



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหการ

วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบตัวแบบการจำลองสถานการณ์สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์

Comparison between Agent-based Simulation and System Dynamics Models for  
AIDS Infection Modeling

นามผู้วิจัย นางสาวภาพตะวัน ลขารมภ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุตา พิษิตคำเค็ญ, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์นันทชัย กานตานันทะ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ \_\_\_\_\_ เดือน \_\_\_\_\_ พ.ศ. \_\_\_\_\_

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบตัวแบบการจำลองสถานการณ์สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์

Comparison between Agent-based Simulation and System Dynamics Models for  
AIDS Infection Modeling

โดย

นางสาวภาพตะวัน ลयरมภ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพตะวัน ลยามรภ 2553: การเปรียบเทียบตัวแบบการจำลองสถานการณ์สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์ ปรินซ์มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ (วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทา พิชิตลำเค็ญ, Ph.D. 69 หน้า

โรคเอดส์เป็นปัญหาทางสาธารณสุขและทางสังคมที่สำคัญ นโยบายในการป้องกันการติดเชื้อใหม่และการรักษาผู้ป่วยก็มีหลากหลาย การประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของนโยบายเหล่านี้ในเชิงปริมาณ ต้องใช้ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ติดเชื้อจริง (อดีตและปัจจุบัน) และค่าทำนายจำนวนผู้ติดเชื้อในอนาคต ผู้วิจัยได้พัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์ 2 ระบบ คือ ตัวแบบระบบพลวัต (System Dynamics Models, SD) และตัวแบบระบบ Agent-Based Simulation (ABS) และเปรียบเทียบตัวแบบดังกล่าวเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในตัดสินใจ และใช้ตัวแบบในการพยากรณ์จำนวนผู้ติดเชื้อในช่วงปี พ.ศ. 2540–2548 ซึ่งค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบระบบพลวัตมีความถูกต้องและเหมาะสมมากกว่าระบบ ABS โดยความผิดพลาดไม่เกิน 23 % ดังนั้นจึงเลือกตัวแบบ SD เพื่อประเมินนโยบายในการป้องกันการเกิดผู้ติดเชื้อรายใหม่ เช่น โครงการถุงยางอนามัย 100% ในหญิงขายบริการ การรณรงค์ค่านิยมของการไม่ใช้บริการทางเพศในกลุ่มวัยรุ่น และการจัดสรรทรัพยากรในการรักษาแก่ผู้ติดเชื้อเอดส์

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Paptawan Layaromp 2010: Comparison between Agent-based Simulation and System Dynamics Models for AIDS Infection. Modeling. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Juta Pichitlamken, Ph.D. 69 pages.

AIDS is an important health and social problem for which many infection control policies exist. Policy assessment and evaluation require historical data and forecasts on the number of AIDS patients. We develop two types of simulation models: System Dynamics (SD) and Agent-Based Simulation (ABS), to forecast the number of AIDS patients during 1997-2005. We compare its forecasting accuracy, benefits and drawbacks. We find that the SD models are more accurate than the ABS ones; with the maximum percentage error of 23%. We show how SD models can be used to evaluate healthcare policies by implementing different AIDS prevention and control policies and compare their effectiveness.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.จุฑา พิษิตลำคัญ ประธานกรรมการที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์ อ.ดร.นันทชัย กานตานันทะ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก ที่ให้คำปรึกษาในเรื่อง  
การเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบ  
ขอบพระคุณ ผศ.ดร.บุญอ้อม โลมทิ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์  
ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและ  
มอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอขอบคุณ Mr. Pavel Lebedev ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำการใช้โปรแกรม AnyLogic 6.5  
ในการสร้างแบบจำลอง

ขอขอบคุณนายอลงกรณ์ จรัสสุริยา สำหรับคำปรึกษาแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการ  
ทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่  
ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

ภาพตะวัน ลยารมภ์

สิงหาคม 2553

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	19
ผล	19
วิจารณ์	22
สรุปและข้อเสนอแนะ	29
สรุป	29
ข้อเสนอแนะ	30
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	31
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก อธิบายตัวแบบจำลอง	36
ภาคผนวก ข พารามิเตอร์นำเข้า	44
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้โปรแกรม AnyLogic 6.5	48
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้โปรแกรม Vensim PLE	60
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	69

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยเอดส์ที่มีชีวิตอยู่จากค่าจริงและตัวแบบ SD ในประเทศไทยระหว่างปี 2540 – 2548	19
2 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยเอดส์ที่มีชีวิตอยู่จากค่าจริงและ ตัวแบบ ABS ในประเทศไทยระหว่างปี 2540 – 2548	20
3 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยจากการคาดประมาณแต่ละนโยบาย	25
4 จำนวนผู้ติดเชื้อเอชไอวีได้รับยาต้านไวรัสและไม่ได้รับยาต้านไวรัส	27
<b>ตารางผนวกที่</b>	
ข1 จำนวนผู้ป่วยเอดส์ในแต่ละปีคำนวณจากจำนวนผู้ป่วยรายใหม่ในแต่ละปีและจำนวนผู้ป่วยที่เสียชีวิตในแต่ละปี	45
ข2 พารามิเตอร์นำเข้า	46

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	จำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบ SD ในการจำลองเกี่ยวกับด้านสาธารณสุข ที่ถูกตีพิมพ์ในปี 1980- 2007	5
2	ตัวแบบการจำลองสถานการณ์ระบบ SD ของปัญหาการกระจายสินค้า (Product Diffusion) โดยใช้ซอฟต์แวร์ Vensim PLE	6
3	โครงสร้างของตัวแบบการจำลองสถานการณ์แบบ SIR ในระบบ SD	8
4	องค์ประกอบของ agent	10
5	โครงสร้างของตัวแบบการจำลองสถานการณ์ระบบ ABS	12
6	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแบบ SD และ ABS	13
7	การเปลี่ยนตัวแบบ SD ไปเป็นตัวแบบ ABS	14
8	แสดงโครงสร้างของตัวแบบการจำลองสถานการณ์แบบเอสไออาร์(SIR)ในระบบ ABS	15
9	การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยเอดส์ที่มีชีวิตอยู่จากค่าจริงและจากตัวแบบ SD	20
10	การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยเอดส์ที่มีชีวิตอยู่จากค่าจริงและจากตัวแบบ ABS	21
11	การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยจากการคาดประมาณแต่ละนโยบาย	25
12	จำนวนผู้ติดเชื้อเอชไอวีได้รับยาต้านไวรัสและไม่ได้รับยาต้านไวรัส	27
ภาพผนวกที่		
ก1	โครงสร้างของตัวแบบ SD สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์ในไทย	37
ก2	ตัวแบบ SD สำหรับการติดเชื้อจากกลุ่มหญิงขายบริการทางตรง	38
ก3	ตัวแบบ SD การติดเชื้อจากกลุ่มหญิงขายบริการทางอ้อม	39
ก4	ตัวแบบ SD การติดเชื้อจากกลุ่มชายรักชาย	39
ก5	ตัวแบบ SD การติดเชื้อจากกลุ่มชายทั่วไปสู่ภรรยา	40

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก6	โครงสร้างของตัวแบบ ABS สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์ในไทย	41
ก7	ตัวอย่างแผนภูมิสถานะของ Agent ของตัวแบบ ABS	43
ค1	การกำหนดชื่อแบบจำลองใหม่ในโปรแกรม AnyLogic	49
ค2	การเลือกระบบ ABS เพื่อสร้างแบบจำลองใหม่ในโปรแกรม AnyLogic	50
ค3	การกำหนดจำนวนทำซ้ำของ Agent ในโปรแกรม AnyLogic	51
ค4	การกำหนดขนาดของสิ่งแวดล้อมในโปรแกรม AnyLogic	52
ค5	การกำหนดให้ Agent มีพฤติกรรมซึ่งกำหนดโดยแผนภูมิสถานะ	53
ค6	พื้นที่ทำงานของตัวแบบ ABS โปรแกรม AnyLogic	54
ค7	การสร้างแผนภูมิสถานะของ Agent ในโปรแกรม	55
ค8	การกำหนดค่าและชื่อของพารามิเตอร์	56
ค9	แผนภูมิสถานะเริ่มต้น	56
ค10	การเปลี่ยนค่าแผนภูมิสถานะ	57
ค11	การตั้งค่าการส่งผ่าน(Transition)	57
ค13	การเลือกแบบจำลองสำหรับประมวลผล	58
ค14	หน้าแสดงผลของ โปรแกรม AnyLogic	58
ค15	การแสดงผลการประมวลผลของโปรแกรม AnyLogic	59
ง1	การตั้งค่าเวลาในโปรแกรม Vensim	61
ง2	แผนภาพ System Dynamics ของแบบจำลอง SIR	62
ง3	การสร้างสต็อก (stocks) หรือกล่องตัวแปร (box variables)	62
ง4	การสร้างการไหลระหว่างสต็อก	63
ง5	การสร้างตัวแปรซึ่งเป็นค่าคงที่	63
ง6	การสร้างความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร	64
ง7	ปุ่มสมการ (Equation) สำหรับกำหนดค่าให้แบบจำลอง	64

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง8	การตั้งค่าเริ่มต้นให้กับสต็อกผู้มีโอกาสรับเชื้อ	65
ง9	การตั้งสมการอัตราการป่วย	66
ง10	ส่วนควบคุมและปุ่มมิเตอร์ความเร็ว	66
ง10	การสร้างกราฟเพื่อแสดงผลการทดลอง	67
ง11	ปุ่มตั้งค่าและปุ่มวิ่งเพื่อใช้ในการประมวลผล	67
ง12	ภาพตัวอย่างจากการรันโปรแกรม	68

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ABS	=	Agent-Based Simulation
ART	=	Antiretroviral therapy
C_dsw	=	Fraction of direct sex worker coital contacts protected by condoms
C_isw	=	Fraction of indirect sex worker coital contacts protected by condoms
C_c	=	Fraction of general couple coital contacts protected by condoms
C_msm	=	Fraction of homosexual coital contacts protected by condoms
CR_c	=	Number of coital contacts per year for general men and women
CR_dsw	=	Number of client per year for indirect sex worker
CR_isw	=	Number of client per year for indirect sex worker
CR_msm	=	Number of coital contacts per year for men and men
DE	=	Discrete-Event
D	=	Average duration of infectivity
F_death	=	Number of death among females aged 15 and above (in thousands)
F_dsw	=	Number of females direct sex workers (in thousands)
F_isw	=	Number of females indirect sex workers (in thousands)
F_total	=	Number of females aged 15 and above (in thousands)
I	=	Infectious Population
$I_0$	=	Initial Infectious Population
IR	=	Infection Rate
M_client	=	Number of male who visit sex worker
M_death	=	Number of death among males aged 15 and above (in thousands)
M_total	=	Number of males aged 15 and above (in thousands)
MSM	=	Men who have sex with men
MSW	=	Men who visit sex worker
P_ART	=	People who on Antiretroviral therapy
P_msm	=	Percent of men who have sex with men

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Pf-m	=	Female to male probability of transmission
Pm-f	=	Male to female probability of transmission
Pm-m	=	Male to male probability of transmission
R	=	Recovery Population
$R_0$	=	Initial Recovery Population
RR	=	Recovery Rate
S	=	Susceptible Population
SD	=	System Dynamics
SW	=	Sex Worker
UNAIDS	=	United Nations Programme on AIDS
USAID	=	United States Agency for International Development

## การเปรียบเทียบตัวแบบการจำลองสถานการณ์สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์

### Comparison between Agent-based Simulation and System Dynamics Models for AIDS Infection Modeling

#### คำนำ

โรคติดต่อเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจของผู้คนในสังคม เนื่องจากส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต และก่อให้เกิดผู้เสียชีวิตทั่วโลกมากมาย โรคติดต่อที่เป็นปัญหาสำคัญตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น โรคเอดส์ (AIDS), โรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง (SARS), โรคไข้หวัดนก (Avian Influenza Virus H5N1) แม้กระทั่งโรคติดต่อที่ก่อปัญหาทั่วโลกล่าสุด คือ โรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ 2009 (Pandemic Influenza H1N1 2009) ซึ่งระบาดในประเทศต่างๆ ทั่วโลกมากกว่า 199 ประเทศ ทำให้มีผู้เสียชีวิตทั่วโลกไปแล้วมากกว่า 6,000 คน (World Health Organization, 2009) ดังนั้นจึงมีมาตรการต่างๆ เพื่อป้องกันการเสียชีวิต เช่น การให้วัคซีนและยาปฏิชีวนะแก่ผู้ที่ติดเชื้อ มาตรการการกักตัวผู้ที่ต้องสงสัยว่าจะติดเชื้อ มาตรการการใช้อุปกรณ์ในการป้องกัน เป็นต้น

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของนโยบายในการรักษา และความคุ้มค่าในด้านการเงิน โดยประเมินจากผลกระทบจากการกระจายตัวของโรคทำได้ยาก เนื่องจากการแพร่กระจายของโรคระหว่างผู้ติดเชื้อและผู้ได้รับเชื้อ เป็นไปแบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinearly. Brailsford 2007) นอกจากนี้ การติดต่อและการเติบโตของโรคติดต่อมีความไม่แน่นอน มีความหลากหลาย เป็นระบบที่มีความซับซ้อน ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์ที่สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจดังกล่าว ตัวแบบที่นำมาใช้จำลองสถานการณ์ด้านสุขภาพ (Healthcare) ที่ได้รับความนิยมมี 3 ระบบหลัก คือ Discrete-Event Simulation (DES), System Dynamics (SD) และ Agent-Based Simulation (ABS) โดยในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบตัวแบบจำลองสถานการณ์ 2 ระบบคือ SD และ ABS ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantitative) เช่น การวัดการกระจายตัวของโรค การประมาณจำนวนผู้ติดเชื้อ และ เชิงคุณภาพ (Qualitative) เช่น ความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เพื่อจำลองการแพร่กระจายของโรคเอดส์

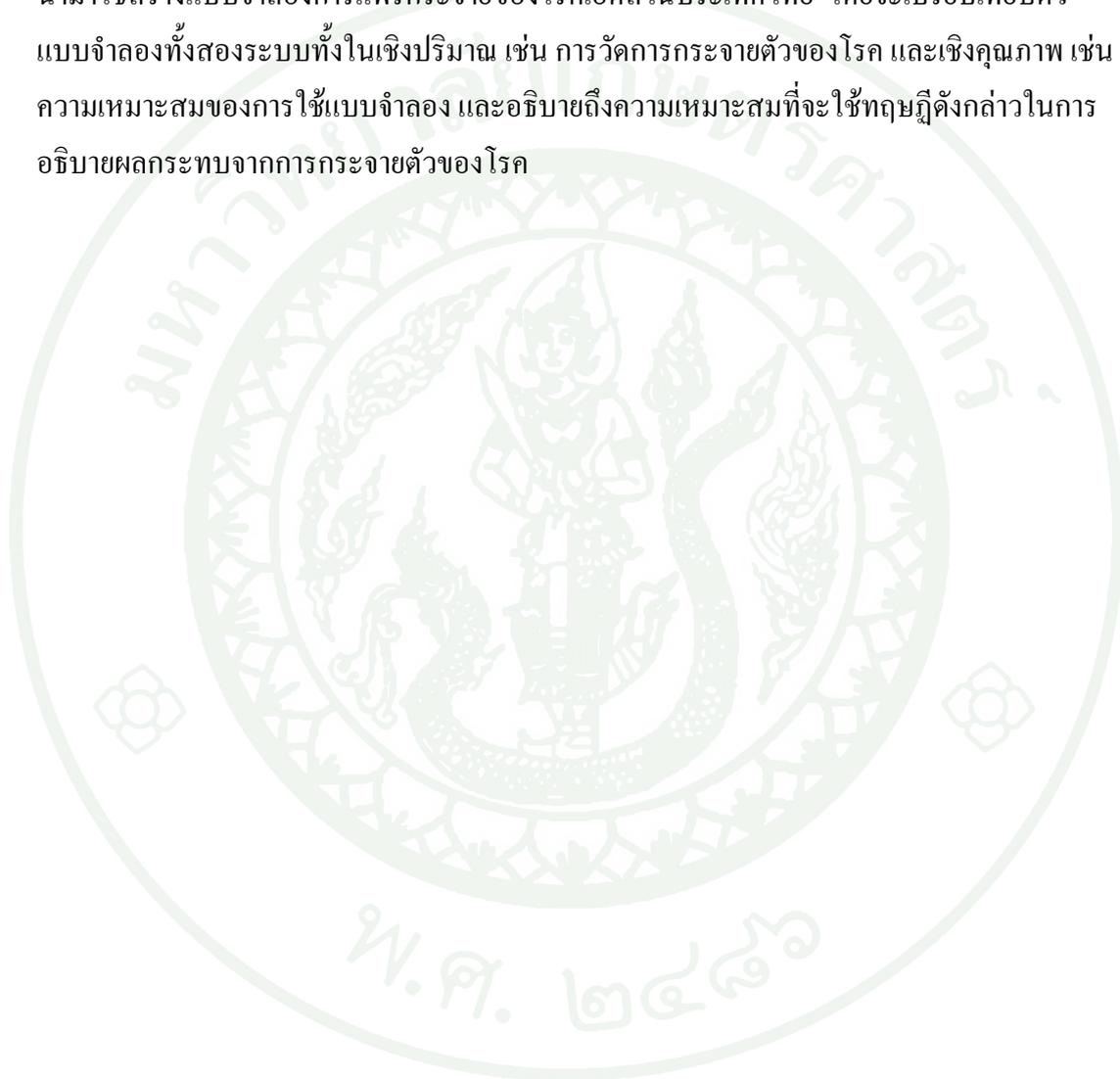
ในระบบ SD กระบวนการจริงจะถูกมองเป็นสต็อก (Stock) เช่น วัตถุดิบ มนุษย์ เงิน การไหลระหว่างสต็อกและข้อมูลต่างๆ จะถูกวัดเป็นมูลค่าของการไหล โดยการไหลเข้าและออกจาก

