



## การวิเคราะห์เครือข่ายการเคลื่อนย้าย โค กระบือ ปี 2012-2014 ของประเทศไทย

ณัฐชัย วรสุทธิ<sup>1\*</sup>, ชัยเทพ พูลเขตต์<sup>1</sup>, ประภาส ภิญโญชีพ<sup>2</sup> และนพวรรณ บัวมีธูป<sup>2</sup>

### Network Analysis of Cattle and Buffalo Movements in Thailand, 2012-2014

Nattachai Warrasuth<sup>1</sup>, Chaithep Poolkhet<sup>1</sup>, Prapas Pinyocheep<sup>2</sup> and Noppawan Buameethup<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุขศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>2</sup> สำนักควบคุม ป้องกันและบำบัดโรคสัตว์ กรมปศุสัตว์ กรุงเทพฯ 10400

<sup>1</sup> Department of Veterinary Public Health, Faculty of Veterinary Medicine, Kasetsart University Kampaengsaen Campus, Nakhonpathom 73140

<sup>2</sup> Bureau of Disease Control and Veterinary Service, Department of livestock development, Bangkok 10400

\* Corresponding author E-mail : nattachai59@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้ใช้ฐานข้อมูลการออกใบอนุญาตเคลื่อนย้ายสัตว์ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (e-Movement) ของกรมปศุสัตว์ระหว่างปี 2012-2014 จำนวน 182,694 ระเบียบ โดยกำหนดให้อำเภอของประเทศไทยเป็นหน่วยย่อยในการศึกษา (Node) และการออกใบอนุญาตการเคลื่อนย้ายสัตว์เป็นเส้นเชื่อมระหว่างหน่วยย่อย (Tie) ผลการศึกษาพบว่าการเคลื่อนย้ายโค กระบือมีลักษณะการเชื่อมโยงเป็นเครือข่าย มีอำเภอที่มีการเคลื่อนย้ายโคกระบือ จำนวน 895 อำเภอ มีเส้นเชื่อมจำนวน 11,737 เส้น และมีค่าพารามิเตอร์ระดับเครือข่ายได้แก่ ค่าความหนาแน่นเครือข่าย, ค่าเฉลี่ย degree, ค่าเฉลี่ย geodesic distance, ค่าดัชนี closeness centralization, ค่าดัชนี betweenness centralization และ ค่า clustering coefficient เท่ากับ 0.01, 26.23, 3.09, 0.32, 0.06 และ 0.12 ตามลำดับ นอกจากนี้องค์ประกอบย่อยของเครือข่ายที่จับกลุ่มแบบแข็งแรงร้อยละ 66.14 และยังพบว่าโครงสร้างของเครือข่ายการเคลื่อนย้าย โค กระบือมีลักษณะใกล้เคียงกับเครือข่ายแบบ scale free ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% :ซึ่งหากมีการติดเชื้อโรคระบาดภายในเครือข่ายที่มีลักษณะโครงสร้างดังกล่าว จะทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการแพร่กระจายโรคในวงกว้างได้ ทั้งนี้มาตรการในการป้องกัน และ ควบคุมโรคระบาด ควรให้ความสำคัญใน node ที่มี degree สูง หรือ ในองค์ประกอบย่อยของเครือข่ายที่จับกลุ่มแบบแข็งแรง จะทำให้การป้องกัน และควบคุมโรคมีประสิทธิภาพสามารถลดขนาดของการระบาดได้

**คำสำคัญ :** การวิเคราะห์เครือข่าย การเคลื่อนย้าย โค กระบือ

#### Abstract

Cattle and buffalo movements in 2012-2014 (182,694 records) were derived from e-Movement system of Department of Livestock Development. Movement network was designed the nodes as district of Thailand. The ties are movement's activities related to the nodes. The result found that this network was presented 895 nodes with 11,737 ties. Observe network parameters such as network density, average degree, average geodesic distance, closeness centralization index, betweenness centralization index and clustering coefficient are 0.01, 26.23, 3.09, 0.32, 0.06 and 0.12 respectively. Moreover, observe network consist of giant strong connected component (66.14%) and network topology was closely to scale-free network with a degree of confidence of 95%. Finally scale free networks are high potentiate in disease spread, if have any effective disease control and measure in nodes with high degree or members in larges strong connected component, it will decrease epidemic size rapidly.

**Keywords:** Network analysis, Cattle movement



## บทนำ

การวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคม (Social Network Analysis หรือ SNA) เป็นการศึกษาสภาวะที่มีอยู่จริงของความสัมพันธ์ทางสังคมทั้งรูปแบบและความเกี่ยวข้องของความสัมพันธ์ (Wasserman, 1994) โดยการศึกษาเครือข่ายทางสังคมมีการศึกษาและประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในสาขาวิชาต่างๆ เช่น สังคมศาสตร์ รัฐศาสตร์ เศรษฐศาสตร์และธุรกิจ สื่อสารมวลชนและด้านสาธารณสุข เป็นต้น (Luke & Harris, 2007) ปัจจุบันด้านสาขาวิชาสัตวแพทยศาสตร์ได้มีการนำการวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคมมาใช้ในการศึกษาความเสี่ยงของการแพร่กระจายโรคจากการสัมผัสระหว่างตัวสัตว์หรือฝูงสัตว์ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะสามารถนำมาใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนควบคุม ป้องกันและกำจัดโรคระบาดสัตว์ (Martínez-López, Perez, & Sánchez-Vizcaíno, 2009) การเคลื่อนย้ายสัตว์เป็นหนึ่งในปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่จะทำให้มีการการแพร่กระจายเชื้อระหว่างฝูงสัตว์ จึงมีการศึกษาและให้ความสำคัญเกี่ยวกับเครือข่ายการเคลื่อนย้ายสัตว์ ซึ่งรูปแบบการวิเคราะห์เครือข่ายการเคลื่อนย้ายสัตว์ จะมีการนำไปใช้งานใน 4 รูปแบบได้แก่ การศึกษาและวิเคราะห์เครือข่ายการเคลื่อนย้ายสัตว์เชิงพรรณนา การศึกษาและวิเคราะห์เครือข่ายการเคลื่อนย้ายสัตว์เมื่อเทียบกับการเกิดโรคระบาดในอดีตที่ผ่านมา การศึกษาโดยใช้แบบจำลองในการทำนายขอบเขตของการระบาดและผลที่ได้รับจากการควบคุมเคลื่อนย้ายสัตว์ การศึกษาและจำแนกโครงสร้างของเครือข่ายที่มีผลกระทบต่อการกระจายของโรค (Dubé, Ribble, Kelton, & McNab, 2009) ตัวอย่างการศึกษาและวิเคราะห์เครือข่ายการเคลื่อนย้ายสัตว์ในทางระบาดวิทยา เช่น ในประเทศอังกฤษได้มีการนำข้อมูลการเคลื่อนย้ายสัตว์ก่อนที่จะมีการระบาดของโรค FMD ในปี 2001 มาวิเคราะห์เครือข่ายการเคลื่อนย้าย พบว่ากลุ่มที่มีความสัมพันธ์และมีแนวโน้มที่จะเป็นตัวแพร่กระจายของโรค FMD ในการระบาดที่ผ่านมา ได้แก่ ฟาร์ม ตลาด และผู้แทนจำหน่าย (Ortiz-Pelaez, Pfeiffer, Soares-Magalhães, & Guitian, 2006) และนอกจากนี้ในประเทศอังกฤษยังได้มีการศึกษาแบบจำลองทำนายการระบาดของโรค FMD ในเครือข่ายการเคลื่อนย้ายสัตว์ พบว่าการเคลื่อนย้ายสัตว์เป็นสาเหตุหลักที่จะทำให้มีการแพร่กระจายของโรค FMD ทั่วทั้งประเทศอังกฤษ โดยเฉพาะกรณีมีการระบาดอย่างรุนแรงในโค และกรณีมีการระบาดของโรคในช่วงปลายของฤดูร้อนถึงต้นฤดูใบไม้ร่วง (Green, Kiss, & Kao, 2006) ในประเทศอิตาลี ได้มีการศึกษารูปแบบการเคลื่อนย้ายสัตว์เชิงพรรณนาจากฐานข้อมูลและนำไปใช้ในแบบจำลองสถานการณ์การระบาดของโรค FMD พบว่าการเลือกพื้นที่ในการควบคุมโรคกรณีเกิดโรคระบาดโดยใช้ค่า degree ในแต่ละ Node ของเครือข่าย จะมีประสิทธิภาพที่สุดในการควบคุมโรค (Natale et al., 2009)

