต์ตัววัดที่มีอยู่แล้วให้เหมาะกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม

ผู้วิจัยได้ทดสอบความสามารถในการแยกแยะรูปร่างของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัดเพื่อการเปรียบเทียบความแตกต่าง แบบแรกจะทดสอบด้วยกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีลักษณะรูปกราฟเหมือนกัน เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัววัดที่ใช้มีความสม่ำเสมอ (consistency) ในการบ่งบอกลักษณะของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีรูปร่างคล้ายกันแต่มีจำนวนโหนดต่างกัน กล่าวคือ หากกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมมีลักษณะคล้ายกัน ค่าของชุดตัววัดก็จะคล้ายกันด้วย ซึ่งผล

การทดสอบเป็นไปตามที่คาดหวัง แบบที่ 2 ทดสอบด้วยกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีลักษณะรูปกราฟแตกต่างกัน เพื่อจะแสดงความสามารถของเครื่องมือวิเคราะห์กราฟผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัววัดในเปรียบเทียบรูปกราฟที่มีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ กราฟที่มีลักษณะแตกต่างกัน จะต้องมีค่าชุดตัววัดที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามที่คาดหวัง

จากนั้นผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการในการวิเคราะห์เครือข่ายผู้วิจัยร่วมของสาขาวิชาต่างๆ แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการทำวิจัยของสาขาวิชาต่างๆ มีความแตกต่างกัน เช่น พฤติกรรมการทำวิจัยแบบเดี่ยวหรือกลุ่มเล็ก พฤติกรรมการทำวิจัยมีกลุ่มใหญ่ขึ้น โดยเกิดจากการเชื่อมโยงถึงกันของกลุ่มเล็กผ่านผู้วิจัยที่เป็นศูนย์กลาง พฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันเป็นกลุ่มใหญ่และเชื่อมโยงอย่างหนาแน่น เป็นต้น และเมื่อแยกกราฟนักวิจัยทั้งหมดออกเป็นกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีผลงานต่อเนื่องกับกราฟนักวิจัยอื่นๆ ในแต่ละปี แสดงให้เห็นว่าจำนวนนักวิจัยที่มีผลงานต่อเนื่องที่มีจำนวนน้อยกลับมีส่วนสำคัญต่อการทำวิจัยร่วมกันในมหาวิทยาลัยมากกว่านักวิจัยประเภทอื่นๆ และผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการในการวิเคราะห์เครือข่ายผู้วิจัยร่วมของ 9 มหาวิทยาลัยของไทย แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการทำวิจัยของแต่ละมหาวิทยาลัยมีความแตกต่างกัน เช่น บางมหาวิทยาลัยพฤติกรรมการทำวิจัยเป็นกลุ่มขนาดใหญ่และขนาดกลุ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัยค่อนข้างหนาแน่น บางมหาวิทยาลัยพฤติกรรมการทำวิจัยที่กลุ่มมีขนาดกลาง บางมหาวิทยาลัยพฤติกรรมการทำวิจัยแบบเดี่ยวหรือกลุ่มเล็ก และในบางมหาวิทยาลัยที่มีจำนวนนักวิจัยใกล้เคียงกันกลับมีพฤติกรรมการทำวิจัยที่แตกต่างออกไป เป็นต้น

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการผสมกันของ 3 ตัววัดมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมด้านพฤติกรรมการทำวิจัยร่วมกันของนักวิจัยได้ ซึ่งหน่วยงานวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางหนึ่งสำหรับประเมินพฤติกรรมการทำวิจัยและการนำไปใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวางแผนยุทธศาสตร์การวิจัยได้

5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ

ซอฟแวร์ที่จัดทำขึ้นนี้ยังสามารถเพิ่มฟังก์ชันการทำงานที่จำเป็นได้ เพื่อเพิ่มความสะดวกและขยายความสามารถในการใช้งาน เช่น การเก็บข้อมูลงานวิจัยที่เก็บข้อมูลจากฐานข้อมูลงานวิจัยโดยอัตโนมัติและหลากหลายแหล่ง การทำความสะอาดข้อมูลที่ช่วยกำจัดข้อมูลที่เป็นปัญหาต่อการวิเคราะห์ การสกัดเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่จะช่วยเพิ่มความสะดวกในการวิเคราะห์ ลดการพึ่งพาฟังก์ชันการสกัดเครือข่ายผู้วิจัยร่วมจากเครื่องมืออื่น การเพิ่มประสิทธิภาพการแสดงผลข้อมูล (visualization) ซึ่งจะช่วยเพิ่มจำนวนกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมได้มากขึ้นและทำความเข้าใจผลการวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก (big data) โดยการปรับปรุงการทำงานให้สามารถทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง รวมทั้งการพัฒนาซอฟแวร์ให้เป็นโปรแกรมเว็บแอพพลิเคชั่น (web application) ที่จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงเครื่องมือได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

. 1. Andrade, H. and Martín, E., *Dimensions of scientific collaboration and its contribution to the academic research groups'scientific quality.* Research Evaluation, 2009: p. 301-311.

2. Morel, C., et al., *Co-authorship Network Analysis: A Powerful Tool for Strategic Planning of Research, Development and Capacity Building Programs on Neglected Diseases.* PLOS Neglected Tropical Diseases, August 2009. 3.

3. เพ็ชรเม็ดใหญ่, ร., ดัชนีสิ่งพิมพ์หรือผลผลิตวรรณกรรมวิทยาศาสตร์. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2 April 2012.

4. Thijs, B. *The application of network analysis in science studies*. [cited 2012 13 November] ; Available from: http://www.scientometrics-school.eu/images/2012Thijs.pdf.

5. Freeman, L.C., *Centrality in social networks.* Conceptual clarification,Social Networks, 1979. 1: p. 215-239.

6. Macindoe, O. *Investigating the Fine Grained Structure of Networks*. [cited 2012 5 December]; Available from: http://people.csail.mit.edu/owenm/papers/Macindoe%20%20Investigating%20the%20Fine%20Grained%20Structure%20of%20Networks.pdf.