สดีอกจะถูควบคุมโดยอัตราการไหล (Flow Rate) ตัวอย่างการใช้การจำลองระบบ SD ในการจำลองสถานการณ์ด้านสุขภาพ เช่น Huang *et al.* (2004) จำลองการเปลี่ยนแปลงของการแพร่กระจายของโรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง และอภิปรายถึงประสิทธิภาพของมาตรการในการป้องกันในประเทศสิงคโปร์ เมืองไทเป และเมืองโตรอนโต และ Young *et al.* (n.d.) พัฒนาตัวแบบ SD เพื่อประเมินมาตรการในการป้องกันการติดต่อของโรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง

วิธี Agent-Based Simulation (ABS) เหมาะสำหรับระบบที่มีความซับซ้อนประกอบด้วย Agent ที่มีพฤติกรรมเฉพาะตัว สามารถเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม มีปฏิกิริยาตอบสนอง สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับ Agent อื่นๆ และสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ได้ ตัวอย่างการใช้การจำลองระบบ ABS ในการจำลองสถานการณ์ด้านสุขภาพ เช่น Marwala *et al.* (2004) ซึ่งได้พัฒนาตัวแบบการจำลองสถานการณ์แบบ ABS เพื่อพยากรณ์การแพร่กระจายของโรคเอดส์

## วัตถุประสงค์

พัฒนาตัวแบบจำลอง 2 ระบบคือ System Dynamics และ Agent-Based Simulation เพื่อนำมาใช้สร้างแบบจำลองการแพร่กระจายของโรคเอดส์ในประเทศไทย โดยจะเปรียบเทียบตัวแบบจำลองทั้งสองระบบทั้งในเชิงปริมาณ เช่น การวัดการกระจายตัวของโรค และเชิงคุณภาพ เช่น ความเหมาะสมของการใช้แบบจำลอง และอธิบายถึงความเหมาะสมที่จะใช้ทฤษฎีดังกล่าวในการอธิบายผลกระทบจากการกระจายตัวของโรค



## การตรวจเอกสาร

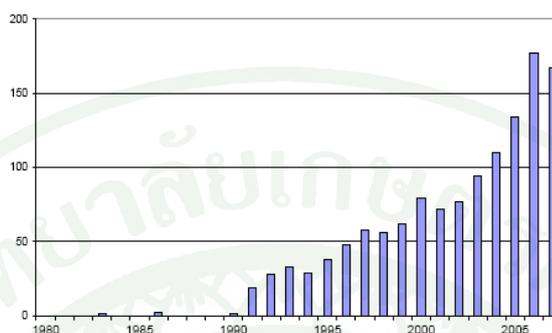
ปัญหาโรคติดต่อเป็นปัญหาที่สังคมให้ความสนใจและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของคนในสังคมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะโรคเอดส์ซึ่งเป็นปัญหาในสังคมไทยอย่างต่อเนื่อง สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค (2552) ได้รับรายงานจำนวนผู้ป่วยเอดส์ จากสถานบริการสาธารณสุขของภาครัฐและของเอกชน ตั้งแต่ พ.ศ. 2527 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2552 รวมทั้งสิ้น 358,967 ราย และมีผู้เสียชีวิตจากโรคนี้ 95,991 ราย นอกจากนี้คณะทำงานคาดประมาณจำนวนผู้ติดเชื้อเอดส์ ซึ่งเกิดการการร่วมมือของกองโรคเอดส์ กรมควบคุมโรคติดต่อ กระทรวงสาธารณสุข สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ UNAIDS และ USAID (2552) กล่าวว่าถึงแม้ว่าประเทศไทยจะประสบความสำเร็จระดับหนึ่งในความพยายามป้องกันโรคเอดส์ แต่ยังคงมีผู้ติดเชื้อรายใหม่ประมาณ 30,000 รายต่อปีอย่างต่อเนื่องมาในแต่ละปี ในปัจจุบันมีผู้ติดเชื้อเอดส์ที่ยังมีชีวิตอยู่ประมาณ 700,000 รายที่ยังต้องรับบริการทางการแพทย์และทางสังคม จึงจำเป็นต้องมีประมาณการจำนวนผู้ติดเชื้อจากพื้นฐานที่ใกล้เคียงความจริงที่สุด เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการป้องกันและการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสมที่สามารถให้บริการแก่ผู้ป่วย/ผู้ติดเชื้อเอดส์ รวมทั้งผู้ที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาเอดส์ ได้แก่ บุตร และบิดามารดาของผู้ป่วย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลจากสำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบจำลองสถานการณ์ 2 ระบบคือ System Dynamic (SD) และ Agent-Based Simulation (ABS) ในการประมาณจำนวนผู้ติดเชื้อ และเพื่อเปรียบเทียบนโยบายในการป้องกันและจัดสรรทรัพยากรแก่ผู้ติดเชื้อ ในหัวข้อที่ 1 จะอธิบายเกี่ยวกับ ตัวแบบ SD, ตัวแบบการจำลองสถานการณ์อย่างง่ายสำหรับโรคติดต่อ, ตัวแบบจำลองแบบ SIR และโปรแกรม Vensim PLE ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาระบบ SD และหัวข้อที่ 2 จะกล่าวถึง ตัวแบบจำลองสถานการณ์ ABS, Agent, ตัวแบบจำลองแบบบนลงล่าง (Top-Down) และล่างขึ้นบน (Bottom-Up) และ โปรแกรม AnyLogic ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแบบ ABS

## ตัวแบบการจำลองสถานการณ์ระบบพลวัต

ระบบของตัวแบบระบบพลวัต (System Dynamics, SD) ที่จำลองด้านสุขภาพ (Healthcare) ได้รับความนิยมนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ภาพที่ 1 แสดงจำนวนความนิยมในการใช้ฐานข้อมูล

อิเล็กทรอนิกส์เพื่อกันหาบทความที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับตัวแบบ SD ในการจำลองด้านการรักษาพยาบาล (Brailsford, 2008)



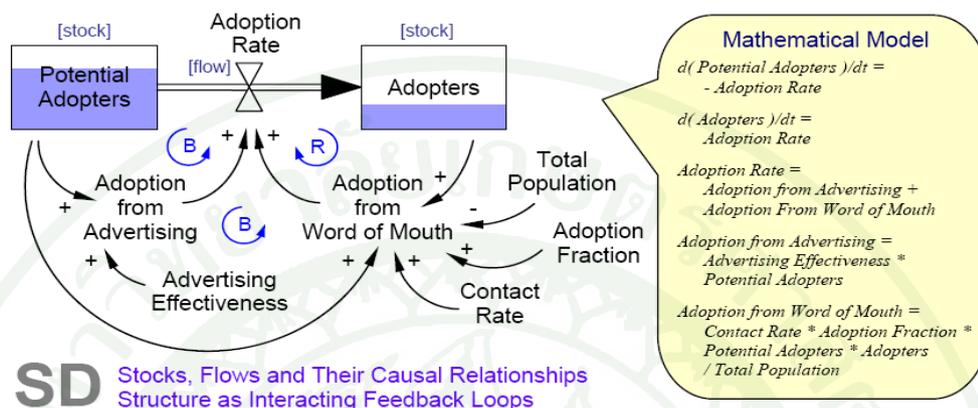
ภาพที่ 1 จำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบ SD ในด้านสาธารณสุข ที่ถูกตีพิมพ์ในปี 1980-2007

ที่มา: Brailsford (2008)

Borshchev and Filippov (2004) กล่าวว่าตัวแบบระบบ SD ถูกพัฒนาโดยวิศวกรเครื่องกล Jay W. Ferrester ในปี ค.ศ. 1950 เพื่อศึกษาผลกระทบที่สะท้อนกลับของปัจจัยต่างๆ ต่อกิจกรรมในอุตสาหกรรม และแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างขององค์กร การเลือกใช้นโยบายและเวลาในการตัดสินใจ และการทำกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อความสำเร็จของกิจการในระบบพลวัต กระบวนการถูกมองผ่านการเปลี่ยนแปลงสต็อก (Stock) เช่น วัตถุดิบ มนุษย์ เงิน การไหล (Flow) ของสต็อก และข้อมูลต่างๆ ถูกวัดด้วยมูลค่าของการไหล โดยการไหลเข้าและออกจากสต็อกถูกควบคุมโดยอัตราการไหล (Flow Rate) ตัวแบบ SD ถูกนิยามด้วยระบบสมการทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะ Differential equations เช่น  $d(\text{จำนวนลูกค้า})/dt = \text{Adoption Rate}$

ลักษณะสำคัญของตัวแบบ SD คือ การทำงานของระบบจะทำงานแบบรวม เป็นกลุ่มใหญ่เท่านั้น แต่ละหน่วยย่อยในสต็อกเดียวกันไม่มีความแตกต่างกัน ผู้สร้างตัวแบบมองในแง่ของภาพรวมของโครงสร้างความสัมพันธ์ และต้องกำหนดค่าเชิงปริมาณของข้อมูลเหล่านี้ ความสัมพันธ์ในตัวแบบมี 2 ชนิด คือ ความสัมพันธ์เชิงลบและความสัมพันธ์เชิงบวก ตัวอย่างเช่น ถ้าประสิทธิภาพของการโฆษณาเพิ่มขึ้น จำนวนผู้ใช้บริการใหม่ที่มาจากการโฆษณาก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

ความสัมพันธ์สองชนิดนี้ประกอบกันเป็นวัฏจักร 2 ประเภท คือ วัฏจักรแบบสมดุล (Balancing loop) และวัฏจักรแบบสนับสนุน (Reinforcing loop)



ภาพที่ 2 ตัวแบบการจำลองสถานการณ์ระบบ SD ของปัญหาการกระจายสินค้า (Product Diffusion) โดยใช้ซอฟต์แวร์ Vensim

ที่มา: Borshchev and Filippov (2004)

ข้อดีของตัวแบบระบบพลวัต คือ ช่วยให้ผู้ใช้วิเคราะห์เห็นภาพรวมของปัญหาที่พิจารณา และปฏิสัมพันธ์ในระบบ และยังประมวลผลได้รวดเร็วเมื่อเทียบกับตัวแบบชนิดอื่นๆ เช่น Discrete-Event Simulation ซึ่งข้อดีนี้เป็นประโยชน์ในสถานการณ์ที่ต้องการการตัดสินใจที่ฉับไว หรือมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยๆ ทั้งนี้ตัวแบบ SD ไม่พิจารณาเหตุการณ์สุ่ม (Random Events) โดยตรง แต่มองโดยอ้อมในแง่ค่าเฉลี่ยแทน เช่น อัตราจำนวนลูกค้าใหม่ เท่ากับ จำนวนผู้ที่อาจจะ เป็นลูกค้า \* ประสิทธิภาพในการ โฆษณา (Advertising Effectiveness) ซึ่งประสิทธิภาพนี้ก็คือความ น่าจะเป็นที่ผู้ที่อาจจะ เป็นลูกค้าแต่ละคน จะกลายเป็นลูกค้า ผู้อ่านที่สนใจ SD สามารถศึกษา เพิ่มเติมได้จาก Sterman (2000) ซึ่งเป็นหนังสือเรียนเบื้องต้น

ตัวแบบระบาดวิทยาในระบบพลวัต

ตัวแบบระบาดวิทยาในระบบพลวัตมีหลายชนิดด้วยกัน Sterman (2000) พัฒนาตัวแบบเอส ไออาร์เพื่อจำลองการแพร่กระจายของโรคติดต่อ ดังภาพที่ 3 ตัวแบบประกอบด้วย 3 สต็อกหรือ

ระดับ (Level) ดังนี้ ประชากรผู้รับเชื้อ (Susceptible Population, S), ประชากรผู้ติดเชื้อที่สามารถแพร่เชื้อ (Infectious Population, I) และ ประชากรที่ฟื้นตัวโดยมีภูมิคุ้มกัน ถูกกักตัว หรือเสียชีวิต (Recovery Population, R) ดังนั้นตัวแบบจึงได้ชื่อว่าตัวแบบเอสไออาร์ ตัวแบบชนิดนี้มักถูกใช้จำลองโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัส เช่น โรคหัด, คางทูม, ฝีดาษ

นอกจากตัวแบบเอสไออาร์แล้ว ถ้าประชากรฟื้นตัวโดยไม่มีภูมิคุ้มกัน ประชากรเหล่านั้นจะกลับไปอยู่กลุ่มประชากรที่มีโอกาสรับเชื้อ (S) ได้อีก จึงเรียกตัวแบบชนิดนี้ว่า ตัวแบบเอสไอเอส (SIS Model) โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้ตัวแบบเอสไอเอสกับโรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย เช่น เชื้อหุ้มสมองอักเสบ กามโรค (Hethcote, n.d.) ส่วนตัวแบบเอสไออาร์ (SEIR Model) ใช้ในกรณีทีหลังจากประชากรผู้รับเชื้อมีการติดเชื้อแล้วจะยังไม่แสดงอาการของโรค และไม่สามารถแพร่เชื้อสู่ผู้อื่นได้ได้ในระยะเวลาหนึ่ง โดย “E” แสดงประชากรผู้ติดเชื้อแต่ยังไม่แพร่เชื้อ (Exposed Population) ส่วนในตัวแบบเอ็มเอสไออาร์ (MSIR Model) เด็กแรกเกิดจะไม่ได้เข้าสู่ระยะประชากรผู้รับเชื้อ แต่จะมีภูมิคุ้มกันซึ่งถ่ายทอดมาจากแอนติบอดีของมารดาซึ่งจะเป็นภูมิคุ้มกันแก่ทารกในระยะแรกเกิด จึงเรียกกลุ่มนี้ว่าประชากรที่มีภูมิคุ้มกันซึ่งถ่ายทอดจากมารดา (Maternally-Derived Immunity: M) Wikipedia (n.d.)

งานวิจัยนี้ใช้ตัวแบบเอสไออาร์ เพราะเหมาะกับลักษณะการแพร่กระจายของโรคเอดส์และข้อมูลที่มีอยู่ กล่าวคือ เมื่อประชากรผู้รับเชื้อติดเชื้อไวรัสเอชไอวี (Human Immunodeficiency Virus) แล้ว หลังจากนั้นประมาณ 3 เดือน จึงจะสามารถตรวจพบว่ามีผลเลือดเป็นเอชไอวี ซึ่งจัดว่าเป็นประชากรผู้ติดเชื้อที่สามารถแพร่เชื้อได้ ผ่านไประยะหนึ่งภูมิคุ้มกันของร่างกายจะถูกทำลายลงนำไปสู่ระยะของโรคเอดส์ หลังจากนั้น ผู้ป่วยก็จะเสียชีวิตจากโรคแทรกซ้อนต่างๆ เช่น วัณโรค เชื้อราในสมอง ต่อมน้ำเหลืองอักเสบ มะเร็งผิวหนัง ถ้าพิจารณาจากลักษณะดังกล่าว จะเห็นว่าตัวแบบเอสไออาร์เหมาะสมกว่าเอสไออาร์ ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีการเก็บข้อมูลผู้ติดเชื้อที่ยังไม่แสดงผลตรวจเป็นบวก (เท่าที่ผู้วิจัยทราบ) และระยะเวลาฟักตัว 3 เดือนค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับระยะเวลาในการจำลองทั้งระบบ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวแบบเอสไออาร์เป็นพื้นฐานในการพัฒนา

### ตัวแบบเอสไออาร์ (SIR Model)

ในตัวแบบเอสไออาร์ ประชากรจากกลุ่มผู้รับเชื้อ (S) จะย้ายไปสู่กลุ่มผู้ติดเชื้อ (I) โดยที่  $S(t)$  จะลดลงตามอัตราการติดเชื้อ (Infection Rate, IR) ส่วน  $I(t)$  จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการติดเชื้อที่หักลบด้วยอัตราการฟื้นตัว (Recovery Rate, RR) และประชากรผู้ที่ฟื้นตัว (R) จะถูกสะสมด้วยอัตรา

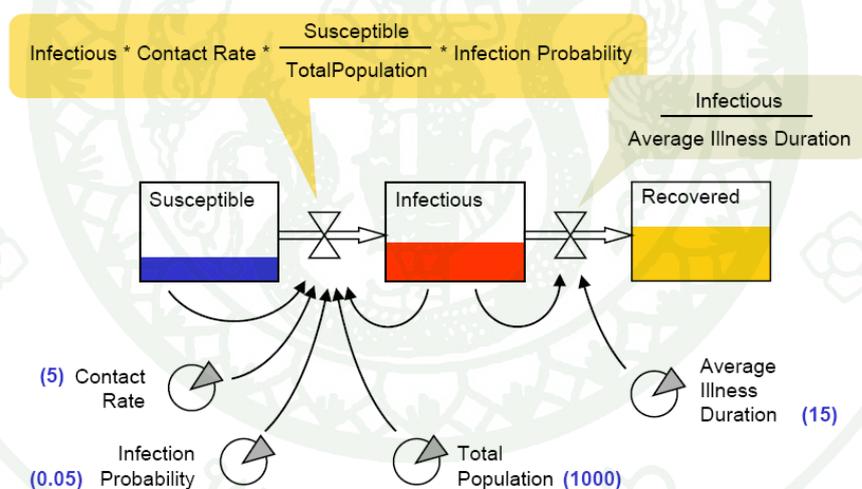
การฟื้นตัว ดังแสดงในสมการที่ (1) - (3) ฟังก์ชัน INTEGRAL (Rate, Initial Value) เป็นคำสั่งเฉพาะของ Vensim PLE (<http://www.Vensim.com/>) ใช้เพื่อคำนวณการสะสม (Integration) ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา

$$S = \text{INTEGRAL}(-IR, N - I_0 - R_0) \quad (1)$$

$$I = \text{INTEGRAL}(IR - RR, I_0) \quad (2)$$

$$R = \text{INTEGRAL}(RR, R_0) \quad (3)$$

โดย  $N$  เป็นจำนวนประชากรทั้งหมด,  $I_0$  เป็นจำนวนผู้ติดเชื้อเริ่มต้น,  $R_0$  เป็นจำนวนผู้ติดเชื้อที่ฟื้นตัวเริ่มต้น



ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างของตัวแบบการจำลองสถานการณ์แบบ SIR ในระบบพลวัต

ที่มา: XJ Technologies (2006)

อัตราการติดต่อ (Contact Rate,  $c$ ) แสดงการติดต่อระหว่างบุคคลต่อบุคคลต่อหน่วยเวลาดังนั้นกลุ่มประชากรผู้ได้รับเชื้อ ( $S$ ) จะก่อให้เกิดกลุ่มประชากรผู้รับเชื้อที่มีการติดต่อ ( $S*c$ ) ต่อหน่วยเวลา ส่วนหนึ่งของประชากรในกลุ่ม  $S*c$  จะมีการติดต่อกับ  $I$  โดยมีสัดส่วนของผู้ติดเชื้อแต่ละบุคคลเท่ากับจำนวนผู้ติดเชื้อหารด้วยประชากรทั้งหมด ( $I/N$ ) หลังจากนั้น บางส่วนของ  $S*c$  จะ

กลายเป็น I ด้วยความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อหลังจากมีการติดต่อ (Infectivity,  $i$ ) ดังนั้นอัตราการติดเชื้อถูกคำนวณจากจำนวนประชากรผู้รับเชื้อที่มีการติดต่อ คูณกับสัดส่วนของผู้ติดเชื้อแต่ละบุคคล คูณกับความน่าจะเป็นที่บุคคลจะกลายเป็นผู้ติดเชื้อหลังจากมีการติดต่อกับผู้ติดเชื้อ ดังสมการ

$$iR = (c * I * S) / (I / N) \quad (4)$$

อัตราการฟื้นตัว (Recovery Rate, RR) สามารถถูกกำหนดได้หลายวิธี ตัวแบบเอสไออาร์ใช้ข้อสมมติว่าระยะเวลาเฉลี่ยของการติดเชื้อ (Average Duration of Infectivity,  $d$ ) เป็นค่าคงที่ ดังนั้นขบวนการฟื้นตัวเป็นไปตามกระบวนการตอบสนองแบบลบในลำดับแรก (First-Order Negative Feedback Process) นั่นคือ  $RR = I/d$  ซึ่งหมายความว่า ประชากรทั้งหมดจะฟื้นตัวภายในระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Vensim PLE (Personal Learning Edition) (Ventana System, n.d.) เพื่อสร้างตัวแบบ นอกจาก Vensim แล้วยังมีโปรแกรมอื่นๆ เช่น iThink (<http://www.iseesystems.com/>), Powersim (<http://www.powersim.com/>) ที่สามารถสร้างตัวแบบ SD ได้ ข้อดีของซอฟต์แวร์สำเร็จรูปคือ สามารถใช้งานง่าย สามารถปรับปรุงและพัฒนาตัวแบบได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับผู้ใช้งานที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนี้ซอฟต์แวร์เหล่านี้แสดงตัวแบบด้วยแผนภาพ ซึ่งสะดวกในการสื่อสาร

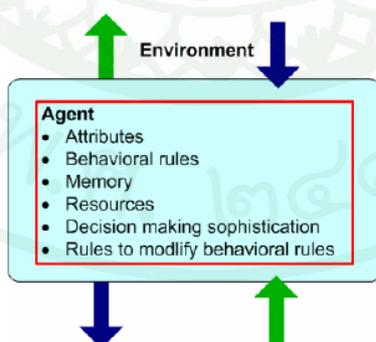
### ตัวแบบจำลอง Agent-Based Simulation (ABS)

ABS เป็นแนวทางใหม่ในการจำลองระบบที่ประกอบด้วย Agent ที่เป็นอิสระกัน ตัวแบบลักษณะนี้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยในหลายๆด้าน เช่น การจำลองตลาดหุ้น ระบบการขนส่ง และการพยากรณ์การกระจายตัวของโรคติดต่อ เป็นต้น เหตุผลที่ตัวแบบ ABS ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันเป็นเพราะว่า ระบบที่สนใจมีความซับซ้อนมากขึ้น และมีการพึ่งพาอาศัยกันมากขึ้น เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองแบบเก่าไม่สามารถจะรองรับระบบที่มีความซับซ้อนเหล่านี้ได้ นอกจากนี้ความสามารถในการคำนวณ (Computation Power) ยังมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถจำลองแบบขนาดเล็กของระบบขนาดใหญ่ได้ (Large-Scale Micro Simulation. Macal and North 2006)

## Agent

Macal and North (2006) ระบุว่ายังไม่มียุทธศาสตร์ที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วกันสำหรับคำว่า Agent แต่สำหรับผู้สร้างตัวแบบจำลอง อาจมีความเห็นว่า Agent คือประเภทขององค์ประกอบอะไรก็ได้ที่มีความเป็นอิสระ มีปฏิสัมพันธ์กับ Agent อื่น มีความสามารถที่จะเรียนรู้จากสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ สามารถเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม และมีปฏิกิริยาตอบสนองได้ โดยต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. Agent ต้องมีลักษณะเฉพาะที่สามารถระบุได้ (Identifiable) แต่ละหน่วยย่อยต้องมีชุดของลักษณะและกฎที่ควบคุมถึงพฤติกรรม และความสามารถในการตัดสินใจ
2. Agent อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมซึ่งมีปฏิสัมพันธ์กับ Agent นั้น Agent มีความสามารถในการจดจำการมีปฏิสัมพันธ์กับ Agent อื่น เช่นการติดต่อสื่อสาร และมีความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม
3. Agent มีเป้าหมายที่จะต้องทำให้สำเร็จ ซึ่ง Agent สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการกระทำของตนเองกับเป้าหมายได้
4. Agent มีความเป็นอิสระ โดยที่สามารถจะอยู่อย่างอิสระในสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่และไม่มีความสัมพันธ์กับ Agent อื่นได้
5. Agent มีความยืดหยุ่น (มีความสามารถในการเรียนรู้และปรับพฤติกรรมโดยอาศัยประสบการณ์) ดังนั้น Agent จึงต้องการความทรงจำ ในการมาใช้ปรับปรุงพฤติกรรม



ภาพที่ 4 องค์ประกอบของ agent

ที่มา: Marwala *et al.* (2004)

### ตัวแบบจำลองแบบบนลงล่าง (Top-Down) และล่างขึ้นบน (Bottom-Up)

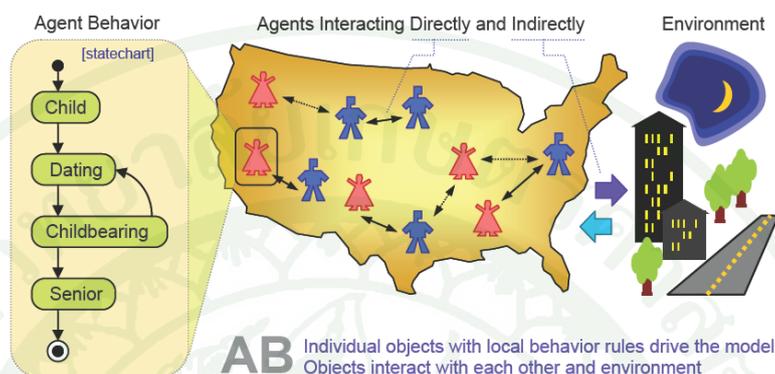
ตัวแบบจำลอง ABS แบ่งออกเป็น 2 แบบ โดย Marwala *et al.* (2004) กล่าวว่าตัวแบบจำลองแบบบนลงล่าง เริ่มจากกำหนดลักษณะเฉพาะและพฤติกรรมในระดับระบบ (System Level) จากนั้นก็จะแบ่งย่อยออกเป็นระบบที่เล็กลง มีการกำหนดลักษณะเฉพาะของพารามิเตอร์และความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในระดับระบบ การจำลองแบบโดยวิธีนี้ไม่ได้เป็นการกำหนดลักษณะและนิสัยของแต่ละองค์ประกอบย่อยและสร้างเป็นระบบ แต่เป็นการคิดโดยมองที่ลักษณะและนิสัยของระบบเป็นพื้นฐาน การจำลองแบบโดยวิธีนี้เหมาะสมกับแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเสถียร และเป็นระบบที่มีลักษณะเดียวกัน (Homogenous System)

ตัวแบบจำลองแบบล่างขึ้นบน เริ่มโดยการกำหนดลักษณะเฉพาะและนิสัยของแต่ละองค์ประกอบย่อย องค์ประกอบเหล่านี้จะสร้างระบบที่มีลักษณะนิสัยของตัวเองขึ้นมา การรวมลักษณะนิสัยขององค์ประกอบและการมีปฏิสัมพันธ์กันในช่วงเวลาจะทำให้เกิดตัวแบบจำลองระดับระบบ แบบจำลองลักษณะนี้สามารถใช้ได้กับทั้งระบบที่มีความเสถียรและระบบที่มีการเปลี่ยนแปลง

ประชากรในระบบที่มีความซับซ้อนนี้ เป็นประชากรที่เป็นอิสระต่อกัน มีลักษณะนิสัยที่มีความซับซ้อน และมีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างประชากรด้วยกัน สภาพแวดล้อมในระบบที่ประชากรอาศัยมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างบ่อย เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างประชากรกับประชากร และประชากรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะสร้างระบบที่มีความซับซ้อนที่ประกอบด้วยประชากรที่มีลักษณะและนิสัยเฉพาะ แบบจำลองแบบบนลงล่างไม่สามารถที่จะอธิบายลักษณะและนิสัยเฉพาะของแต่ละองค์ประกอบได้ แบบจำลองสามารถอธิบายลักษณะและนิสัยเฉพาะได้ในระดับระบบเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงแล้วเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ประชากรไม่มีความเสถียร และมีประชากรใหม่ๆเพิ่มเข้ามาให้ระบบ ดังนั้นแบบจำลองแบบบนลงล่างจึงมีข้อจำกัด

ตัวแบบจำลองแบบล่างขึ้นบนมีความเหมาะสมสำหรับระบบที่มีความซับซ้อน และมีองค์ประกอบหน่วยย่อยที่มีความแตกต่างกัน การพัฒนาตัวแบบนี้เริ่มจากการกำหนดลักษณะและนิสัยเฉพาะของแต่ละองค์ประกอบย่อยภายในประชากร กลุ่มประชากรสามารถถูกสร้างจากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างแต่ละหน่วยย่อย และจากหน่วยย่อยกับสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ภายในแต่ละช่วงเวลา เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กลุ่มประชากรก็มีการเปลี่ยนแปลงนิสัยและคุณสมบัติตามการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างแต่ละหน่วยย่อย และจากหน่วยย่อยกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเห็น

ได้โดยงานในระดับแต่ละหน่วยย่อย นอกจากนี้เมื่อมีประชากรหน่วยย่อยเข้ามาใหม่ ก็สามารถรวมเข้ากับในระบบได้

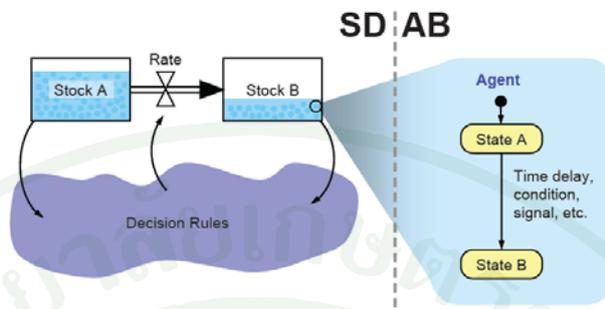


ภาพที่ 5 โครงสร้างของตัวแบบการจำลองสถานการณ์ระบบ Agent-Based Simulation

ที่มา: Borshchev and Filippov (2004)

ในการวิจัยแรกเริ่มผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์ Simio (Simulation modeling framework based on intelligent object) เพื่อจำลองสถานการณ์ระบบ ABS โดย Pegden (2007) กล่าวว่า Simio เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ระบบทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง และยังสามารถนำไปใช้กับระบบ ABS ได้ โดยมีข้อดีคือ การสร้างแบบจำลองสามารถทำได้ง่าย ผู้ที่ไม่มีทักษะในการเขียนโปรแกรม หรือผู้ที่เริ่มหัดสร้างแบบจำลองก็สามารถเรียนรู้ได้ง่าย ทำให้การสร้างแบบจำลองสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว แต่จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า ระบบ ABS ใน Simio ยังมีขีดจำกัด โดยเฉพาะการติดต่อสื่อสารระหว่าง Agent ยังไม่สามารถทำได้ ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนมาใช้ซอฟต์แวร์ AnyLogic 6.5 ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้สร้างตัวแบบ AB มากกว่า Emrich (2007) กล่าวว่า AnyLogic เป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างแบบจำลองได้หลายระบบบนพื้นฐานของ Java ซึ่งผู้ใช้สามารถรวมเทคนิคที่แตกต่างกันเช่น Differential Equations, Discrete-Events Simulation and Agent-Based Systems ซึ่งความสามารถนี้ทำให้ AnyLogic เป็นเครื่องมือที่น่าสนใจสำหรับระบบที่มีความซับซ้อน ซึ่งข้อดีของ AnyLogic คือ สามารถเขียนภาษา Java ได้ใน ทุกส่วนของโปรแกรมทำให้ขอบเขตการใช้งานของ โปรแกรมกว้างขึ้นเท่าที่ผู้ใช้งานต้องการ

### ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแบบ SD และ ABS



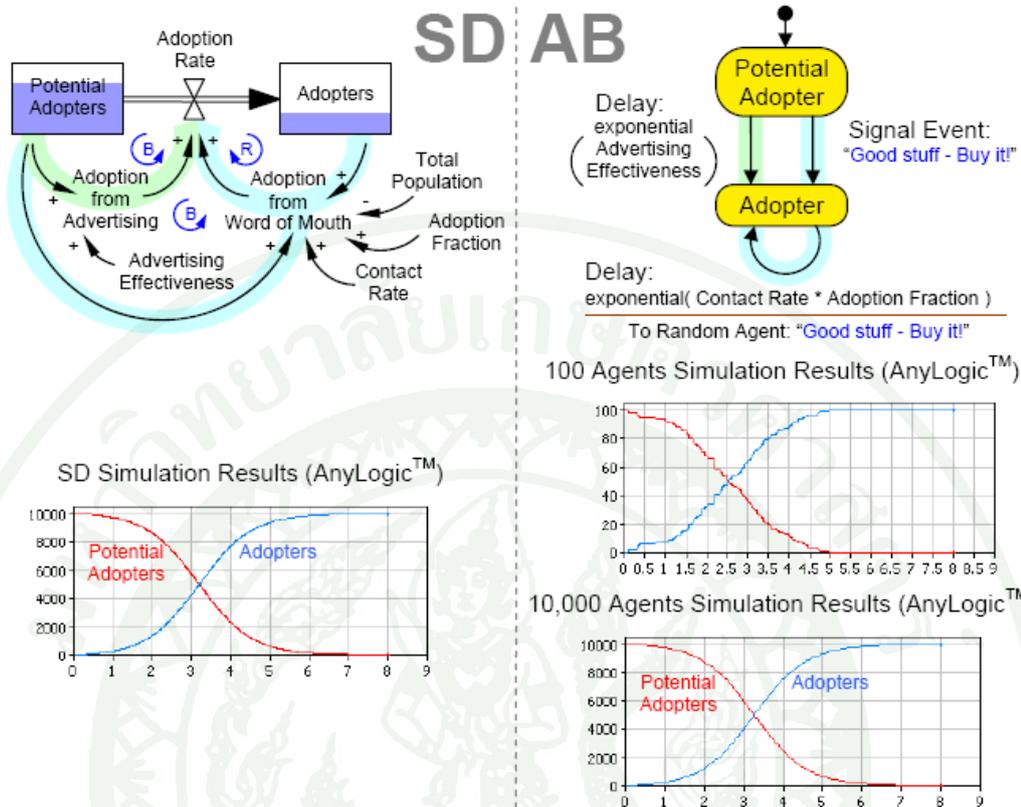
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแบบ SD และ ABS

ที่มา: XJ Technologies (2006)

Borshchev and Filippov (2004) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสองระบบ โดยการเปลี่ยนแนวคิดของตัวแบบ SD ไปเป็นตัวแบบ ABS จากภาพที่ 7 ในขั้นตอนแรก แยกส่วนของสต็อก ตัวอย่างเช่น มองสต็อกเป็นถังซึ่งบรรจุหน่วยย่อยซึ่งสามารถแยกออกจากกันได้ เช่น ลูกบอล ลูกบอลนี้จะกลายมาเป็น Agent จากนั้นทำเสมือนว่าตัวคุณอยู่ในลูกบอลและคอยมองเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น จะพบว่าคุณมีสองสถานะ คือ สถานะ A และ สถานะ B และถ้าคุณอยู่ในสถานะ A คุณสามารถเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะ B ได้ โดยช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น ขึ้นกับอัตราการไหล ตัวแบบ ABS แสดงพฤติกรรมที่เหมือนกับตัวแบบ SD ซึ่งประกอบด้วย Agent ซึ่งจะทำกาเปลี่ยนแปลงสถานะในแผนภูมิแสดงสถานะ (Statechart) ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนตัวแบบ SD ไปเป็น ABS

**ขั้นตอนที่ 1** สำหรับแบบจำลอง SD ที่ประกอบด้วย 2 สต็อก สร้างสถานะของ Agent 2 สถานะ คือ สถานะผู้ที่อาจจะเป็นลูกค้า (Potential Adopter) และ สถานะลูกค้า (Adopter)

