ภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน: การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ทฤษฎีกราฟ

ณิศรา สุทธิสังข์
สุขจิตร ตั้งเจริญ

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Herd Immunity and Vaccination:
A Connection Analysis by Graph Theory

Nisara Suthisung
Sukjit Tangchareon

This Research in Funded by Faculty of Science and Technology
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Year 2022

ชื่อเรื่อง	ภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน: การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ทฤษฎีกราฟ
ผู้วิจัย	นางณิศรา สุทธิสังข์ นางสาวสุขจิตร ตั้งเจริญ
ปีที่ทำวิจัย	พ.ศ. 2565

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน ใช้ต้นแบบการแพร่กระจายของโรคติดต่อกับการฉีดวัคซีนใน 3 รูปแบบ การวิเคราะห์ผลใช้กราฟบริบูรณ์โดยการหาความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนภายใต้สมมุติฐาน 3 รูปแบบของการฉีดวัคซีนกับการแพร่กระจายของโรคติดต่อและอาศัยการวาดกราฟจากโปรแกรม Gephi ผลการวิจัยพบว่า การเกิดภูมิคุ้มกันหมู่เป็นความสัมพันธ์ที่แปรผันตรงกับจำนวนของผู้ฉีดวัคซีน ถ้าจำนวนผู้ฉีดวัคซีนมีมากจะเกิดภูมิคุ้มกันหมู่ แต่ถ้าจำนวนผู้ฉีดวัคซีนน้อยภูมิคุ้มกันหมู่จะเกิดได้ยาก

คำสำคัญ : ทฤษฎีกราฟ/ ภูมิคุ้มกันหมู่/ การฉีดวัคซีน

Title	Herd Immunity and Vaccination: A Connection Analysis by Graph Theory
Researcher	Mrs. Nisara Suthisung, Ms. Sukjit Tangcharoen
Year	2022

Abstract

Analysis of the connection between herd immunity and vaccination uses a model for spreading infectious diseases with injections vaccines in three forms. The results were analyzed using complete graph to determine the relationship of group immunity to vaccination under the three forms hypothesis of vaccinations against the spread of infectious diseases and drawing a graph from Gephi program. The results showed that herd immunity was directly related to the number of people vaccinated. If the number of people vaccinated is high, herd immunity will occur. But if the number of people vaccinated is low, herd immunity will be difficult.

Keywords: Graph Theory/ Herd Immunity/ Vaccination

กิตติกรรมประกาศ

ทีมวิจัยจากงานวิจัย เรื่อง ภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน: การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ทฤษฎีกราฟ ขอขอบพระคุณอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนั้นขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่งานวิจัยและพัฒนา ผู้ประสานงานวิจัย และหัวหน้างานการเงิน ที่ให้คำแนะนำในขั้นตอนการดำเนินการรายงานความก้าวหน้าในการทำวิจัยและการเบิกจ่ายงบประมาณของการทำวิจัย

ท้ายนี้ทีมวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้อง พ้องเพื่อน และครูอาจารย์ ของผู้วิจัยทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ณิศรา สุทธิสังข์
สุขจิตร ตั้งเจริญ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 ความสำคัญและที่มา	**1**
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	1
บทที่ 2 เอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	**2**
2.1 ความสัมพันธ์หมู่ของการเกิดภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน	2
2.2 ทฤษฎีกราฟ	3
2.3 โปรแกรม Gephi	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	**5**
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	5
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	5
3.3 ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน	5
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลและการอภิปรายผล	**8**
4.1 รูปแบบการฉีดวัคซีนทั้ง 3 รูปแบบ	8
4.2 สรุปผลการวิจัย	9
4.3 การอภิปรายผล	10
4.4 ข้อค้นพบการวิจัย	10
4.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	10
บทที่ 5 การสรุปผลการวิจัย	**11**
5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	11
5.2 วิธีดำเนินการวิจัย	11
5.3 ผลการวิจัย	11
5.4 การอภิปรายผลการวิจัย	11
บรรณานุกรม	**12**

บทที่ 1
ความสำคัญและที่มา

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันนี้ วิกฤตการณ์การแพร่กระจายของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือที่เรียกว่า Covid-19 กำลังเป็นปัญหาที่ทุกประเทศกำลังหาทางแก้ไขและป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อไวรัสที่กำลังลุกลามไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งสะท้อนให้เห็นได้จากตัวเลขของผู้ติดเชื้อที่มีจำนวนมากขึ้นจากหลายประเทศ

ถึงแม้ว่าในหลายประเทศได้ใช้มาตรการการเว้นระยะห่างทางกายภาพขนาดใหญ่ (Social Distancing) และการจำกัดการเคลื่อนไหว (Lock Down) ซึ่งสามารถชะลอการแพร่กระจาย COVID-19 ได้ โดยการจำกัดการสัมผัสระหว่างผู้คน แต่จำนวนผู้ติดเชื้อก็มีจำนวนมากขึ้นในแต่ระลอก

แนวทางหนึ่งในการลดการแพร่กระจายของ Covid-19 คือการฉีดวัคซีน (Vaccination) ให้กับประชาชนทั่วโลกเพื่อให้เกิดภูมิคุ้มกันหมู่ (Herd Immunity) โดยเร็ว ซึ่งจะทำให้เกิดการป้องกันการเสียชีวิตของประชาชนและจำกัดการติดเชื้อของไวรัสให้อยู่ในวงแคบ