7. RonaTas, A. *Network Matrix and Graph.* [cited 2013 12 February]; Available from:http://weber.ucsd.edu/~aronatas/network%20measures%20web%202.ppt.

8. Börner, K. *Sci2 Tool: Temporal Geospatial Topical and Network Analysis and Visualization*. [cited 2013 22 January] ; Available from: http://ivl.cns.iu.edu/km/pres/2012-borner-sci2tutorial-meertens-part2.pdf.

9. DeVos, M. 12 *Extremal Graph Theory II*. [cited 2013 12 February]; Available from: http://www.sfu.ca/~mdevos/notes/graph/445_extremal-2.pdf.

10. Boccaletti, S., et al., *Complex networks.* Structure and dynamics Physics Reports, 2006. 424(4-5): p. 175-308.

11. Steve Borgatti. *Graph Cohesion*. [cited 2012 12 December]; Available from: http://www.analytictech.com/mgt780/2008/slides/graphcohesion.pdf.

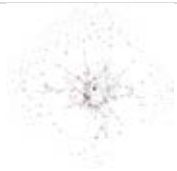
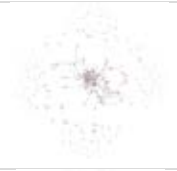
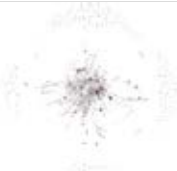
12. Chen, Y., et al., *Percolation theory and fragmentation measures in social networks.* Physical A: Statistical Mechanics and its Applications, 2007. 378(1): p. 11-19.

13. Cheliotis, G., *Social Network Analysis (SNA) including a tutorial on concepts and methods*. [cited 2012 12 November]; Available from: http://wiki.nus.edu.sg/download/attachments/57742900/Social%20Network%20Analysis.pdf?version=1&modificationDate=1267120366130&api=v2
14. Wasserman, S., *Social Networks Analysis.* Cambridge University Press, 1994.
15. Chakrabarti, D., *Graph Mining: Laws, Generators, and Algorithms.* ACM Computing Surveys, 2006.
16. Badar, K., Hite, J. and Badir, Y., *Examining the relationship of co-authorship network centrality and gender on academic research performance: the case of chemistry researchers in Pakistan.* Scientometrics. 94(2): p. 755-775.
17. Yousefi-Nooraie, R., Hanneman, M. and Etemadi, A., *Association between co-authorship network and scientific productivity and impact indicators in academic medical research centers: A case study in Iran.* Health Research Policy and Systems, September 2008.
18. Nagpaul, P., *Visualizing cooperation networks of elite institutions in India.* Scientometrics, 2002. 54(2): p. 213-228.
19. Macindoe, O., Richards, W., *Comparing networks using their fine structure.* International Journal of Social Computing and Cyber-Physical Systems. 1(1): p. 79-97.
20. Macindoe, O., Richards, W., *Graph Comparison Using Fine Structure Analysis* Social Computing (SocialCom): p. 193- 200.
21. Frick, A., Ludwig, A. and Mehldau, A., *A Fast Adaptive Layout Algorithm for Undirected Graphs.* Graph Drawing, 1994. 894: p. 388-403.

ภาคผนวก

ตารางแสดงกราฟตัวอย่างในระดับค่าตัววัดต่างๆ 27 กรณี

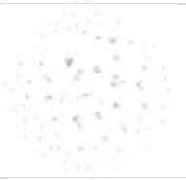
การผสมของ 3 ตัววัดจะทำให้เกิดลักษณะรูปร่างต่างๆดังกราฟตัวอย่าง แต่เนื่องจากกราฟผู้วิจัยร่วมที่ทำการทดลองไม่ได้มีรูปร่างครบทุกกรณีจึงมีการปรับข้อมูลในบางกราฟเพื่อให้เหมาะสม

CL	W-BC	W-GCC		
สูง	**สูง**	**สูง**		CU_total 2012 CL = 0.585 W-BC = 0.553 W-GCC = 0.883
CL	W-BC	W-GCC		
สูง	**สูง**	**กลาง**		MU_total 2005 ปรับข้อมูล CL = 0.583 W-BC = 0.512 W-GCC = 0.697
CL	W-BC	W-GCC		
สูง	**สูง**	**ต่ำ**		MU_total 2002 ปรับข้อมูล CL = 0.635 W-BC = 0.516 W-GCC = 0.493
CL	W-BC	W-GCC		
สูง	**กลาง**	**สูง**		MU_total 2012 CL = 0.712 W-BC = 0.301 W-GCC = 0.917
CL	W-BC	W-GCC		
สูง	**กลาง**	**กลาง**		MU_Core author 2006 CL = 0.695 W-BC = 0.350 W-GCC = 0.660
CL	W-BC	W-GCC		
สูง	**กลาง**	**ต่ำ**		MU_Core author 2009 ปรับข้อมูล CL = 0.519 W-BC = 0.341 W-GCC = 0.497
CL	W-BC	W-GCC		
สูง	**ต่ำ**	**สูง**		MU_total 2008 CL = 0.550 W-BC = 0.266 W-GCC = 0.895
CL	W-BC	W-GCC		
สูง	**ต่ำ**	**กลาง**		MU_Core author 2005 CL = 0.683 W-BC = 0.295 W-GCC = 0.642
CL	W-BC	W-GCC		
สูง	**ต่ำ**	**ต่ำ**		MU_Core author 2005 ปรับข้อมูล CL = 0.570 W-BC = 0.297 W-GCC = 0.642

