

การประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคมของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อ ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2560-2561

ณัฐวิทย์ อิ่มมาก^{1*} ณัฐนิชา ตียะสุขเศรษฐ์¹

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคมของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อเป็นศึกษาแบบตัดขวาง ใช้ฐานข้อมูลการเคลื่อนย้ายสัตว์ภายในราชอาณาจักรข้ามจังหวัด จากระบบการเคลื่อนย้ายสัตว์และซากสัตว์ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (e-Movement) วิเคราะห์เครือข่ายทางสังคม (social network analysis: SNA) ด้วยโปรแกรม Gephi 0.9.2 โดยหน่วยย่อยของการศึกษา (node) คือ อำเภอ และเส้นเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยย่อย (edges) คือ การเคลื่อนย้ายโคเนื้อ พบว่าการเคลื่อนย้ายรวม 35,910 ครั้ง 466,788 ตัว ส่วนใหญ่ มีการเคลื่อนย้ายเพื่อเข้าตลาดนัดค้าสัตว์และจำหน่ายในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนและตอนล่าง เป็นเครือข่ายแบบมีทิศทาง (directed network) โดยมี node 381 อำเภอ และมี edges 2,025 เส้น ผู้ประกอบการค้าโคเนื้อและตลาดนัดค้าโค-กระบือมีบทบาทสำคัญในเครือข่ายทั้งในประเด็นของการควบคุมโรคระบาดและการสื่อสาร เครือข่ายมีลักษณะแบบ scale free ซึ่งมีโอกาสเป็นทั้งแหล่งรับโรคและแพร่กระจายโรคไปยังพื้นที่อื่นๆ ในการควบคุมโรคต้องพิจารณามาตรการในอำเภอที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคที่มีค่า betweenness สูง และเป็น cut point สำหรับการวางระบบเฝ้าระวังโรค พิจารณาจากอำเภอที่เป็นจุดศูนย์กลาง (Hub) ของเครือข่าย ได้แก่ อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ และอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีค่า in-degree out-degree และ betweenness สูง จะมีโอกาสพบโรคสูง เป็นเป้าหมายหลักในการควบคุม ป้องกันโรค และการดำเนินกิจกรรมเฝ้าระวังโรคทั้งเชิงรับและเชิงรุกเพื่อลดโอกาสการแพร่กระจายเชื้อ รวมถึงเป็นจุดในการประชาสัมพันธ์ข้อมูล ซึ่งจะทำให้การสื่อสารสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ทัวถึง และประหยัดงบประมาณ

คำสำคัญ: เครือข่ายทางสังคม การเคลื่อนย้ายโคเนื้อ ภาคเหนือตอนบน

เลขทะเบียนวิชาการ : 63(2)-0116(5)-069

¹สำนักงานปศุสัตว์เขต 5 อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

*ผู้รับผิดชอบบทความ e-mail: nathawit@hotmail.com

An Application of Social Network Analysis to Cattle Movements in the Upper Northern part of Thailand During 2017-2018

Nathawit Immak^{1*} Nutnicha Teeyasuksaet¹

Abstract

This study was a cross-sectional studied of beef cattle movements by using the database from animal movements across provinces in the upper northern part of Thailand via electronic system of DLD (e-Movement). A social network analysis (SNA) was performed by using Gephi 0.9.2. The node of this research was studied at a district level and the connection between each node (edges) which was beef cattle's movements were totally moved 35,910 times by 466,788 beef cattle. The main reason of this movement was to move these beef cattle to the live cattle market and sold them in the northern part of Thailand. This network was the directed network that had 381 nodes and 2,025 edges. The beef cattle traders and the live cattle markets played an important role in the point of disease control and communication. The network was likely to be a scale free network, which had a chance to be either a source of disease or spread the disease to another areas. In the disease control, a district level measure that involved with high betweenness and were cut point must be considered. For the disease surveillance system, Muang Phrae district in Phrae province and San Pa Tong district in Chiangmai province which were a hub of this network would be considered. These two district had a high in-degree, high out-degree and high betweenness, so there had a high chance to find the disease then they could turn out to be the main target in either disease prevention and control or active surveillance and passive surveillance program to decrease a disease spreading including with public communication to make an information spread quickly, thoroughly and on budget.

Keywords: social network analysis, beef cattle movement, the upper northern part of Thailand

Research paper number: 63(2)-0116(5)-069

¹The Fifth Regional Livestock office, Muang Chiang Mai, Chiang Mai province, Thailand

*Corresponding author e-mail: nathawit@hotmail.com

บทนำ

ในปี 2557-2561 ประเทศไทยมีการผลิตโคเนื้อเพิ่มมากขึ้นในอัตราร้อยละ 2.55 ต่อปี เนื่องจากกรมปศุสัตว์มีการส่งเสริมเกษตรกรเลี้ยงโคเนื้อเป็นอาชีพหลักและมีการปรับปรุงพันธุ์โคเนื้อที่ดี ซึ่งปี 2562 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเพียงร้อยละ 1.90 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนพบว่า มีโคเนื้อในพื้นที่ 451,483 ตัว เกษตรกร 48,384 ราย คิดเป็นร้อยละ 9.25 ของประเทศ จังหวัดที่มีการเลี้ยงโคเนื้อสูงที่สุด 3 อันดับแรก คือ เชียงใหม่ ลำปาง และแม่ฮ่องสอน มีจำนวนโคเนื้อ 117,780 115,752 และ 46,111 ตัว ตามลำดับ (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2560) ปัจจุบันการเลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทยยังพบปัญหาโรคระบาดอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรคปากและเท้าเปื่อย ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน จากระบบสารสนเทศเพื่อการเฝ้าระวังโรคระบาดสัตว์ (e-Smart Surveillance) พบว่า ในภาคเหนือตอนบนพบการเกิดโรคปากและเท้าเปื่อยในโคเนื้อมากที่สุด (สำนักควบคุม ป้องกันและบำบัดโรคสัตว์, 2562) การเคลื่อนย้ายโคมีชีวิตเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้โรคแพร่กระจาย (ถนอม และ วีรพงษ์, 2560) โดยโรคนี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพโคและกระทบกับการส่งออกของประเทศ เนื่องจากประเทศที่มีการระบาดของโรคจะไม่สามารถส่งสินค้าจากสัตว์กับคู่ ทั้ง สัตว์มีชีวิต ซากสัตว์ รวมถึงผลิตภัณฑ์ ไปยังประเทศที่ปลอดโรคได้ (World Organisation for Animal Health, 2016) ซึ่งกรมปศุสัตว์มีการควบคุมการเคลื่อนย้ายสัตว์ โดยกรมปศุสัตว์ได้มีการพัฒนาระบบการเคลื่อนย้ายสัตว์และซากสัตว์ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (e-Movement) (กองสารวัตรและกักกัน, 2557) ซึ่งข้อมูลสามารถนำมาวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคมของการเคลื่อนย้ายสัตว์ได้

การวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคม (Social Network Analysis: SNA) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ หรือความเชื่อมโยงต่างๆ ของผู้กระทำ จะมีสถานภาพ บทบาทและสถานการณ์จะเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (dynamic) (Martino and Spoto, 2006) โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีลักษณะเป็นเครือข่ายเชื่อมโยงกัน มีจุดแสดงหน่วยของข้อมูลที่ทำการศึกษา (node) และเส้น (edges) แสดงถึงความสัมพันธ์ของหน่วยข้อมูลนั้นๆ ลักษณะการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถศึกษาได้ในหลายรูปแบบ ทั้งการค้นหาจุดที่เป็นศูนย์กลางเครือข่าย (centrality) และค้นหาจุดที่มีอิทธิพลมากที่สุดใเครือข่ายนั้นๆ (influencer) ความใกล้ชิดกันของเครือข่าย (closeness) เป็นต้น (Durland and Fredericks, 2005) ปัจจุบันการวิเคราะห์เครือข่ายมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายวงการ เช่น สังคมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ระบาดวิทยา การตลาด ฯลฯ (Luke and Harris, 2007) ในงานด้านระบาดวิทยาในสัตว์ได้นำมาประยุกต์เพื่อใช้วิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนย้ายสัตว์ในหลายชนิด เช่น โค กระบือ สุกร (Kinsley et al., 2019)(Salines et al., 2017) ทำให้เกิดความเข้าใจและทำนายการแพร่กระจายของโรคติดต่อต่างๆ ได้ สามารถช่วยประกอบการตัดสินใจวางแผนควบคุม ป้องกันและกำจัดโรคระบาดในสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Stattner and Vidot, 2011)

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะเครือข่ายทางสังคมของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2560-2561 เพื่อวางแผนแนวทางในการเฝ้าระวัง ป้องกันและควบคุมโรคโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

อุปกรณ์และวิธีการ

รูปแบบและขอบเขตการศึกษา

เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (cross sectional study) โดยใช้ข้อมูลการเคลื่อนย้ายสัตว์ภายในราชอาณาจักรระหว่างจังหวัด (แบบ ร.4) ผ่านระบบการเคลื่อนย้ายสัตว์และซากสัตว์ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (e-Movement) ของกองสารวัตรและกักกัน กรมปศุสัตว์ เฉพาะข้อมูลการเคลื่อนย้ายโคเนื้อที่เข้า-ออกในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน 8 จังหวัด (เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน และแม่ฮ่องสอน) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึง 31 ธันวาคม 2561 ข้อมูลที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย ที่อยู่ต้นทาง ที่อยู่ปลายทาง วันที่ขออนุญาตเคลื่อนย้าย และวัตถุประสงค์ในการเคลื่อนย้าย โดยหน่วยย่อยของการศึกษา (node) คือ อำเภอ (พื้นที่ต้นทางและปลายทาง) และเส้นเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยย่อย (edges) คือ การเคลื่อนย้ายโคเนื้อ

วิธีการดำเนินการศึกษา และการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ทบทวนข้อมูลการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนจากระบบฐานข้อมูล (e-Movement) ของกองสารวัตรและกักกัน กรมปศุสัตว์

2. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (data validation)

3. วิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (descriptive study) ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการเคลื่อนย้าย ได้แก่ วัตถุประสงค์ในการเคลื่อนย้าย จำนวนการเคลื่อนย้าย และจำนวนสัตว์ที่เคลื่อนย้าย

3.2 การวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคม (social network analysis: SNA) ได้แก่

3.2.1 การวิเคราะห์ในระดับหน่วยย่อย (analysis of individual node) ศึกษาความเป็นศูนย์กลางของแต่ละอำเภอ (node) โดยโปรแกรม Gephi 0.9.2 (Bastian M. et al., 2009) ได้แก่

3.2.1.1 ค่า degree คือ จำนวนความสัมพันธ์ของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในแต่ละอำเภอ (node) แบ่งเป็น

ค่า in-degree คือ จำนวนอำเภอต้นทางที่เคลื่อนย้ายโคเนื้อเข้าพื้นที่

ค่า out-degree คือ จำนวนอำเภอปลายทางที่เคลื่อนย้ายโคเนื้อออกจากพื้นที่

ค่า weighted in-degree คือ จำนวนครั้งการเคลื่อนย้ายโคเนื้อเข้าพื้นที่

ค่า weighted out-degree คือ จำนวนครั้งการเคลื่อนย้ายโคเนื้อออกจากพื้นที่

3.2.2.2 ค่า betweenness คือ จำนวนการเคลื่อนย้ายโคเนื้อที่ผ่านอำเภอนั้นๆ แสดงถึงอำเภอนั้นเป็นอำเภอทางผ่านเพื่อไปยังอำเภอนั้นๆ หากมีค่า betweenness สูง หมายถึง มีการเคลื่อนย้ายโคเนื้อผ่านอำเภอนั้นๆเพื่อไปอำเภอนั้นๆสูง

3.2.2 การวิเคราะห์ระดับกลุ่มย่อย (analysis of sub-group of a network) โดยหาค่า component โดยโปรแกรม Gephi 0.9.2 และหาค่า cut point รวมทั้งสร้าง sociogram cut point โดยโปรแกรม UCINET 6.671 (Borgatti S.P. et al, 2002)

3.2.3 การวิเคราะห์ระดับเครือข่าย (analysis of a whole network) พิจารณาโครงร่างการเชื่อมต่อเครือข่าย (network topology) แสดงผลของความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟ และสร้าง sociogram เครือข่ายในการเคลื่อนย้ายโคเนื้อโดยโปรแกรม Gephi 0.9.2 (Plugins Geo layout) ร่วมกับการนำเสนอเครือข่ายบนแผนที่ประเทศไทยโดยโปรแกรม QGIS 3.4.3 (QGIS Development Team, 2019)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2560-2561

