

แบบจำลองบนแลตทิซอย่างง่ายสำหรับการระบาดของโรคมือ เท้า และปาก ใน กรุงเทพมหานคร

A simple lattice model for the spread of hand, foot and mouth disease (HFMD) in Bangkok, Thailand

สุรภา วิชาเป็ง¹ และ สุदारัตน์ ชาติสุทธิ^{1,2*}

Surapa Wichapeng¹ and Sudarat Chadsuthi^{1,2*}

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

²สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

Received : 12 June 2017

Accepted : 1 September 2017

Published online : 7 September 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาพลวัตการระบาดของโรคมือ เท้า และปาก จากการสร้างแบบจำลองบนแลตทิซ 2 มิติ โดยแบ่งประชากรออกเป็น 3 กลุ่มอายุ คือ กลุ่มเด็กเล็ก กลุ่มเด็กโต และกลุ่มผู้ใหญ่ สามารถมีสถานะได้เป็นผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ (S) ผู้ติดเชื้อ (I) และผู้ที่หายจากการติดเชื้อ (R) โดยผู้ที่มีสถานะเป็น S และ R สามารถเคลื่อนย้ายไปยังช่องแลตทิซเพื่อนบ้านที่เป็นช่องว่างได้ ด้วยความน่าจะเป็นในการเคลื่อนย้าย เราศึกษาผลของการแปรค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการระบาดของโรค μ ค่าคงที่ในการส่งผ่านโรค β อัตราการหายจากโรค และ κ ค่าผกผันของการเคลื่อนย้าย พบว่าค่าคงที่ในการส่งผ่านโรคเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีจำนวนประชากรติดเชื้อเพิ่มขึ้น เมื่อค่าอัตราการหายจากโรคมักส่งผลให้มีจำนวนประชากรที่ติดเชื้อลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อค่าผกผันของการเคลื่อนย้ายประชากรมากจะส่งผลให้ประชากรเคลื่อนย้ายน้อยลงและจำนวนผู้ติดเชื้อน้อยตาม ซึ่งผลของการศึกษานี้เป็นการจำลองสถานการณ์เพื่อนับจำนวนของผู้ติดเชื้อ โดยสามารถนำจำนวนของผู้ติดเชื้อที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการระบาด เพื่อพัฒนาแบบจำลองให้สอดคล้องกับข้อมูลการระบาดต่อไป

คำสำคัญ : โรคมือเท้าและปาก ความน่าจะเป็นในการย้าย ค่าผกผันการเคลื่อนย้าย อัตราการหายจากโรค

*Corresponding author. E-mail: sudaratc@nu.ac.th

Abstract

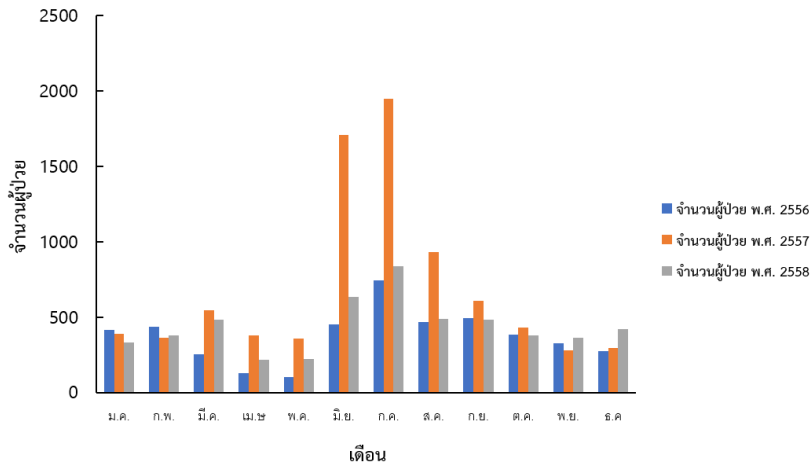
In this work, we study the epidemic dynamics of hand, foot and mouth disease by using an epidemic model on a two-dimensional square lattice. The population in this model is divided into three groups, i.e., babies (0-5 years old), children and young people (6-22 years old), and adult (over 22 years old). Each person on lattice can be susceptible (S), Infected (I) or recovered (R) states. The person who is in S or R states could move to one of its four nearest neighbor sites, if it is not occupied by another person. This movement depend on transition probability. We investigated the influence of transmission probability, recovery rate and inverse mobility. The result showed when the transmission probability increases the infected people was increased, while the recovery rate increases the infected people was decreased. The infected numbers increase when the inverse mobility (β_{age}) decreases. The results of model can used to estimate the number of infected compared to epidemic database. Moreover, this model may be used to predict the epidemic of this disease.