“ภูมิคุ้มกันหมู่” คือการป้องกันทางอ้อมจากโรคติดเชื้อที่เกิดขึ้นเมื่อประชาชนมีภูมิคุ้มกันหมู่ไม่ว่าจะโดยการฉีดวัคซีนหรือภูมิคุ้มกันที่พัฒนาจากการติดเชื้อครั้งก่อนซึ่งจะทำให้การแพร่กระจายของเชื้อไวรัสลดลง

“การฉีดวัคซีน” คือการฝึกระบบภูมิคุ้มกันของคนให้สร้างโปรตีนที่ต่อสู่กับโรคที่เรียกว่า “แอนติบอดี” ผู้ที่ได้รับวัคซีนจะทำลายห่วงโซ่ของการแพร่เชื้อ และเมื่อประชาชนได้รับวัคซีนในสัดส่วนที่มากพอจะทำให้จำนวนไวรัสโดยรวมที่สามารถแพร่กระจายในประชาชนทั้งหมดลดลง

ภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนจึงมีความสำคัญต่อการควบคุม Covid-19 และมีความสัมพันธ์กันในแง่มุมที่อธิบายได้ในเชิงทฤษฎี งานวิจัยนี้ จึงนำเสนอบทบาทของทฤษฎีกราฟในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน ซึ่งเป็นแง่มุมเชิงทฤษฎีที่ฉายภาพให้เห็นและสร้างความเข้าใจเชิงประจักษ์ที่จะทำให้ประชาชนเข้าใจ ตระหนักและเล็งเห็นถึงความสำคัญของการฉีดวัคซีนเพื่อให้เกิดภูมิคุ้มกันหมู่ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนโดยใช้ทฤษฎีกราฟ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นภายใต้สมมุติฐานว่าแต่ละคนอยู่ภายใต้สังคมเดียวกันและมีปฏิสัมพันธ์กัน

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 ภูมิคุ้มกันหมู่ (Herd Immunity) หมายถึง การตัดตอนการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนไปสู่คน

1.4.2 การฉีดวัคซีน (Vaccination) หมายถึง การทำให้เกิดการตัดตอนการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนไปสู่คน

1.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน หมายถึง การชะลอหรือการลดการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนไปสู่คน โดยการตัดตอนการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของโรคติดต่อ

บทที่ 2
เอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การเกิดภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนเกี่ยวข้องกันอย่างไร มีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยอาศัยการวิเคราะห์ผ่านทฤษฎีกราฟซึ่งเป็นแง่มุมเชิงทฤษฎี ดังนั้น จึงจำเป็นต้องอาศัยเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ก่อนอื่นทีมวิจัยได้ทำการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการเกิดภูมิคุ้มกันหมู่ การฉีดวัคซีน และความสัมพันธ์ของการเกิดภูมิคุ้มกันและการฉีดวัคซีน ต่อจากนั้นทบทวนแนวคิดทฤษฎีกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน ดังนี้

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดภูมิคุ้มกันหมู้กับการฉีดวัคซีน

2.1.1 ภูมิคุ้มกันหมู่ (Herd Immunity)

ภูมิคุ้มกันหมู่เป็นการป้องกันโรคติดเชื้อรูปแบบหนึ่ง ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อสัดส่วนของประชากรที่มีภูมิคุ้มกันต่อโรคติดต่อโรคหนึ่งๆ ไม่ว่าจะเป็นภูมิคุ้มกันที่มาจากการเคยติดโรคหรือจากการได้รับวัคซีนก็ตามเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง เป็นผลให้ประชากรส่วนที่ยังไม่มีภูมิคุ้มกันต่อโรคติดต่อโรคนั้นๆ มีโอกาสต่ำที่จะติดโรคเสมือนว่าได้มีภูมิคุ้มกันไปด้วย เนื่องจากคนที่มีภูมิคุ้มกันนั้นมีโอกาสต่ำที่จะติดโรค และมีโอกาสต่ำที่จะส่งต่อโรคไปยังคนอื่น จึงเป็นการตัดตอนห่วงโซ่ของการติดต่อ ทำให้การแพร่ระบาดของโรคยุติลงหรือช้าลงยิ่งในประชากรมีสัดส่วนของคนที่มีภูมิคุ้มกันมากขึ้นเท่าไร โอกาสที่คนที่ยังไม่มีภูมิคุ้มกันจะได้เจอกับผู้ป่วยก็จะยิ่งน้อยลงเท่านั้นภาวะที่เกิดภูมิคุ้มกันหมู่จึงไม่ได้หมายภาวะที่ประชากรทุกคนมีภูมิคุ้มกันแล้วแต่อย่างใด

การเกิดภูมิคุ้มกันของคนคนหนึ่งอาจเกิดจากการเคยติดโรคมาก่อนแล้วหายจากโรคนั้น หรืออาจเป็นภูมิคุ้มกันที่ได้รับการเสริมขึ้น เช่น จากการรับวัคซีนคนบางคนไม่สามารถจะสร้างภูมิคุ้มกันของตัวเองขึ้นได้จากโรคบางอย่าง เช่น โรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง หรือผู้ป่วยโรคมะเร็ง คนกลุ่มนี้มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องอาศัยผลของภูมิคุ้มกันหมู่ในประชากรที่อาศัย เพื่อลดโอกาสการติดเชื้อโรคเหล่านี้ [1]