พบว่า จากข้อมูลการเคลื่อนย้ายสัตว์ภายในราชอาณาจักร (แบบ ร.4) ผ่านระบบการเคลื่อนย้ายสัตว์ซากสัตว์ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (e-Movement) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึง 31 ธันวาคม 2561 มีการเคลื่อนย้ายโคเนื้อเข้า-ออก ระหว่างจังหวัด ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน (ตารางที่1) จำนวน 35,910 ครั้ง รวม 466,788 ตัว โดยมีค่ามัธยฐานจำนวนโคเนื้อที่เคลื่อนย้าย 6 ± 14.16 ตัวต่อครั้ง (ค่าต่ำสุด 1 ตัว และค่าสูงสุด 150 ตัว) วัตถุประสงค์หลักในการเคลื่อนย้าย เพื่อเข้าตลาดนัดค้าสัตว์และจำหน่าย คิดเป็นร้อยละ 83.16 (29,862/35,910) รองลงมาเพื่อนำไปเลี้ยงและทำพันธุ์ ร้อยละ 13.60 (4,885/35,910) และเพื่อนำไปประกวด แข่งขันและแสดง คิดเป็นร้อยละ 1.19 (428/35,910)

ตารางที่ 1 วัตถุประสงค์ของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อ เข้า-ออก ระหว่างจังหวัด ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2560-2561

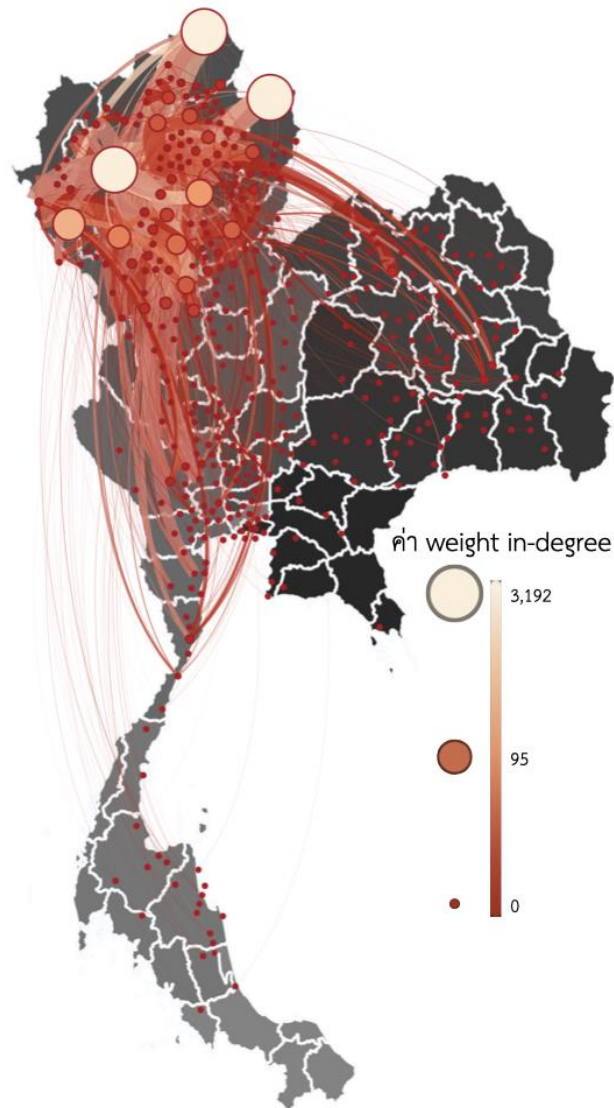
วัตถุประสงค์	จำนวนการเคลื่อนย้าย (ครั้ง)	ร้อยละ	จำนวนสัตว์ (ตัว)	ร้อยละ	จำนวนโคเนื้อที่การเคลื่อนย้าย (ตัว/ครั้ง)				
					ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	น้อยที่สุด	มากที่สุด
จำหน่ายและไปตลาดนัดค้าสัตว์	29,862	83.16	395,239	84.67	13.24	7	13.44	1	150
นำไปเลี้ยงและทำพันธุ์	4,885	13.60	53,713	11.51	10.99	3	17.09	1	95
ประกวด แข่งขันและแสดง	428	1.19	730	0.16	1.71	2	0.97	1	14
ส่งออก	344	0.96	12,870	2.76	37.41	40	9.31	1	62
เข้าโรงฆ่าสัตว์	290	0.81	2,402	0.51	8.28	3	12.2	1	75
อื่นๆ	101	0.28	1,824	0.39	18.16	25	13.25	1	60
รวม	35,910	100	466,778	100	13.00	6	14.16	1	150

ลักษณะเครือข่ายทางสังคมของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่าง 2560-2561

การวิเคราะห์ในระดับหน่วยย่อย (analysis of individual nodes)

จากการวิเคราะห์เครือข่าย พบว่าเป็นระบบเครือข่ายที่มีทิศทาง (directed network) โดยมีจำนวนอำเภอที่เกี่ยวข้องในเครือข่ายทั้งหมด (node) 381 อำเภอ และมีความสัมพันธ์ในการเคลื่อนย้ายโคเนื้อระหว่างอำเภอ (edges) 2,025 เส้น เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลระดับหน่วยย่อยโดยหาค่าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่ายของอำเภอ นั้นๆ วัตถุประสงค์เป็นค่าพารามิเตอร์ของเครือข่าย พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนอำเภอต้นทางที่เคลื่อนย้ายโคเนื้อเข้า (average in-degree) และค่าเฉลี่ยจำนวนอำเภอปลายทางที่เคลื่อนย้ายโคเนื้อออก (average out-degree) มีค่าเท่ากับ 5.31 (ตารางที่ 2) ซึ่งจากข้อมูลพบว่าเครือข่ายนี้ มีลักษณะเป็นทั้งผู้รับและผู้ส่ง โดยผู้ประกอบการค้าโคเนื้อและตลาดนัดค้าโคมีบทบาทสำคัญในเครือข่าย ซึ่งควรมีระบบในการขึ้นทะเบียนผู้ประกอบการค้าโคเนื้อ สำหรับเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเฝ้าระวัง ป้องกันและควบคุมโรค และตลาดนัดค้าโค-กระบือ มีการส่งเสริมปรับระบบความปลอดภัยทางชีวภาพของตลาดนัดค้าโคเนื้อ-กระบือ และมีการกระบวนการรับสัตว์เข้าสู่ตลาดนัดเพื่อจำหน่ายให้ประสิทธิภาพและตรวจสอบได้ ในประเด็นการควบคุมโรคระบาดสัตว์ในพื้นที่ที่ ให้พิจารณามาตรการในการควบคุมการเคลื่อนย้ายสัตว์ของผู้ประกอบการค้าโคเนื้อ หรือการปิดตลาดค้าสัตว์ เพื่อชะลอการเคลื่อนย้ายสัตว์ ลดโอกาสในการแพร่กระจายโรค และในประเด็นการ