Keywords: hand foot and mouth disease, transition probability, inverse mobility, transmission probability

บทนำ

โรคมือ เท้า และปาก (Hand, foot and mouth disease) เป็นโรคติดต่อชนิดหนึ่งที่มีสาเหตุมาจากการติดเชื้อไวรัสลำไส้ สายพันธุ์ที่พบบ่อยคือ Coxsackievirus A16 ซึ่งมีอาการไม่รุนแรง ส่วนสายพันธุ์ Enterovirus 71 พบบ่อยแต่มีอาการรุนแรง โรคมือ เท้า และปาก มีระยะเวลาฟักตัวประมาณ 3-7 วัน จึงจะออกอาการมีผื่นแดง หรือตุ่มใสขนาดเล็กที่บริเวณฝ่ามือ นิ้วมือ ฝ่าเท้า มีอาการไข้เป็นเวลา 5-7 วัน และอาจจะมีโรคแทรกซ้อนทำให้ผู้ติดเชื้อมีโอกาสเสียชีวิตได้ เนื่องจากไม่มียารักษาโดยเฉพาะและยังไม่มีวัคซีนป้องกัน การรักษาจึงเป็นแบบรักษาตามอาการ ผู้ติดเชื้อมักพบในเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปีเป็นจำนวนมาก (World Health Organization, 2012) ในสถานที่อยู่รวมกันอย่างแออัดจะมีโอกาสติดเชื้อได้ง่าย ด้วยการสัมผัสกับสารคัดหลั่งเช่นน้ำมูก น้ำลาย น้ำจากตุ่มใส ของผู้ติดเชื้อ รวมถึงการสัมผัสของเล่นที่ปนเปื้อน

สำหรับการระบาดของโรคมือ เท้า และปากในประเทศไทย จากข้อมูลเฝ้าระวังโรคของสำนักโรคระบาดวิทยาใน 3 ปีล่าสุด พบว่าจังหวัดที่มีจำนวนผู้ป่วยสูง ได้แก่ กรุงเทพมหานคร เชียงราย และนครราชสีมา โดยกรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ที่พบผู้ป่วยสูงเป็นอันดับหนึ่งของประเทศคิดเป็น 11.24% โดยเฉลี่ย ในปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2558 (Bureau of Epidemiology, DDC, MPH, 2016) กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยของโรคมือ เท้า และปาก ของจังหวัดกรุงเทพมหานครแสดงดังภาพที่ 1 เนื่องจากพื้นที่ที่พบจำนวนผู้ป่วยสูงเป็นจังหวัดใหญ่ที่มีจำนวนประชากรอยู่กันอย่างแออัดเมื่อเกิดการระบาดของโรคในแต่ละครั้งจึงมีจำนวนผู้ติดเชื้อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อหลายฝ่าย ซึ่งปัญหาเหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เศรษฐกิจ และสังคมของประชากรทั้งสิ้น



ภาพที่ 1 แสดงจำนวนผู้ป่วยรายเดือน ของโรคมือ เท้า และปาก จังหวัดกรุงเทพมหานคร

แบบจำลองพื้นฐานอย่างง่ายในการคำนวณหาจำนวนผู้ป่วยคือแบบจำลอง SIR (Keeling&Rohani, 2008) ซึ่งเป็นแบบจำลองใช้ได้เฉพาะกับโรคที่สามารถรักษาให้หายได้ แบบจำลอง SIR เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีตัวแปรสมมติมาจากสถานการณ์จริง มีการนำเสนอครั้งแรกในปี ค.ศ. 1927 โดย Kermack และ McKendrick ซึ่งประสบความสำเร็จในการคำนวณหาจำนวนผู้ป่วยในการระบาดของโรคกาฬโรค ในปี ค.ศ. 1905 ที่ Bombay โดยมีสถานะผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ (Susceptible, s) ผู้ติดเชื้อ (Infected, I) และผู้ที่หายจากการติดเชื้อ (Removed, R) สามารถอธิบายในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ ODE (Ordinary differential equations) ได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = -\beta S(t)I(t) \tag{1}$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta S(t)I(t) - \gamma I(t) \tag{2}$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I(t) \tag{3}$$