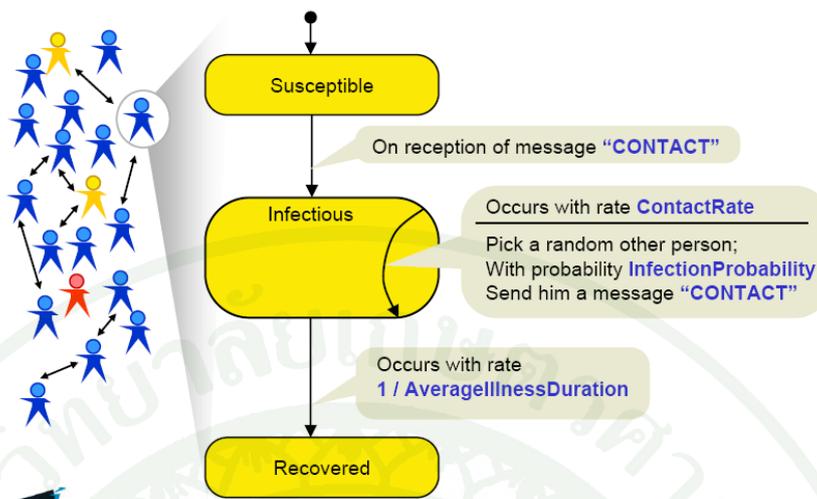
**ขั้นตอนที่ 2** แยกอัตราการเปลี่ยนมาเป็นลูกค้า (Adoption Rate) เป็น 2 ส่วน สำหรับการเลือกซื้อที่มีอิทธิพลจากจากโฆษณา (Adoption from Advertising) จะสร้างการเปลี่ยนสถานะจากผู้ที่จะเป็นลูกค้าเป็นลูกค้าโดยเวลาที่มีการแจกแจงแบบเอกโปเนนเชียล และค่าอิทธิพลของการโฆษณา (Advertising Effectiveness) ตัวแบบนี้มีร้อยละของประชากรที่เปลี่ยนสถานะมาเป็นลูกค้าคงที่ต่อหน่วยเวลา



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนตัวแบบ SD ไปเป็นตัวแบบ ABS

ที่มา: Borshchev and Filippov (2004)

**ขั้นตอนที่ 3** การเลือกซื้อที่มีอิทธิพลจากโฆษณา ถูกสร้างโดยการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละคนซึ่งเป็นลูกค้า การติดต่อกับบุคคลอื่นๆด้วยอัตราการติดต่อ (Contact Rate) ในแต่ละการติดต่อผู้ใช้งานจะส่งข้อความ “Good stuff – buy it!” ผู้บุคคลอื่นๆ ประชากรที่อาจจะ เป็นลูกค้าอยู่แล้วจะปฏิเสธข้อความนี้ ส่วนประชากรที่อยู่ในสถานะที่อาจจะ เป็นลูกค้าก็จะเปลี่ยนสถานะมาเป็นลูกค้า การเปลี่ยนสถานะโดยวิธีนี้ คือ การบอกปากต่อปาก (Adoption from Word of Mouth) สังเกตว่าวิธีนี้ มีความซับซ้อนกว่า แต่มีประสิทธิภาพมากกว่า โดยจะจำลองเฉพาะการติดต่อกับประสบความสำเร็จ คือคุณด้วยสัดส่วนของการกลายมาเป็นลูกค้า (Adoption Fraction) และส่งอิทธิพลต่อการรับข้อความของผู้ที่อาจจะ เป็นลูกค้า



ภาพที่ 8 โครงสร้างของตัวแบบการจำลองสถานการณ์แบบ SIR ในระบบ ABS

ที่มา: XJ Technologies (2006)

ภาพที่ 8 แสดงแบบจำลองเอสไออาร์ในระบบ ABS ที่เปลี่ยนแปลงมาจากแบบจำลองเอสไออาร์ในระบบ SD ในภาพที่ 3 ซึ่งในแบบจำลองแต่ละ Agent จะมีแผนภูมิสถานะซึ่งประกอบด้วย 3 สถานะ คือ ผู้มีโอกาสรับเชื้อ, ผู้ติดเชื้อ และประชากรที่ฟื้นตัว ซึ่งประชากรในสถานะผู้มีโอกาสรับเชื้อจะเปลี่ยนสถานะเมื่อได้รับ ข้อความ "Contact" ซึ่งส่งมาจากประชากรในระยะผู้ติดเชื้อด้วยอัตราการติดต่อ (Contact Rate) และความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อ ส่วนประชากรในระยะผู้ติดเชื้อจะเปลี่ยนไปสู่ระยะประชากรผู้ฟื้นตัวด้วยอัตราเท่ากับ 1/ระยะเวลาในการติดเชื้อ

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bagni *et al.* (2002) นำเสนอตัวแบบการจำลองสถานการณ์เพื่อพยากรณ์การกระจายตัวโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวในโค (Bovine Leukemia) ซึ่งเกิดจากไวรัสสายพันธุ์เดียวกับ HIV และวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ โดยประยุกต์ตัวแบบการจำลองสองทฤษฎี คือ SD และ ABS โดยเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างสองทฤษฎีซึ่งรวบรวมจากหนังสือ บทความ คู่มือเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง และความคิดเห็นจากตัวผู้วิจัยเอง และอธิบายว่าทั้งสองทฤษฎีนี้จะนำมาใช้ในการเข้าไปปัญหาได้อย่างไร

Borshchev and Filippov (2004) ศึกษาเปรียบเทียบทฤษฎีของตัวแบบการจำลอง สถานการณ์ 3 ระบบ คือ System Dynamic (SD), Discrete-Event (DE) และ Agent-Based (ABS) เพื่อนำเสนอรายละเอียดว่าสามารถสร้างตัวแบบ ABS จากตัวแบบ SD และ DE และนำเสนอวิธีการอย่างง่ายเพื่อเพิ่มความซับซ้อนของพฤติกรรม ที่มีการพึ่งพาอาศัยและการมีปฏิสัมพันธ์กันในระบบ ได้อย่างไร โดยได้เสนอแนะว่าการจำลองสถานการณ์ระบบ ABS ทำให้เข้าใจปรากฏการณ์ในชีวิตจริงได้ดีกว่า SD และ DE แต่ก็ไม่สามารถใช้ ABS มาแทนที่ระบบทั้งสองได้ เพราะว่าเป็นแง่ของการใช้งานในหลายๆ ด้านระบบ SD และ DE ก็ยังสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ABS นอกจากนี้ ABS ยากแก่การพัฒนาและไม่เหมาะสมกับธรรมชาติของปัญหาในบางประเภท ดังนั้น การเลือกระบบของการจำลองสถานการณ์ให้เข้ากับแต่ละปัญหาที่พบจึงเป็นสิ่งที่เหมาะสมที่สุด

Brandeau (2008) อธิบายถึงข้อปฏิบัติที่ควรทำในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินนโยบายสำหรับการควบคุมโรคติดต่อ ซึ่งเป็นได้รับความสนใจจากทั่วโลก โดยทำการศึกษาใน 3 แนวทางที่แตกต่างกัน คือ การป้องกันและการรักษาโรคเอดส์, Contact Tracing และการป้องกันและการควบคุมไวรัสตับอักเสบ B

Brailsford (2007) ได้เปรียบเทียบตัวแบบการจำลองสองระบบคือ SD และ DES ในการนำมาใช้จำลองทางด้านการรักษาพยาบาล (Healthcare) ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ กลุ่มที่ 1 ตัวแบบการจำลองสถานการณ์เกี่ยวกับโรค (Disease Model) ซึ่งเป็นการจำลองแบบเกี่ยวกับร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะใช้ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในการลงทุนเกี่ยวกับนโยบายในการรักษา กลุ่มที่ 2 ตัวแบบการจำลองสถานการณ์เกี่ยวกับสถานการณืรักษาพยาบาลเช่น คลินิก โรงพยาบาล และกลุ่มที่ 3 ตัวแบบการจำลองสถานการณ์เกี่ยวกับกลยุทธ์ในการรักษาพยาบาล

Huang *et al.* (2004) สร้างแบบจำลองโลกขนาดเล็ก (Small-World Model) โดยใช้ Cellular Automata และแนวคิด Mirror Identity (การจำลองความถี่ของการไปยังสถานที่ต่างๆ) เพื่อจำลองสถานการณ์ของการติดต่อของโรค SARS ในประเทศสิงคโปร์ เมืองไทเป และเมืองโตรอนโต และเพื่ออภิปรายเกี่ยวกับประสิทธิภาพของนโยบายด้านสาธารณสุขของเมืองเหล่านั้น เช่น การสวมหน้ากาก , การล้างมือ และ การกักตัวผู้ที่ต้องสงสัยว่าจะเป็นโรค เป็นต้น โดยที่ Huang *et al.* เชื่อว่าแบบจำลองสถานการณ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรคติดต่ออื่นๆ เช่น AIDS โรคไขหวัดใหญ่

Marwala *et al.* (2004) ได้นำเสนอตัวแบบการจำลองแบบ Agent-Based แบบ Bottom-Up โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการพยากรณ์การกระจายตัวของโรคเอดส์ ซึ่งวิธีนี้มีความแตกต่างจากวิธีที่เคยมีซึ่งจะใช้การจำลองสถานการณ์แบบบนลงล่าง (Top-Down)

Young *et al.* (n.d.) พัฒนาตัวแบบ SD เพื่อประเมินมาตรการในการป้องกันการติดต่อของโรค SARS ซึ่งมี 2 มาตรการคือ มาตรการกักตัว (กักตัวผู้ที่ยังไม่มีอาการแต่มีการสัมผัสติดต่อกับเชื้อไวรัส, กักตัวผู้ติดเชื้อที่มีอาการของโรคในระยะฟักตัว (Incubation Period), และกักตัวและให้การรักษาผู้ที่เป็นโรค) และมาตรการป้องกัน (ลดโอกาสในการติดต่อระหว่างผู้ที่มีสุขภาพดีกับผู้ป่วย, ใช้อุปกรณ์ในการป้องกัน เช่น สวมหน้ากาก) ผลจากการศึกษาพบว่า มาตรการในการป้องกันมีประสิทธิภาพดีกว่ามาตรการในการกักตัว แต่ไม่ว่าจะมีมาตรการคืออย่างไร ก็ไม่สามารถจะหยุดสถานการณ์การกระจายของโรคได้ แต่สามารถช่วยบรรเทาความรุนแรงของสถานการณ์ได้

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัว
2. โปรแกรมสำเร็จรูป AnyLogic 6.5
3. โปรแกรมสำเร็จรูป Vensim PLE

### วิธีการ

1. ศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review) กับการสร้างแบบจำลองสำหรับการกระจายของโรคติดต่อ
2. รวบรวมข้อมูลต่างๆ ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง เช่น อัตราการติดต่อ, อัตราการใช้ถุงยางอนามัย, ความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อ เป็นต้น
3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม AnyLogic 6.5 และ Vensim PLE
4. สร้างแบบจำลองระบบ SD โดยใช้โปรแกรม Vensim PLE
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากตัวแบบ SD ที่สร้างขึ้น และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบผลจากโปรแกรมกับค่าจริงของจำนวนผู้ติดเชื้อ
6. สร้างแบบจำลองระบบ ABS โดยใช้โปรแกรม AnyLogic 6.5
7. วิเคราะห์ผลที่ได้จากตัวแบบ ABS ที่สร้างขึ้น และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบผลจากโปรแกรมกับค่าจริงของจำนวนผู้ติดเชื้อ
8. เปรียบเทียบผลการทดลองจากสองโปรแกรม นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบความเหมาะสมของทั้งสองโปรแกรมต่องานวิจัยในครั้งนี้
9. เลือกแบบจำลองที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์นโยบาย
10. สรุปผลและวิเคราะห์ข้อเสนอแนะ
11. เขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์ผลและวิจารณ์

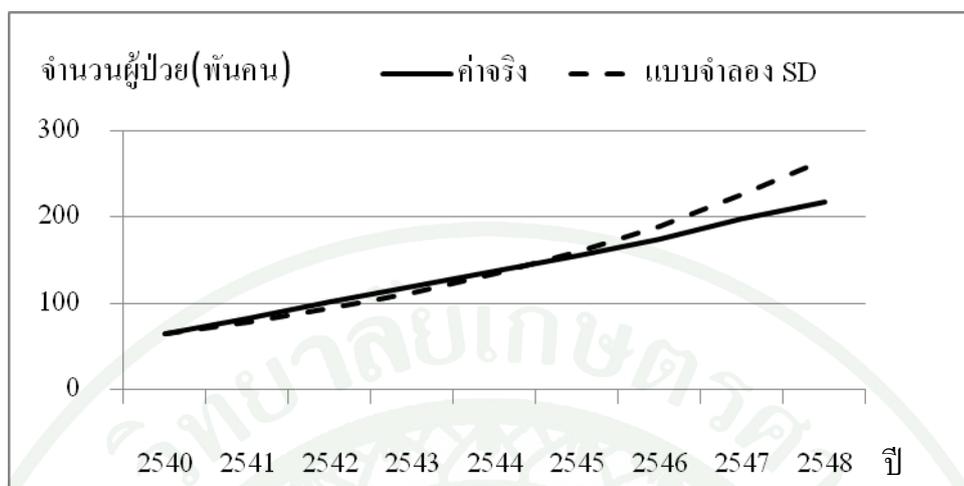
## ผลและวิจารณ์

### 1. ตัวแบบ System Dynamics

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยเอดส์ที่มีชีวิตอยู่จากค่าจริงและตัวแบบ SD ในประเทศไทย  
ระหว่างปี พ.ศ. 2540 – 2548

ปี	จำนวนผู้ป่วยเอดส์ที่มีชีวิต (คน)		ความแตกต่าง (%)
	ค่าจริง*	ตัวแบบ	
2540	64,367	64,367	0
2541	82,660	78,212	5
2542	100,969	93,815	7
2543	119,397	111,966	6
2544	136,821	133,607	2
2545	154,644	159,406	-3
2546	174,372	189,909	-9
2547	198,174	225,987	-14
2548	217,246	266,717	-23

ที่มา: \*สำนักระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข

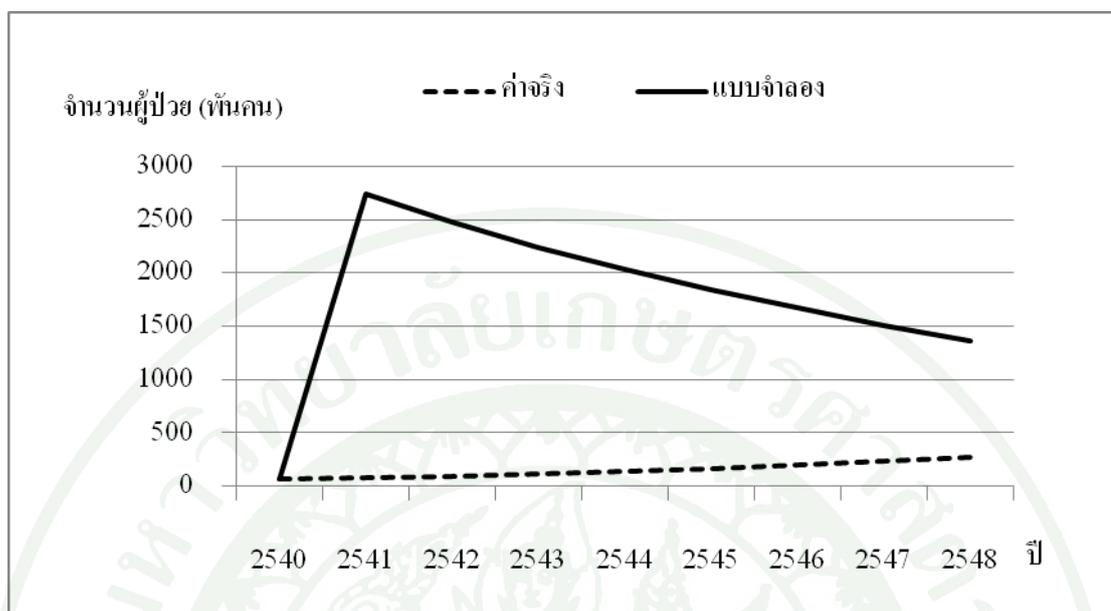


ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยเอดส์ที่มีชีวิตอยู่จากค่าจริงและจากตัวแบบSD

## 2. ตัวแบบการจำลองสถานการณ์ระบบ ABS

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยเอดส์ที่มีชีวิตอยู่จากค่าจริงและตัวแบบ ABS ในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2540 – 2548

ปี	จำนวนผู้ป่วยเอดส์ที่มีชีวิตอยู่ (คน)		ความแตกต่าง (%)
	ค่าจริง	ตัวแบบ	
2540	64,367	70,000	-0.09
2541	82,660	2,743,867	-34.08
2542	100,969	2,479,333	-25.43
2543	119,397	2,239,733	-19.00
2544	136,821	2,035,200	-14.23
2545	154,644	1,843,600	-10.57
2546	174,372	1,673,733	-7.81
2547	198,174	1,514,267	-5.70
2548	217,246	1,369,067	-4.13



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบจำนวนผู้เสียชีวิตจากค่าจริงและจากตัวแบบ ABS

## วิจารณ์

### 1. ตัวแบบการจำลองสถานการณ์ระบบ SD

ผลจากตัวแบบเป็นจำนวนของผู้ติดเชื้อเอชไอวีในแต่ละปี แต่ข้อมูลจริงที่นำมาเปรียบเทียบเป็นจำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่และผู้เสียชีวิตซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกัน จากสำนักระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข (Epidemiological Information Section Bureau of Epidemiology, 2009) ซึ่งผู้วิจัยนำมาคำนวณจำนวนผู้ติดเชื้อที่ยังมีชีวิตอยู่ โดยจำนวนผู้ติดเชื้อที่ยังมีชีวิตอยู่เท่ากับจำนวนผู้ติดเชื้อในปีก่อนหน้ารวมกับจำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่ในปีนั้นและลบจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคเอดส์ในปีนั้น