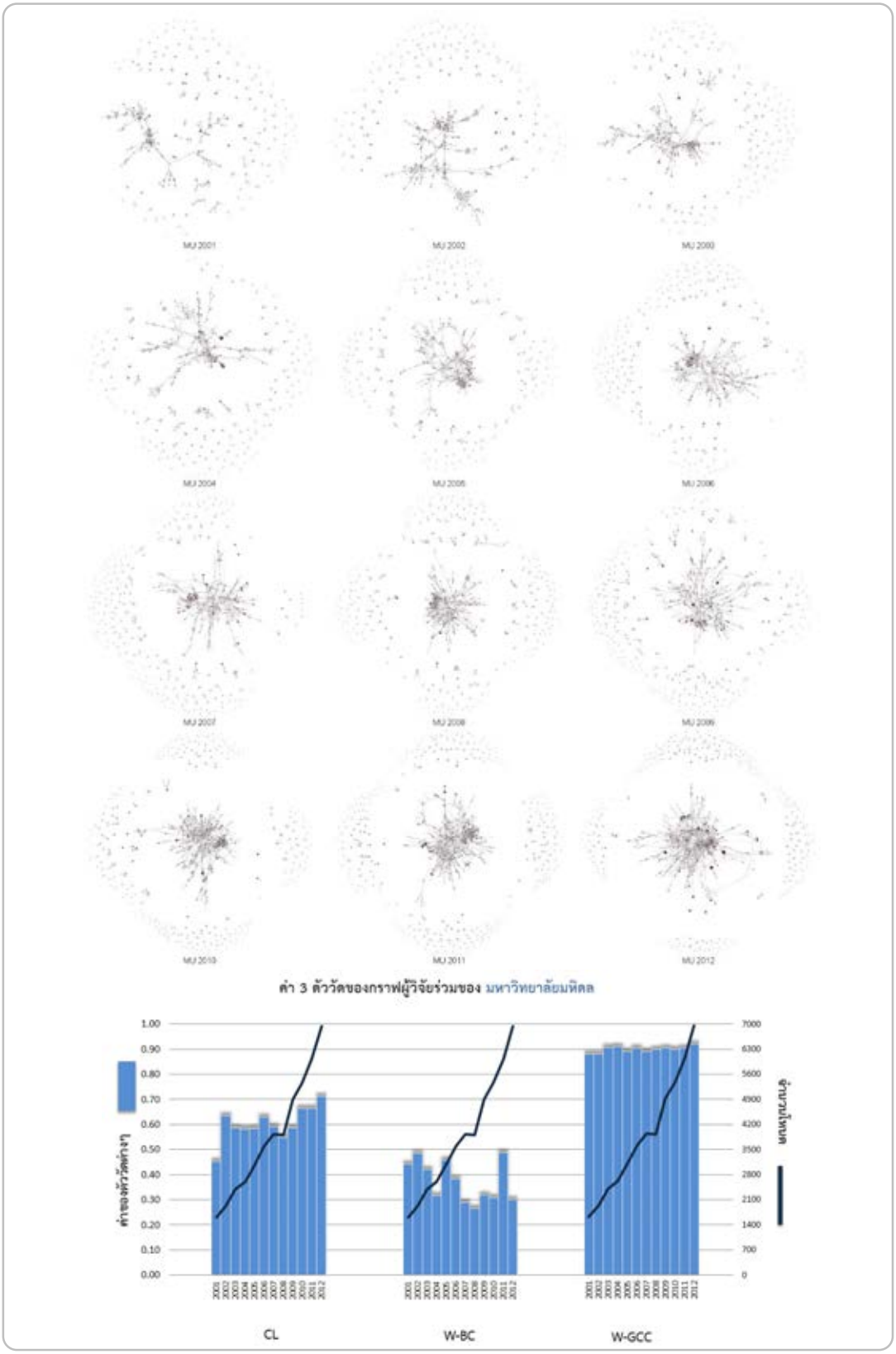
ตารางแสดงกราฟตัวอย่างในระดับค่าตัววัดต่างๆ 27 กรณี (ต่อ)

CL **กลาง**	W-BC **สูง**	W-GCC **สูง**		CU_Core author 2007 ปรับข้อมูล CL = 0.435 W-BC = 0.573 W-GCC = 0.724
CL **กลาง**	W-BC **สูง**	W-GCC **กลาง**		CU_total 2003 ปรับข้อมูล CL = 0.327 W-BC = 0.512 W-GCC = 0.675
CL **กลาง**	W-BC **สูง**	W-GCC **ต่ำ**		PSU_Core author 2011 ปรับข้อมูล CL = 0.465 W-BC = 0.534 W-GCC = 0.476
CL **กลาง**	W-BC **กลาง**	W-GCC **สูง**		CU_Core author 2008 CL = 0.500 W-BC = 0.392 W-GCC = 0.712
CL **กลาง**	W-BC **กลาง**	W-GCC **กลาง**		CU_Core author 2012 CL = 0.469 W-BC = 0.500 W-GCC = 0.528
CL **กลาง**	W-BC **กลาง**	W-GCC **ต่ำ**		KKU_total 2010 ปรับข้อมูล CL = 0.472 W-BC = 0.379 W-GCC = 0.482
CL **กลาง**	W-BC **ต่ำ**	W-GCC **สูง**		MU_Core author 2010 ปรับข้อมูล CL = 0.498 W-BC = 0.295 W-GCC = 0.718
CL **กลาง**	W-BC **ต่ำ**	W-GCC **กลาง**		MU_Core author 2005 ปรับข้อมูล CL = 0.456 W-BC = 0.293 W-GCC = 0.666
CL **กลาง**	W-BC **ต่ำ**	W-GCC **ต่ำ**		MU_Core author 2009 ปรับข้อมูล CL = 0.489 W-BC = 0.289 W-GCC = 0.497