สื่อสารและประชาสัมพันธ์ เจ้าหน้าที่ควรส่งข้อมูลข่าวสารให้แก่ผู้ประกอบการค้าโคเนื้อ และตลาดนัดค้าสัตว์ จะเป็นการสื่อสารที่ดี มีประสิทธิภาพ และทั่วถึงมากที่สุด (Poolkhet et al., 2016)



ภาพที่ 1 เครือข่ายการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2560-2561

เมื่อพิจารณาระดับหน่วยย่อยพบว่า อำเภอที่มีค่า in-degree สูง ได้แก่ อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีด่านกักกันสัตว์เชียงรายและมีการส่งออกโคเนื้อไปยังสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เป็นแหล่งรวบรวมโคเนื้อขนาดใหญ่ อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ และอำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีค่า 53, 51 และ 46 ตามลำดับ อำเภอที่มีค่า out-degree สูง ได้แก่ อำเภอเวียงหนองล่อง จังหวัดลำพูน เนื่องจากมีตลาดนัดค้าสัตว์ และมีการจำหน่ายไปในจังหวัดอื่นๆ อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ และอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีค่า 117, 99 และ 78 ตามลำดับ และอำเภอที่มีค่าทั้ง in-degree และ out-degree สูงทั้งสองค่า ได้แก่ อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ เนื่องจากเป็นแหล่งรับซื้อโคเนื้อ และจำหน่ายออกไปยังจังหวัดต่างๆในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ค้าสัตว์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอำเภอที่มีค่า weighted in-degree ซึ่งหากมีค่าสูงแสดงว่า มีความถี่ในการเคลื่อนย้ายเข้า node นั้นสูง (Opsahl et al., 2010) ได้แก่ อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย มีค่า 3,192, 3,182 และ 3,182 ตามลำดับ ซึ่งเป็นอำเภอที่มีโอกาสสูงในการรับโรค และ อำเภอที่มีค่า weighted out-degree สูง ได้แก่ อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีด่านกักกันสัตว์ระหว่างประเทศ จังหวัดแม่ฮ่องสอน นำเข้าโคเนื้อจากสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์และจำหน่ายโคไปยังจังหวัดอื่นต่างๆ และอำเภอเวียงหนองล่อง จังหวัดลำพูน โดยมีค่า มีค่า 6,162, 4,038 และ 2,542 ตามลำดับ ซึ่งในทางระบาดวิทยา หาก node ดังกล่าวเกิดโรค จะมีโอกาสที่จะแพร่เชื้อไปยัง node อื่นๆ ในเครือข่ายได้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีความสำคัญในการเฝ้าระวังและควบคุมโรค (Ortiz-Pelaez et al., 2006)

ค่า betweenness ใช้วัดสัดส่วนผลรวมของจำนวนการเคลื่อนย้ายที่สั้นที่สุดของแต่ละอำเภอในเครือข่าย โดยถ้าอำเภอมีค่านี้สูงแสดงว่า เป็นจุดที่มีการเคลื่อนย้ายมารวมหรือผ่านในอำเภอนั้นสูง (Ortiz-Pelaez et al., 2006) ซึ่งอำเภอที่มีค่าสูงที่สุด ได้แก่ เมืองแพร่ มีค่าเท่ากับ 16,052.75 และจุดศูนย์กลาง (Hub) ของเครือข่าย ซึ่งมีค่า in-degree out-degree และ betweenness สูง ได้แก่ อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ และอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ (ตารางที่ 3) เมื่อวิเคราะห์จากภาพเครือข่ายการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน พบว่า การเคลื่อนย้ายโคเนื้อส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนและตอนล่าง (ภาพที่ 1)

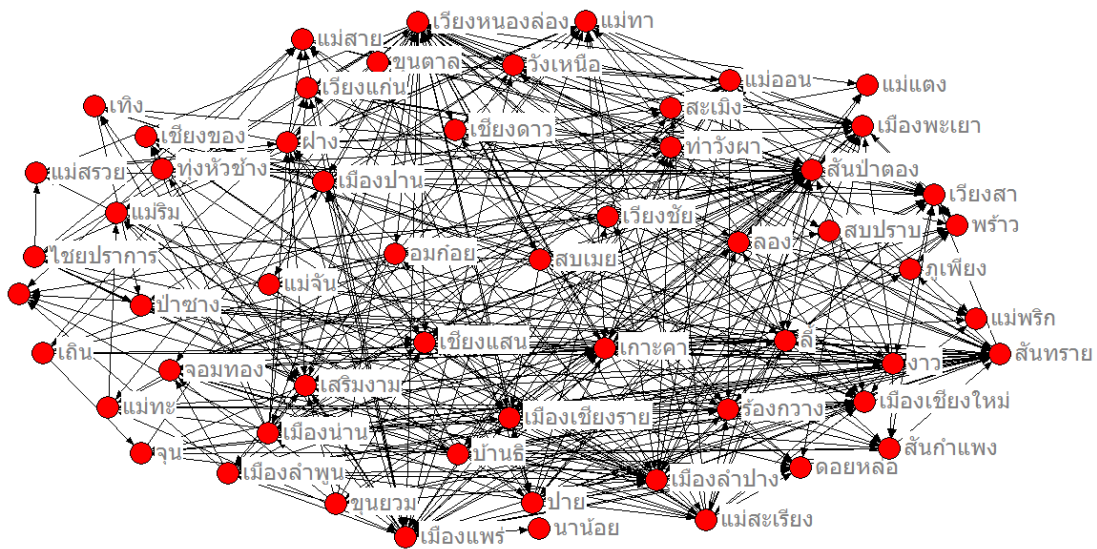
สำหรับการกำหนดมาตรการเฝ้าระวังและป้องกันโรคในพื้นที่ให้ประหยัต์ทรัพยากรและค้ค่า โดยพิจารณา node จากตารางที่ 3 เพื่อกำหนดกิจกรรมเฝ้าระวังโรคทั้งเชิงรับและเชิงรุก (passive และ active surveillance) ควรเลือกกำหนดมาตรการในจุดศูนย์กลาง (Hub) ของเครือข่าย ซึ่งมีค่า in-degree out-degree และ betweenness สูง ได้แก่ อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ และอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ หรือ อำเภอที่มีค่า in-degree และ out-degree สูง เช่น อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ อำเภอสันป่าตอง และอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งหากมีการระบาดของโรค จะป็นอำเภอที่มีลักษณะเป็นแหล่งรับโรคและแพร่กระจายโรคไปยังอำเภออื่นๆ ทำให้มีโอกาสในการพบโรคในพื้นที่ดังกล่าวมากที่สุด ในกำหนดกิจกรรมเฝ้าระวังเฉพาะเชิงรับ (passive surveillance) ควรเลือกอำเภอที่มีค่า in-degree สูง เนื่องจากเป็นจุดที่เป็นแหล่งรับโรคมากที่สุด ทำให้มีโอกาสพบโรคสูงกว่าอำเภออื่นๆ ในเครือข่าย เช่น อำเภอเชียงแสน อำเภอเมืองเชียงราย และอำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย เป็นต้น และควรใช้กิจกรรมเฝ้าระวังโรคเชิงรุก (active surveillance) ในอำเภอที่มีค่า out-degree สูง ซึ่งเป็นอำเภอที่มีโอกาสแพร่กระจายโรคไปยังอำเภออื่นๆ สูง เช่น อำเภอเวียงหนองล่อง จังหวัดลำพูน อำเภองาว จังหวัดลำปาง เป็นต้น