ภาพที่ 9 และตารางที่ 1 แสดงผลการคาดประมาณจำนวนผู้ติดเชื้อที่ได้จากตัวแบบเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง จะเห็นได้ว่า ในปี พ.ศ. 2540 ถึงปี พ.ศ. 2545 ค่าคาดประมาณที่ได้มีค่าใกล้เคียงค่าจริงมาก โดยมีความแตกต่างไม่เกินร้อยละ 7 แต่ในปีหลังจากนั้น ค่าคาดประมาณที่ได้เริ่มมีความแตกต่างจากค่าจริงมากขึ้นเรื่อยๆ สาเหตุอาจเนื่องมาจาก ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในตัวแบบ (ยกเว้นข้อมูลเกี่ยวกับประชากรชายรักชาย และข้อมูลเกี่ยวกับผู้ป่วยที่รับยาต้านไวรัส) เป็นข้อมูลจากคณะกรรมการคาดประมาณจำนวนผู้ติดเชื้อเอดส์ ซึ่งตีพิมพ์ในปี พ.ศ. 2544 โดยมีการสำรวจพฤติกรรมในระดับประเทศครั้งสุดท้ายคือ พ.ศ. 2540 (The Thai Working Group on HIV/AIDS Projection, 2001) ข้อมูลในปีหลังจากนั้นเป็นค่าที่ทางคณะกรรมการคาดประมาณขึ้น ผลกระทบต่างๆ จากสภาพเศรษฐกิจและสังคมอาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการควบคุมป้องกันโรค ข้อมูลที่คาดประมาณขึ้นอาจคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริง นอกจากนี้การศึกษาข้อมูลบางส่วนก็ทำได้ยาก เช่น ประชากรชายรักชายหญิงขายบริการ เป็นกลุ่มประชากรที่ไม่ต้องการเปิดเผยสถานะ ทำให้ค่าที่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าที่คาดประมาณ

### 2. ตัวแบบการจำลองสถานการณ์ระบบ ABS

จากตารางที่ 2 และ ภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบผลการคาดประมาณจากตัวแบบ ABS กับข้อมูลจริง ซึ่งเป็นข้อมูลชุดเดียวกับที่เปรียบเทียบกับตัวแบบ SD ในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ผลจากแบบจำลองและข้อมูลจริงมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก เนื่องจากแบบจำลองมีข้อจำกัดของ

จำนวน Agent ในแบบจำลอง ทำให้ไม่สามารถสร้าง Agent ทั้งหมดจำนวน 44,290,000 คนได้ ผู้ทดลองจึงต้องลดมาตราส่วนของจำนวน Agent ลง 133.33 เท่า เหลือ 332,175 คน แล้วค่อยคำนวณกลับเพื่อหาจำนวนประชากรที่แท้จริงในภายหลัง และนอกจากนี้การแบ่งสัดส่วนจำนวนประชากรกลุ่มย่อยในแบบจำลองบางกลุ่มมีสัดส่วนน้อยมาก เช่น สัดส่วนหญิงขายบริการที่คิดเชื่อ เท่ากับ  $1.5 \times 10^{-6}$  สัดส่วนประชากรชายรักชายที่คิดเชื่อ เท่ากับ  $4.78 \times 10^{-4}$  สัดส่วนของประชากรกลุ่มย่อยเหล่านี้คำนวณเทียบกับจำนวนประชากรที่แท้จริงซึ่งมาค่ามาก เมื่อนำมาใช้ในแบบจำลองซึ่งจำนวนประชากรทั้งหมดมีค่าที่ถูกลดมาตราส่วนลง ทำให้ค่าของประชากรกลุ่มย่อยเหล่านี้มีความคลาดเคลื่อน

### 3. เปรียบเทียบการจำลองด้วยตัวแบบ SD และตัวแบบ ABS

ทั้งสองระบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ข้อดีสำหรับตัวแบบ SD คือ การสร้างโครงสร้างของระบบทำได้ง่าย ผู้ใช้งานที่ไม่มีความชำนาญด้านการพัฒนาโปรแกรมก็สามารถใช้ได้ นอกจากนี้เวลาในการคำนวณผลของแบบจำลองรวดเร็วมากเมื่อเทียบกับตัวแบบ ABS ตัวแบบ SD สามารถคำนวณโดยใช้จำนวนประชากรทั้งหมด 44,290,000 คน ในการคำนวณได้ โดยใช้เวลาในการประมวลผลไม่ถึงวินาที ทำให้สะดวกในสถานการณ์ที่ต้องการความรวดเร็ว และได้ผลที่มีความถูกต้องเพราะคำนวณจากค่าจริง นอกจากนี้ยังมีประโยชน์เมื่อต้องการปรับแก้และพัฒนาตัวแบบ ในขณะที่ตัวแบบ ABS ไม่สามารถจำลองโดยใช้จำนวนประชากรจริงทั้งหมดได้เนื่องจากใช้เวลานานกว่านั้นมาก โดย 44,290 คน (ลดสัดส่วน  $10^3$  เท่า) ใช้ประมาณ 1 ชั่วโมง 332,175 คน (ลดมาตราส่วน 133.33 เท่า) ใช้เวลา 5 วัน แต่จำนวน Agent ที่สามารถใช้และเวลาในการประมวลผลก็ขึ้นกับประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ด้วย

แบบจำลอง SD มุ่งเน้นการใช้งานสำหรับระบบที่ต้องการหาในภาพรวม มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถจำลองรายละเอียดย่อยของระบบได้ เช่น จำนวนผู้ติดเชื้อซึ่งพยากรณ์ได้จากแบบจำลองจะเป็นผู้ติดเชื้อทั้งหมดเท่านั้น ไม่สามารถหาจำนวนประชากรกลุ่มย่อยที่คิดเชื่อได้ แต่ตัวแบบ ABS สามารถจำลองโครงสร้างระดับย่อยในระบบได้ ตัวแบบ ABS เหมาะสมกับระบบที่มีความซับซ้อนมากกว่า SD เพราะ ABS ใช้การจำลองโดยการกำหนดพฤติกรรมในระดับหน่วยย่อย คือ Agent จากนั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่าง Agent กับ Agent และ Agent กับสิ่งแวดล้อม จะก่อเกิดเป็นระบบใหญ่ขึ้นมา ซึ่งการจำลองในลักษณะจากหน่วยย่อยไปหาระบบใหญ่แบบนี้ เป็นประโยชน์และสะดวกแก่ผู้สร้างโปรแกรมในด้านตรรกะ การคิดโครงสร้างของระบบมากกว่าการมองภาพรวมระบบใหญ่

แบบ SD เลย นอกจากนี้ผลจากตัวแบบ ABS สามารถคำนวณผลในระดับย่อย เช่น จำนวนประชากรย่อยกลุ่มต่างๆได้ ในขณะที่ SD ไม่สามารถทำได้ แต่ข้อเสียของตัวแบบ ABS คือ การสร้างและพัฒนาตัวแบบ ABS ทำได้ยากกว่าตัวแบบ SD โดยเฉพาะในโปรแกรม AnyLogic ผู้ใช้งานควรมีความรู้เกี่ยวกับภาษาจาวา เพราะการเขียนคำสั่งหลายส่วนต้องใช้คำสั่งเฉพาะ นอกจากนี้ตัวแบบ ABS ยังใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน และมีข้อจำกัดเรื่องจำนวน Agent ในการจำลอง

### การนำตัวแบบไปใช้

เนื่องจากความถูกต้องของแบบจำลองทำให้ผู้วิจัยเลือกตัวแบบ SD เพื่อนำไปใช้ในการประเมินนโยบายโดยจะนำเสนอสองกรณี คือ การนำตัวแบบไปใช้เพื่อประเมินนโยบาย และการจัดสรรทรัพยากร เพื่อการควบคุมโรคเอดส์

#### 1. การใช้ตัวแบบเพื่อประเมินนโยบาย

ผู้วิจัยได้หยิบยกนโยบายการป้องกันโรคเอดส์ ที่คณะทำงาน คาดประมาณจำนวนผู้ติดเชื้อเอดส์ได้พิจารณาไว้ เช่น การป้องกันการติดเชื้อผ่านทางเพศสัมพันธ์ การป้องกันการติดเชื้อผ่านทางยาเสพติดฉีดเข้าเส้น การป้องกันการติดเชื้อผ่านแม่และลูก (The Thai Working Group on HIV/AIDS Projection, 2001) โดยใช้ตัวแบบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นใหม่ เพื่อคาดประมาณจำนวนผู้ติดเชื้อภายใต้ นโยบายต่างๆ ดังนี้

##### นโยบายที่ 1: ตัวแบบปัจจุบัน

ชายไทยประมาณร้อยละ 10 ใช้บริการจากหญิงบริการทางเพศในแต่ละปี อัตราการใช้ถุงยางอนามัยกับหญิงบริการทางเพศประมาณร้อยละ 85

##### นโยบายที่ 2: การป้องกันการติดเชื้อ ผ่านทางเพศสัมพันธ์

เพิ่มความสนับสนุนแก่โครงการลดความเสี่ยงจากหญิงบริการทางเพศ ในนโยบายนี้ ณ จุดสิ้นสุดแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 9 จะมีชายผู้ใช้บริการทางเพศเหลือเพียง 5% และมีการใช้ถุงยางอนามัย 90%

**ข้อสมมุติ:** ใช้ทรัพยากรและงบประมาณเพื่อรับประกันการมีเตียงนอนที่มีเพียงพอ ธรรมรงค์  
ค่านิยมของไม่ใช้บริการทางเพศในกลุ่มวัยรุ่นและสนับสนุน โครงการเตียงนอนมี 100% ในหญิง  
บริการแอบแฝง

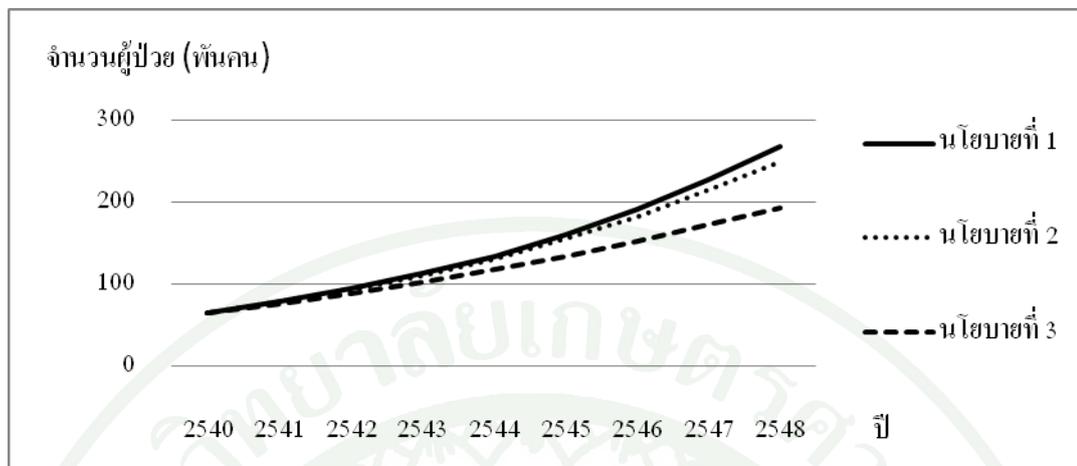
### นโยบายที่ 3: นโยบายที่ 2 + การรณรงค์ในกลุ่มสตรีมีครรภ์

รวมนโยบายที่ผ่านมาและเพิ่มการรณรงค์การให้คำปรึกษา และการตรวจเลือดโดยสมัครใจ  
และกระตุ้นให้มีการใช้เตียงนอนมีในกลุ่มสตรีที่มีฝ่ายหนึ่งฝ่ายใดติดเชื้อเอชไอวีโดยคาดหวังว่าจะ  
สามารถเพิ่มการใช้เตียงนอนมีเป็น 30% ในกลุ่มสตรีดังกล่าว

**ข้อสมมุติ:** เพิ่มทรัพยากรและงบประมาณเพื่อสนับสนุนการให้คำปรึกษาและการตรวจเลือดโดย  
สมัครใจก่อนและหลังการสมรสและรณรงค์การใช้เตียงนอนมีในกลุ่มสตรีที่พบการติดเชื้อ

### ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยจากการคาดประมาณแต่ละนโยบาย

ปี	นโยบายที่ 1	นโยบายที่ 2	นโยบายที่ 3
2540	64,367	64,367	64,367
2541	78,213	77,831	76,060
2542	93,815	92,884	88,472
2543	111,966	110,232	102,081
2544	133,607	130,576	117,282
2545	159,406	154,394	134,181
2546	189,909	182,000	152,638
2547	225,987	213,961	172,851
2548	266,717	249,105	193,292



ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยจากการคาดประมาณแต่ละนโยบาย

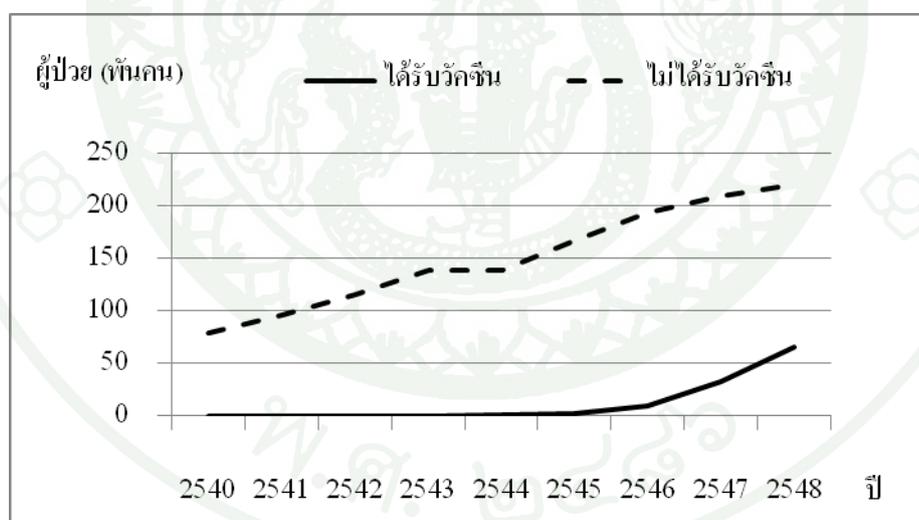
ผลจากการคาดประมาณแสดงให้เห็นว่าการรณรงค์ต่างๆ ส่งผลให้จำนวนผู้ติดเชื้อมีจำนวนลดลง (ภาพที่ 11) โดยเฉพาะนโยบายที่ 3 จะส่งผลให้มีจำนวนผู้ติดเชื้อลดลงมากที่สุด โดยปี 2548 จาก 266,717 คน เหลือ 193,292 คน ลดลง 73,425 คน คิดเป็น 28% ดังนั้นหน่วยงานต่างๆ จึงควรรักษาหรือเพิ่มระดับของงบประมาณและการรณรงค์ในตลอดระยะเวลาของแผนพัฒนาเศรษฐกิจนี้ เพื่อรักษาระดับสถานการณ์ของโรคเอดส์ในประเทศไทย ถ้าหากหน่วยงานต่างๆ เพิกเฉยต่อการรณรงค์ การใช้ร้อยละของการใช้ถุงยางอนามัยอาจลดลง และจำนวนผู้ซื้อบริการทางเพศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้จำนวนผู้ติดเชื้อเอดส์เพิ่มสูงขึ้น จนเกิดการระบาดได้

## 2. การประเมินการจัดสรรทรัพยากรแก่ผู้ติดเชื้อ

ตัวแบบที่สร้างขึ้นสามารถประเมินจำนวนผู้ติดเชื้อเอชไอวีที่มีความต้องการยา เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายในการการขยายการให้บริการของโครงการการเข้าถึงบริการยาต้านไวรัสระดับชาติ สำหรับผู้ติดเชื้อและผู้ป่วยเอดส์ (National Access to Antiretroviral Program for People with HIV/AIDS, NAPHA) ซึ่งเริ่มก่อตั้งโครงการในปี พ.ศ. 2544 เช่น การจัดซื้อเวชภัณฑ์ยาที่พอเพียงต่อจำนวนผู้ป่วยที่มีความต้องการยา เป็นต้น

ตารางที่ 4 จำนวนผู้ติดเชื้อเอชไอวีได้รับยาต้านไวรัสและไม่ได้รับยาต้านไวรัส

ปี	ได้รับวัคซีน	ไม่ได้รับวัคซีน
2540	0	78,929
2541	0	95,687
2542	0	115,575
2543	0	138,921
2544	634	138,921
2545	2,342	165,962
2546	9,257	193,317
2547	32,580	209,416
2548	64,962	220,083



ภาพที่ 12 จำนวนผู้ติดเชื้อเอชไอวีได้รับยาต้านไวรัสและไม่ได้รับยาต้านไวรัส

ภาพที่ 12 แสดงผลจากโครงการระดับชาติ เพื่อการเข้าถึงการให้บริการยาต้านไวรัส สำหรับผู้ติดเชื้อและผู้ป่วยเอดส์ ซึ่งเริ่มก่อตั้งในปี พ.ศ. 2544 มีจำนวนผู้ติดเชื้อที่ได้รับยาจำนวน 634 คน ในปีแรก และเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีผู้ได้รับยาประมาณ 65,000 คนในปี พ.ศ. 2548 แต่เนื่องจากมีผู้ป่วยจำนวนมาก และผู้ป่วยแต่ละรายต้องรับยาตลอดชีวิต จึงมีจำนวนผู้ป่วยอีก

เป็นจำนวนมากที่มีความต้องการยา โดยในปี 2548 มีจำนวนผู้ป่วยสูงถึง 220,083 คน ที่ยังคงต้องการยาในการรักษา ดังนั้นการเพิ่มงบประมาณในการจัดซื้อยาในการรักษาจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อเพิ่มการให้บริการยาแก่ผู้ติดเชื้อ เพราะผลจากการได้รับยานอกจากจะช่วยด้านคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย ให้มีชีวิตที่ยืนยาวขึ้นแล้ว ยังลดความน่าจะเป็นในการติดเชื้อ ทำให้จำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่ลดลงด้วย



## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

ตัวแบบระบบพลวัตที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือพยากรณ์จำนวนผู้ติดเชื้อในอนาคต ซึ่งค่าพยากรณ์ที่ได้มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 23 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังใช้เพื่อประเมินนโยบายในการป้องกันการเกิดผู้ติดเชื้อรายใหม่ และการจัดสรรทรัพยากรในการรักษาแก่ผู้ติดเชื้อเอชไอวี อุปสรรคในการวิจัย คือ การค้นหาข้อมูลนำเข้าซึ่งใช้เวลาค่อนข้างมาก และข้อมูลนำเข้ามีจำกัดเฉพาะบางช่วงระยะเวลา ทำให้ตัวแบบที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้พยากรณ์ค่าได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ค่าข้อมูลนำเข้าหลังจากปีที่มีการเก็บข้อมูลเป็นข้อมูลที่ถูกระงับขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของตัวแบบ ถ้าในภายหลังมีการเก็บข้อมูลที่ละเอียดและถูกต้องมากขึ้น ก็สามารถนำมาใช้ในตัวแบบนี้ เพื่อพยากรณ์จำนวนผู้ติดเชื้อในอนาคต ให้แม่นยำมากขึ้นได้ และหากต้องการใช้ตัวแบบนี้ในการวิเคราะห์นโยบายอื่นๆ ก็สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว โดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์นำเข้าจากนโยบายนั้นหรือปรับเปลี่ยนโครงสร้างของตัวแบบ เพื่อคาดประมาณจำนวนผู้ติดเชื้อจากการใช้นโยบายดังกล่าว

ตัวแบบระบบ ABS ที่สร้างขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงยังมีความผิดพลาดอยู่มาก เพราะข้อจำกัดของแบบจำลองทำให้ไม่สามารถใช้จำนวน Agent มากเท่ากับจำนวนประชากรจริงได้ การที่ต้องลดมาตรฐานลงถึง  $10^4$  เท่า และการที่สัดส่วนของประชากรกลุ่มย่อยที่นำมาคำนวณมีสัดส่วนค่อนข้างน้อย เมื่อนำมาคำนวณกับจำนวนประชากรที่มีการลดมาตรฐานส่วน ทำให้ผลการพยากรณ์คลาดเคลื่อนอยู่มาก

ตัวแบบ SD และตัวแบบ ABS สามารถนำมาสามารถนำมาวิเคราะห์ปัญหาเชิงสังคมและสาธารณสุขได้ โดยที่ตัวแบบทั้งสองชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การเลือกใช้ตัวแบบชนิดใดควรพิจารณาจากรูปแบบของปัญหาที่ต้องการจำลอง และเป้าหมายที่ต้องการจะหาตัวแบบที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ได้แก่ตัวแบบ SD เนื่องจากว่าการทดลองต้องการค่าซึ่งเป็นจำนวนประชากรผู้ติดเชื้อทั้งหมดเป็นกลุ่มใหญ่ นอกจากนี้ข้อดีของ ตัวแบบ SD คือ แก้ไข พัฒนาได้ง่าย และใช้เวลาในการประมวลผลรวดเร็ว เหมาะแก่การนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ประเมินนโยบาย แต่ถ้าหากว่าเป้าหมายที่ต้องการจะหา คือจำนวนประชากรในแต่ละกลุ่มย่อย ก็ควรเลือกตัวแบบ ABS จะมีความเหมาะสมกับชนิดปัญหานั้นมากกว่า ส่วนแนวทางในการเพิ่มจำนวน Agent ในแบบจำลองและทำให้เวลาในการประมวลผลในระบบ Agent ปัญหาส่วนนี้อาจมาจากประสิทธิภาพของเครื่อง

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ ถ้าใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการประมวลผลมากกว่านี้อาจจะทำให้มาตราส่วนที่ใช้ลดลง และสามารถลดเวลาในการประมวลผลได้

### ข้อเสนอแนะ

สิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับการสร้างแบบจำลอง ก็คือข้อมูลนำเข้า เพราะถ้าหากข้อมูลนำเข้ามีคุณภาพ ก็จะทำให้ผลการทดลองมีประสิทธิภาพด้วย แต่ข้อมูลนำเข้าก็เป็นอุปสรรคที่สำคัญที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ ก็คือการขาดข้อมูลนำเข้า เช่น ขาดความร่วมมือด้านการให้ข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง, ข้อมูลที่มีเป็นข้อมูลที่เก็บมาแล้วในอดีต ซึ่งอาจจะไม่ตรงกับข้อมูลจริงในปัจจุบัน เป็นต้น ถ้ามีการเก็บข้อมูลที่ดีและสม่ำเสมอ ก็จะทำให้การทำวิจัยต่างๆ ได้ผลที่ถูกต้องมากขึ้นและจะทำให้สามารถนำไปแก้ปัญหาได้ดียิ่งขึ้น

แบบจำลองที่สร้างขึ้นจำลองเฉพาะการติดเชื้อที่เกิดจากการติดต่อทางเพศสัมพันธ์เท่านั้น เพราะว่าสาเหตุการติดเชื้อเอชไอวีในประเทศไทยเกิดจากการติดต่อทางเพศสัมพันธ์สูงที่สุด ประมาณ 84 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็ยังมีสาเหตุการติดเชื้อที่สำคัญอีกสองชนิดคือ การติดเชื้อจากมารดา และการติดเชื้อจากการใช้เข็มฉีดยาร่วมกัน แต่ผู้วิจัยไม่ได้ทำการทดลองเนื่องด้วยข้อจำกัดด้านข้อมูล ซึ่งหากการเพิ่มการจำลองการติดเชื้อจากอีกสองกรณีแล้วน่าจะทำให้ผลการทดลองมีความแม่นยำมากขึ้น

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Akarasewi, P. 2009. Overview of the HIV EpiDESMic and the National HIV/AIDS surveillance. AvailABSle Source : [www.hivsurveillance2009.org/docs/plenary/pres4.ppt](http://www.hivsurveillance2009.org/docs/plenary/pres4.ppt). January 23, 2010.
- Bagni, R., R. Berchi, and P. Cariello. 2002. **A comparison of simulation moDESls applied to epiDESMics**. Available Source: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/3/5.html>, November 12, 2009.
- Borshchev, A., and A. Filippov. 2004. From System Dynamics and Discrete-Event to Practical Agent-Based MoDESling: Research, Technique, Tools. **The 22<sup>nd</sup> International Conference of the System Dynamics Society**, Oxford, England.
- Brailsford, S.C. 2007. Tutorial: Advance and Challenges in Healthcare Simulation MoDESling. In **Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conferenc**, ed. S.G. HenDESrson, B. Biller, M.-H. Hsieh, J. Shortle, J.D. Tew, and R.R. Barton, 1436 – 1448, Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- \_\_\_\_\_. 2008. System Dynamics: What's in It for Healthcare Simulation MoDESllers. In **Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference**, ed. S.J. Mason, R.R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J.W. Fowler, 1478 – 1483, Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- BranDESau, M.L. 2008. Infectious Disease Control Policy: A Role For Simulation. In **Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference**, ed. S.J. Mason, R.R. Hill, Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J. W. Fowler, 1578 – 1582, Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

- Chang, C.H., J.S. Fusco, A.C. Justice, J.T. King, and M.S. Roberts. 2003. Long-Term HIV/AIDS Survival Estimation in the Highly Active Antiretroviral Therapy Era. **Medical Decision Making**. 23(1): 9-20.
- Emrich, S., S. Suslov, and F. JuDESx. 2007. **Fully Agent-Based MoDESling of EpiDESmic Spread Using Anylogic**. Available source: <http://www.xjtek.com/AnyLogic/articles/>, June 5, 2010.
- EpiDESmiological Information Section Bureau of EpiDESmiology. 2009. **AIDS case reporting system**. Bureau of EpiDESmiology. Available source: [http://203.157.15.4/reportaids/2009/T1\\_091130164116.pdf](http://203.157.15.4/reportaids/2009/T1_091130164116.pdf), November. 30, 2009.
- Focus, A.A. 2008. **The AIDS EpiDESmic in Tanzania: A System Dynamics Approach for Policy Development**. M.S. Thesis, University of Bergen, Norway.
- Hethcote, H.W. n.d. **Qualitative Analyses of Communicable Disease MoDESls MathBiosci**. Available source: <http://www.math.uiowa.edu/~hethcote/PDFs/1976MathBiosci.pdf>, August 5, 2010.
- Huang, C.Y., C.T. Sun, J.L. Hsieh, and H. Lin. 2004. **Simulating SARS: Small-World EpiDESmiological MoDESling and Public Health Policy Assessment**. Available Source: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/7/4/2.html>, November 12, 2009.
- Grulich A.E., J.C. Imrie, J. Jansson, F. Jin, J.M. KalDESr, S.C. Kippax, M. Law, G.P. Prestage, D.P. Wilson and I. Zablotska. 2010. Per-contact probability of HIV transmission in homosexual men in Sydney in the era of HAART. **AIDS**. 24: 907-913

Marwala, T., C. Mueller and E. TewelDESmedhin. 2004. Agent-based MoDESling: A Case Study in HIV EpiDESmic. **Hybrid Intelligent System Fourth International Conference**, 154 – 159, Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Macal, C.M. and M.J. North. 2006. Tutorial on Agent-Based MoDESling and Simulation Part 2: How to MoDESling with Agent. In **Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference**, ed. L.F. Perrone, F.P. Wieland, J. Liu, B.G. Lawson, D.M. Nicol, and R.M. Fujimoto, 73- 63, Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

PegDESn, C.D. 2007. SIMIO: A New Simulation System Based on Intelligent Objects. In **Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference**, ed. S.J. Mason, R.R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J.W. Fowler, 2293 – 2300, Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Sterman, J.D. 2000. **Business dynamics: systems thinking and moDESling for a complex world**, McGraw-Hill Higher Education.

The Thai Working Group on HIV/AIDS Projection. 2001. **Projections for HIV/AIDS in Thailand : 2000-2020**. Karnsana printing press. Bangkok.

The Thai Working Group on HIV/AIDS Projection. 2009. **The Asian EpiDESmic MoDESling (AEM) Projections for HIV/AIDS in Thailand : 2005-2025**. Available Source: <http://www.fhi.org/NR/rdonlyres/exxfnrkwekikhkvkw3m5acvrmcknhi5iuuzc67gv6hls142h7k2tp3tDESyndmy3gvptzehjkq7yd/AsianEpiDESmicMoDESlingThailand20052025HV.pdf>, January 23, 2010.

Ventana System, Inc. n.d. **Vensim Simulation Software**. Vensim Software. Available Source:  
<http://www.Vensim.com/software.html>, DEScember 2, 2009.

XJ Technologies. 2006. **Getting Started with Agent-Based MoDESlling in AnyLogic**.  
Available Source: <http://www.xjtek.com/>, January 23, 2010.

Young, S., Y.T. Lo, and S.J. Li. n.d. **A System Dynamics Evaluation of SARS Preventing Policies in Taiwan**. Available Source:  
[http://www.systemdynamics.org/conferences/2004/SDS\\_2004/PAPERS/245LO.pdf](http://www.systemdynamics.org/conferences/2004/SDS_2004/PAPERS/245LO.pdf),  
November 12, 2009.

World Health Organization. 2009. **PanDESmic (H1N1) 2009 - update 73**. Available Source:  
[http://www.who.int/csr/don/2009\\_11\\_06/en/inDESx.html](http://www.who.int/csr/don/2009_11_06/en/inDESx.html), November 12, 2009.

Wikipedia. n.d. **Compartmental moDESls in epiDESmiology**. Available:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Compartmental\\_moDESls\\_in\\_epiDESmiology](http://en.wikipedia.org/wiki/Compartmental_moDESls_in_epiDESmiology), August 5,  
2010.

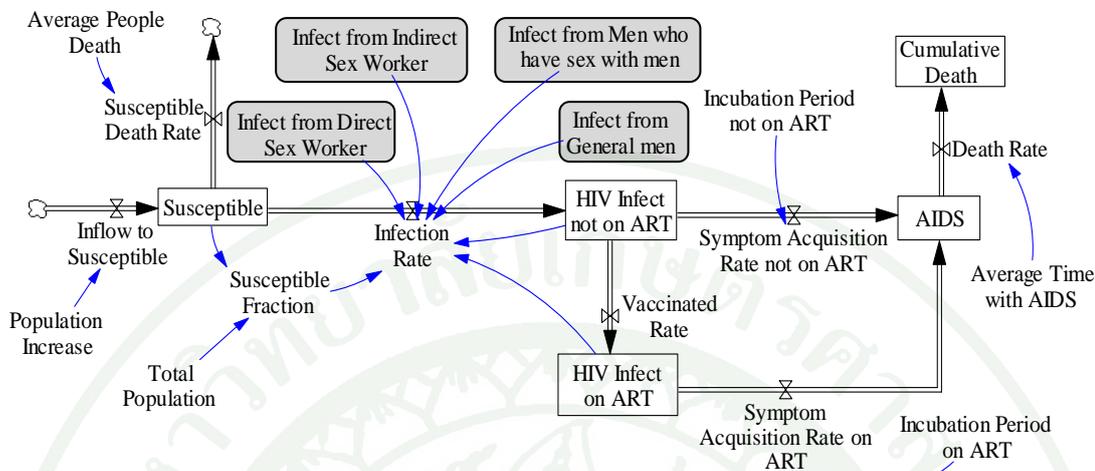


ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
อธิบายตัวแบบจำลอง

### รายละเอียดของตัวแบบ SD



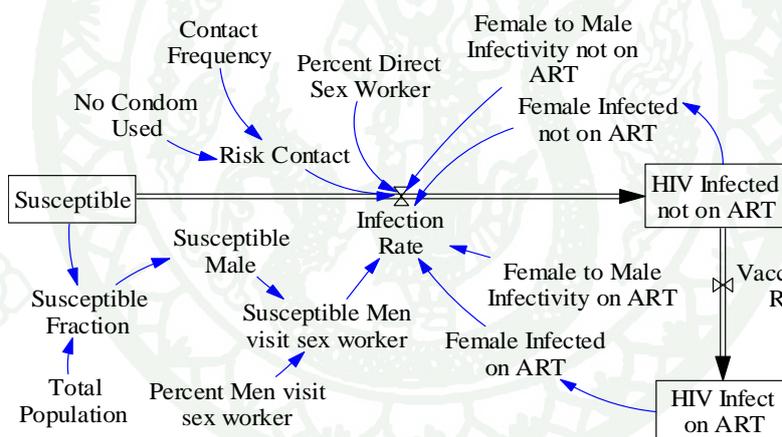
ภาพผนวกที่ ก1 โครงสร้างของตัวแบบ SD สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์ในไทย

ภาพที่ ก1 แสดงตัวแบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยปรับปรุงมาจากตัวแบบเอสไออาร์ของ Sterman (2000) ประกอบด้วย 5 สต็อก คือ ประชากรที่มีโอกาสรับเชื้อ, ประชากรที่ติดเชื้อเอชไอวีที่ไม่ได้รับวัคซีน (HIV Infected not on Antiretroviral therapy, ART), ประชากรที่ติดเชื้อเอชไอวีที่ได้รับวัคซีน (HIV Infected on Antiretroviral therapy), ประชากรที่ป่วยในระยะ เอดส์ (AIDS Population), และประชากรที่เสียชีวิตสะสม (Cumulative DESath Population) และอัตราการไหลเข้าออกจากสต็อก 7 อัตรา คือ อัตราการกลายเป็นประชากรที่มีโอกาสรับเชื้อ (Inflow to Susceptible), อัตราการเสียชีวิตของประชากรที่มีโอกาสรับเชื้อ (Susceptible DESath Rate), อัตราการติดเชื้อ (Infection Rate), อัตราการแสดงอาการของโรคของผู้ป่วยที่ไม่ได้รับวัคซีน (Symptom Acquisition Rate not on ART), อัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยโรคเอดส์ (AIDS DESath Rate), อัตราการรับวัคซีน (Vaccinated Rate) และ อัตราการแสดงอาการของผู้ป่วยที่ได้รับวัคซีน (Symptom Acquisition Rate on ART)

อัตราการกลายเป็นประชากรที่มีโอกาสรับเชื้อ เท่ากับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นแต่ละปี (Population Increase) ซึ่งคำนวณจากจำนวนประชากรในแต่ละปีที่มีอายุระหว่าง 15 ปีขึ้นไป และ อัตราการเสียชีวิตของประชากรที่มีโอกาสรับเชื้อ เท่ากับจำนวนเฉลี่ยของประชากรที่มีอายุ 15 ปีขึ้นไป ที่เสียชีวิตในแต่ละปี (Average People DESath) โดยใช้ข้อมูลจาก The Thai Working Group on HIV/AIDS Projection (2001)

อัตราการติดเชื้อแบ่งเป็นการติดเชื้อจากประชากรที่ติดเชื้อที่ได้รับวัคซีนในการรักษา และประชากรที่ติดเชื้อที่ไม่ได้รับวัคซีน ซึ่งมีความน่าจะเป็นในการติดเชื้อแตกต่างกัน ผู้วิจัยได้ข้อมูลการรับวัคซีนจากโครงการการเข้าถึงบริการยาต้านไวรัสระดับชาติ สำหรับผู้ติดเชื้อและผู้ป่วยเอดส์ และ Overview of the HIV EpiDESMic and the National HIV/AIDS Surveillance (Akarasewi, 2009) ที่ริเริ่มโดยรัฐบาลไทยในปี พ.ศ. 2544 ช่วยให้ผู้ป่วยและผู้ติดเชื้อเอดส์ทั่วประเทศสามารถเข้าถึงยาได้มากขึ้น คุณสมบัติของยาต้านไวรัสเอดส์จะช่วยลดความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อลง 60% (Porco *et al.*, 2004) และช่วยทำให้ผู้ป่วยมีอายุยืนยาวขึ้น 4-6 ปี (Chang *et al.*, 2003)