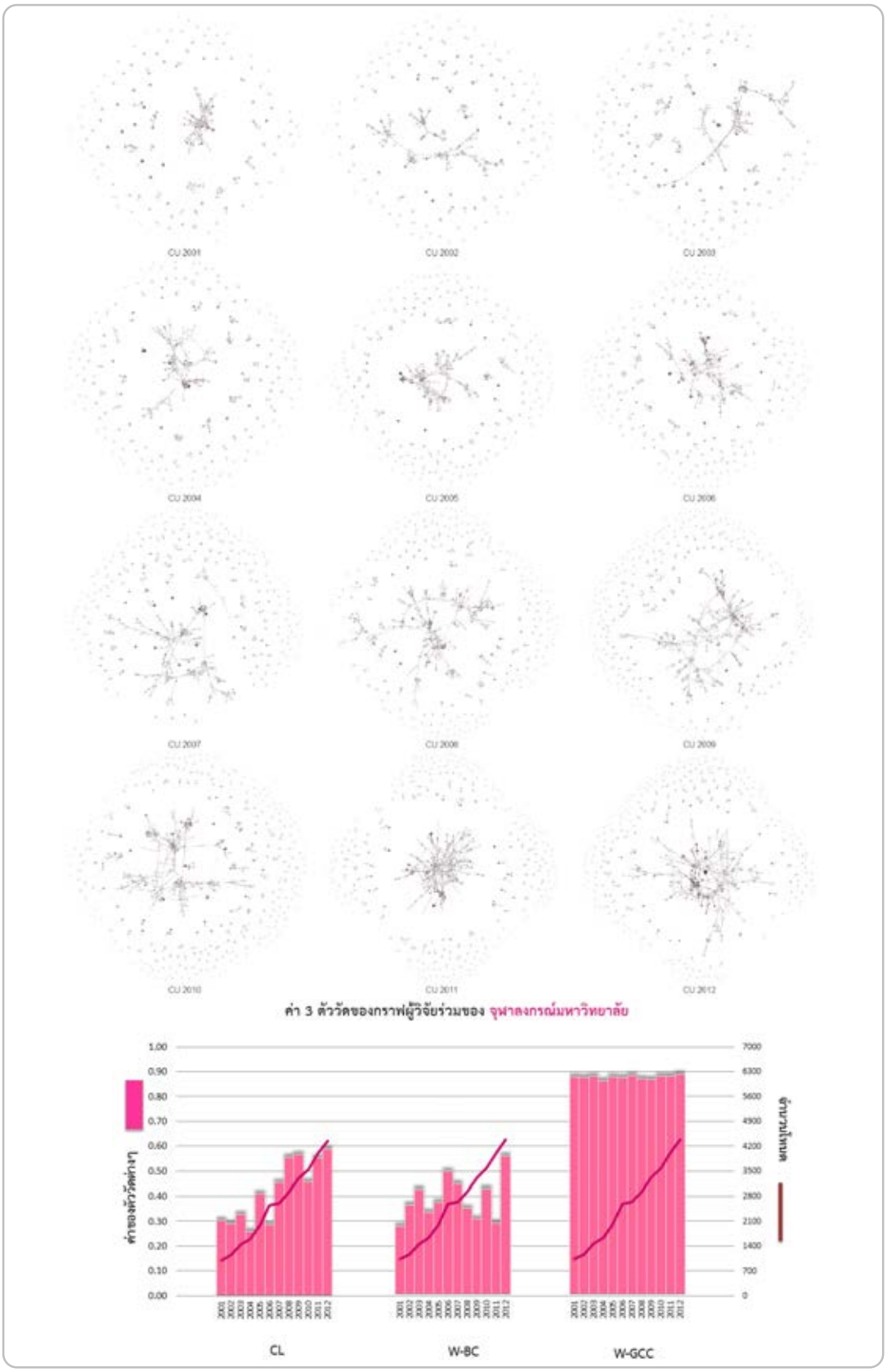
ตารางแสดงกราฟตัวอย่างในระดับค่าตัวแปรต่างๆ 27 กรณี (ต่อ)

CL **ต่ำ**	W-BC **สูง**	W-GCC **สูง**		CMU_total 2007 CL = 0.207 W-BC = 0.590 W-GCC = 0.882
CL **ต่ำ**	W-BC **สูง**	W-GCC **กลาง**		KU_total 2011 ปรับข้อมูล CL = 0.173 W-BC = 0.589 W-GCC = 0.759
CL **ต่ำ**	W-BC **สูง**	W-GCC **ต่ำ**		CU_Core author 2002 ปรับข้อมูล CL = 0.199 W-BC = 0.539 W-GCC = 0.595
CL **ต่ำ**	W-BC **กลาง**	W-GCC **สูง**		SUT_total 2011 CL = 0.130 W-BC = 0.498 W-GCC = 0.845
CL **ต่ำ**	W-BC **กลาง**	W-GCC **กลาง**		KMUTT_total 2010 ปรับข้อมูล CL = 0.064 W-BC = 0.479 W-GCC = 0.757
CL **ต่ำ**	W-BC **กลาง**	W-GCC **ต่ำ**		KKU_Core author 2010 ปรับข้อมูล CL = 0.127 W-BC = 0.440 W-GCC = 0.471
CL **ต่ำ**	W-BC **ต่ำ**	W-GCC **สูง**		TU_total 2008 CL = 0.061 W-BC = 0.275 W-GCC = 0.880
CL **ต่ำ**	W-BC **ต่ำ**	W-GCC **กลาง**		PSU_Core author 2004 CL = 0.055 W-BC = 0.283 W-GCC = 0.608
CL **ต่ำ**	W-BC **ต่ำ**	W-GCC **ต่ำ**		KU_Core author 2003 CL = 0.051 W-BC = 0.114 W-GCC = 0.418

กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมแบบไม่แยกประเภทนักวิจัยของมหาวิทยาลัยต่างๆ