การเคลื่อนย้ายโค กระบือ มีชีวิต เป็นปัจจัยเสี่ยงหนึ่งที่สามารถทำให้เกิดการระบาดของโรคปากและเท้าเปื่อยในประเทศไทย ซึ่งการวางมาตรการควบคุมโรคที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องเข้าใจและทราบถึงรูปแบบการเคลื่อนย้าย ทั้งนี้ค่าคุณลักษณะเครือข่ายที่ได้จากการวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคมจะเป็นข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ประกอบการวางแผนควบคุมโรคและการเฝ้าระวังโรคได้ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงคุณลักษณะของเครือข่ายการเคลื่อนย้ายโค กระบือ และนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการศึกษาทางระบาดวิทยาและนำไปปรับใช้ในการวางมาตรการในการเฝ้าระวังและควบคุมโรค

## วัตถุประสงค์และวิธีการ

### ที่มาของข้อมูลและนิยามที่ใช้ในการศึกษา

เป็นการศึกษาแบบ retrospective โดยใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล e-Movement ของกรมปศุสัตว์ในส่วนของการเคลื่อนย้ายโค กระบือของประเทศไทยในช่วงปี 2012-2014 ซึ่งลักษณะของข้อมูลจะมีรายละเอียดวัตถุประสงค์ในการเคลื่อนย้าย ต้นทางและปลายทางของการเคลื่อนย้ายสัตว์ เช่น ที่อยู่เจ้าของสัตว์ โดยสามารถระบุได้เป็นตำบล อำเภอ และจังหวัด การศึกษาครั้งนี้กำหนดหน่วยของการศึกษา (unit of interest) ให้เป็นพื้นที่ต้นทางและปลายทางในระดับอำเภอ (node) และกำหนดให้การเคลื่อนย้ายโคและ/หรือกระบือที่ออกตามใบอนุญาตผ่านทางระบบ e-Movement เป็นเส้นเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยย่อย (tie)

### การควบคุมคุณภาพของข้อมูล

ข้อมูลจากฐานข้อมูลได้รับการตรวจสอบและแก้ไขเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องจากคามผิดพลาดจากการจัดเก็บ ด้วยซอฟต์แวร์ Excel (Microsoft, 2013) โดยเฉพาะข้อมูลที่สำคัญในการกำหนด node เช่น ชื่ออำเภอ จังหวัด



รวมไปถึงชนิดของสัตว์ ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (data validation) ก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์เครือข่าย การเคลื่อนย้ายโค กระบือ และค่าทางสถิติอื่น ๆ

### การวิเคราะห์ข้อมูล

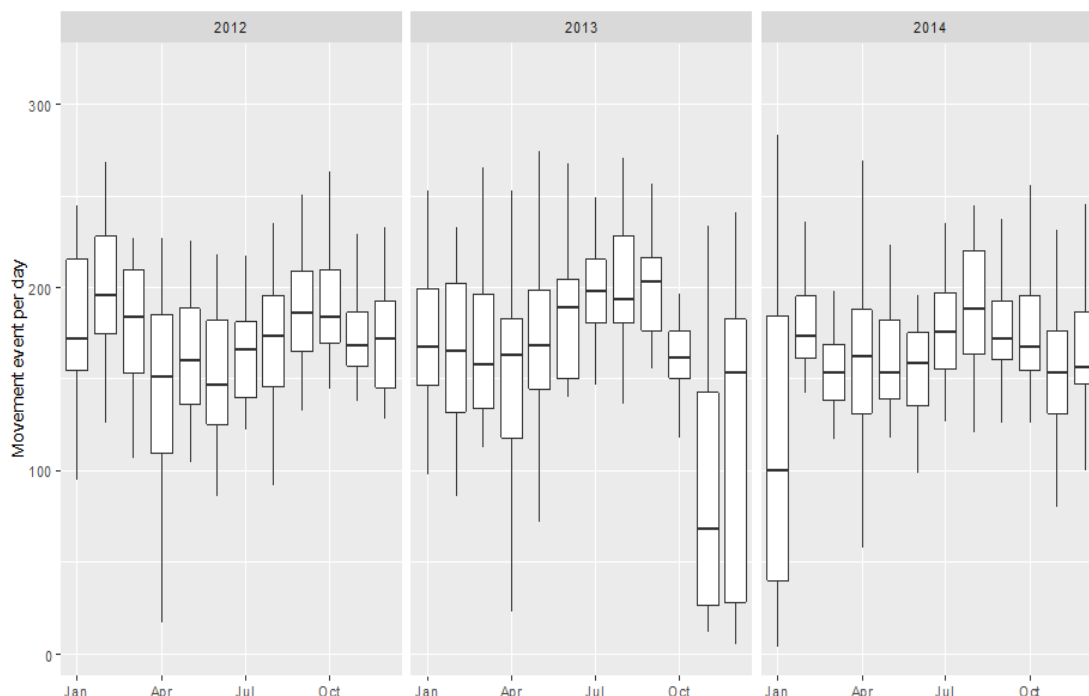
วิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของการเคลื่อนย้าย โค กระบือ ด้วยซอฟต์แวร์ R 3.2.3 (Team, 2015) วิเคราะห์ เครือข่ายแบบ directed , binary valued network โดยใช้คุณลักษณะเครือข่ายตามนิยามใน ตารางที่ 2 ด้วยซอฟต์แวร์ Pajek 4.08 (Batagelj & Mrvar, 1998) ร่วมกับการทดสอบสมมติฐานทางสถิติของคุณลักษณะเครือข่ายเปรียบเทียบราย ปีด้วย randomization t test ด้วยซอฟต์แวร์ NCSS (Hintze, 2007) วิเคราะห์เปรียบเทียบโครงร่างเครือข่ายชนิด undirected network ที่แปลงมาจากเครือข่ายที่ศึกษา กับเครือข่ายจำลอง 3 รูปแบบได้แก่ random , small world และ scale free เครือข่ายจำลองละ 10,000 เครือข่าย (iteration) โดยเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์เครือข่าย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยซอฟต์แวร์ Pajek 4.08 ร่วมกับการทดสอบ power law fit ด้วย igrph package 1.0.1 สำหรับซอฟต์แวร์ R (Csardi & Nepusz, 2006)