เมื่อ β คืออัตราการส่งผ่านโรค และ γ คืออัตราการหายจากโรค

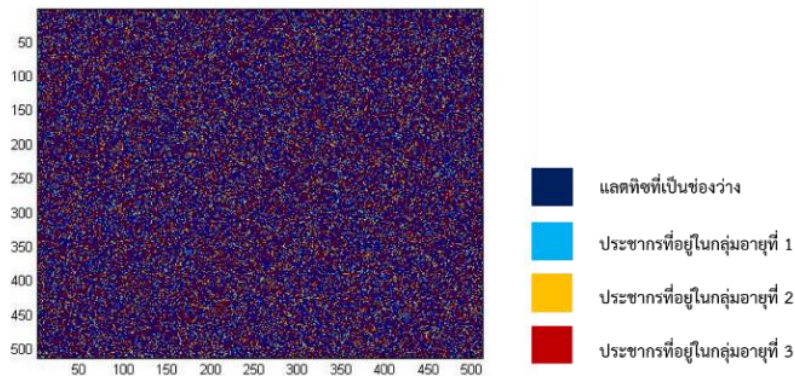
เนื่องจากการส่งผ่านโรคเป็นการส่งผ่านจากบุคคลข้างเคียง ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลอง SIR อย่างง่าย ที่คำนวณจำนวนผู้ติดเชื้อโดยให้ผู้ติดเชื้อสามารถส่งผ่านโรคให้กับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้ทุกคน ดังนั้นเพื่อให้ได้แบบจำลองการระบาดที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น เราจึงศึกษาพลวัตการระบาดบนช่องแลตทิซ โดยสร้างแบบจำลองการระบาดบนฐานข้อมูลประชากรของกรุงเทพมหานคร และศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง โดยประยุกต์แบบจำลองของ (Fierro&Liccardo, 2011) และ (Liccardo&Fierro, 2013) ที่ศึกษาพลวัตการระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ซึ่งมีลักษณะการติดต่อกับโรคมือ เท้า และปาก คือสามารถติดต่อกจากการกินเชื้อที่เกิดจากการสัมผัสวัตถุหรือวัสดุที่มีเชื้อโรคผ่านเข้าปาก และติดต่อกจากการหายใจ โดยหายใจเอาเชื้อที่แพร่กระจายในอากาศ จากการไอ จาม ของผู้ติดเชื้อเข้ามาในร่างกายมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยแบ่งประชากรตามกลุ่มอายุเพื่อให้สอดคล้องกับการระบาดของโรคมือ เท้า และปาก และกำหนดให้

ประชากรมีการเคลื่อนที่ได้ อีกทั้งยังนำความรู้ทางฟิสิกส์เรื่องระเบียบวิธีแบบเมโทรโพลิสสำหรับระบบแบบคาโนนิคอล (A standard Metropolis algorithm for a Hamiltonian system in canonical ensemble) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งแบบจำลองที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นแบบจำลองพื้นฐานเพื่อนำมาพัฒนาหาแนวทางการควบคุมการระบาด และสอดคล้องกับการระบาดจริง และเพื่อเป็นการสร้างรากฐานงานวิจัยในทางการพยากรณ์โรคต่อไป

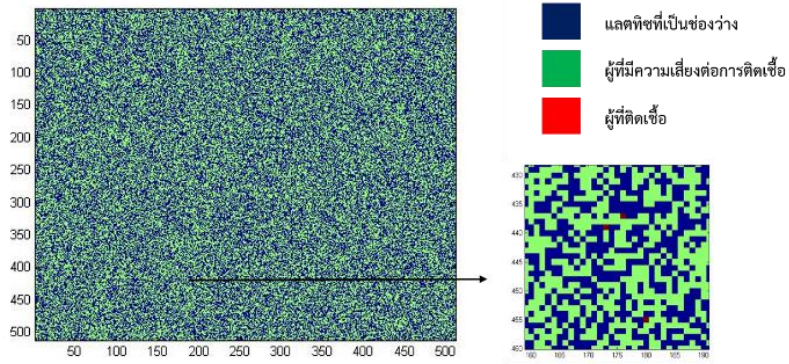
วิธีดำเนินการวิจัย

1. เงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลองการระบาดบนแลตทิซ 2 มิติ

งานวิจัยนี้ศึกษาพลวัตการระบาดของโรคมือ เท้า และปาก จากการจำลองการระบาดโดยใช้การเปลี่ยนสถานะแบบ SIR บนแลตทิซ 2 มิติ โดยพิจารณาแลตทิซขนาด $N \times N = 512 \times 512$ ซึ่งมีขนาดใหญ่พอที่ทำให้เห็นพลวัตการระบาด โดยหนึ่งช่องแลตทิซมีจำนวนประชากรหนึ่งคน และกำหนดให้จำนวนประชากรบนช่องแลตทิซ ρ เท่ากับ 50% ของจำนวนช่องแลตทิซทั้งหมด เพื่อให้เห็นผลของการเคลื่อนย้ายประชากรต่อการระบาด ประชากรในแบบจำลองแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม 1) กลุ่มอายุที่ 1 กลุ่มเด็กเล็กคือผู้มีอายุระหว่าง 0-12 ปี 13.31% 2) กลุ่มอายุที่ 2 กลุ่มเด็กโตคือผู้มีอายุระหว่าง 13-22 ปี 13.49% และ 3) กลุ่มอายุที่ 3 กลุ่มผู้ใหญ่คือผู้มีอายุตั้งแต่ 22 ปีขึ้นไป 73.20% ซึ่งเป็นสัดส่วนเดียวกับข้อมูลจำนวนประชากรของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2558 (National Statistical Office, Thailand, 2015) แลตทิซเริ่มต้นของประชากร 3 กลุ่มอายุ แสดงในภาพที่ 2 และภาพที่ 3 แสดงแลตทิซเริ่มต้นในสถานะผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ (Susceptible, s) ผู้ติดเชื้อ (Infected, i) และผู้ที่หายจากการติดเชื้อ (Removed, r) (ของประชากร 3 กลุ่มอายุตามภาพที่ 2) ที่มีจำนวนประชากรผู้ติดเชื้อเริ่มต้น ρ_i เท่ากับ 0.01% ของประชากรทั้งหมด ในการจำลองสถานการณ์แต่ละครั้ง จะจำลองทั้งหมด 5,000 time steps เทียบเป็น 500 วัน ซึ่งจะจำลองสถานการณ์ซ้ำ 50 รอบ แล้วนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อ