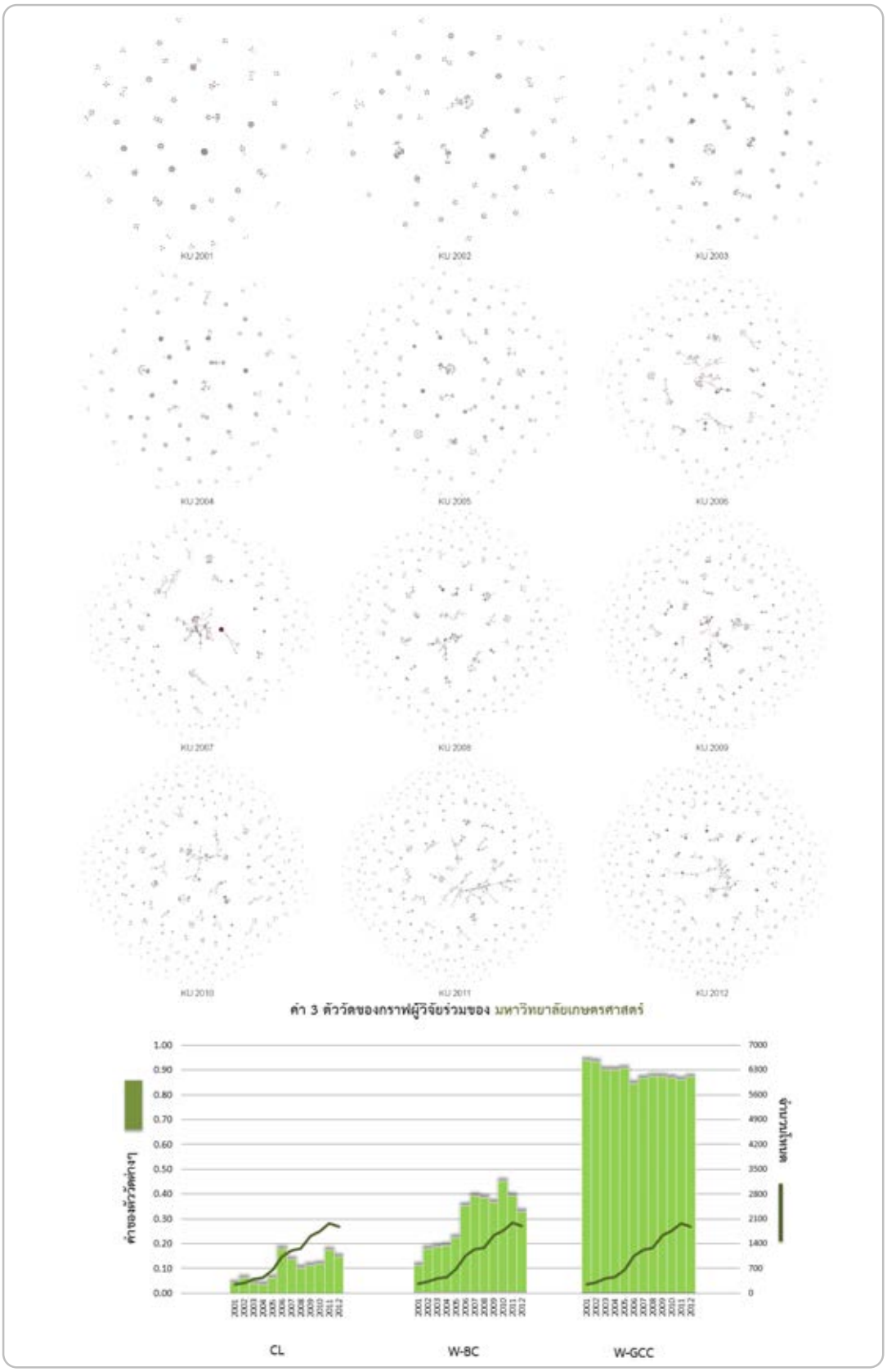
กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยมหิดล



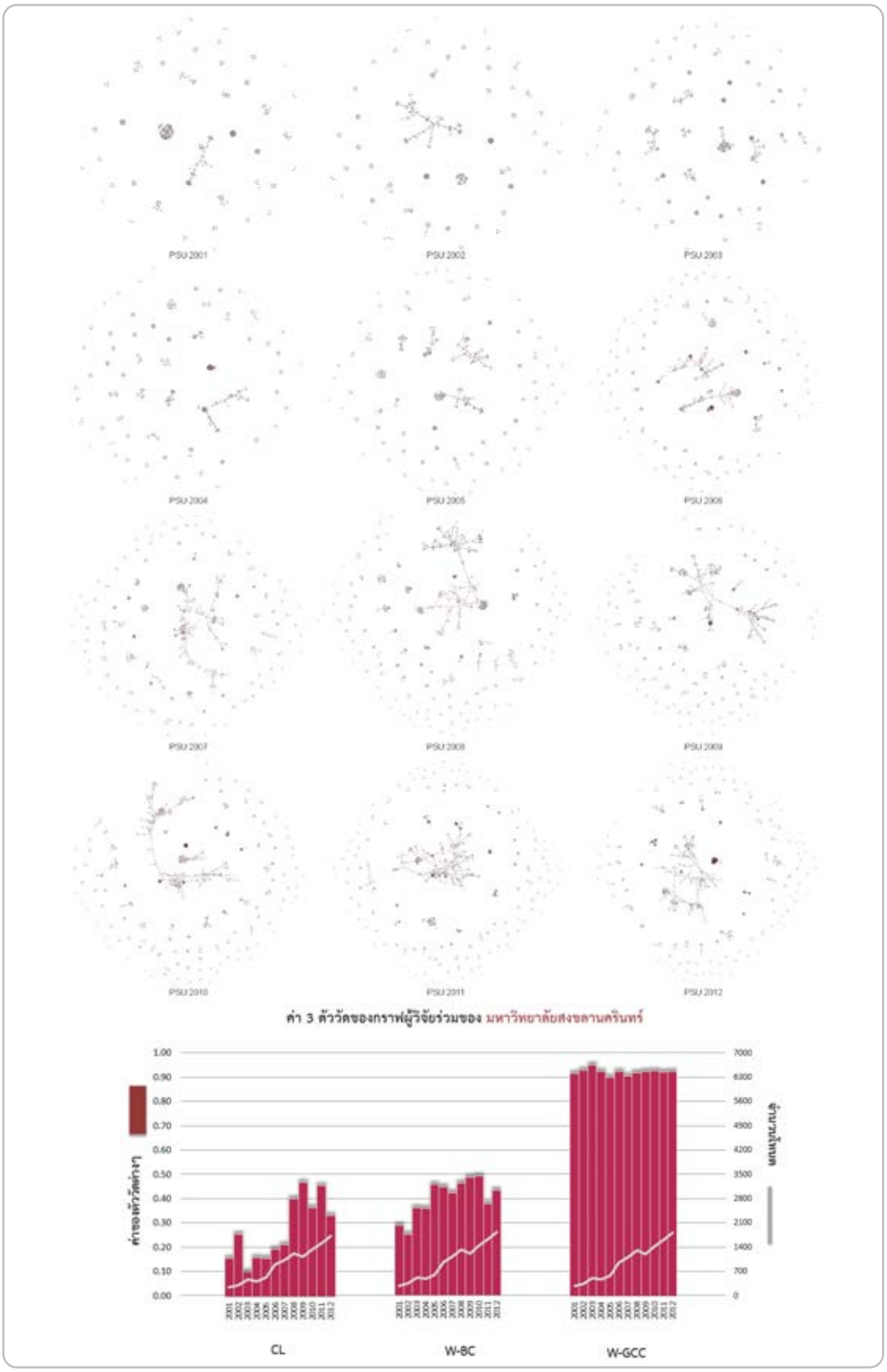
กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