### ผลการศึกษา

จากข้อมูลการเคลื่อนย้ายโค กระบือ ระดับอำเภอ ของประเทศไทยระหว่างปี 2012-2014 จำนวน 182,694 ครั้ง พบว่ามีจำนวนโคและ/หรือกระบือที่เคลื่อนย้ายจำนวน 3,432,635 ตัว โดยมีค่าสถิติเชิงพรรณนาตาม ตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าวัตถุประสงค์ส่วนใหญ่ในการออกใบอนุญาตเคลื่อนย้ายเป็นการเคลื่อนย้ายเพื่อจำหน่าย (ร้อยละ 57.208) โดยมี ค่ามัธยฐานจำนวนสัตว์ต่อการเคลื่อนย้ายเท่ากับ 18 ตัว (ต่ำสุด 1 ตัว สูงสุด 43 ตัว) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการกระจาย ตัวของปริมาณการเคลื่อนย้ายต่อวันตามระยะเวลา ดังที่แสดงใน ภาพที่ 1 พบว่าปี 2012 จะมีปริมาณการเคลื่อนย้ายสัตว์ สูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์และเดือนตุลาคม ปี 2013-2014 มีปริมาณการเคลื่อนย้ายสัตว์สูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์และ เดือนสิงหาคม เมื่อนำข้อมูลการเคลื่อนย้าย โค กระบือรวม 3 ปีมาสร้างเป็นเครือข่ายชนิดมีทิศทาง ตามนิยามของ การศึกษาพบว่ามีอำเภอที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายโคและ/หรือกระบือ จำนวน 895 อำเภอ แบ่งเป็นอำเภอที่เป็นต้น ทางอย่างเดียวนับจำนวน 22 อำเภอ อำเภอที่เป็นปลายทางอย่างเดียวจำนวน 254 อำเภอ อำเภอที่เป็นทั้งต้นทางและ ปลายทางจำนวน 619 อำเภอ โดยมีเส้นเชื่อมความสัมพันธ์เท่ากับ 11,737 เส้น

ตารางที่ 1 ค่าสถิติเชิงพรรณนาในการเคลื่อนย้าย โค กระบือ ระหว่างปี 2012-2014

วัตถุประสงค์	จำนวนการเคลื่อนย้าย				จำนวนสัตว์ต่อการเคลื่อนย้าย 1 ครั้ง		
	จำนวนครั้ง	ร้อยละ	ต่ำสุด	สูงสุด	มัธยฐาน	เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จำหน่าย	104,402	57.208	1	43	18	18.135	8.97
เข้าโรงฆ่า	24195	13.257	1	47	17	17.645	9.768
นำไปเลี้ยง	22,673	12.423	1	43	8	11.503	9.811
เลี้ยงขุน	14,127	7.741	1	47	20	20.009	10.091
ส่งออก	4,001	2.192	1	95	40	43.483	19.42
แสดง แข่งขัน	3,274	1.794	1	6	2	2.016	1.294
ทำพันธุ์	2,536	1.389	1	27	3	6.92	7.481
ตลาดนัด	2,295	1.257	1	40	20	17.251	8.578
ใช้แรงงาน	25	0.013	1	20	3	5.84	5.713



ภาพที่ 1 กราฟ Box plot แสดงถึงการกระจายตัวของจำนวนครั้งในการเคลื่อนย้าย โค กระบือต่อเดือน

### การศึกษาคุณลักษณะการเชื่อมต่อของเครือข่าย (Network connecteness)

ผลการศึกษาพบว่าเครือข่าย การเคลื่อนย้าย โค กระบือในปี 2012 – 2014 มีค่า network density, geodesic distance และ clustering coefficient เท่ากับ 0.014 3.036 และ 0.121 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย clustering coefficient ระดับ node ของเครือข่ายในแต่ละปีด้วยวิธี randomization t test พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### การศึกษาค่าความเป็นศูนย์กลางของเครือข่าย (Network centrality)

ผลการศึกษาพบว่าเครือข่ายการเคลื่อนย้าย โค กระบือ ในปี 2012 – 2014 มีค่าดัชนีความเป็นศูนย์กลางเครือข่าย ได้แก่ in degree centralization, out degree centralization, betweenness centralization และ closeness centralization เท่ากับ 0.11, 0.23, 0.32 และ 0.06 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นศูนย์กลางระดับ node ของเครือข่าย ได้แก่ค่า degree centrality, betweenness centrality และ closeness centrality ในแต่ละปี ด้วยวิธี randomization t test พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### การศึกษาองค์ประกอบย่อยเครือข่าย (network subgroup)