ภาพที่ 2 แลตทิซแสดงประชากรทั้ง 3 กลุ่มอายุ



ภาพที่ 3 แลตทิซแสดงสถานะของประชากร

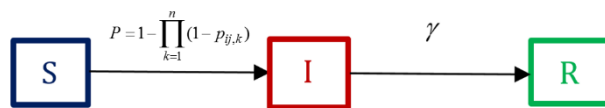
2. เงื่อนไขการเปลี่ยนสถานะของประชากรตามแบบ SIR

ประชากรทุกกลุ่มอายุที่อยู่ในสถานะของผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ (s) จะเปลี่ยนสถานะเป็นผู้ติดเชื้อ (I) ด้วยความน่าจะเป็นในการส่งผ่านโรค (P) เมื่อผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อมีเพื่อนบ้านเป็นผู้ติดเชื้อ ซึ่งคำนวณความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะดังสมการที่ (4) (Fournié et al., 2013)

$$P = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - p_{ij,k}) \tag{4}$$

เมื่อ p_{ij} คือค่าคงที่ในการส่งผ่านโรคระหว่างบุคคลที่อยู่กลุ่มอายุที่ i ไปยังกลุ่มอายุที่ i (p_{ii} หรือ $p_{i=j}$) หรือกลุ่มอายุที่ i ไปยังกลุ่มอายุที่ j ($p_{i \neq j}$) โดยที่ $i, j \in \{1, 2, 3\}$ และ n คือจำนวนเพื่อนบ้านที่ติดเชื้อ

ประชากรทุกกลุ่มอายุที่อยู่ในสถานะผู้ติดเชื้อ (I) จะเปลี่ยนสถานะเป็นผู้ที่หายจากการติดเชื้อ (R) ได้จากอัตราการหายจากโรค (γ) แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนสถานะแบบ SIR model

3. เงื่อนไขการเคลื่อนย้ายของประชากรบนช่องแลตทิซ 2 มิติ

ในแบบจำลองเรากำหนดให้ประชากรที่อยู่ในสถานะผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ (s) และผู้ที่หายจากการติดเชื้อ (R) สามารถเคลื่อนย้ายไปยังช่องแลตทิซเพื่อนบ้าน (Nearest neighbor) และให้ประชากรที่อยู่ในสถานะผู้ติดเชื้อ (I) ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เนื่องจากการเจ็บป่วย โดยใช้ความน่าจะเป็นในการเคลื่อนย้าย (Transition probability) ดังสมการที่ (12) ซึ่งเป็นการนำวิธีแบบเมโทรโพลิต สำหรับระบบแบบคาโนนิคอล และแบบจำลองไอซิ่ง มาประยุกต์ใช้พิจารณาความน่าจะเป็นของระบบแบบคาโนนิคอลที่อยู่ในสภาวะ α

$$P_\alpha = C e^{-\beta E_\alpha} ; \beta = 1/k_B T \quad (5)$$

โดยที่ E_α เป็นพลังงานที่ระบบอยู่ในสถานะ α และเป็นแฮมิลโทเนียน (Hamiltonian) ของแบบจำลองไอซิ่ง ที่ระบบอยู่ในสถานะเดียวกัน C เป็นค่าคงที่ และ β เป็นค่าคงตัวซึ่งเท่ากับส่วนกลับของค่าคงที่โบลทซ์มันน์คูณกับอุณหภูมิ ($1/k_B T$)

$$E_\alpha = H = - \sum_{\langle ij \rangle} J_{ij} S_i S_j \quad (6)$$

แบบจำลองไอซิ่งเป็นแบบจำลองที่พิจารณาพลังงานของสปินสองสถานะ คือ 1 สปินมีทิศชี้ขึ้น และ -1 สปินมีทิศชี้ลง ซึ่งสปินแต่ละตัวจะมีอันตรกิริยาระหว่างสปินด้วยกัน ดังนั้นสปินที่มีพลังงานสูงจะถ่ายเทพลังงานให้กับสปินอีกตัวที่มีพลังงานต่ำกว่า จึงมีการเปลี่ยนสถานะไปในทิศทางตรงข้ามกัน หากพลังงานในการเปลี่ยนแปลงไม่สูงพอ ก็จะไม่สามารถเปลี่ยนทิศของสปินได้ นำสมการที่ (6) เทียบเคียงเป็นสมการในแบบจำลองการระบาคของ (Liccardo&Fierro, 2013) คือ

$$\beta H = - \sum_{age=1}^4 \beta_{age} \sum_{\langle ij \rangle} n_i^{age} \cdot n_j^{age} \quad \text{with } n_i = 0,1 \quad (7)$$