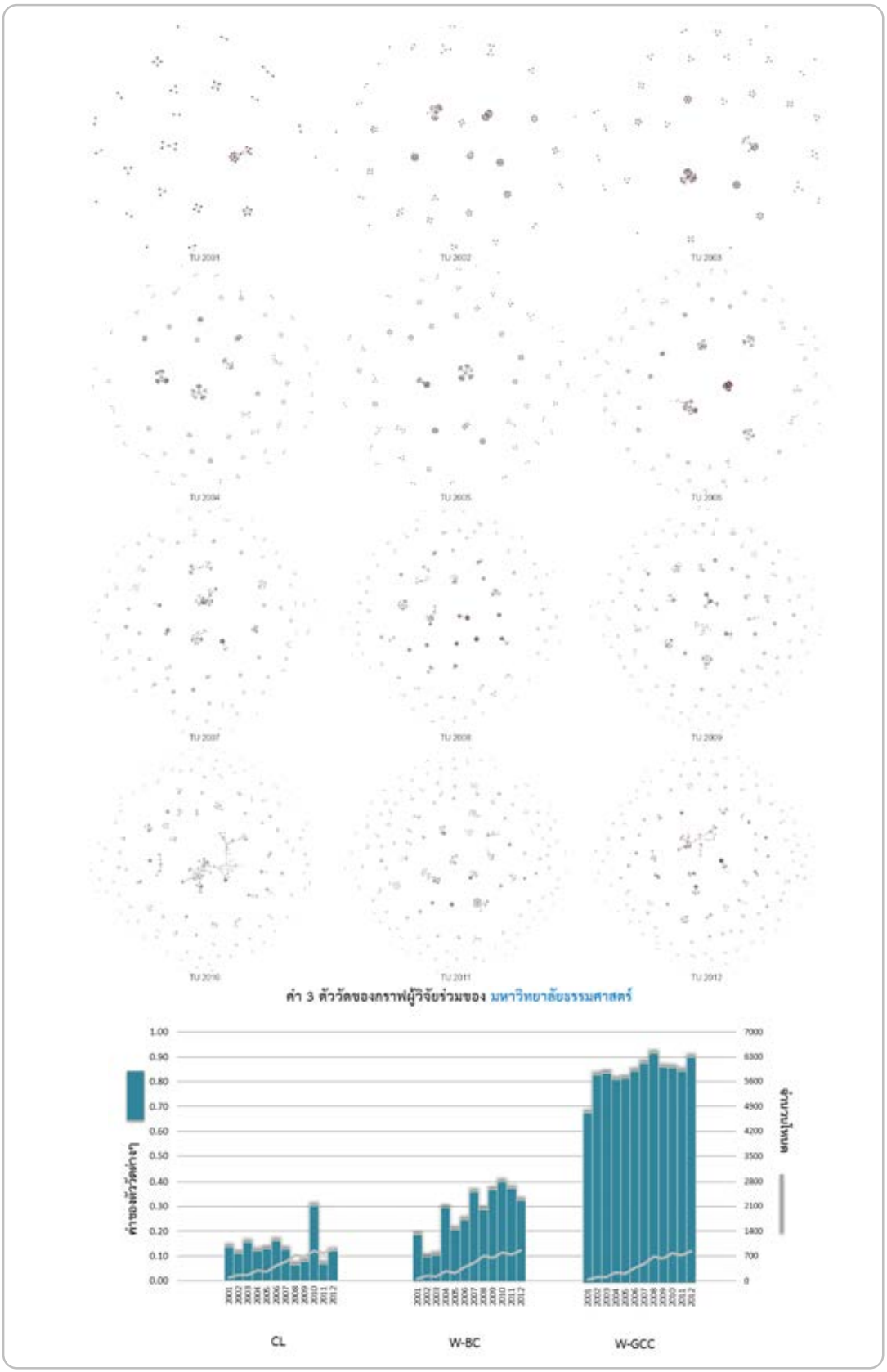
กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น