เมื่อนำเครือข่ายการเคลื่อนย้าย โค กระบือ (รวม 3 ปี) มาวิเคราะห์องค์ประกอบย่อย แบบ bow-tie partition สามารถจำแนกได้ 3 องค์ประกอบย่อย ได้แก่ in-component, giant strong component และ out-component โดยมีร้อยละของ node ที่เป็นสมาชิก เท่ากับ 2.12, 66.14, และ 31.24 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบย่อยเพิ่มเติม ด้วยค่า k-core พบว่า ในปี 2012 2013 และ 2014 มีองค์ประกอบย่อยที่มีค่า k-core สูงสุดเท่ากับ 23, 22 และ 21 ตามลำดับ โดยมีจำนวน node ที่เป็นสมาชิกขององค์ประกอบย่อยเท่ากับ 38, 50 และ 62 ตามลำดับ ซึ่งมีการกระจายของ node ตามพิกัดทางภูมิศาสตร์ ดังแสดงในภาพที่ 2

### การศึกษาโครงสร้างเครือข่าย (Network topology)

ผลการศึกษาโดยการนำเครือข่ายที่ทำการศึกษา (เครือข่ายรวม 3 ปี) มาแปลงเป็นเครือข่ายชนิดไม่มีทิศทาง (undirected) และคำนวณค่าพารามิเตอร์ระดับ Network จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาใช้ในการสร้างเครือข่ายที่



จำลองแบบสุ่ม จำนวน 10,000 เครือข่าย และนำมาเปรียบเทียบกัน ตามตารางที่ 4 ซึ่ง พบว่าค่า clustering coefficient, betweenness centralization และ network diameter มีความเป็นคุณลักษณะของ scale free ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบ power law fit ด้วยวิธี Kolmogorov–Smirnov (KS) ในซอฟต์แวร์ R พบว่าค่า degree ต่ำสุดเท่ากับ 13 มีค่า KS เท่ากับ 0.06 ( $p\text{-value} > 0.05$ ) แสดงว่าการกระจายตัวของ node ที่มี degree ตั้งแต่ 13 ขึ้นไป มีการกระจายตัวในรูปแบบ power law (เส้นสีแดงในภาพที่ 3 ข) ซึ่งเป็นคุณลักษณะของเครือข่ายชนิด scale free ที่จะมี บางส่วนของกราฟกระจายตัวแบบในรูปแบบ power law ทั้งนี้คุณลักษณะอีกประการหนึ่งของเครือข่ายชนิด scale free ส่วนมากจะพบว่าส่วนหางของกราฟจะมีลักษณะขยายออก (De Nooy, Mrvar, & Batagelj, 2011) ดังแสดงใน ภาพที่ 3 ก

ตารางที่ 2 คำนิยามของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาเครือข่าย

ค่าพารามิเตอร์	นิยาม
Betweenness centralization ( $B_c$ )	ค่าความเป็นศูนย์กลางของ node, วัดจากการใช้เส้นทางผ่าน โดยใช้ค่าสัดส่วน geodesic distance ระหว่างคู่ของ $node_x$ และ $node_y$ ที่มีการผ่าน $node_i$ ต่อ geodesic distance ทั้งหมดของเครือข่าย (Freeman, 1977)
Closeness centralization ( $C_c$ )	ค่าความเป็นศูนย์กลางของ node, วัดจากความใกล้ชิด โดยใช้ค่า normalize ของ geodesic distance ระหว่าง Node <sub>i</sub> กับ Node ใด ๆ ในเครือข่าย (Sabidussi, 1966)
Clustering coefficient	สัดส่วนของการเชื่อมโยงระหว่าง node ข้างเคียงกับ degree ของ node นั้น ๆ (Martínez-López et al., 2009)
Density	สัดส่วนจำนวนเส้นเชื่อมที่เกิดขึ้นจริงเมื่อเทียบกับจำนวนเส้นเชื่อมที่อาจจะเกิดขึ้นได้ทั้งหมด (Wasserman, 1994)
Diameter	Geodesic distance ที่ยาวที่สุดของเครือข่าย (De Nooy et al., 2011)
Geodesic distance	จำนวนลำดับเส้นทาง (step) ที่สั้นที่สุดระหว่าง node ใด ๆ (De Nooy et al., 2011)
Giant strong component (GSC)	องค์ประกอบย่อยที่มีการเชื่อมต่อแบบ Strong component ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเครือข่าย (Dubé et al., 2009)
In degree centralization ( $D_i$ )	ค่าความเป็นศูนย์กลางของ node, วัดจากจำนวนเส้นเชื่อมในทิศทางขาเข้า โดยใช้ค่าสัดส่วนของ เส้นเชื่อมในทิศทางขาเข้าทั้งหมดของ $node_i$ ต่อ จำนวนสูงสุดของเส้นเชื่อมที่ $node_i$ จะมีได้ (จำนวน node ทั้งหมดในเครือข่าย-1) (Martínez-López et al., 2009)
In-component หรือ Source	องค์ประกอบย่อยที่ส่งสัต์ไปยัง GSC โดยที่ไม่มีการรับสัต์จากภายนอกองค์ประกอบ (Dubé et al., 2009)
k-core	องค์ประกอบย่อยของเครือข่ายที่ node ในองค์ประกอบนั้นมีการเชื่อมโยงกับ node อย่างน้อย k node (Mrvar & Batagelj, 2013)
Out degree centralization ( $D_o$ )	ค่าความเป็นศูนย์กลางของ node, วัดจากจำนวนเส้นเชื่อมในทิศทางขาออก โดยใช้ค่าสัดส่วนของ เส้นเชื่อมในทิศทางขาออกทั้งหมดของ $node_i$ ต่อ จำนวนสูงสุดของเส้นเชื่อมที่ $node_i$ จะมีได้ (จำนวน node ทั้งหมดในเครือข่าย-1) (Martínez-López et al., 2009)
Out-component หรือ Sink	องค์ประกอบย่อยที่รับสัต์จาก GSC โดยที่ไม่มีการส่งสัต์ว้ออกนอกองค์ประกอบ (Dubé et al., 2009)
Strong component	องค์ประกอบของเครือข่าย ที่สมาชิกในองค์ประกอบมีการเชื่อมโยงและสามารถเดินทางถึงกัน ระหว่างคู่ใด ๆ ของ node ทั้งหมดตามทิศทางได้ (Martínez-López et al., 2009)
Weak component	องค์ประกอบของเครือข่าย ที่สมาชิกในองค์ประกอบมีการเชื่อมโยง แต่ไม่สามารถเดินทางถึงกัน ระหว่างคู่ใด ๆ ของ node ทั้งหมดทั้งหมดตามทิศทางได้ (De Nooy et al., 2011)