2.1.2 การฉีดวัคซีน (Vaccination)

การฉีดวัคซีน คือการทำให้ระบบภูมิคุ้มกันพัฒนาภูมิคุ้มกันจากโรค โดยการให้สารที่เป็นแอนติเจน (วัคซีน) เข้าไปในร่างกาย เพื่อกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายให้สร้างภูมิคุ้มกันชนิดรับมา (adaptive immunity) เป็นแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อเชื้อก่อโรคหนึ่งๆ ซึ่งจะสามารถป้องกันหรือลดความรุนแรงของโรคติดเชื้อได้ เมื่อมีสัดส่วนของประชากรที่ได้รับวัคซีนมากถึงระดับหนึ่งก็จะเกิดภูมิคุ้มกันหมู่ขึ้น ทำให้คนอื่นๆ ที่ไม่ได้รับวัคซีนหรือรับวัคซีนไม่ได้ ได้รับประโยชน์ในการป้องกันโรคจากผู้ที่มีภูมิคุ้มกันเหล่านี้ไปด้วย ประสิทธิผลของการให้วัคซีนนั้นได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางและเป็นที่ยืนยันแล้วพบว่าการให้วัคซีนเป็นวิธีการในการป้องกันโรคติดเชื้อที่ได้ผลดี [2]

2.1.3 การฉีดวัคซีนกับการเกิดภูมิคุ้มกันหมู่

ดังได้กล่าวถึงแล้วว่า ภูมิคุ้มกันหมู่ขึ้นอยู่กับภูมิคุ้มกันจากโรค ภูมิคุ้มกันสามารถทำได้ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งจากสองวิธี: การติดเชื้อก่อนหน้าหรือการฉีดวัคซีน ในหลายกรณี การพึ่งพาการติดเชื้อก่อนหน้านี้เป็นวิธีที่เป็น

อันตรายในการเข้าถึงภูมิคุ้มกันหมู่ นั่นเป็นเหตุผลที่วัคซีนมีความสำคัญในการต่อสู้เพื่อสร้างภูมิคุ้มกันหมู่ การฉีดวัคซีนอย่างแพร่หลายทำให้ประชากรกลุ่มใหญ่มีภูมิต้านทานต่อโรคหนึ่งๆ ช่วยลดโอกาสในการแพร่เชื้อไปยังผู้อื่นได้อย่างมาก และท้ายที่สุดจะป้องกันไม่ให้เกิดการระบาดขึ้น ในกรณีที่ไม่สามารถให้วัคซีนแก่ทุกคนได้ ภูมิคุ้มกันหมู่จะทำให้โรคแพร่กระจายจากคนไปสู่คนได้ยาก ปกป้องผู้ที่ไม่สามารถเข้าถึงการฉีดวัคซีนได้

การมีภูมิคุ้มกันต่อเชื้อก่อโรคเป็นวงกว้างจากการให้วัคซีนนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้มนุษยชาติสามารถกำจัดเชื้อโรคบางอย่างให้หมดไปได้ เช่น ฝีดาษ และอีกหลายเชื้อที่กำลังจะหมดไป เช่น โปลิโอ หัด และบาดทะยัก เป็นต้น [3]

2.2 ทฤษฎีกราฟ

2.2.1 กราฟ (Graph)

กราฟ G ประกอบด้วยเซตจำกัด $V(G)$ ที่ไม่เป็นเซตว่าง และ $E(G)$ อาจเป็นเซตว่างก็ได้ โดยสมาชิกของเซต $V(G)$ เรียกว่า จุด (vertex) และสมาชิกของ $E(G)$ เรียกว่า เส้น (edge)

ถ้า $|V(G)|=n$ แล้ว กราฟ G เป็นกราฟที่มีอันดับ (order) n นั่นคือ กราฟ G มีจุดเป็นจำนวน n จุด

ถ้า $|E(G)|=m$ แล้วกราฟ G เป็นกราฟที่มีขนาด (size) m นั่นคือ กราฟ G มีเส้นเป็นจำนวน m เส้น

กำหนด $e=uv$ เป็นเส้นในกราฟ G จะได้ จุด u ประชิดกับจุด v (adjacent) เส้น e กระทบกับจุด u (incident) เส้น e เชื่อมจุด u และ v

กำหนด e, f เป็นเส้นในกราฟ G โดยที่ $e \neq f$ ถ้า e และ f กระทบกับจุดเดียวกัน จะได้ เส้น e ประชิดกับเส้น f [4]

2.2.2 พารามิเตอร์ (parameter)

ดีกรี (degree) ของจุด v ในกราฟ G คือจำนวนเส้นที่กระทบกับจุด v ในกราฟ G เขียนแทนด้วย $\deg_G v$

ย่านใกล้เคียง (neighborhood) ของจุด v ในกราฟ G คือเซตของจุดทั้งหมดที่ประชิดกับจุด v ในกราฟ G เขียนแทนด้วย $N(v)$ นั่นคือ $N(v)=\{u \in V(G) | uv \in E(G)\}$

ย่านใกล้เคียงปิด (closed neighborhood) ของจุด v ในกราฟ G เขียนแทนด้วย $N[v]$ นั่นคือ $N[v]=\{v\} \cup N(v)$