การควบคุมโรคระบาดสัตว์ ควรพิจารณาอำเภอที่มีความเกี่ยวข้องกับการระบาดนั้นๆ ให้ความสำคัญกับอำเภอที่มีค่า in-degree กับค่า out-degree ใกล้เคียงกันโดยเป็นทั้งแหล่งรับโรคและแพร่กระจายโรค ซึ่งมีผู้ประกอบการค้าโคเนื้อในพื้นที่จำนวนมาก มักพบว่ามีค่า betweenness สูง และเป็น cut point ด้วย เช่น อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ อำเภอเวียงหนองล่อง จังหวัดลำพูน อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น ประโยชน์ของการควบคุมโรคนั้น หากตัดความสัมพันธ์ระหว่างอำเภอที่มีความเกี่ยวข้องกับการระบาดของโรคออก และมีการควบคุมการเคลื่อนย้ายอย่างเข้มข้น หรือปิดตลาดนัดหรือจุดรวมโคเนื้อระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้การระบาดนั้นๆ ไม่แพร่กระจายในวงกว้าง ง่ายต่อการควบคุมโรคและใช้ทรัพยากรในการควบคุมโรคอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถลดความชุกของโรคได้ (Wey et al., 2008) (Gates and Woolhouse, 2015) หากโรคระบาดมีลักษณะที่แพร่กระจายอย่างต่อเนื่องเป็นวงกว้าง ให้พิจารณามาตรการในการควบคุมการเคลื่อนย้ายสัตว์ในอำเภอที่เกี่ยวข้องที่มีค่า betweenness สูง ซึ่งมีความสำคัญต่อการแพร่กระจายของเชื้อ

เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับอำเภออื่นๆ สูง ทำให้เพิ่มโอกาสในการติดเชื้อค่อนข้างมาก (Ortiz-Pelaez et al., 2006)

การวิเคราะห์ในระดับกลุ่มย่อย (analysis of subgroup)

เมื่อวิเคราะห์ทีละกลุ่มย่อยของอำเภอในเครือข่ายนี้ พบว่า มี 57 อำเภอ ที่เมื่อนำอำเภอเหล่านี้ออกจากเครือข่ายจะทำให้เครือข่ายแตกเป็นเครือข่ายย่อยๆ (cut point) (ภาพที่ 2) ในประเด็นของการสื่อสารประชาสัมพันธ์ข้อมูลในจุดนี้ จะทำให้การสื่อสารรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และประหยัดเวลา (Hanneman and Riddle, 2005) และมีเครือข่ายย่อยที่เชื่อมต่อกัน (component) 2 แบบ ได้แก่ เครือข่ายย่อยของอำเภอแบบไม่คำนึงถึงทิศทาง (weakly component) 1 เครือข่ายย่อย โดยมีกลุ่มเครือข่ายย่อยขนาดใหญ่แบบไม่มีทิศทางมีลักษณะแบบ giant weak component (GWC) ประกอบด้วย 381 อำเภอ คิดเป็นร้อยละ 100 ของเครือข่าย และมีเครือข่ายย่อยของอำเภอแบบมีทิศทาง (strongly component) ประกอบด้วย 261 เครือข่ายย่อย โดยเครือข่ายย่อยที่ใหญ่ที่สุดแบบมีทิศทางมีลักษณะแบบ giant strong component (GSC) มีจำนวน 166 อำเภอ คิดเป็นร้อยละ 43.57 ของเครือข่าย ซึ่งถ้ามีการระบาดของโรคในอำเภอที่อยู่ในกลุ่มที่มีค่า component สูงๆ จะควบคุมโรคได้ยาก เนื่องจากโรคจะแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว มีโอกาสที่โรคจะสามารถแพร่ในประชากรส่วนใหญ่ได้ และ node ที่อยู่ใน giant component มีการรับเชื่อจะมีเชื่อคงอยู่ในพื้นที่เป็นระยะเวลานาน กำจัดโรคให้หมดจากพื้นที่เป็นไปได้ยาก (Morris and Kretzschmar, 2015)



ภาพที่ 2 อำเภอที่เป็น Cut point ในเครือข่ายของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2560-2561

เมื่อพิจารณาในระดับกลุ่มย่อย ในกำหนดเป้าหมายอำเภอในเครือข่ายเพื่อทำระบบเฝ้าระวังและป้องกันโรค โดยใช้งบประมาณที่มีอย่างจำกัดให้คุ้มค่า ควรเลือกอำเภอที่เป็น cut point ก่อน โดยเครือข่ายนี้มี cut point ทั้งหมด 57 อำเภอ (ภาพที่ 2) และหากเกิดโรคระบาด การพิจารณากำหนดมาตรการควบคุมการเคลื่อนย้ายสัตว์และมาตรการในการป้องกันโรคในอำเภอที่เป็น cut point จะช่วยลดการแพร่กระจายของโรคได้ และกรณีมีข้อมูลข่าวสารหรือข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการเผยแพร่ให้แก่สมาชิก สามารถเผยแพร่โดยอาศัยอำเภอเหล่านี้เพื่อเป็นสื่อในการสื่อสาร ซึ่งทำได้อย่างรวดเร็ว ทัวถึง และประหยัดงบประมาณในการสื่อสาร (Liu et al., 2016)

ตารางที่ 2 ค่าสถิติเชิงพรรณนาของค่าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่ายทางสังคมของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2560-2561