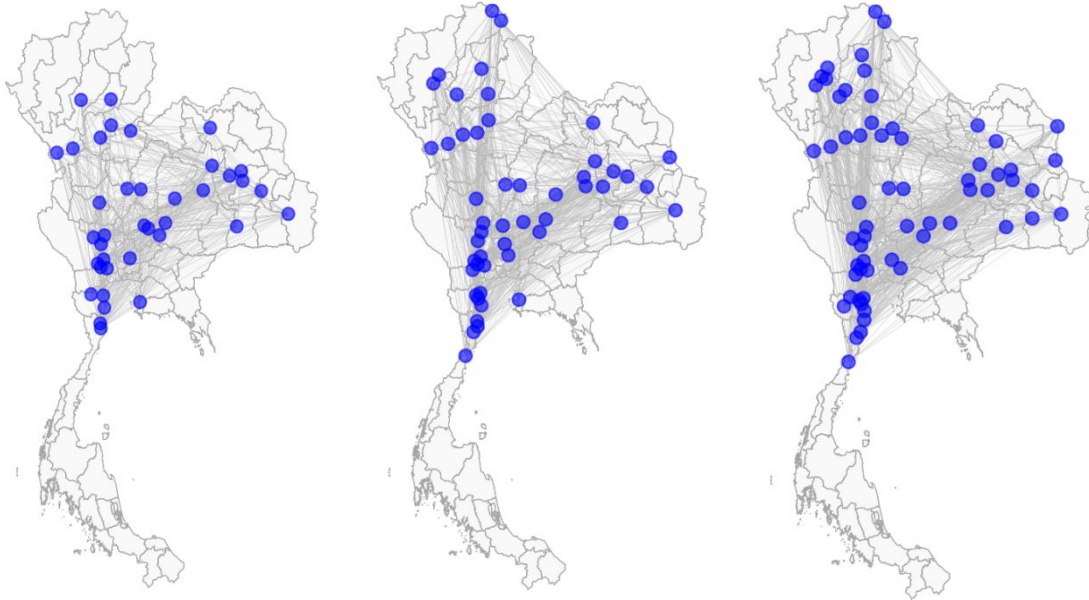
ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของเครือข่ายการเคลื่อนย้าย โค กระบือ ระหว่างปี 2012-2014

ค่าพารามิเตอร์	ปี 2012	ปี 2013	ปี 2014	รวม 3ปี
จำนวน node	822	807	819	895
จำนวนเส้นเชื่อม (ties)	5,654	5,223	5,508	11,737
ความหนาแน่นเครือข่าย (density)	0.008	0.008	0.008	0.014
ค่าเฉลี่ย degree	13.85 (SD 22.60)	12.97 (SD 21.44)	13.45 (SD 22.34)	26.22 (SD 40.19)
ค่าเฉลี่ย geodesic distance	3.59	3.42	3.45	3.03
เส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter)	14	11	10	9
ร้อยละของ node ที่เป็นสมาชิกของ weak component	100	100	100	100
ร้อยละของ node ที่เป็นสมาชิกของ giant strong component	49.87	44.96	47.37	66.14
ร้อยละของ node ที่เป็นสมาชิกของ in-component	6.93	7.31	4.63	2.12
ร้อยละของ node ที่เป็นสมาชิกของ out-component	40.51	44.11	46.76	31.28
ค่าดัชนี in degree centralization index	0.07	0.09	0.07	0.11
ค่าดัชนี out degree centralization index	0.14	0.16	0.17	0.23
ค่าดัชนี closeness centralization index	0.30	0.30	0.31	0.32
ค่าดัชนี betweenness centralization index	0.06	0.06	0.05	0.06
ค่า clustering coefficient	0.09	0.08	0.08	0.12

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์เครือข่าย ระหว่าง เครือข่ายที่ทำการศึกษานิตไม่มีทิศทาง (undirected network) กับ เครือข่ายจำลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าพารามิเตอร์เครือข่าย	เครือข่ายที่ทำการศึกษา	เครือข่ายจำลองชนิด Random		เครือข่ายจำลองชนิด Small world		เครือข่ายจำลองชนิด Scale free	
		Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit	Lower limit	Upper limit
		จำนวน component	1	1	1	1	1
ร้อยละของ component ที่ใหญ่ที่สุด	100	100	100	100	90.50	93.46	
ค่าเฉลี่ย geodesic distance	2.57	2.48	2.50	2.72	2.74	2.64	
เส้นผ่านศูนย์กลาง	6	4	4	4	4	6	
Betweenness centralization	0.05	0.02	0.03	0.003	0.005	0.03	
Closeness centralization	0.32	0.06	0.09	0.04	0.07	na	
Clustering coefficient	0.19	0.02	0.02	0.36	0.37	0.18	