โดยที่ $\langle ij \rangle$ คือผลรวมของช่องแลตทิซเพื่อนบ้านด้านบน ล่าง ซ้าย และขวา โดยที่ $i \in \{0, \dots, L^D\}$ L คือความกว้างของช่องแลตทิซ D คือมิติของแลตทิซ และ L^D คือขนาดของช่องแลตทิซ

n_i^{age} คือบุคคลในกลุ่มอายุต่างๆ ที่อยู่ในช่องแลตทิซ i แทนด้วย 1 ส่วนแลตทิซที่เป็นช่องว่างจะแทนด้วย 0

n_j^{age} คือจำนวนเพื่อนบ้านด้านบน ล่าง ซ้าย และขวาของ n_i^{age}

β_{age} คือค่าผกผันการเคลื่อนย้ายประชากร (β_{age} ระหว่างประชากรมีค่าเดียวและคงที่)

จากสมการที่ (7) พิจารณาการเคลื่อนย้ายแบบอนุภาคเดียวจากช่องที่ (1) ไปยังช่องที่ (2) ดังนั้นพลังงานของบุคคลในช่องแลตทิซให้ย้ายเขียนได้เป็น

$$\beta H_1 = -\beta_{age} N_{age} \quad (8)$$

และพลังงานของบุคคลในช่องแลตทิซใหม่ที่ย้ายไปเป็น

$$\beta H_2 = -\beta_{age} N_{age} \quad (9)$$

ผลต่างของพลังงานระหว่างบุคคลในช่องแลตทิซที่พิจารณาให้ย้ายและบุคคลในช่องแลตทิซใหม่ที่ย้ายไป

$$\beta \Delta H = -\beta_{age} (N_{age} (2) - N_{age} (1)) \quad (10)$$

ดังนั้นสามารถคำนวณหาความน่าจะเป็นในการย้าย (Transition probability) โดยใช้ระเบียบวิธีเมโทรโพลิส ได้

$$T(1 \rightarrow 2) = \min(1, e^{-\beta\Delta H}) \quad (11)$$

แทนสมการที่ (10) ลงในสมการที่ (11) เมื่อ $N_{age}(1)$ คือบุคคลที่อยู่ในช่องแลตทิซที่พิจารณาให้ย้าย และ $N_{age}(2)$ คือจำนวนเพื่อนบ้านของช่องแลตทิซใหม่ที่ย้ายไป ดังนั้นความน่าจะเป็นในการย้ายของบุคคลในช่องแลตทิซที่พิจารณาให้ย้ายเป็น

$$T(1 \rightarrow 2) = \min\{1, e^{\beta_{age}[N_{age}(2) - N_{age}(1)]}\} \quad (12)$$

4. ค่าพารามิเตอร์

ในงานวิจัยนี้เราศึกษาผลของการแปรค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์

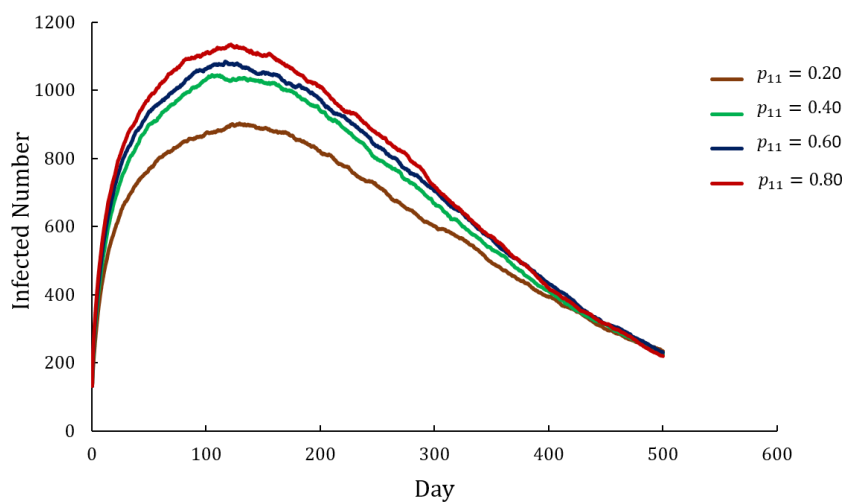
พารามิเตอร์	ความหมาย (หน่วย)	ค่า
ρ	สัดส่วนจำนวนประชากรแต่ละกลุ่มอายุ	กลุ่มอายุที่ 1 เด็กเล็ก (13.31%) กลุ่มอายุที่ 2 เด็กโต (13.49%) และ กลุ่มอายุที่ 3 ผู้ใหญ่ (73.20%)
ρ_i	จำนวนผู้ติดเชื้อเริ่มต้น	0.01%
P	ความน่าจะเป็นในการส่งผ่านโรค	$P = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - p_{ij,k})$
p_{ij}	ค่าคงที่ในการส่งผ่านโรคระหว่างบุคคลที่อยู่กลุ่มอายุที่ i ไปยังกลุ่มอายุที่ j	$p_{11} = 0.20$ 0.40 0.60 และ 0.80 $p_{22} = p_{33} = 0.01$ $p_{i \neq j} = 0.01$
γ	อัตราการหายจากโรค (1/10 วัน)	1/50 1/100 1/150 และ 1/200
β_{age}	ค่าผกผันการเคลื่อนย้ายประชากร	0.01 0.1 1 10 และ 100