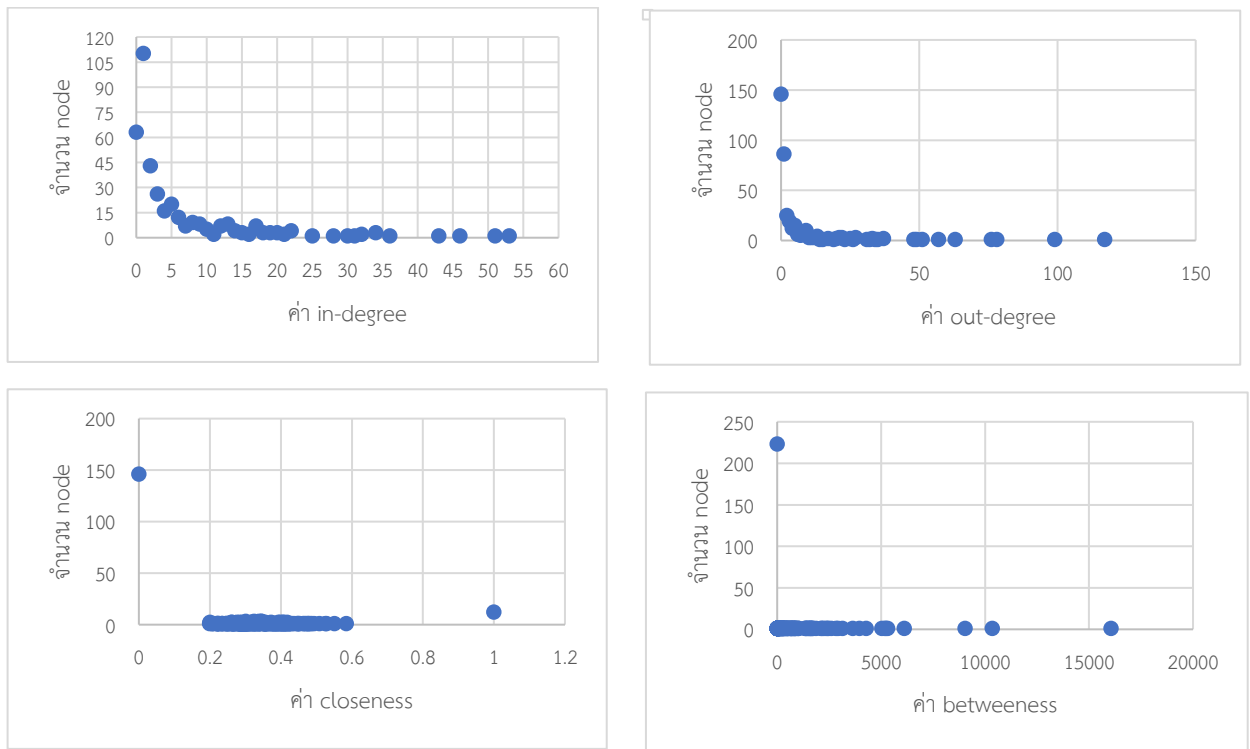
ค่าสถิติเชิงพรรณนา	ค่าศูนย์กลางของเครือข่าย					
	in-degree	out-degree	weighted in-degree	weighted out-degree	closeness	betweenness
ค่าเฉลี่ย	5.31	5.31	94.25	94.25	0.23	389.36
ค่ามัธยฐาน	2	1	5	1	0.28	0
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.13	12.81	349.16	455.75	0.22	1,352.05
ค่าน้อยที่สุด	0	0	0	0	0	0
ค่ามากที่สุด	53	117	3,192	6,162	1	16,052.75

ตารางที่ 3 ค่าศูนย์กลางของ node (centrality) 10 อันดับแรกของเครือข่ายทางสังคมของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2560-2561

ที่	ค่าศูนย์กลางของ node									
	อำเภอ	in-degree	อำเภอ	out-degree	อำเภอ	weighted in-degree	อำเภอ	weighted out-degree	อำเภอ	betweenness
1	เชียงแสน	53	เวียงหนองล่อง	117	เชียงแสน	3,192	สันป่าตอง	6,162	เมืองแพร่	16,052.75
2	เมืองแพร่	51	เมืองแพร่	99	สันป่าตอง	3,182	แม่สะเรียง	4,038	เวียงหนองล่อง	10,339.11
3	เมืองเชียงราย	46	สันป่าตอง	78	เวียงแก่น	3,182	เวียงหนองล่อง	2,542	สันป่าตอง	9,027.36
4	เวียงแก่น	43	งาว	76	จอมทอง	2,117	ศรีสำโรง	2,471	งาว	6,111.94
5	เมืองน่าน	36	ท่ามะกา	63	เมืองลำปาง	1,747	สันทราย	1,632	เมืองน่าน	5,305.24
6	สันป่าตอง	34	เมืองลำปาง	57	เวียงหนองล่อง	1,410	แม่สอด	1,426	เมืองลำปาง	5,226.56
7	เมืองลำปาง	34	สันทราย	51	เกาะคา	1,192	เมืองแพร่	1,158	แม่ทา	5,168.49
8	เวียงสา	34	เกาะคา	49	เมืองแพร่	1,023	เมืองแม่ฮ่องสอน	1,158	สันทราย	5,024.35
9	สันทราย	32	แม่สะเรียง	48	ศรีสำโรง	967	งาว	1,045	เวียงสา	4,279.66
10	พาน	32	แม่ทา	37	สันทราย	918	บ้านด่านลานหอย	980	เมืองพะเยา	3,948.99

การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของเครือข่าย (analysis of network structure)