ดีกรีต่ำสุด (minimum degree) เขียนแทนด้วย $\delta(G)$ นั่นคือ $\delta(G)=\min\left\{\deg_G v | v \in V(G)\right\}$

ดีกรีสูงสุด (maximum degree) เขียนแทนด้วย $\Delta(G)$ นั่นคือ $\Delta(G)=\max\left\{\deg_G v | v \in V(G)\right\}$ [5]

2.2.3 กราฟเฉพาะ

กราฟ G เรียกว่า กราฟปกติ ถ้ากราฟ G มีดีกรีสูงสุดเท่ากับดีกรีต่ำสุด $\delta(G)=\Delta(G)$

ถ้ากราฟปกติ G มี $\delta(G)=\Delta(G)=r$ แล้วกราฟปกติ G เรียกอีกแบบว่า กราฟปกติ r (r-regular graph)

กราฟบริบูรณ์ (complete graph) ซึ่งเขียนแทนด้วย K_n คือกราฟที่มีอันดับ n โดยที่ทุกๆ สองจุดที่แตกต่างกันจะประชิดกัน

กราฟที่มีอันดับ n และขนาด 0 เรียกว่า กราฟว่าง (empty graph) [6]

2.3 โปรแกรม Gephi

2.3.1 ขั้นตอนวิธีของโปรแกรม Gephi

1. Community detection เป็นการ isolate ข้อมูลออกมาเป็นกลุ่มที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน ด้วยวิธี Modularity

2. Centrality เป็นการหาความเป็นจุดศูนย์กลางมากที่สุดในเครือข่ายทางสังคม ด้วยวิธี Degree Centrality, Betweeness Centrality และ Closeness Centrality

3. Shortest Path เป็นการหาวิถีสั้นที่สุดระหว่างจุด (nodes) 2 จุด ภายใต้กราฟ ซึ่งก็คือในวิถีที่สั้นที่สุดผลรวมของน้ำหนักในเส้นเชื่อม (edges) แต่ละเส้นรวมกันแล้วสั้นที่สุดในบรรดาวิถีทั้งหมด [7]

2.3.2 ลักษณะของโปรแกรม Gephi

โหมดที่ 1 Overview เป็นโหมดของการแสดงกราฟตามข้อมูลที่ป้อนค่าเข้าไปในโหมดที่ 2 และเลือกการดำเนินการหาระยะทางที่สั้นที่สุดจากจุด 2 จุด (nodes) และการดำเนินการในรูปแบบอื่นๆ โดยใช้ mouse คลิกตามคำสั่ง

โหมดที่ 2 Data Laboratory เป็นโหมดของการป้อนข้อมูลคล้ายรูปแบบของ Excel โดยป้อนค่า จุด (node) และ เส้น (edge) โหมดนี้สามารถประมวลผลข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการหา Degree Centrality, Betweeness Centrality และ Closeness Centrality

โหมดที่ 3 เป็นโหมดที่แสดงลักษณะทางกายภาพของข้อมูล เช่น ขนาด สี ของจุดและ ขนาด สี น้ำหนักของเส้น เป็นต้น [8]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์หมู่กับการฉีดวัคซีน ใช้วิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยแนวคิดของทฤษฎีกราฟร่วมกับการใช้โปรแกรม Gephi ในการวาดกราฟ

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 กราฟบริบูรณ์

3.1.2 โปรแกรม Gephi

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ระยะ คือ

3.2.1 ศึกษาเอกสารค้นคว้าความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

3.2.2 เก็บข้อมูลเชิงตัวเลขของความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

3.2.3 ศึกษาแนวคิดของทฤษฎีกราฟที่เหมาะสมสำหรับเป็นรูปแบบในการนำเสนอความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

3.2.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนโดยอาศัยแนวคิดของกราฟบริบูรณ์

3.2.5 สรุปผลความสัมพันธ์ของของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

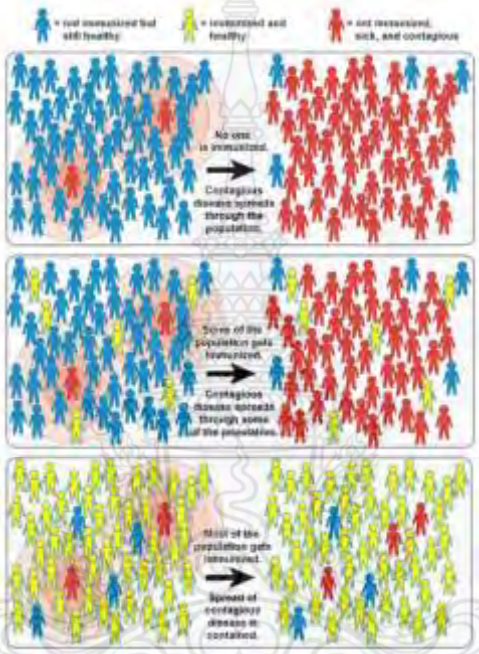
3.3 ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

3.3.1 ข้อมูลการฉีดวัคซีนกับการแพร่กระจายการติดเชื้อโควิด

รูปที่ 1 การฉีดวัคซีน (ซ้าย) การติดเชื้อโควิด (ขวา) (ที่มาข้อมูล: รางาน COVID-19 ประจำวัน ข้อมูลประจำประเทศไทย จากกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, สถิติประชากรศาสตร์ สำนักงานสถิติแห่งชาติ 1 พฤษภาคม 2022)[9]