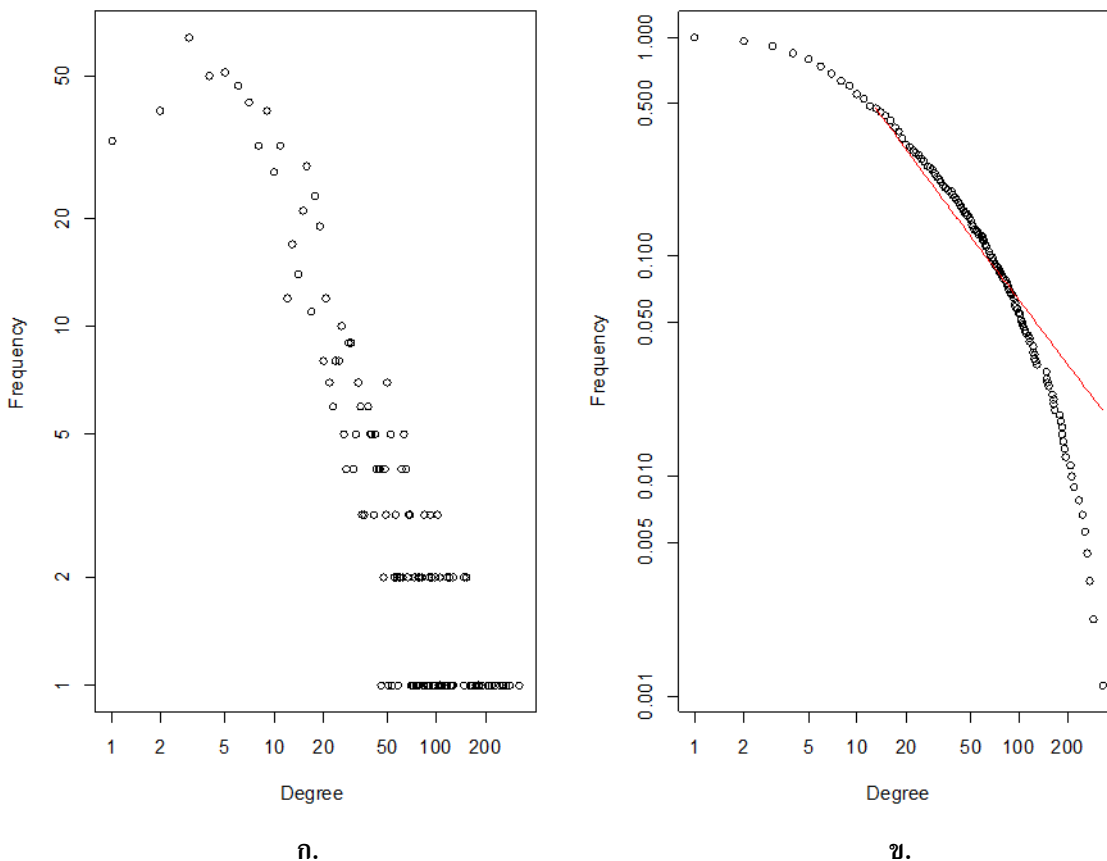


ปี 2012 ( k-core =23, n=38 )      ปี 2013( k-core =22, n=50)      ปี 2014 ( k-core =21, n=62 )

ภาพที่ 2 แสดงถึงพิกัดทางภูมิศาสตร์ของ node ในเครือข่ายย่อย (Sub network) ตามค่า k- core ของการเคลื่อนย้าย โค กระบือ ปี 2012 - 2014

#### อภิปรายผลการศึกษา

จากค่าทางสถิติเชิงพรรณนาของการเคลื่อนย้าย โค กระบือ (ตารางที่ 1) พบว่ากิจกรรมหลักของการเคลื่อนย้าย โค กระบือ คือ การเคลื่อนย้ายเพื่อจำหน่าย (ร้อยละ 57.208) แสดงให้เห็นว่ากลุ่มผู้ประกอบการค้าสัตว์เป็นผู้ที่มีบทบาทหลักในเครือข่ายการเคลื่อนย้าย โค กระบือ เมื่อพิจารณาการเคลื่อนย้ายตามระยะเวลา 3 ปี พบว่าจำนวนครั้งของการเคลื่อนย้ายในแนวโน้มที่จะแปรผันตามฤดูกาล โดยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้แก่ ช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน และ ช่วงเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ และมีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน และช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม ของทุกปีที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานขององค์การโรคระบาดสัตว์ระหว่างประเทศ (OIE) โดยการทำแบบสอบถามในผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับกระบวนการเคลื่อนย้ายสัตว์ ที่ระบุว่า การเคลื่อนย้าย โค กระบือในประเทศไทยจะมีปริมาณการเคลื่อนย้ายสูงในฤดูหนาวไปจนถึงช่วงก่อนเทศกาลตรุษจีน และจะลดลงในช่วงฤดูฝน โดยผู้ประกอบการในการเคลื่อนย้ายสัตว์ส่วนใหญ่จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการส่งออก โค กระบือมีชีวิต (Smith et al., 2016) นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงเดือนตุลาคม ปี 2013 ถึงเดือนมกราคม ปี 2014 มีปริมาณการเคลื่อนย้ายลดลงอย่างเด่นชัด เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีอุบัติการณ์ของโรคปากและเท้าเปื่อยสูง ทำให้กรมปศุสัตว์ได้ระงับการออกใบอนุญาตเคลื่อนย้ายสัตว์ในตลาดนัดค้าสัตว์เพื่อลดอุบัติการณ์ของโรค



ภาพที่ 3 การกระจายตัวของ Degree ในเครือข่ายการเคลื่อนย้าย โค กระบือ (รวม 3 ปี 2012-2014 )  
 ก. ค่าความถี่ของ degree ข. ค่า normalize ความถี่ของ degree เทียบกับ power law distribution (เส้นสีแดง)

จากการศึกษาคุณลักษณะของการเครือข่ายการเคลื่อนย้าย โค กระบือ พบว่าการเชื่อมต่อทั้งหมดในเครือข่ายเป็นการเชื่อมต่อระหว่าง node ในรูปแบบ weak component แต่มีบางส่วนของเครือข่ายเชื่อมต่อแบบ strong component ทั้งนี้สามารถจำแนกองค์ประกอบได้เป็น 3 ส่วน คือ องค์ประกอบที่เป็นแหล่งต้นกำเนิด (sources หรือ in-component) องค์ประกอบชนิด GSC และ องค์ประกอบที่เป็นแหล่งรับ (sink หรือ out-component) โดยเครือข่ายที่ทำการศึกษามีองค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็น GSC (ร้อยละ 66.14) ซึ่งความสำคัญของ GSC คือ กรณีมีการระบาดของโรคเกิดขึ้นใน GSC จะส่งผลกระทบต่อให้มีการระบาดไปทั้งหมดในเครือข่าย โดยเฉพาะส่วนของ sink จะเป็นส่วนที่ได้รับผลกระทบสูงสุด (Dubé et al., 2009) นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาองค์ประกอบย่อยเพิ่มเติมโดยใช้ค่า k-core พบว่าในเครือข่ายการเคลื่อนย้ายโค กระบือ มีองค์ประกอบย่อยที่มีค่า k-core สูงสุด ซึ่งความสำคัญขององค์ประกอบย่อยที่มีค่า k-core สูงสุด คือ องค์ประกอบดังกล่าวมักจะเป็นแกนกลางของเครือข่าย (network core) และมีโอกาสที่จะพบ node ที่มีศักยภาพสูงในการเป็นตัวแพร่กระจาย (spreader) ในองค์ประกอบดังกล่าวได้ (Kitsak et al., 2010) ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าจำนวน node ที่เป็นสมาชิกในองค์ประกอบย่อยที่มีค่า k-core สูงสุด มีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะในพื้นที่ทางภาคเหนือ และภาคกลางตอนล่าง แสดงให้เห็นว่ามีผู้ประกอบการรายใหม่และมีบทบาทสูงเพิ่มขึ้นในเครือข่าย นอกจากนี้ยังพบว่าในภาคใต้ไม่พบ node ที่เป็นสมาชิกขององค์ประกอบย่อยที่มีค่า k-core สูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากมาจาก node ในภาคใต้มีพฤติกรรมเป็นผู้รับ (authorities) จากภาคอื่น และไม่มีการส่ง โค กระบือ กลับไปยังองค์ประกอบย่อยดังกล่าว จากที่ได้กล่าวมาการที่เลือกที่จะดำเนินการหรือมีมาตรการใด ๆ ในองค์ประกอบย่อยที่มีค่า k core สูง ทำให้มีโอกาสที่จะควบคุม node ที่เป็นตัวแพร่กระจายที่สำคัญของ network ได้ ตัวอย่างเช่น การมีมาตรการควบคุมเคลื่อนย้ายอย่างเข้มงวดในพื้นที่แกนกลางเครือข่ายจะลดการแพร่กระจายของโรค หรือในทางกลับกันอาจจะนำไปใช้ในการแพร่กระจายข้อมูลข่าวสารได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาดัชนีความเป็นศูนย์กลางระดับเครือข่าย จะเห็นได้ว่าเครือข่ายที่ทำการศึกษา พบว่าค่า out-