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลของการแปรค่าค่าคงที่ในการส่งผ่านโรค (p_{ij})

ในงานวิจัยนี้เราศึกษาผลของการแปรค่าคงที่ในการส่งผ่านโรคระหว่างบุคคลที่อยู่กลุ่มอายุที่ 1 ไปยังกลุ่มอายุที่ 1 (p_{11}) มีค่าเท่ากับ 0.20 0.40 0.60 และ 0.80 ซึ่งเป็นค่าประมาณจากการทำการจำลองสถานการณ์หลายครั้ง (ไม่ได้แสดงผลในบทความ) ส่วนค่าคงที่ในการส่งผ่านโรคระหว่างบุคคลที่อยู่กลุ่มอายุอื่นๆ เป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยเนื่องจากข้อมูลการระบาดจริง พบว่าโอกาสในการส่งผ่านโรคระหว่างกลุ่มเด็กโตและกลุ่มผู้ใหญ่้น้อยกว่าการส่งผ่านโรคระหว่างกลุ่มเด็กเล็กด้วยกัน ในงานวิจัยนี้เราใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองสถานการณ์ทั้งหมด โดยมีค่าคงที่อื่นๆ คือ จำนวนผู้ติดเชื้อเริ่มต้น (ρ_i) เท่ากับ 0.01% อัตราการหายจากโรค (γ) เท่ากับ 1/100 และค่าผกผันการเคลื่อนย้ายประชากร (β_{age}) เท่ากับ 1

ภาพที่ 5 แสดงจำนวนผู้ติดเชื้อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อเพิ่มค่าคงที่ในการส่งผ่านโรคระหว่างบุคคลที่อยู่กลุ่มอายุที่ 1 ไปยังกลุ่มอายุที่ 1 (p_{11}) ส่งผลให้จำนวนผู้ติดเชื้อเพิ่มมากขึ้น และเกิดจำนวนผู้ติดเชื้อสูงสุดก่อน ทำให้เกิดการระบาดรุนแรงกว่าที่ค่าคงที่ในการส่งผ่านโรคระหว่างบุคคลน้อย เมื่อเวลาผ่านไปจำนวนผู้ติดเชื้อลดลง เนื่องจากผู้ติดเชื้อจะเปลี่ยนสถานะเป็นผู้ที่หายจากการติดเชื้อ และผู้ที่หายจากการติดเชื้อจะไม่สามารถกลับมาเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ เมื่อนำจำนวนผู้ติดเชื้อสูงสุดของค่าคงที่ในการส่งผ่านโรค $p_{11} = 0.20$ เปรียบเทียบกับจำนวนผู้ป่วยสูงสุดในกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2558 (ภาพที่ 1) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นแบบจำลองนี้สามารถใช้เป็นแบบจำลองเบื้องต้นในการศึกษาการระบาดของโรคมือ เท้า และปากได้ ส่วนการระบาดในปี พ.ศ. 2557 นั้น พบว่ามีจำนวนผู้ป่วยสูงมาก ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลของการจำลองแบบในรูปที่ 5 ทั้งนี้ เราอาจจะต้องเพิ่มค่าคงที่ในการส่งผ่านโรค เพื่อให้ผลการจำลองแบบสอดคล้องกับการระบาดของโรคในปี พ.ศ. 2557 โดยสามารถทำการศึกษาได้ต่อไป

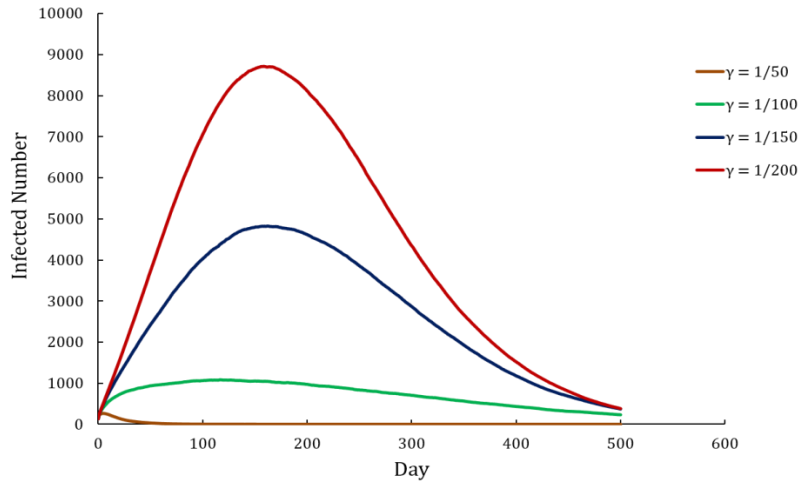


ภาพที่ 5 กราฟแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อเทียบกับเวลา ภายใต้ค่าคงที่ในการส่งผ่านโรคที่แตกต่างกัน

2. ผลจากการแปรค่าอัตราการหายจากโรค (γ)