จากรูปที่ 1 (ซ้าย) สีเขียวจะเข้มขึ้น เมื่อการได้รับการฉีดวัคซีนครอบคลุมทั้งจังหวัด และรูปที่ 1 (ขวา) สีเข้มขึ้นเมื่อการระบาดของเชื้อโรคครอบคลุมทั้งจังหวัด จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าเกือบทุกจังหวัดในประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อโควิดเป็นจำนวนมาก และในทำนองเดียวกันได้รับการฉีดวัคซีนก็ครอบคลุมประชากรในทุกจังหวัดเป็นส่วนใหญ่ การลดการแพร่กระจายและการเสียชีวิตเป็นผลมาจากการได้รับการฉีดวัคซีน

3.3.2 แนวคิดความความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนจาก Hassan Vally. What is herd immunity and how many people need to be vaccinated to protect a community? Published: August 1, 2019 5.11am BST [10]

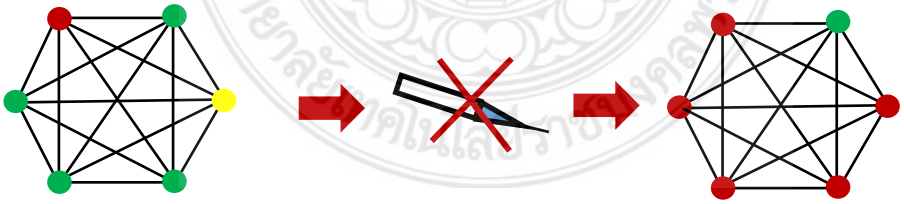


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์หมู่กับการฉีดวัคซีน (Hassan Vally, 2019)

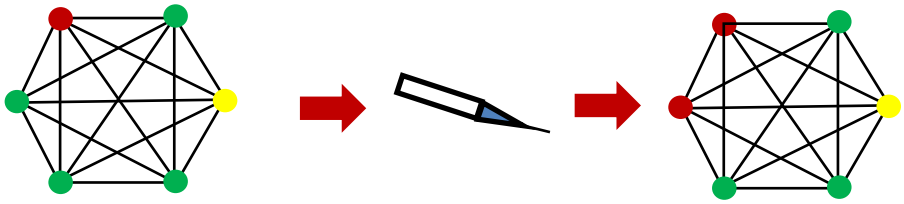
3.3.3 กราฟที่เป็นตัวแบบในการฉีดวัคซีน แบ่งการวิเคราะห์ภายใต้สมมุติฐานออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

● แทน มีเชื้อโควิด ● แทน กลุ่มเสี่ยง ● แทน ไม่มีเชื้อโควิด

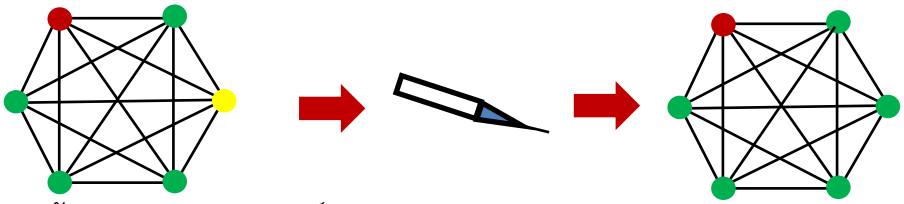
1. *ไม่ฉีดวัคซีนเลย*



2. *ฉีดวัคซีนบางส่วน*

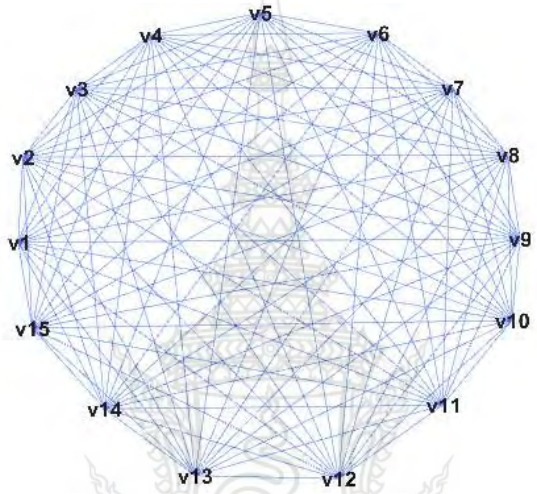


3. *ฉีดวัคซีนทั้งหมด*



3.3.4 สร้างรูปแบบกราฟบริบูรณ์ K_{15}

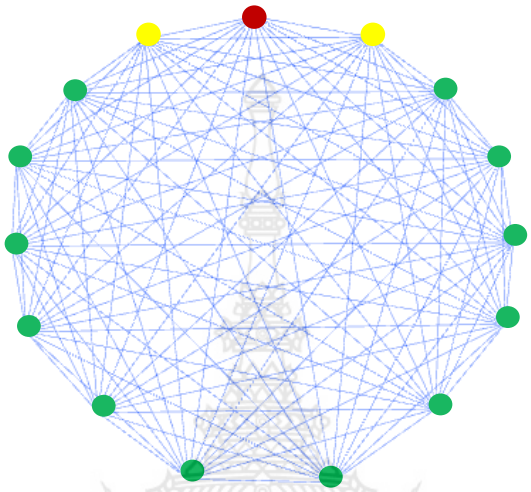
เนื่องด้วยการปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคลมีโอกาสที่แต่ละคนติดต่อกัน ดังนั้นตัวแบบเชิงกราฟที่ครอบคลุมที่สุดในการวิเคราะห์จำเป็นต้องอาศัยกราฟบริบูรณ์ ซึ่งเขียนแทนด้วย K_n กราฟบริบูรณ์เป็นกราฟที่มีอันดับ n โดยที่ทุกๆ สองจุดที่แตกต่างกันจะประชิดกัน