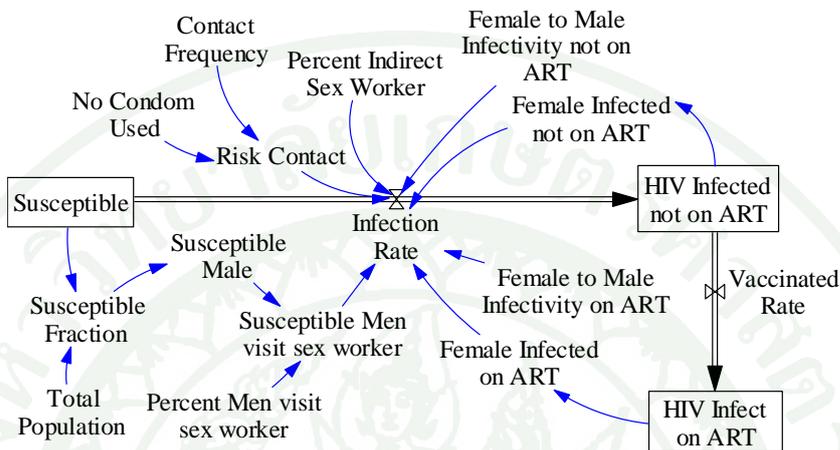
ประชากรที่ติดเชื้อทั้งที่ได้รับวัคซีนและไม่ได้รับวัคซีนแบ่งเป็นกลุ่มประชากรย่อยๆ อีก 4 กลุ่ม คือ กลุ่มหญิงขายบริการทางตรง (Direct Sex Worker), กลุ่มหญิงขายบริการทางอ้อม (Indirect Sex Worker), กลุ่มผู้ชายซึ่งแพร่เชื้อให้ภรรยา (General Men) และกลุ่มชายรักชาย (Men Who Have Sex With Men) ผู้วิจัยจะแสดงรายละเอียดการคำนวณอัตราการติดเชื้อจากประชากรแต่ละกลุ่มย่อยในภาพที่ ก2-ก5



ภาพผนวกที่ ก2 ตัวแบบพลวัตสำหรับการติดเชื้อจากกลุ่มหญิงขายบริการทางตรง

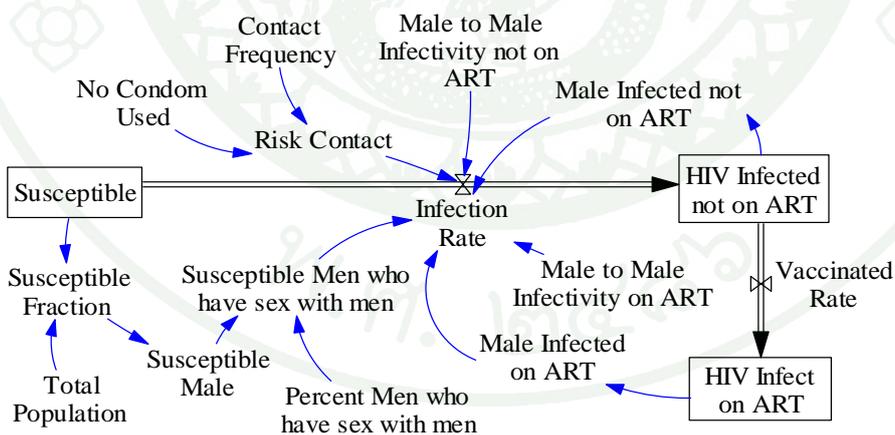
ภาพที่ ก2 แสดงรายละเอียดการติดเชื้อจากกลุ่มหญิงขายบริการทางตรง อัตราการติดเชื้อถูกคำนวณด้วยสมการที่ (4) เท่ากับสัดส่วนประชากรที่มีโอกาสรับเชื้อ คือ สัดส่วนประชากรชายที่ซื้อบริการจากหญิงขายบริการ (Susceptible males who visit sex worker) คูณกับจำนวนประชากรหญิงขายบริการทางตรงที่ติดเชื้อ คูณกับอัตราการติดต่อที่มีความเสี่ยง คูณกับความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อ โดยที่สัดส่วนประชากรชายที่มีโอกาสได้รับเชื้อมีค่าเท่ากับร้อยละของประชากรชายที่ซื้อบริการจากหญิงขายบริการคูณด้วยสัดส่วนประชากรชายทั้งหมด จำนวนประชากรหญิงขายบริการทางตรง เท่ากับร้อยละของหญิงขายบริการทางตรงคูณกับจำนวนหญิงที่ติดเชื้อ อัตราการติดต่อที่มี

ความเสี่ยงต่อปี (Risk contact with direct sex worker) คือ อัตราการติดต่อที่ไม่ใช้ถุงยางอนามัย ป้องกัน และความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อเมื่อผู้ป่วย ได้รับวัคซีนป้องกันและความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อเมื่อไม่ได้รับวัคซีน



ภาพผนวกที่ ก3 ตัวแบบพลวัตการติดเชื้อจากกลุ่มหญิงขายบริการทางอ้อม

ภาพที่ ก3 แสดงรายละเอียดของกลุ่มหญิงขายบริการทางอ้อมและอัตราการติดเชื้อ ซึ่งมีการคำนวณเหมือนกับอัตราการติดเชื้อจากกลุ่มหญิงขายบริการทางตรง

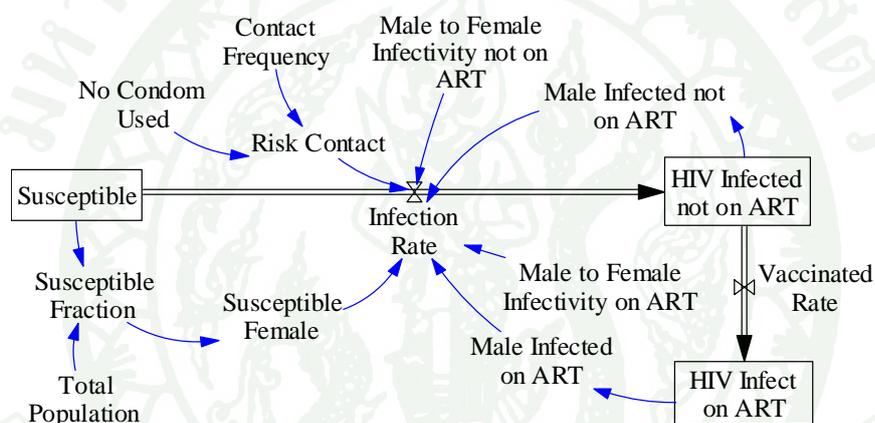


ภาพผนวกที่ ก4 ตัวแบบระบบพลวัตการติดเชื้อจากกลุ่มชายรักรัชาย

ภาพที่ ก4 แสดงอัตราการติดเชื้อของกลุ่มชายรักรัชาย คิดจากสัดส่วนประชากรชายรักรัชายที่มีโอกาสรับเชื้อคูณกับจำนวนประชากรชายที่ติดเชื้อ คูณกับอัตราการติดต่อปีที่มีความเสี่ยง คูณกับความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อ สัดส่วนประชากรที่ไม่มีโอกาสรับเชื้อ คิดจากร้อยละของประชากรชาย

รักษาคูณด้วยสัดส่วนประชากรชายทั้งหมด อัตราการติดต่อที่มีความเสี่ยงเท่ากับอัตราการติดต่อที่ไม่ใช้ถุงยางอนามัยและความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อเมื่อผู้ป่วยได้รับวัคซีนป้องกันและความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อเมื่อไม่ได้รับวัคซีน

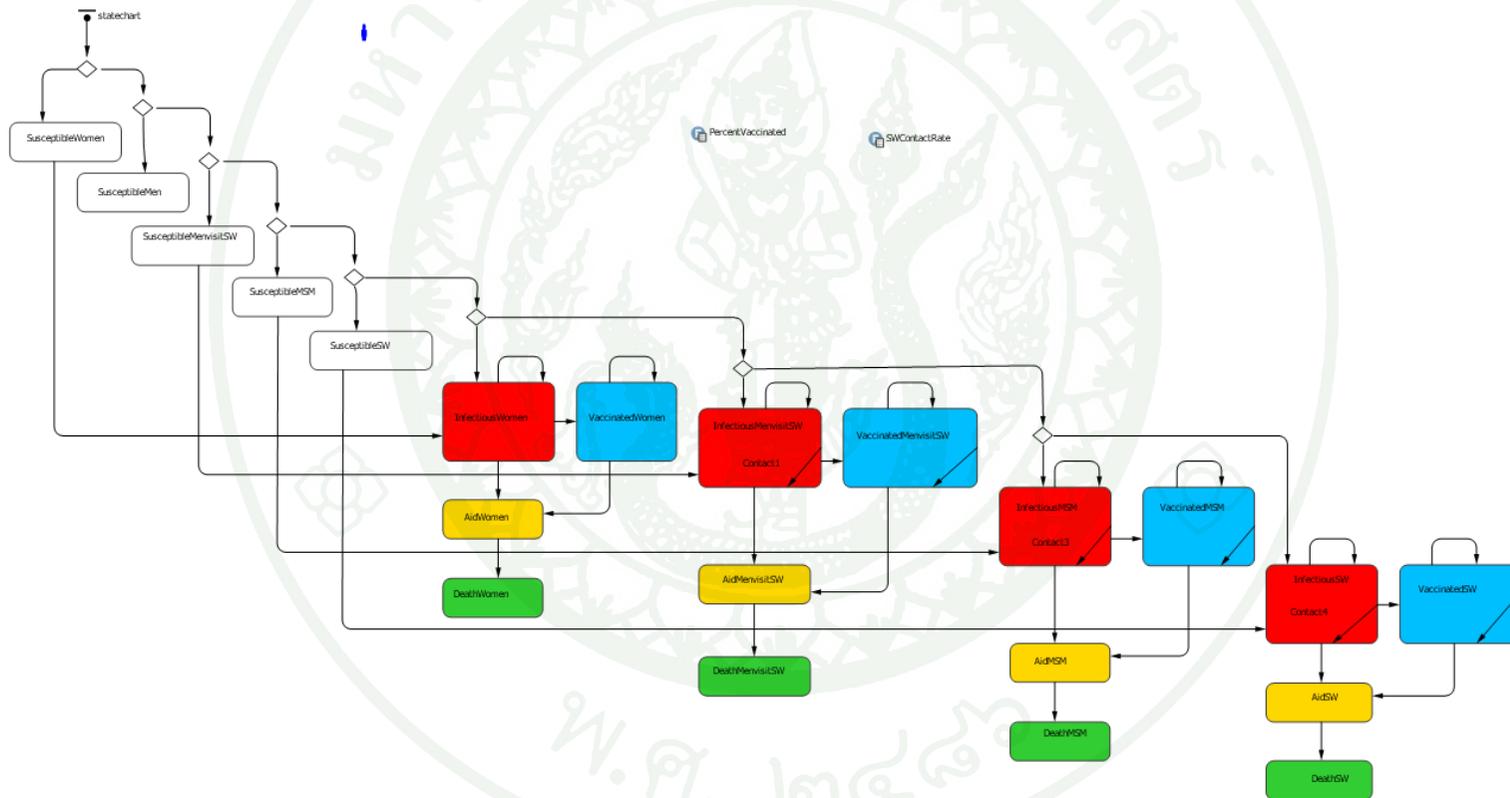
ภาพที่ ก5 อธิบายถึงอัตราการติดเชื้อจากกลุ่มชายสูงหญิงที่เป็นภรรยา เท่ากับ สัดส่วนประชากรหญิงที่มีโอกาสรับเชื้อ คูณจำนวนประชากรชายที่ติดเชื้อ คูณกับอัตราการติดต่อที่มีความเสี่ยงและความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อ โดยอัตราการติดต่อที่มีความเสี่ยงเท่ากับอัตราการติดต่อที่ไม่ใช้ถุงยางอนามัยและและความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อเมื่อผู้ป่วยได้รับวัคซีนป้องกันและความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อเมื่อไม่ได้รับวัคซีน



ภาพผนวกที่ ก5 ตัวแบบระบบพลวัตการติดเชื้อจากกลุ่มชายทั่วไปสู่ภรรยา

หลังจากรับเชื้อเอชไอวี ผู้ติดเชื้อที่ไม่ได้รับยาต้านไวรัสจะมีระยะฟักเชื้อ (Incubation Period) ประมาณ 10 ปี จากนั้นจะแสดงอาการของโรคและเข้าสู่ระยะเอดส์ โดยที่อัตราการแสดงอาการของโรค เท่ากับ จำนวนผู้ติดเชื้อที่ไม่ได้รับยาต้านไวรัส หาดด้วยระยะเวลาฟักเชื้อ ผู้ป่วยบางส่วนที่ได้รับยาต้านไวรัสจะมีอายุขัยเฉลี่ยมากขึ้นประมาณ 4-6 ปี (Chang *et al.*, 2003) ดังนั้นใน ตัวแบบจึงใช้ระยะฟักตัวของผู้ติดเชื้อที่ได้รับวัคซีน ประมาณ 15 ปี หลังจากนั้นผู้ติดเชื้อก็เข้าสู่ระยะเอดส์ และผู้ป่วยเอดส์จะมีอายุเฉลี่ยอยู่ได้ประมาณ 1 ปีก็จะเสียชีวิต (Focus, 2008)

รายละเอียดของตัวแบบ AB

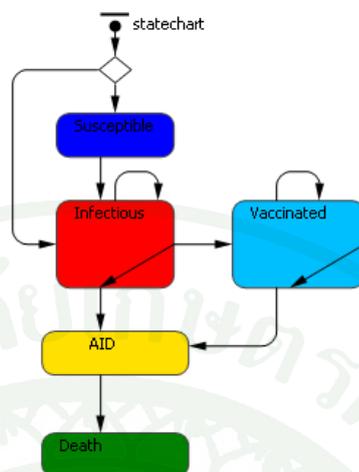


ภาพผนวกที่ 6 โครงสร้างของตัวแบบ ABS สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์ในไทย

ตัวแบบจำลองเริ่มต้นด้วย Agent ซึ่งอยู่ในสถานะของประชากรผู้มีโอกาสรับเชื้อ (Susceptible) และผู้ติดเชื้อที่ไม่ได้รับวัคซีน โดยผู้มีโอกาสรับเชื้อ 5 กลุ่ม คือ หญิงทั่วไป (SusceptibleWomen), ชายทั่วไป (SusceptibleMen), ชายที่ซื้อบริการจากหญิงขายบริการ (SusceptibleMenvisitSW), ชายรักร่วมเพศ (SusceptibleMSM) และ หญิงขายบริการ (SexWorker) และ สถานะผู้ติดเชื้อที่ไม่ได้รับวัคซีน 4 กลุ่ม คือ 5 กลุ่มดังที่กล่าวไปแล้วยกเว้นกลุ่มชายทั่วไปซึ่งเป็นชายที่ไม่ซื้อบริการจากหญิงขายบริการ จะสมมติฐานว่าประชากรกลุ่มนี้ไม่มีโอกาสติดเชื้อ ในแบบจำลองนี้กลุ่มหญิงขายบริการทั้งทางตรงและทางอ้อมจะถูกรวมเป็นกลุ่มเดียว เนื่องจากข้อจำกัดของโมเดลไม่สามารถสร้าง Agent เท่ากับจำนวนประชากรจริงขึ้นมาได้ จึงต้องลดสัดส่วนประชากรลงมา  $10^4$  เท่า และสัดส่วนของประชากรหญิงขายบริการทางตรงมีสัดส่วนน้อยมากทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าออกมาได้

ในปี พ.ศ. 2544 ประชากรที่ติดเชื้อบางส่วนจะได้รับวัคซีนจากโครงการการเข้าถึงบริการยาต้านไวรัสระดับชาติ สำหรับผู้ติดเชื้อและผู้ป่วยเอดส์ ที่ริเริ่มโดยรัฐบาลไทย ทำให้ประชากรที่ติดเชื้อบางส่วนเปลี่ยนสถานะเป็นผู้ติดเชื้อที่ได้รับวัคซีน

ภาพที่ ก7 แสดงแผนภูมิสถานะของ Agent ในแต่ละกลุ่มย่อยของของตัวแบบ ABS สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์ในไทย ซึ่งดัดแปลงมาจากแผนภูมิสถานะเอสไออาร์ของ XJ Technologies (2006) ในภาพที่ 8 และใช้ข้อมูลเดียวกับตัวแบบ SD สำหรับการแพร่กระจายของโรคเอดส์ แรกเริ่มมีประชากรซึ่งมีสถานะผู้รับเชื้อ (Susceptible) และสถานะผู้ติดเชื้อที่ไม่ได้รับวัคซีน (Infectious) ต่อมาประชากรที่ติดเชื้อบางส่วนที่ได้รับวัคซีน ก็จะเข้าสู่สถานะผู้ติดเชื้อที่ได้รับวัคซีน (Vaccinated) ประชากรทั้ง 3 กลุ่มนี้ มีการติดต่อกันด้วยอัตราคงที่ เท่ากับอัตราการติดต่อ (Contact Rate) โดยที่การติดต่อในแต่ละครั้งประชากรผู้ติดเชื้อ จะส่งผ่านข้อความ “ Infect ! ” ไปสู่ประชากรในสถานะอื่นๆ โดย หลังจากการติดต่อกับผู้รับเชื้อเป็นผู้ที่มีโอกาสรับเชื้อ ก็จะเปลี่ยนสถานะมาเป็นผู้ติดเชื้อด้วยความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อ แต่ถ้าผู้รับเชื้อเป็นผู้ติดเชื้อ หรือผู้ติดเชื้อที่ได้รับวัคซีนประชากรทั้งสองสถานะจะคงสถานะเดิมไว้ หลังจากผ่านไประยะเวลาหนึ่ง (10 ปี สำหรับผู้ติดเชื้อที่ไม่ได้รับวัคซีนใช้เวลา และประชากรที่ได้รับวัคซีนใช้เวลา 15 ปี) ประชากรก็จะเข้าสู่ระยะเอดส์และหลังจากนั้นอีก 1 ปี ก็จะเสียชีวิตตามลำดับ