เพื่อศึกษาผลของการแปรค่าอัตราการหายจากโรค (γ) ซึ่งมีค่าดังนี้ $1/50$ (ระยะเวลาในการหายจากโรค 5 วัน) $1/100$ (ระยะเวลาในการหายจากโรค 10 วัน) $1/150$ (ระยะเวลาในการหายจากโรค 15 วัน) และ $1/200$ (ระยะเวลาในการหายจากโรค 20 วัน) โดยกำหนดให้จำนวนผู้ติดเชื้อเริ่มต้น (ρ_i) 0.01% ค่าคงที่ในการส่งผ่านโรค $p_{11} = 0.60$ และค่าผกผันการเคลื่อนย้ายประชากร (β_{age}) เท่ากับ 1 เป็นค่าคงที่

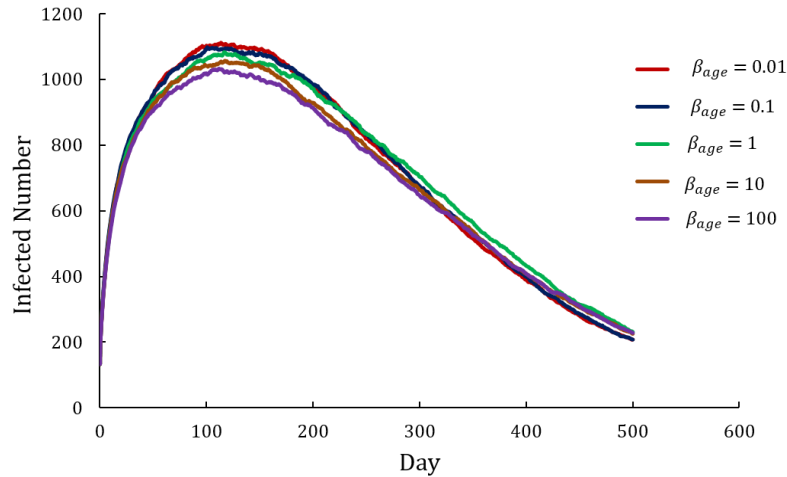
ผลการจำลองสถานการณ์แสดงดังภาพที่ 6 พบว่าจำนวนผู้ติดเชื้อจะแปรผกผันกับค่าอัตราการหายจากโรคที่อัตราการหายจากโรคน้อย หรือระยะเวลาในการหายจากโรคนาน จำนวนผู้ติดเชื้อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผู้ติดเชื้อจะคงสถานะติดเชื้อมานานและสามารถแพร่เชื้อสู่ผู้อื่นได้มากกว่าการระบาดที่มีระยะเวลาในการหายจากโรคสั้น จากภาพที่ 6 อัตราการหายจากโรคมามาก $1/50$ พบว่าจำนวนผู้ติดเชื้อมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่เวลาเริ่มต้น เนื่องจากผู้ติดเชื้อจะใช้เวลาประมาณ 5 วัน ก็สามารถหายจากโรค ผู้ติดเชื้อจึงมีโอกาสนำโรคได้น้อยมาก เรียกเหตุการณ์นี้ว่าไม่เกิดการระบาด ซึ่งในการระบาดจริงถ้าเรารักษาผู้ติดเชื้อให้หายป่วยโดยเร็ว เราก็สามารถป้องกันหรือควบคุมการระบาดของโรคนี้ได้



ภาพที่ 6 กราฟแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อเทียบกับเวลา ภายใต้ค่าอัตราการหายจากโรคที่แตกต่างกัน

3. ผลจากการแปรค่าผกผันการเคลื่อนย้ายประชากร (β_{age})

เนื่องจากการเคลื่อนย้ายประชากรอาจส่งผลกระทบต่อการระบาด เราจึงศึกษาผลของการแปรค่าผกผันการเคลื่อนย้ายประชากร ($\beta_{age} = 0.01, 0.1, 1, 10$ และ 100) โดยกำหนดค่าคงที่ ให้จำนวนผู้ติดเชื้อเริ่มต้น (ρ_i) 0.01% ค่าคงที่ในการส่งผ่านโรค $p_{11} = 0.60$ และ อัตราการหายจากโรค (γ) $1/100$ จากภาพที่ 7 พบว่าจำนวนผู้ติดเชื้อจะแปรผกผันกับค่าผกผันการเคลื่อนย้ายประชากร ที่ค่า β_{age} น้อยจะส่งผลให้มีจำนวนผู้ติดเชื้อมาก เทียบได้เป็นระบบที่มีอุณหภูมิสูง จากทฤษฎีการหาพลังงานของสปินในแบบจำลองไอซิ่ง อนุภาคจะชอบเคลื่อนที่จากพลังงานสูงไปยังพลังงานต่ำ (Liccardo&Fierro, 2013) ทำให้มีการเคลื่อนย้ายประชากรมาก ผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อจะมีโอกาสมีเพื่อนบ้านเป็นผู้ติดเชื้อมากขึ้น โอกาสในการส่งผ่านโรคก็มากตาม ส่งผลให้จำนวนผู้ติดเชื้อมากตาม แต่เมื่อค่า β_{age} เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้จำนวนผู้ติดเชื้อลดลง เทียบได้เป็นระบบที่มีอุณหภูมิต่ำ ประชากรมีการเคลื่อนย้ายน้อย หรืออาจจะไม่มีการเคลื่อนย้ายเลย ทำให้มีโอกาสในการส่งผ่านโรคน้อย จำนวนผู้ติดเชื้อก็น้อยตาม จากรูปจะพบอีกว่าจำนวนผู้ติดเชื้อสูงสุดในแต่ละค่า β_{age} ไม่ต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเกิดจากการแปรค่า β_{age} ยังไม่มากพอ หรือกลุ่มประชากรที่เคลื่อนย้ายได้ คือผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ (S) และผู้ที่หายจากการติดเชื้อ (R) เท่านั้น ทั้งนี้เราสามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยให้ผู้ติดเชื้อ (I) สามารถเคลื่อนย้ายได้ อย่างไรก็ตามค่าผกผันการเคลื่อนย้ายประชากรนี้สามารถนำไปปรับใช้กับแบบจำลองการระบาดเพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่มีการเคลื่อนย้ายประชากรจริง เพื่อนำไปสู่การอธิบายการแพร่ระบาดของโรคเชิงพื้นที่ได้