รูปที่ 3 กราฟบริบูรณ์ K_{15}

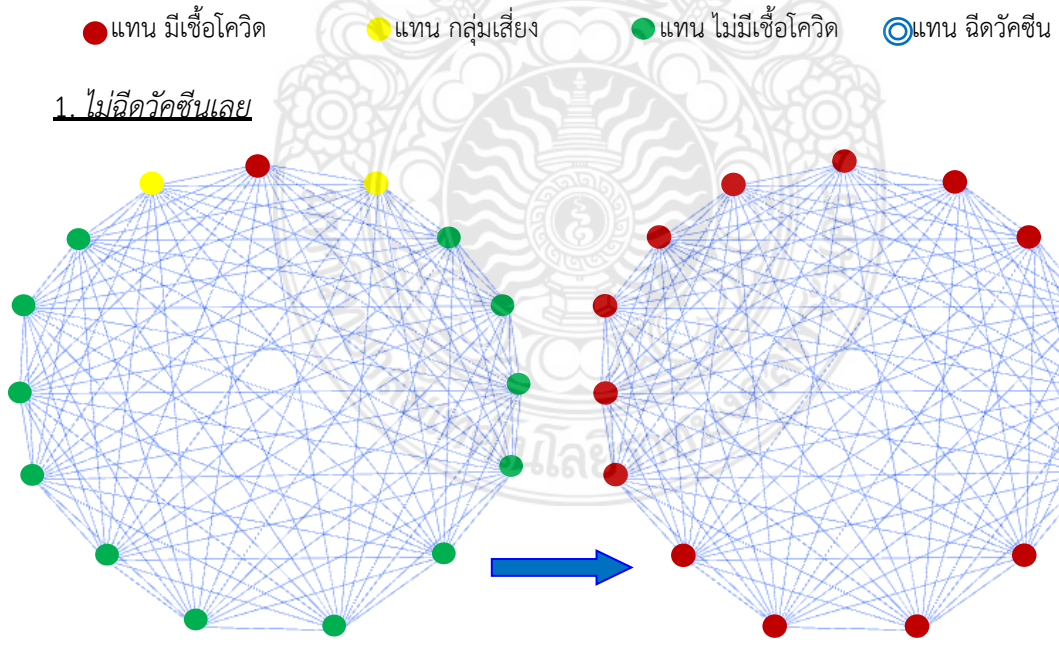
บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลและการอภิปรายผล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน ได้ผลดังต่อไปนี้
ทีมวิจัยสร้างกราฟต้นแบบของการเริ่มต้นของแต่ละคนซึ่งยังไม่เกี่ยวข้องกับการฉีดวัคซีน ดังนี้



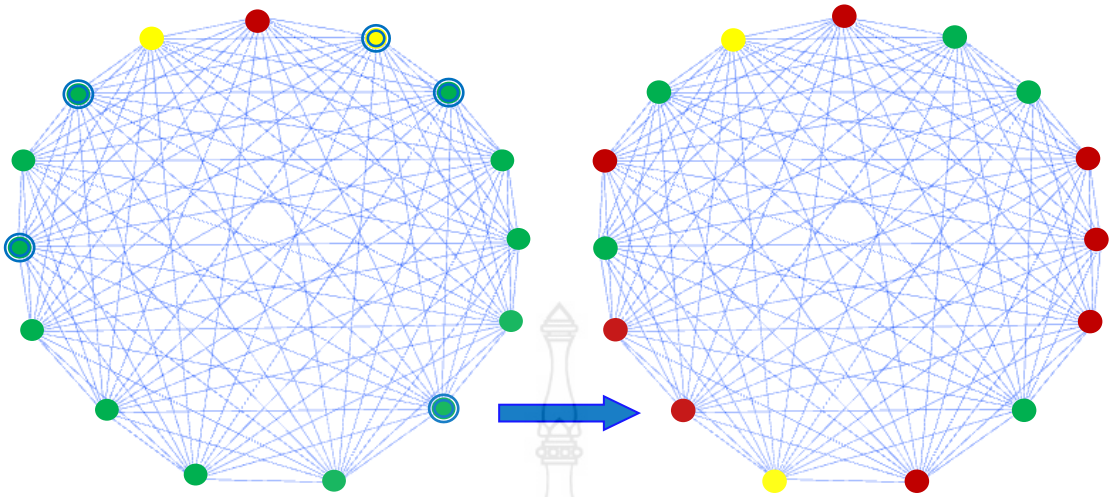
รูปที่ 4 กราฟเริ่มต้นของคนแต่ละคนจากกราฟ K_{15}