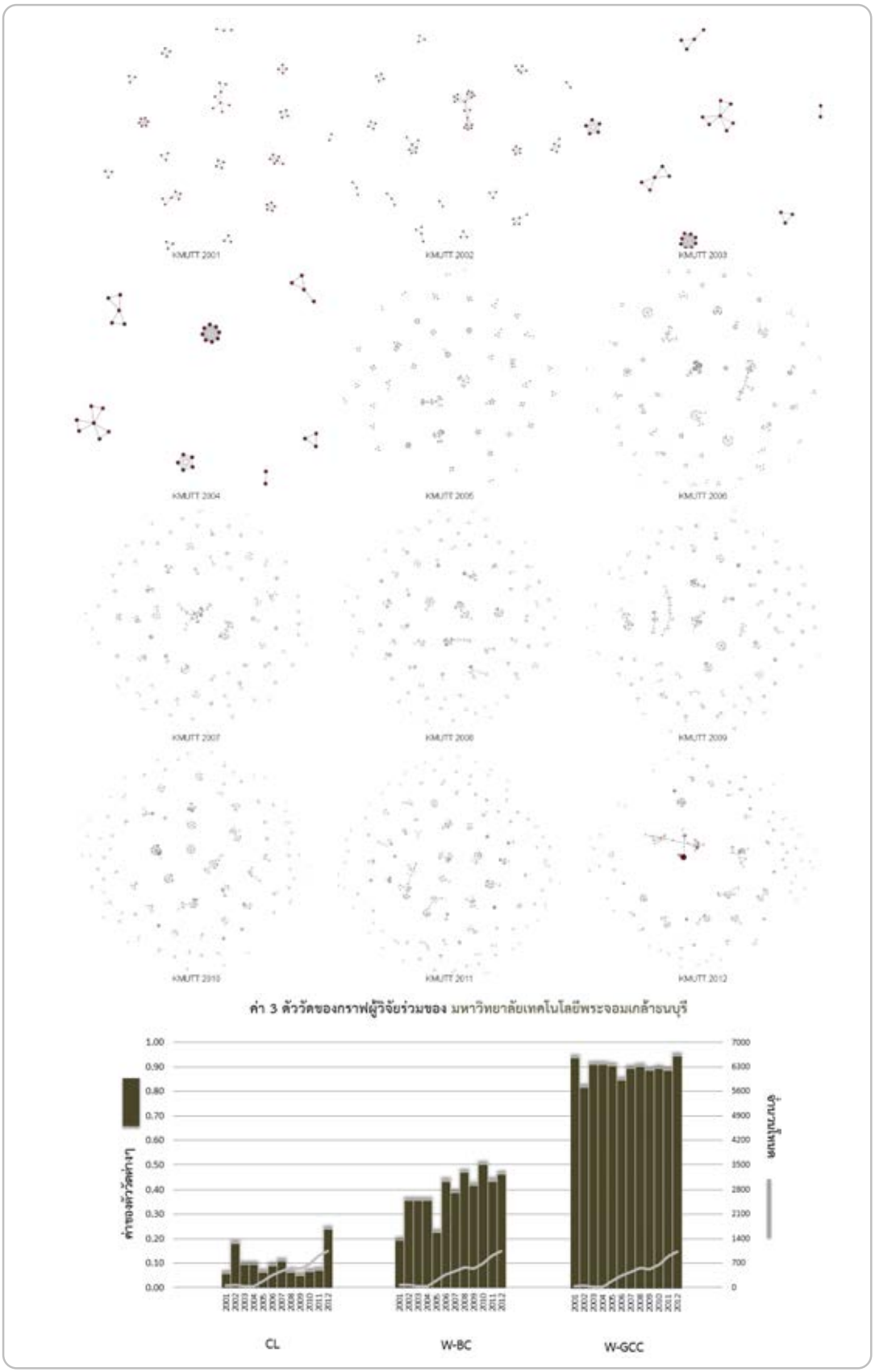
กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



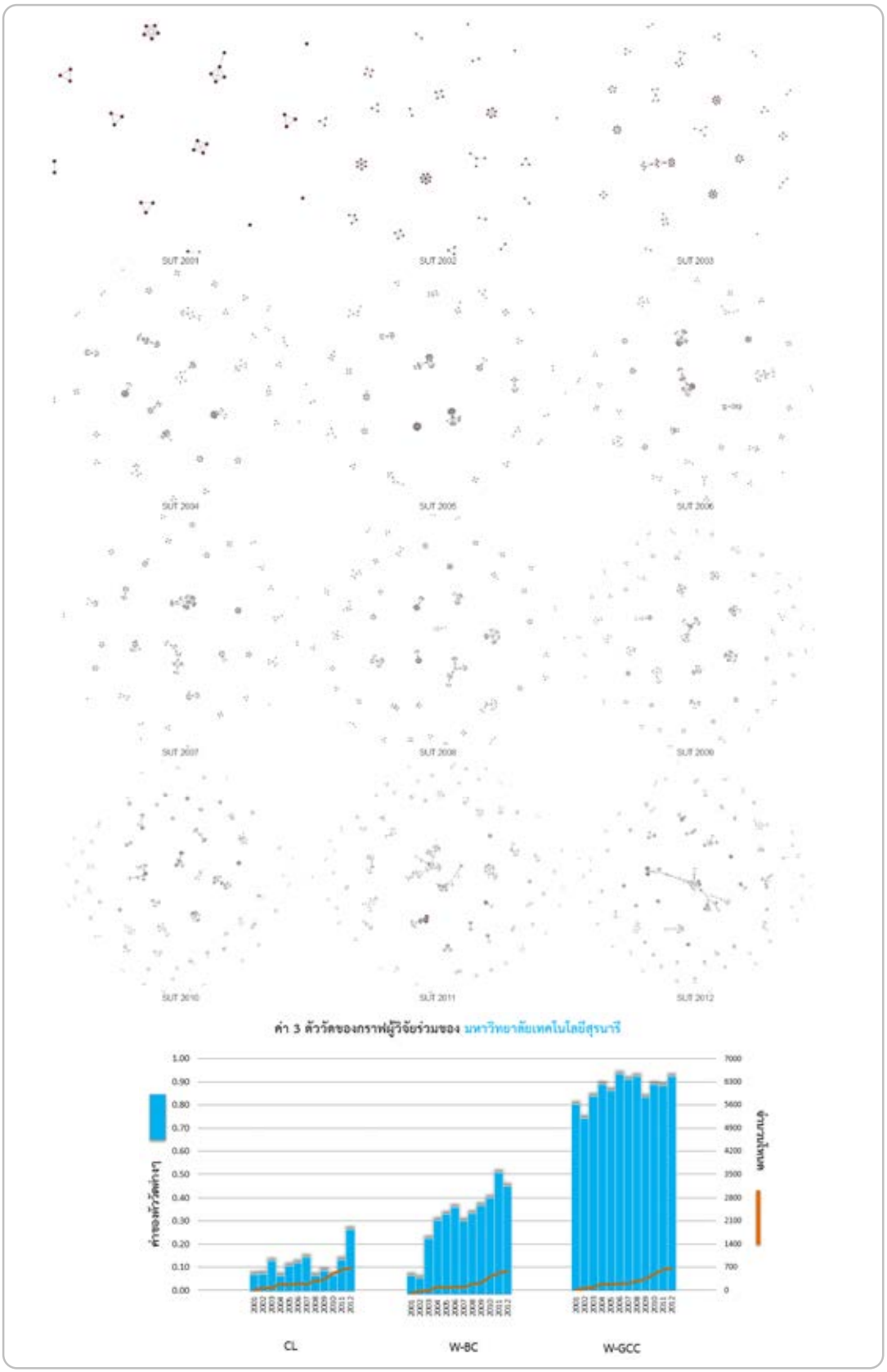
กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมระหว่างปี ค.ศ.2001-2012 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางการสืบค้นข้อมูล(Query) ของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมบทที่ 4 ในฐานข้อมูล SCOPUS

กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม			ปี	การสืบค้นข้อมูล(Query)
4.4 การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม				
4.4.1 แบบที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีลักษณะรูปกราฟเหมือนกัน				
การทดสอบชุดที่ 1	ภาพที่ 31 (ก)	social network	1983	TITLE-ABS-KEY(social network) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR=1983
	ภาพที่ 31 (ข)	social network	1995	TITLE-ABS-KEY(social network) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR=1995
	ภาพที่ 31 (ค)	social network	2001	TITLE-ABS-KEY(social network) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR=2001
การทดสอบชุดที่ 2	ภาพที่ 32 (ก)	Kasetsart university	2001-2012	AFFIL(kasetsart university) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR > 2001 AND PUBYEAR < 2012
	ภาพที่ 32 (ค)	Medicine, Singapore	2009	SUBJAREA(medi) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(singapore) AND PUBYEAR=2009
4.4.2 แบบที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือกับกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมที่มีลักษณะรูปกราฟแตกต่างกัน				
การทดสอบชุดที่ 1	ภาพที่ 33 (ก)	Computer science, Thailand	2008	SUBJAREA(comp) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
	ภาพที่ 33 (ข)	Engineering, Thailand	2008	SUBJAREA(engi) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
	ภาพที่ 33 (ค)	Chemistry, Thailand	2008	SUBJAREA(chem) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
	ภาพที่ 33 (ง)	Biochemistry, Thailand	2008	SUBJAREA(bioc) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
	ภาพที่ 33 (จ)	Medicine, Thailand	2008	SUBJAREA(medi) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
การทดสอบชุดที่ 2	ภาพที่ 34 (ข)	Engineering, Thailand	2008	SUBJAREA(engi) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
	ภาพที่ 34 (จ)	Medicine, Thailand	2008	SUBJAREA(medi) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
การทดสอบชุดที่ 3	ภาพที่ 35 (ก)	Computer science, Thailand	2008	SUBJAREA(comp) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
	ภาพที่ 35 (ก)	Medicine, Thailand	2008	SUBJAREA(medi) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
	ภาพที่ 35 (ข)	Chemistry, Thailand	2008	SUBJAREA(chem) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
การทดสอบชุดที่ 4	ภาพที่ 36 (ก)	Kasetsart university (Core author)	2001-2012	AFFIL(kasetsart university) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR > 2001 AND PUBYEAR < 2012
	ภาพที่ 36 (ข)	Kasetsart university	2001-2012	AFFIL(kasetsart university) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR > 2001 AND PUBYEAR < 2012

ตารางการสืบค้นข้อมูล(Query) ของกราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมบทที่ 4 ในฐานข้อมูล SCOPUS (ต่อ)

กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วม		ปี	การสืบค้นข้อมูล(Query)
4.5 การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์กราฟเครือข่ายผู้วิจัยร่วมโดยใช้ชุดตัวชี้วัด			
4.5.1 แบบที่ 1 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยในสาขาวิชาต่างๆ			
ภาพที่ 37	Computer science, Thailand	2008	SUBJAREA(comp) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
ภาพที่ 37	Engineering, Thailand	2008	SUBJAREA(engi) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
ภาพที่ 37	Chemistry, Thailand	2008	SUBJAREA(chem) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
ภาพที่ 37	Biochemistry, Thailand	2008	SUBJAREA(bioc) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
ภาพที่ 37	Medicine, Thailand	2008	SUBJAREA(medi) AND DOCTYPE(ar) AND AFFILCOUNTRY(Thailand) AND PUBYEAR=2008
4.5.2 แบบที่ 2 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องกับนักวิจัยอื่นๆ			
ภาพที่ 38	Chulalongkorn University	2001-2012	AFFIL(Chulalongkorn University) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี
4.5.3 แบบที่ 3 การศึกษาพฤติกรรมการทำวิจัยของนักวิจัยที่มีผลงานวิจัยต่อเนื่องของ 9 มหาวิทยาลัยไทย			
ภาพที่ 39	Mahidol University	2001-2012	AFFIL(Mahidol University) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี
ภาพที่ 40	Chulalongkorn University	2001-2012	AFFIL(Chulalongkorn university) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี
ภาพที่ 42	Chiang mai University	2001-2012	AFFIL(Chiang mai University) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี
ภาพที่ 43	Khon kaen University	2001-2012	AFFIL(Khon kaen University) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี
ภาพที่ 44	Prince of songkla University	2001-2012	AFFIL(Prince of songkla University) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี
ภาพที่ 45	Kasetsart University	2001-2012	AFFIL(Kasetsart University) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี
ภาพที่ 47	Thammasat University	2001-2012	AFFIL(Thammasat University) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี
ภาพที่ 48	King mongkut's university technology thonburi	2001-2012	AFFIL(King mongkut's university technology thonburi) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี
ภาพที่ 49	suranaree university of technology	2001-2012	AFFIL(Suranaree university of technology) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR =2001 **สืบค้นครั้งละ 1 ปี

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุธีรา ภู่กลาง เกิดเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เมื่อปี พ.ศ. 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2554