พบว่า การเคลื่อนย้ายโคเนื้อที่มีความหนาแน่นของเครือข่าย (density) เท่ากับ 0.014 แสดงถึงจำนวนความสัมพันธ์ของการเคลื่อนย้ายที่เกิดขึ้นจริงกับจำนวนความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งค่า density อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 หากค่าใกล้ 1 แสดงว่าเครือข่ายนั้น มีการติดต่อกันในเครือข่ายสูง (Scott, 2000) พบว่า เครือข่ายนี้มีการเชื่อมโยงกันน้อยการกระจายของโรคมะเร็งเกิดขึ้นไม่มากนัก เครือข่ายนี้มีค่าการวัดลักษณะการรวมกลุ่มของ node (clustering coefficient) เท่ากับ 0.154 แสดงว่า node ในเครือข่ายมีการติดต่อโดยตรงระหว่าง node อื่นๆ อยู่ในระดับต่ำ ในส่วนของค่าเฉลี่ยของเส้นทางที่สั้นที่สุดที่เชื่อมต่อระหว่างสองอำเภอที่สนใจในเครือข่าย (average path length) มีค่า 3.096 และพิจารณาการกระจายตัวของค่าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย มีลักษณะเบ้ขวา (right skewed distribution) (ภาพที่3) จากข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าเครือข่ายนี้มีแนวโน้มโครงสร้าง (network topology) เป็นแบบ scale free network โดยพบว่ามีอำเภอส่วนน้อยที่เป็นจุดศูนย์กลางที่มีอิทธิพลในเครือข่าย (Hub) ซึ่งหากเกิดโรคระบาดในเครือข่าย node ที่เป็น hub นั้นจะมีความสำคัญต่อการควบคุมโรค และถ้า hub นั้นเกิดโรคจะทำให้มีการแพร่กระจายโรคได้อย่างรวดเร็ว (Martinez-López et al., 2009) เครือข่ายที่มีลักษณะแบบ scale free จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของโรคได้รวดเร็ว แต่หากมีการควบคุมโรคที่ node ที่เป็น hub จะมีผลทำให้การควบคุมโรคมมีประสิทธิภาพ (Dubé et al., 2008) ในประเทศอิตาลี มีการศึกษาเครือข่ายการเคลื่อนย้ายโค พบว่า มีลักษณะเครือข่ายแบบ scale free เมื่อทำแบบจำลองการติดเชื้อในเครือข่าย โดยระงับการเคลื่อนย้ายออกจาก node ที่เป็น hub หรือ cut point จะทำให้ลดขนาดการระบาดของโรคได้ (Natale et al., 2009)



ภาพที่3 การกระจายตัวของค่าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่ายการเคลื่อนย้ายโคเนื้อในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี 2560-2561

สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคมของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อเป็นศึกษาแบบตัดขวาง วิเคราะห์เครือข่ายทางสังคม (social network analysis: SNA) ด้วยโปรแกรม Gephi 0.9.2 โดยใช้ฐานข้อมูลจากระบบการเคลื่อนย้ายสัตว์ภายในราชอาณาจักรข้ามจังหวัดระบบการเคลื่อนย้ายสัตว์และซากสัตว์ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (e-Movement) โดยหน่วยย่อยของการศึกษา (node) คือ อำเภอ และเส้นเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยย่อย (edges) คือ การเคลื่อนย้ายโคเนื้อ พบว่ามีการเคลื่อนย้ายรวม 35,910 ครั้ง 466,788 ตัว ส่วนใหญ่เคลื่อนย้ายเพื่อเข้าตลาดนัดค้าสัตว์และจำหน่ายในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนและตอนล่าง เป็นเครือข่ายแบบมีทิศทาง (directed network) โดยมีอำเภอในเครือข่ายทั้งหมด 381 อำเภอ (node) และมีเส้นความสัมพันธ์แสดงการเคลื่อนย้ายโคเนื้อระหว่างอำเภอทั้งหมด 2,025 เส้น (edges) ค่าเฉลี่ยจำนวนความสัมพันธ์ของการเคลื่อนย้ายเข้าและออกจากอำเภอ (in-degree และ out-degree) เท่ากับ 5.31 ผู้ประกอบการค้าโคเนื้อและตลาดนัดค้าโค-กระบือมีบทบาทสำคัญในเครือข่าย โดยพบว่าอำเภอเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ มีจำนวนอำเภอต้นทางที่เคลื่อนย้ายโคเนื้อเข้า (in-degree) และ มีจำนวนการเคลื่อนย้ายเข้า (weighted in-degree) สูงสุด อำเภอเวียงหนองล่อง จังหวัดลำพูน มีจำนวนอำเภอปลายทางที่เคลื่อนย้ายโคเนื้อออก (out-degree) สูงสุด อำเภออำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ มีจำนวนการเคลื่อนย้ายออก (weighted out-degree) สูงสุด อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่เป็นจุดศูนย์กลาง (Hub) ของเครือข่าย ซึ่งมีค่า in-degree out-degree และ betweenness สูงสุด การวิเคราะห์เครือข่ายระดับกลุ่มย่อย พบว่าในเครือข่ายมีเครือข่ายย่อยถึง 261 เครือข่าย โดยเครือข่ายย่อยที่ใหญ่ที่สุดมีลักษณะแบบ giant strong component (GSC) ประกอบด้วย 166 อำเภอ (node) คิดเป็นร้อยละ 43.57 ของจำนวนอำเภอทั้งหมด และมีอำเภอที่เป็น cut point 57 อำเภอ เมื่อนำอำเภอเหล่านี้ออกจากเครือข่ายจะทำให้เครือข่ายแตกเป็นเครือข่ายย่อยๆ โครงสร้างของเครือข่ายเป็นแบบ scale free โดยพบว่ามีอำเภอส่วนน้อยที่เป็นจุดศูนย์กลาง (Hub) ของเครือข่าย ซึ่งจะเป็เป้าหมายหลักในการควบคุม ป้องกันโรค และการดำเนินกิจกรรมเฝ้าระวังโรคทั้งเชิงรับและเชิงรุกเพื่อลดโอกาสการแพร่กระจายเชื้อ รวมถึงเป็นจุดในการประชาสัมพันธ์ข้อมูล ซึ่งจะทำให้การสื่อสารสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ทัวถึง และประหยัดงบประมาณ