ภาพที่ 7 กราฟแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อเทียบกับเวลา ภายใต้ค่าพิกัดของการเคลื่อนย้ายประชากรที่แตกต่างกัน

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เราศึกษาพลวัตการระบาดบนแบบจำลองแลตทิซ 2 มิติ สำหรับ 3 กลุ่มอายุประชากร โดยกำหนดให้ประชากรทุกกลุ่มอายุที่มีสถานะเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ และผู้ที่หายจากการติดเชื้อ สามารถเคลื่อนย้ายได้ โดยใช้ข้อมูลจำนวนประชากรและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระบาดของโรค เพื่อให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นสอดคล้องกับการระบาดของโรคมากขึ้น ผลการแปรพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถแสดงกราฟแนวโน้มการระบาดของโรคได้ จำนวนผู้ติดเชื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าคงที่ในการส่งผ่านโรคเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับค่าอัตราการตายจากโรค เมื่อมีค่ามากจำนวนผู้ติดเชื้อจะลดลง และค่าพิกัดของการเคลื่อนย้ายที่เป็นปัจจัยที่ทำให้ประชากรมีการเคลื่อนย้ายไปยังแลตทิซข้างเคียง เมื่อค่าพิกัดของการเคลื่อนย้ายน้อยจะส่งผลให้ประชากรมีการเคลื่อนย้ายไปยังแลตทิซข้างเคียงมาก มีโอกาสในการส่งผ่านโรคมากขึ้น จำนวนผู้ติดเชื้อจึงมากตาม ในการศึกษาี้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้เป็นแบบจำลองเบื้องต้นในการศึกษาการระบาดของโรคมือ เท้า และปากได้ การแปรค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในแบบจำลองสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อให้สามารถนำไปเทียบเคียงกับข้อมูลการระบาดที่เกิดขึ้นจริง และนำไปประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์การระบาดของโรคในอนาคตได้ เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากการศึกษาการระบาดย้อนหลัง ซึ่งเป็นประโยชน์ในควบคุมการระบาดของโรคต่อไป

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย แบบจำลองการระบาดยังคงเป็นแบบจำลองเบื้องต้น การพัฒนาแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับการระบาดจริง จำเป็นต้องหาพารามิเตอร์เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการระบาด เช่น ค่าพารามิเตอร์ basic reproductive number (R_0) ที่สามารถบอกถึงความสามารถในการแพร่กระจายของเชื้อได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร และ ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Bureau of Epidemiology, DDC, MPH. (2016). Hand, foot and mouth disease. Retrieved September 1, 2016, from <http://www.boe.moph.go.th/boedb/surdata/disease.php?dcontent=old&ds=71>
- Fierro, A. and Liccardo, A. (2011). A simple stochastic lattice gas model for H1N1 pandemic. Application to the Italian epidemiological data. *The European Physical Journal E*, 34(11), 1-6.
- Fournié, G., Guitian, J., Desvaux, S., Cuong, V. C., Pfeiffer, D. U., Mangtani, P., Ghani, A. C. (2013). Interventions for avian influenza A (H5N1) risk management in live bird market networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(22), 9177-9182.
- Keeling, M.J. and Rohani, P. (2008) *Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Liccardo, A. and Fierro, A. (2013). A Lattice Model for Influenza Spreading. *PLoS ONE*, 8(5), 1-11.
- National Statistical Office, Thailand. (2015). Population by age group, Bangkok, 2016. Retrieved September 1, 2016, from http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat_age_disp.php
- World Health Organization. (2012). Hand, Foot and Mouth Disease (Fact sheet). Retrieved August 30, 2016, from http://www.wpro.who.int/mediacentre/factsheets/fs_10072012_HFMD/en/