4.1 รูปแบบการฉีดวัคซีนทั้ง 3 รูปแบบ



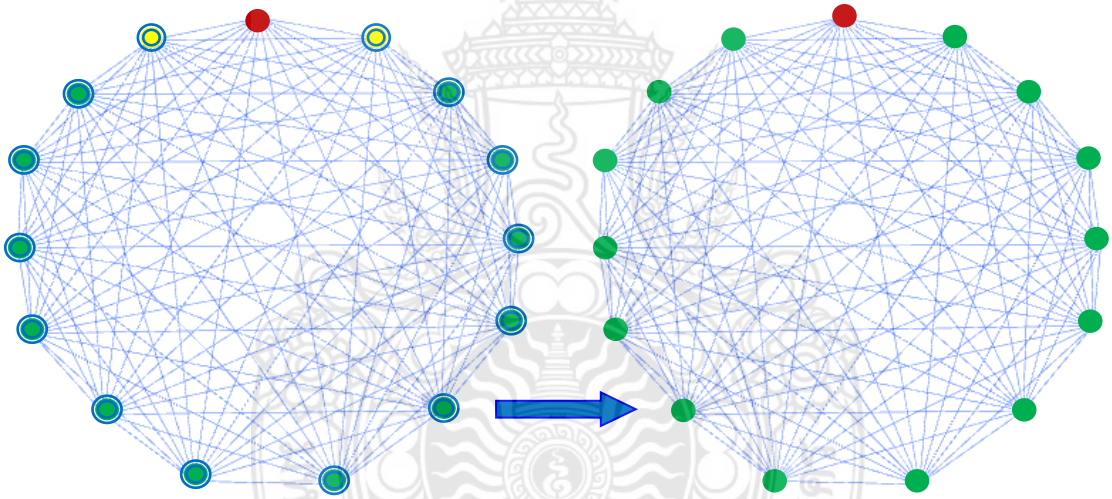
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์หมู่กับการฉีดวัคซีนโดยไม่ฉีดวัคซีนเลยจากกราฟ K_{15}

2. ฉีดวัคซีนบางส่วน



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์หมู่กับการฉีดวัคซีนโดยฉีดวัคซีนบางส่วนจากกราฟ K_{15}

3. ฉีดวัคซีนทั้งหมด



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์หมู่กับการฉีดวัคซีนโดยฉีดวัคซีนทั้งหมดจากกราฟ K_{15}

4.2 สรุปผลการวิจัย

กราฟบริบูรณ์เป็นรูปแบบแสดงแทนความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนในบริบทที่แต่ละคนมีปฏิสัมพันธ์กันภายใต้สมมุติฐาน 3 รูปแบบของความสัมพันธ์ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 ในสถานการณ์ที่ไม่มีการฉีดวัคซีนเลย การแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนไปสู่คนเกิดขึ้นโดยตรง ส่งผลให้แต่ละคนติดโควิด (รูปที่ 5)

รูปแบบที่ 2 ในสถานการณ์ที่มีการฉีดวัคซีนบางส่วน การแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนสู่คนเกิดขึ้นบางคนที่ไม่ได้ฉีดวัคซีน ส่งผลให้มีบางคนติดโควิด (รูปที่ 6)

รูปแบบที่ 3 ในสถานการณ์ที่มีการฉีดวัคซีนทั้งหมด การแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนสู่คนเกิดขึ้นไม่ได้หรือเป็นไปได้ยาก ส่งผลให้ไม่มีใครติดโควิดหรือมีคนส่วนน้อยที่ติดโควิด (รูปที่ 7)

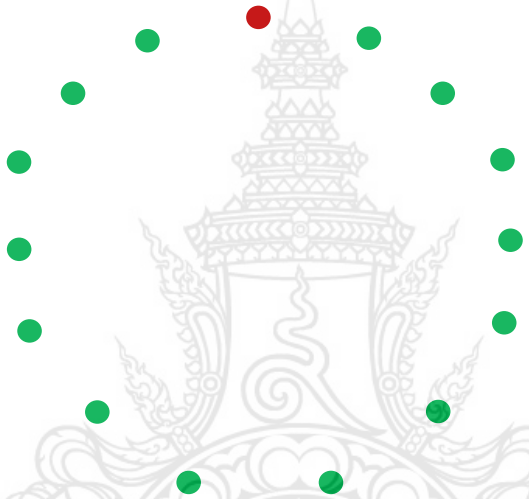
การเกิดภูมิคุ้มกันหมู่เป็นความสัมพันธ์ที่แปรผันตรงกับจำนวนของผู้ฉีดวัคซีน ถ้าจำนวนผู้ฉีดวัคซีนมีมากจะเกิดภูมิคุ้มกันหมู่ แต่ถ้าจำนวนผู้ฉีดวัคซีนมีน้อยภูมิคุ้มกันหมู่จะเกิดได้ยาก

4.3 การอภิปรายผล

ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนเกี่ยวข้องกับการตัดตอนการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนไปสู่คน ดังต่อไปนี้

4.3.1 การตัดตอนการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนไปสู่คนทางตรง คือ การที่แต่ละคนได้รับการฉีดวัคซีนเป็นการป้องกันการเกิดโรคติดต่อเมื่อแต่ละคนมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม สอดคล้องกับการเกิดกราฟบริบูรณ์ (ดังรูปที่ 7)

4.3.2 การตัดตอนการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนไปสู่คนทางอ้อม คือ การใช้มาตรการการเว้นระยะห่างทางสังคมโดยแต่ละคนไม่มีปฏิสัมพันธ์กันทางสังคม สอดคล้องกับการเกิดกราฟว่าง (ดังรูปที่ 8)