degree centralization index มากกว่า ค่า in-degree centralization index แสดงให้เห็นว่าเครือข่ายที่ทำการศึกษามีแนวโน้มที่จะมีกิจกรรมของ node ภายในเครือข่ายเป็นแบบผู้ส่ง (hub หรือ เส้นเชื่อมของเครือข่ายในทิศทางขาออก) มากกว่าเป็นผู้รับ (authorities หรือ เส้นเชื่อมของเครือข่ายในทิศทางขาเข้า) (Martínez-López et al., 2009) นอกจากนี้ยังพบว่าเครือข่ายที่ทำการศึกษามีค่า betweenness centralization index ที่ต่ำ (0.06) เมื่อเทียบกับ ค่า clustering coefficient index ที่ค่อนข้างสูงกว่า (0.09) แสดงว่าเครือข่ายที่ทำการศึกษามีการเกาะกลุ่มที่หนาแน่น และมีแนวโน้มที่จะหาจุดตัด (cut-point) ได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามการวางแผนควบคุมโรคโดยใช้ค่าความเป็นศูนย์กลางเพื่อลดการแพร่กระจายของโรค กรณีมีโรคระบาดได้ เช่น การลดกิจกรรมการเคลื่อนย้ายใน node ที่มีค่า betweenness centrality สูง จะช่วยลดความชุกของโรคได้ (Gates & Woolhouse, 2015) นอกจากนี้ การเปรียบเทียบค่าความเป็นศูนย์กลาง และค่า clustering coefficient ในแต่ละปีไม่มีความแตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมเคลื่อนย้ายในระดับเครือข่ายมีแนวโน้มที่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา โดยการนำค่าพารามิเตอร์เครือข่ายไปใช้ เช่น ค่า clustering coefficient สามารถนำไปใช้เป็นตัวชี้ในการเฝ้าระวังพฤติกรรมเคลื่อนย้ายสัตว์ได้ หากมีการเปลี่ยนแปลงในทางบวก แสดงว่ามีมีเส้นเชื่อมระหว่าง node ข้างเคียงมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงกิจกรรมการเคลื่อนย้ายที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากมีเหตุการณ์ที่มากระตุ้น เช่น ความต้องการทางตลาดและแรงผลักดันทางเศรษฐกิจ การมีผู้ประกอบการค้าสัตว์รายใหม่เพิ่มขึ้น การปรับเปลี่ยนพื้นที่ทางเกษตรกรรม รวมถึง มาตรการส่งเสริมภาครัฐต่าง ๆ

จากการศึกษาค้นพบว่า การกระจายตัวของค่า degree ในเครือข่าย โค กระบือในประเทศไทย มีบางส่วนของเครือข่ายโดยเฉพาะ node ที่มีค่า degree ตั้งแต่ 13 ขึ้นไป (ภาพที่ 3 ข) เป็นในแบบ power law และมีคุณลักษณะบางประการของเครือข่ายมีความใกล้เคียงกับเครือข่ายชนิด scale free ทำให้สรุปได้ว่าเครือข่ายที่ทำการศึกษามีโครงสร้างเครือข่ายใกล้เคียงกับเครือข่ายชนิด scale free ซึ่งจากรายงานข้อมูลการศึกษาเครือข่ายที่เกี่ยวข้องกับระบาดวิทยาทางสัตวแพทย์ที่ผ่านมาพบว่าเครือข่ายที่มีโครงสร้างแบบ scale free จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของโรค ตัวอย่างเช่น เครือข่ายชนิด scale free จะสามารถแพร่กระจายเชื้อได้เร็วแต่หากมีการควบคุมโรคที่ node ที่มีลักษณะเป็น hub จะมีผลในการควบคุมโรคได้ดี (Dubé et al., 2009) ในประเทศเดนมาร์กพบว่าเครือข่ายการเคลื่อนย้ายสุกรมีโครงสร้างของเครือข่ายเป็นลักษณะแบบ scale free ซึ่งประกอบด้วย component ขนาดใหญ่ออย่างน้อย 1 component และมีลักษณะบางส่วนของเครือข่ายที่ใกล้เคียงกับ small world โดยในเครือข่ายดังกล่าวหากได้รับเชื้อที่มีความสามารถในการแพร่กระจายระดับต่ำ จะทำให้เครือข่ายมีการแพร่กระจายและมีการคงอยู่ของเชื้อโรคอยู่ตลอดเวลา ทำให้การกำจัดโรคเป็นไปได้ยาก (Bigras-Poulin, Barfod, Mortensen, & Greiner, 2007) ในประเทศอิตาลีพบว่าเครือข่ายการเคลื่อนย้ายโคมีโครงสร้างเครือข่ายเป็นลักษณะ scale Free โดยมีลักษณะบางประการเป็นแบบ small world ซึ่งผลจากการศึกษาจากแบบจำลองการติดเชื่อในเครือข่ายพบว่าการระงับการเคลื่อนย้ายออกจาก node ที่มีค่า degree และ eigen vector สูง จะลดขนาดของการระบาดได้ (Natale et al., 2009)