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาเครือข่ายของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อ ควรนำมาใช้ประกอบการตัดสินใจให้ผู้บริหารวางแผนเฝ้าระวังโรคระบาดในสัตว์ให้มีประสิทธิภาพเท่านั้น นอกจากนี้ศึกษาเครือข่ายการเคลื่อนย้ายสัตว์ชนิดอื่นๆ ให้ครอบคลุมสัตว์ที่เป็นพาหะของโรคนั้นด้วย เช่น โรคปากและเท้าเปื่อย จำเป็นต้องศึกษาในชนิดสัตว์ เช่น กระบือ โคนม แพะ แกะ สุกร หรือสัตว์ปีกอื่นๆ ด้วย
2. การศึกษานี้เป็นการอธิบายภาพรวมรูปแบบเครือข่ายของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อตลอดระยะเวลา 2 ปี ระหว่างปี 2560-2561 ในอนาคตควรมีการศึกษาความเชื่อมโยงของการค้าโคเนื้อในแต่ละพื้นที่ เพื่อทำความเข้าใจรูปแบบของการเคลื่อนย้ายโคเนื้อ และเจ้าหน้าที่สามารถนำข้อมูลที่ได้วางแผนเฝ้าระวังโรคได้สอดคล้องกับสภาพของแต่ละพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายธีระ อนันต์วรปัญญา ปศุสัตว์เขต 5 นายสัตวแพทย์ศราวุธ เขียวศรี ผู้อำนวยการส่วนสุขภาพสัตว์ สำนักงานปศุสัตว์เขต 5 ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คณะกรรมการวิชาการ สำนักงานปศุสัตว์เขต 5 ผศ.น.สพ.ดร.ชัยเทพ พูลเขตต์ หน่วยระบาดวิทยา ภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุขศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สพ.ญ.วิไลภรณ์ วงศ์พุกษาสูง นายสัตวแพทย์ชำนาญการพิเศษ สำนักควบคุม ป้องกันและบำบัดโรคสัตว์ น.สพ.อรุณ ชุมแก้ว หัวหน้ากลุ่มพัฒนาสุขภาพสัตว์ สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดสงขลา ที่ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะที่มีคุณค่าสำหรับการเขียนงานวิจัย ที่ทำให้ผลงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. (2561). วิสัยทัศน์ พันธกิจ ภารกิจ และค่านิยม. แหล่งที่มา : <http://www.dld.go.th/th/index.php/th/about-dld-menu/vision-mission-menu>, 21 กุมภาพันธ์ 2563
- กองสารวัตรและกักกัน, กรมปศุสัตว์ (2557). ขั้นตอนการนำเข้าส่งออก / การเคลื่อนย้ายสัตว์และซากสัตว์. แหล่งที่มา : http://aqi.dld.go.th/th/index.php?option=com_content&view=article&id=201&Itemid=110, 29 พฤศจิกายน 2562
- ถนอม น้อยหอม และ วีรพงษ์ ธนพงศ์ธรรม (2560). การวิเคราะห์ระบาดวิทยาโรคปากและเท้าเปื่อยของประเทศไทย ปี 2557-2559 จากข้อมูลรายงานโรคผ่านระบบสารสนเทศเพื่อการเฝ้าระวังโรคระบาดสัตว์ (e-Smart Surveillance).
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรมปศุสัตว์ (2560). จำนวนเกษตรกรและโคเนื้อ รายจังหวัด ปี 2560. แหล่งที่มา : http://ict.dld.go.th/webnew/images/stories/stat_web/monthly/2560/T2-1.pdf, 29 พฤศจิกายน 2562
- สำนักควบคุม ป้องกันและบำบัดโรคสัตว์, กรมปศุสัตว์. (2562). ระบบสารสนเทศเพื่อการเฝ้าระวังโรคระบาดในสัตว์. แหล่งที่มา : <http://esmartsur.net/>, 29 พฤศจิกายน 2562
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2562. แหล่งที่มา : http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2562/agri_Situation2562.pdf, 29 พฤศจิกายน 2562
- Bastian M., Heymann S. and Jacomy M. (2009). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. International AAAI Conference on Weblogs and Social Media.
- Borgatti, S.P., Everett, M.G. and Freeman, L.C. (2002). Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Dubé, C., Ribble, C., Kelton, D., and McNab, B. (2008). Comparing network analysis measures to determine potential epidemic size of highly contagious exotic diseases in fragmented monthly networks of dairy cattle movements in Ontario, Canada. *Transboundary and Emerging Diseases*, 55(9–10), 382–392. <https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2008.01053.x>
- Durland, M. M., & Fredericks, K. A. (2005). An introduction to social network analysis. *New*

- Directions for Evaluation*, 2005(107), 5–13. <https://doi.org/10.1002/ev.157>
- Hanneman, R. A., & Riddle, M. (2005). Introduction to social network methods. Retrieved from <https://faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/>, 26 February 2020
- Kinsley, A. C., Perez, A. M., Craft, M. E., & Vanderwaal, K. L. (2019). Characterization of swine movements in the United States and implications for disease control. *Preventive Veterinary Medicine*, 164, 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.PREVETMED.2019.01.001>
- Liu, L., Cheung, W. K., Li, X., & Liao, L. (2016). Aligning Users across Social Networks Using Network Embedding, (90604012).
- Luke, D. A., & Harris, J. K. (2007). Network Analysis in Public Health: History, Methods, and Applications. *Annual Review of Public Health*, 28(1), 69–93. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.28.021406.144132>
- 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*, 56(4), 109–120. <https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2009.01073.x>
- Martino, F., & Spoto, A. (2006). Social Network Analysis: A brief theoretical review and further perspectives in the study of Information Technology. *PsychNology Journal*, 4, 53–86. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/220168913_Social_Network_Analysis_A_brief_theoretical_review_and_further_perspectives_in_the_study_of_Information_Technology, 26 February 2020
- Morris, M., & Kretzschmar, M. (2015). Concurrent partnerships and the spread of HIV. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/224752181_Concurrent_partnerships_and_the_spread_of_HIV, 26 February 2020
- 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*, 92(4), 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.08.026>
- Opsahl, T., Agneessens, F., & Skvoretz, J. (2010). Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths. *Social Networks*, 32(3), 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2010.03.006>
- Ortiz-Pelaez, A., Pfeiffer, D. U., Soares-Magalhães, R. J., & Guitian, F. J. (2006a). 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*, 76(1–2), 40–55. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2006.04.007>
- Ortiz-Pelaez, A., Pfeiffer, D. U., Soares-Magalhães, R. J., & Guitian, F. J. (2006b). 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*, 76(1–2), 40–55. <https://doi.org/10.1016/J.PREVETMED.2006.04.007>

- Poolkhet, C., Kasemsuwan, S., Seng, S., Keartha, C., Sokmao, C., Shin, M., ... Hinrichs, J. (2016). Social network analysis of cattle movement in Kampong Cham, Kampong Speu and Takeo, Cambodia. *Acta Tropica*, 159, 44–49.
<https://doi.org/10.1016/J.ACTATROPICA.2016.03.027>
- QGIS Development Team (2019). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>".
- Salines, M., Andraud, M., & Rose, N. (2017). Pig movements in France: Designing network models fitting the transmission route of pathogens. *PLoS ONE*, 12(10).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185858>
- Scott, J. (2000). *Social Network Analysis, A Handbook* (2nd ed.). London: SAGE Publication LTD.
- Stattner, E., & Vidot, N. (2011). Social Network Analysis in Epidemiology : Current Trends and Perspectives, (june 2011). <https://doi.org/10.1109/RCIS.2011.6006866>
- Wey, T., Blumstein, D. T., Shen, W., & Jordán, F. (2008). Social network analysis of animal behaviour: a promising tool for the study of sociality. *Animal Behaviour*, 75(2), 333–344.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.06.020>
- World Organisation for Animal Health. (2016). Foot and Mouth Disease. *General Disease Information Sheets*, 1–6. Retrieved from http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Media_Center/docs/pdf/Disease_cards/FMD-EN.pdf, 26 February 2020