รูปที่ 8 การตัดตอนการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนไปสู่คนโดยการเว้นระยะห่างทางสังคม (กราฟว่าง)

4.4 ข้อค้นพบการวิจัย

4.4.1 รูปที่ 5, 6 และ 7 ถ้าต้องการทำให้เกิดการตัดตอนการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของเชื้อโรคสามารถนำความรู้เรื่อง สภาพเชื่อมโยงจุด (vertex-connectivity) มาวิเคราะห์การฉีดวัคซีนกับการแพร่ระบาดของเชื้อโรคได้

สภาพเชื่อมโยงของกราฟ G เขียนแทนด้วย $\kappa(G)$ โดยที่

สภาพเชื่อมโยงของกราฟที่ไม่เป็นกราฟบริบูรณ์ G คือ จำนวนจุดน้อยที่สุดของเซตตัดของจุดในกราฟ G เมื่อเปรียบเทียบกับเซตตัดของจุดทั้งหมด

สภาพเชื่อมโยงของกราฟบริบูรณ์ K_n เท่ากับ $n-1$

4.4.2

4.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

4.5.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์หมู่กับการฉีดวัคซีนสามารถวิเคราะห์ผ่านกราฟเชื่อมโยง

4.5.2 การขยายการวิเคราะห์ความสัมพันธ์หมู่กับการฉีดวัคซีนในระดับประเทศต่อไป

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนโดยใช้ทฤษฎีกราฟ

5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.1.1 กราฟบริบูรณ์

5.1.2 โปรแกรม Gephi

5.2 วิธีดำเนินการวิจัย การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ระยะ คือ

5.2.1 ศึกษาเอกสารค้นคว้าความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

5.2.2 เก็บข้อมูลเชิงตัวเลขของความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

5.2.3 ศึกษาแนวคิดของทฤษฎีกราฟที่เหมาะสมสำหรับเป็นรูปแบบในการนำเสนอความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

5.2.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนโดยอาศัยแนวคิดของกราฟบริบูรณ์

5.2.5 สรุปผลความสัมพันธ์ของของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีน

5.3 ผลการวิจัย

กราฟบริบูรณ์เป็นรูปแบบแสดงแทนความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนในบริบทที่แต่ละคนมีปฏิสัมพันธ์กันภายใต้สมมุติฐาน 3 รูปแบบของความสัมพันธ์ การเกิดภูมิคุ้มกันหมู่เป็นความสัมพันธ์ที่แปรผันตรงกับจำนวนของผู้ฉีดวัคซีน ถ้าจำนวนผู้ฉีดวัคซีนมีมากจะเกิดภูมิคุ้มกันหมู่ แต่ถ้าจำนวนผู้ฉีดวัคซีนมีน้อยภูมิคุ้มกันหมู่จะเกิดได้ยาก

5.4 การอภิปรายผลการวิจัย

ความสัมพันธ์ของภูมิคุ้มกันหมู่กับการฉีดวัคซีนเกี่ยวข้องกับการตัดตอนการเชื่อมโยงการแพร่กระจายของโรคติดต่อจากคนไปสู่คนทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงคือการที่แต่ละคนได้รับการฉีดวัคซีนเป็นการป้องกันการเกิดโรคติดต่อเมื่อแต่ละคนมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม และทางอ้อมคือการใช้มาตรการการเว้นระยะห่างทางสังคมโดยแต่ละคนไม่มีปฏิสัมพันธ์กันทางสังคม

บรรณานุกรม

[1] https://covid-19.researcherth.co 1 May, 2022

[1] Fine P, Eames K, Heymann DL (April 2011). "Herd immunity": a rough guide". *Clinical Infectious Diseases*. 52 (7): 911–6. doi:10.1093/cid/cir007

[2] Fiore, Anthony E.; Bridges, Carolyn B.; Cox, Nancy J. (2009). "Seasonal influenza vaccines". *Current Topics in Microbiology and Immunology*. 333: 43–82. doi:10.1007/978-3-540-92165-3_3. ISBN 978-3-540-92164-6. PMID 19768400

[3] McClung, E., Rivas, S., Soriano, E., Thomas, C., & Highlander, H. (2018). Vaccination Strategies and Herd Immunity Thresholds in Small World Models.

[4] Gray, C.; & Ping, Z. *Introduction to Graph Theory*; Boston: McGraw Hill Higher Education: New York, USA, 2005; pp. 101-167.

[5] Ananchuen, N. *Graph Theory I*; Department of mathematics, Silpakorn University: Nakornprathom, Thailand, 1997; pp.110-125.

[6] Kammanee, W. *Introduction to Graph Theory*; Chulalongkorn University Press: Bangkok, Thailand, 2016; pp.197-215.

[7] Nafiu, L. A.; Salu, A. M.; & Shehu, M. D. On the Application of Shortest Path Algorithm in Graph Theory to Road Network Analysis. *Journal of Mathematical Sciences* (*JMS*) 2009, *20(4)*, 349-357.

[8] Cherven, K. *Network Graph Analysis and Visualization with Gephi;* Pact Pulishing Ltd: Birmingham, UK; pp. 231-256.

[9] https://covid-19.researcherth.co 1 May, 2022

[10] Hassan Vally. What is herd immunity and how many people need to be vaccinated to protect a community? Published: August 1, 2019 5.11am BST

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