จากข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าเครือข่ายการเคลื่อนย้ายโค กระบือ ในประเทศไทยมีศักยภาพสูงที่จะมีการแพร่กระจายโรคระบาดเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะโรคที่มีการติดต่อจากการสัมผัสโดยตรง เช่น โรคปากและเท้าเปื่อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับคุณลักษณะเครือข่ายระดับ node โดยเฉพาะใน GSC เพื่อประกอบการวางแผนในการควบคุมและป้องกันโรค เช่น การจำแนกอำเภอดังตามคุณลักษณะของความเป็น hub และ authorities การระบุอำเภอกที่เป็นจุดตัดของเครือข่ายเพื่อใช้ในการควบคุมโรคกรณีมีโรคระบาด รวมถึงการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ข้อมูลคุณลักษณะเครือข่ายเพื่อหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนย้ายกับการเกิดโรคที่เกิดขึ้นประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลในการศึกษาค้นครั้งนี้เป็นข้อมูลที่มาจากการเคลื่อนย้ายระหว่างจังหวัดที่ถูกต้องตามระเบียบการเคลื่อนย้ายของกรมปศุสัตว์ที่มีอยู่ในระบบ e-Movement เท่านั้น ซึ่งยังมีข้อมูลการเคลื่อนย้ายที่ไม่มีการบันทึกไว้ เช่น การเคลื่อนย้ายภายในจังหวัดและการลักลอบเคลื่อนย้ายจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังกล่าว นอกจากนี้ควรมีการพัฒนาและปรับปรุงระบบ e-Movement ให้มีการระบุประเภทของต้นทางและปลายทางให้ชัดเจนมากขึ้นเพื่อนำไปประกอบการวางแผนการควบคุมและป้องกันโรคที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น



### สรุปผลการศึกษา

เครือข่ายการเคลื่อนย้ายโค กระบือ ในปี 2012-2014 ของประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะมีกิจกรรมการเคลื่อนย้ายเพิ่มขึ้น และแปรผันตามฤดูกาล โดยลักษณะโครงสร้างเครือข่ายใกล้เคียงกับ เครือข่ายชนิด scale free โดยมี giant strong component เป็นองค์ประกอบหลักของเครือข่าย กิจกรรมหลักของ node ในเครือข่ายมีลักษณะเป็นผู้ส่งมากกว่าเป็นผู้รับ นอกจากนี้ยังพบว่าคุณลักษณะเครือข่าย ได้แก่ ค่าความเป็นศูนย์กลาง ค่า clustering coefficient ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา แต่อย่างไรก็ตาม พบว่ามีผู้มีบทบาทหลักในเครือข่ายเพิ่มขึ้นในแต่ละปี

### เอกสารอ้างอิง

- Batagelj, V., & Mrvar, A. (1998). Pajek-program for large network analysis. *Connections*, (2)21, .57-47
- Bigras-Poulin, M., Barfod, K., Mortensen, S., & Greiner, M. (2007). Relationship of trade patterns of the Danish swine industry animal movements network to potential disease spread. *Preventive Veterinary Medicine*, (3-2)80, .165-143
- Csardi, G., & Nepusz, T. (2006). The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, (5)1695, .9-1
- De Nooy, W., Mrvar, A., & Batagelj, V. (2011). *Exploratory social network analysis with Pajek* Vol : (27). Cambridge University Press.
- Dubé, C., Ribble, C., Kelton, D., & McNab, B. (2009). A Review of Network Analysis Terminology and its Application to Foot-and-Mouth Disease Modelling and Policy Development. *Transboundary and Emerging Diseases*, (3)56, .85-73doi/10.1111;j.1682.2008.01064-1865.x
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, .41-35
- Gates, M. C., & Woolhouse, M. E. J. (2015). Controlling infectious disease through the targeted manipulation of contact network structure. *Epidemics*, 12, .19-11
- Green, D., Kiss, I., & Kao, R. (2006). Modelling the initial spread of foot-and-mouth disease through animal movements. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, (1602)273, .2735-2729
- Hintze, J. (2007). *NCSS .2007 Statistical analysis and graphics, user's guide*.
- Kitsak, M., Gallos, L. K., Havlin, S., Liljeros, F., Muchnik, L., Stanley, H. E., & Makse, H. A. (2010). Identification of influential spreaders in complex networks. *Nature physics*, (11)6, .893-888
- Luke, D. A., & Harris, J. K. (2007). *Network Analysis in Public Health : History, Methods, and Applications*. *Annual Review of Public Health*, (1)28, .93-69  
doi:doi/10.1146:annurev.publhealth28.021406.144132.
- Martínez-López, B., Perez, A. M., & Sánchez-Vizcaíno, J. M. (2009). Social Network Analysis. Review of General Concepts and Use in Preventive Veterinary Medicine. *Transboundary and Emerging Diseases*, (4)56, .120-109doi/10.1111;j.1682.2009.01073-1865.x
- Microsoft. (2013). *Excel ) 2013 Version*. (15.0 Albuquerque, New Mexico, U.S.A.)
- Mrvar, A., & Batagelj, V. (2013). *Pajek and Pajek-XXL. Programs for Analysis and Visualization of Very Large Networks*. Reference Manual : Ljubljana : University of Ljubljana.
- Natale, F., Giovannini, A., Savini, L., Palma, D., Possenti, L., Fiore, G., & Calistri, P. (2009). Network analysis of Italian cattle trade patterns and evaluation of risks for potential disease spread. *Preventive Veterinary Medicine*, (4)92, .350-341



- Ortiz-Pelaez, A., Pfeiffer, D .U., Soares-Magalhães, R .J., & Guitian, F .J .(2006) .Use of social network analysis to characterize the pattern of animal movements in the initial phases of the 2001 foot and mouth disease )FMD (epidemic in the UK .*Preventive Veterinary Medicine*, (2-1)76, .55-40
- Sabidussi, G .(1966) .The centrality index of a graph .*Psychometrika*, (4)31, .603-581
- Smith, P., Nancy , B., Li Hua chun, Kyaw Naing Oo, Phonvisay , A., Premashthira, S., Miller, C .(2016) . Movement pathways and market chains of large ruminants in the Greater Mekong Sub-region .Retrieved from [http://www.r-asia.oie.int/fileadmin/SRR\\_pics/srr\\_activities/pdf/Livestock\\_Movement\\_Pathways\\_and\\_Markets\\_in\\_the\\_GMS\\_final\\_.pdf](http://www.r-asia.oie.int/fileadmin/SRR_pics/srr_activities/pdf/Livestock_Movement_Pathways_and_Markets_in_the_GMS_final_.pdf)
- Team, R .C .(2015) .R :A language and environment for statistical computing ]Internet .[Vienna, Austria :R Foundation for Statistical Computing; .2014
- Wasserman, S .(1994) .*Social network analysis :Methods and applications*) Vol :(8 .Cambridge university press.