ภาพผนวกที่ ก7 ตัวอย่างแผนภูมิสถานะของ Agent ของตัวแบบ ABS

การแพร่กระจายของโรคจะแพร่จากบุคคลหนึ่งไปสู่อีกบุคคลหนึ่ง ซึ่งอยู่ในกลุ่มประชากรที่ต่างกัน โดยจะเกิดจาก 3 กรณีคือ ชายที่ซื้อบริการจากหญิงขายบริการทางเพศที่ติดเชื้อแพร่เชื้อให้หญิงขายบริการและภรรยาของเขา, ประชากรในกลุ่มชายรักชายที่ติดเชื้อจะแพร่เชื้อในเฉพาะกลุ่มชายรักชาย และกลุ่มหญิงขายบริการที่ติดเชื้อจะแพร่เชื้อให้แก่ชายที่มาซื้อบริการ ส่วนประชากรหญิงทั่วไปที่เป็นภรรยาของชายที่ซื้อบริการจะเป็นกลุ่มที่ไม่แพร่เชื้อให้ประชากรกลุ่มอื่น แต่จะมีโอกาสติดเชื้อจากสามีตัวเองเท่านั้น



ภาคผนวก ข  
พารามิเตอร์นำเข้า

ตารางผนวกที่ ข1 จำนวนผู้ป่วยเอดส์ในแต่ละปีคำนวณจากจำนวนผู้ป่วยรายใหม่ในแต่ละปีและจำนวนผู้ป่วยที่เสียชีวิตในแต่ละปี

ปี	จำนวนผู้ป่วยเอดส์ (คน)		
	ผู้ป่วยรายใหม่*	เสียชีวิต*	ผู้ป่วยแต่ละปี
2527	27	4	23
2528	3	1	25
2529	2	0	27
2530	10	4	33
2531	17	8	42
2532	35	14	63
2533	123	44	142
2534	484	137	489
2535	1,519	554	1,454
2536	5,853	1,621	5,686
2537	12,794	3,703	14,777
2538	19,232	5,622	28,387
2539	24,264	6,936	45,715
2540	26,468	7,816	64,367
2541	27,280	8,987	82,660
2542	27,400	9,091	100,969
2543	26,864	8,436	119,397
2544	25,927	8,503	136,821
2545	25,839	8,016	154,644
2546	27,343	7,615	174,372
2547	30,301	6,499	198,174
2548	23,550	4,478	217,246

ที่มา: \*EpiDESmiological Information Section Bureau of EpiDESmiology (2009)

ตารางผนวกที่ ข2 พารามิเตอร์นำเข้า

YEAR	M_total	F_total	F_dsw	F_isw	M_DES	F_DES	M_clie	C_dsw	C_isw	C_c	CR_dsw	CR_is	CR-c
1997	21969	22301	11.9	54.1	227	189	2023	0.79	0.21	0.12	1342	274	45
1998	22320	22672	11.5	52.4	220	179	2055	0.82	0.18	0.12	1342	274	45
1999	22673	23049	12.4	56.7	218	176	2088	0.85	0.15	0.12	1342	274	45
2000	23023	23425	12.4	56.7	271	236	2120	0.85	0.15	0.12	1342	274	45
2001	23315	23737	12.4	56.7	262	228	2147	0.85	0.15	0.12	1342	274	45
2002	23612	24053	12.4	56.7	251	220	2174	0.85	0.15	0.12	1342	274	45
2003	23916	24373	12.4	56.7	245	213	2202	0.85	0.15	0.12	1342	274	45
2004	24222	24697	12.4	56.7	232	204	2230	0.85	0.15	0.12	1342	274	45
2005	24537	25027	12.4	56.7	288	252	2259	0.85	0.15	0.12	1342	274	45

ที่มา: The Thai Working Group on HIV/AIDS Projection (2001)

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

YEAR	M_total	P_msm*	CR_msmmm	C_msm*	Pf-m	Pm-f	Pm-m	P_ART***
1997	21969	0.03	36.5	0.25	0.00056	0.00193	0.0062	0
1998	22320	0.03	36.5	0.25	0.00056	0.00193	0.0062	0
1999	22673	0.03	36.5	0.25	0.00056	0.00193	0.0062	0
2000	23023	0.03	36.5	0.25	0.00056	0.00193	0.0062	0
2001	23315	0.03	36.5	0.25	0.00056	0.00193	0.0062	1710
2002	23612	0.03	36.5	0.25	0.00056	0.00193	0.0062	3640
2003	23916	0.03	36.5	0.25	0.00056	0.00193	0.0062	19551
2004	24222	0.03	36.5	0.25	0.00056	0.00193	0.0062	58133
2005	24537	0.03	36.5	0.3	0.00056	0.00193	0.0062	88261

ที่มา: The Thai Working Group on HIV/AIDS Projection (2001)

\*The Thai Working Group on HIV/AIDS Projection (2001), \*\* Imrie *et al.* (2010), \*\*\* Akarasewi (2009)

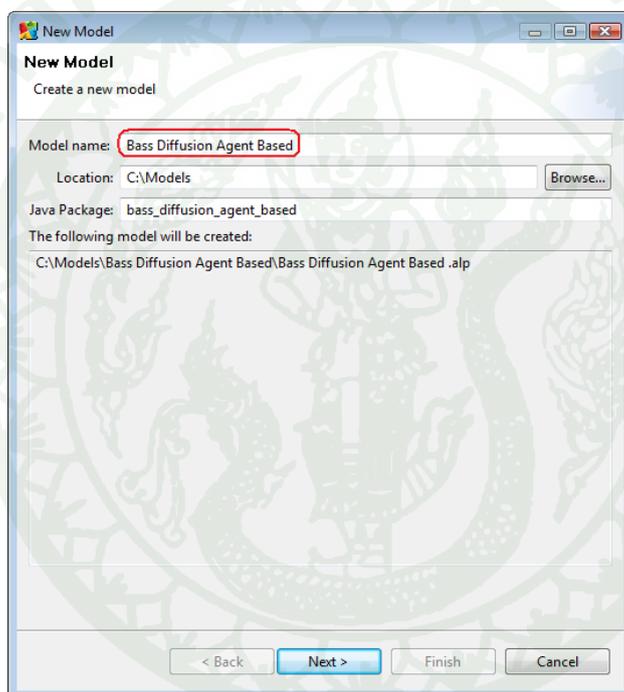


ภาคผนวก ค  
คู่มือการใช้โปรแกรม AnyLogic 6.5

## คู่มือการใช้โปรแกรม AnyLogic 6.5

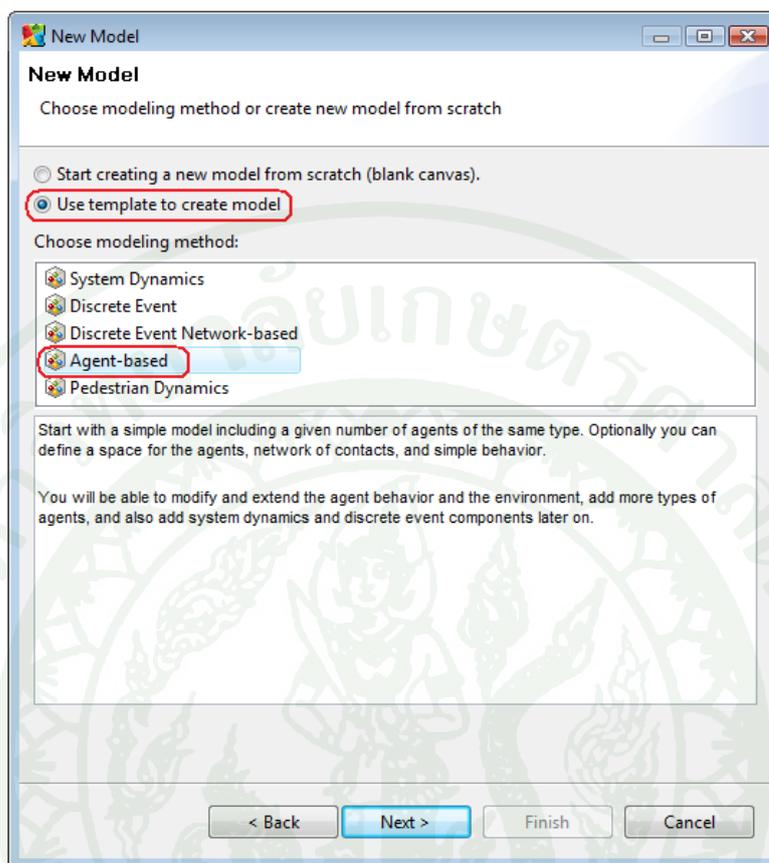
### 1. สร้างตัวแบบ ABS อย่างง่าย

- 1.1 เลือกปุ่ม New MoDESI  จากแถบการใช้งาน จากนั้นแบบจำลองใหม่จะแสดงออกมา
- 1.2 ระบุชื่อของแบบจำลอง ในช่อง MoDESI name ตัวอย่าง ระบุชื่อ Bass Diffusion Agent-Based
- 1.3 ระบุที่ๆต้องการจะบันทึกแบบจำลอง



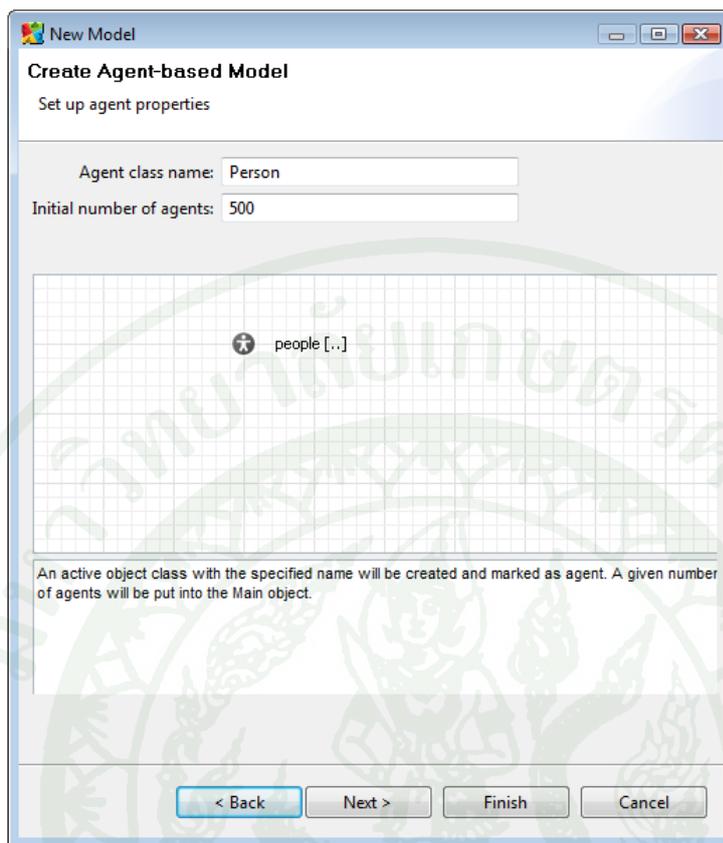
### ภาพผนวกที่ ๑1 การกำหนดชื่อแบบจำลองใหม่ใหม่ในโปรแกรม AnyLogic

- 1.4 กดปุ่ม Next เพื่อที่จะเข้าสู่หน้าถัดไปของแบบจำลอง
- 1.5 เลือก Use template to create a moDESI และเลือก Agent-based ซึ่งอยู่ด้านล่าง การทำเช่นนี้เป็นการบอกกับโปรแกรมว่าต้องการที่จะใช้รูปแบบ ABS สำหรับการพัฒนาตัวแบบจำลองใหม่ จากนั้นเลือก Next เพื่อไปสู่นำหน้าต่อไป



ภาพผนวกที่ ค2 การเลือกระบบ ABS เพื่อสร้างแบบจำลองใหม่ในโปรแกรมAnyLogic

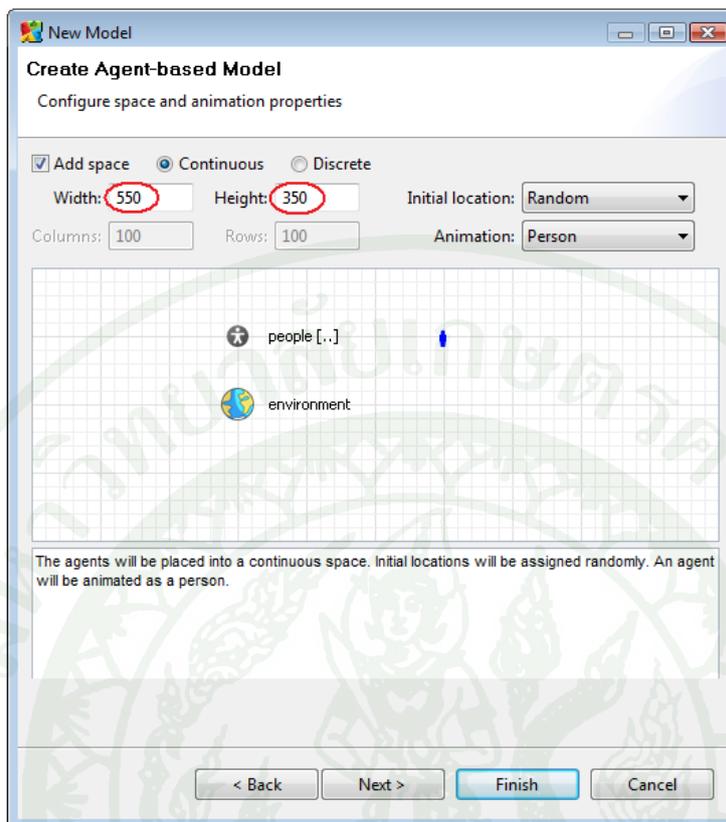
- 1.6 ABS ประกอบด้วยชุดของ Agent และ สิ่งแวดล้อมซึ่ง Agent อาศัยอยู่ เพื่อสร้าง Agent ในโปรแกรม AnyLogic สามารถกำหนดโครงสร้างภายในของ Agent แต่ละ Agent โดยใช้ active object class ตรงจุดนี้สามารถกำหนดชื่อของ active object class ซึ่งจะจำลองตัว Agent ตัวอย่าง พิมพ์ชื่อ Person ลงในช่อง Agent class name
- 1.7 ระบุจำนวน Agent ในแบบจำลอง ตัวอย่าง พิมพ์ 500 ลงในช่อง Initial number of agents โปรแกรมจะสร้าง Person class จำนวน 500 ซึ่งแต่ละ Person ในตัวอย่างนี้คือ Agent ที่เป็น ลูกค้า



ภาพผนวกที่ ค3 การกำหนดจำนวนทำซ้ำของ Agent ใน โปรแกรม AnyLogic

1.8 กด Next. ในหน้าต่อไปเป็นการตั้งค่าสำหรับมิติของพื้นที่สี่เหลี่ยม ตัวอย่างพิมพ์ 550 ในช่อง Width และ 350 ในช่อง Height ตอนนี้ Agent ปรากฏในพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 550\*350 pixels

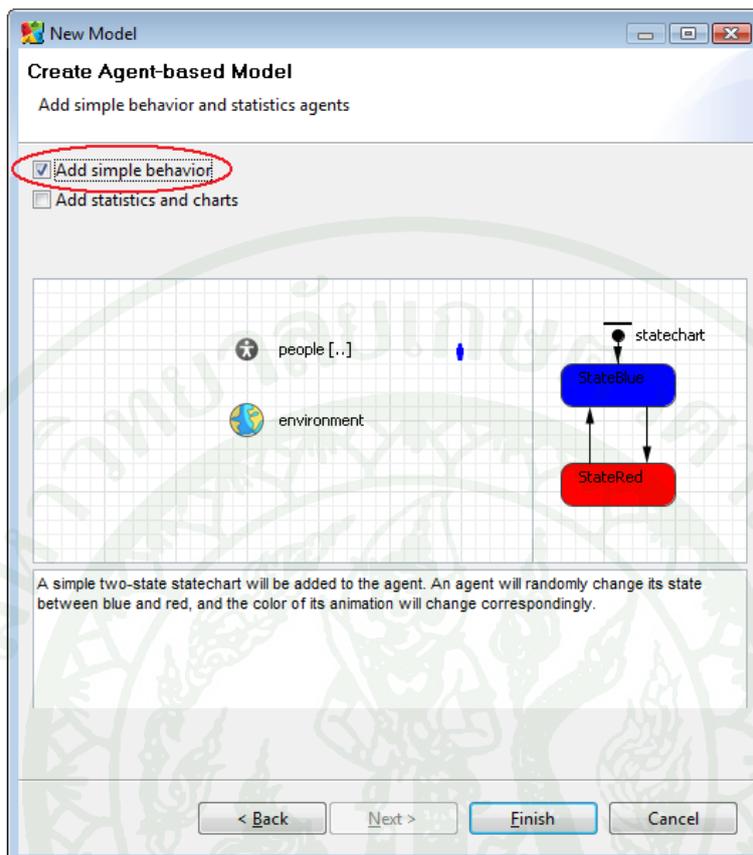
1.9 กด Next. ในหน้าถัดไป เลือก Use network และ Show links นี่เป็นการระบุการติดต่อแบบสุ่มระหว่าง Agent การเชื่อมการติดต่อนี้จะแสดงโดยเส้นที่เชื่อมระหว่าง Agent เข้าด้วยกัน



ภาพผนวกที่ ค4 การกำหนดขนาดของสิ่งแวดล้อมในโปรแกรม AnyLogic

1.10 กด Next. เลือก Add simple behavior การทำเช่นนี้เป็นการบอกโปรแกรมว่าต้องการให้ Agent มีพฤติกรรมซึ่งกำหนดโดยแผนภูมิสถานะ (statechart)

1.11 กด Finish เพื่อจบกระบวนการสร้าง

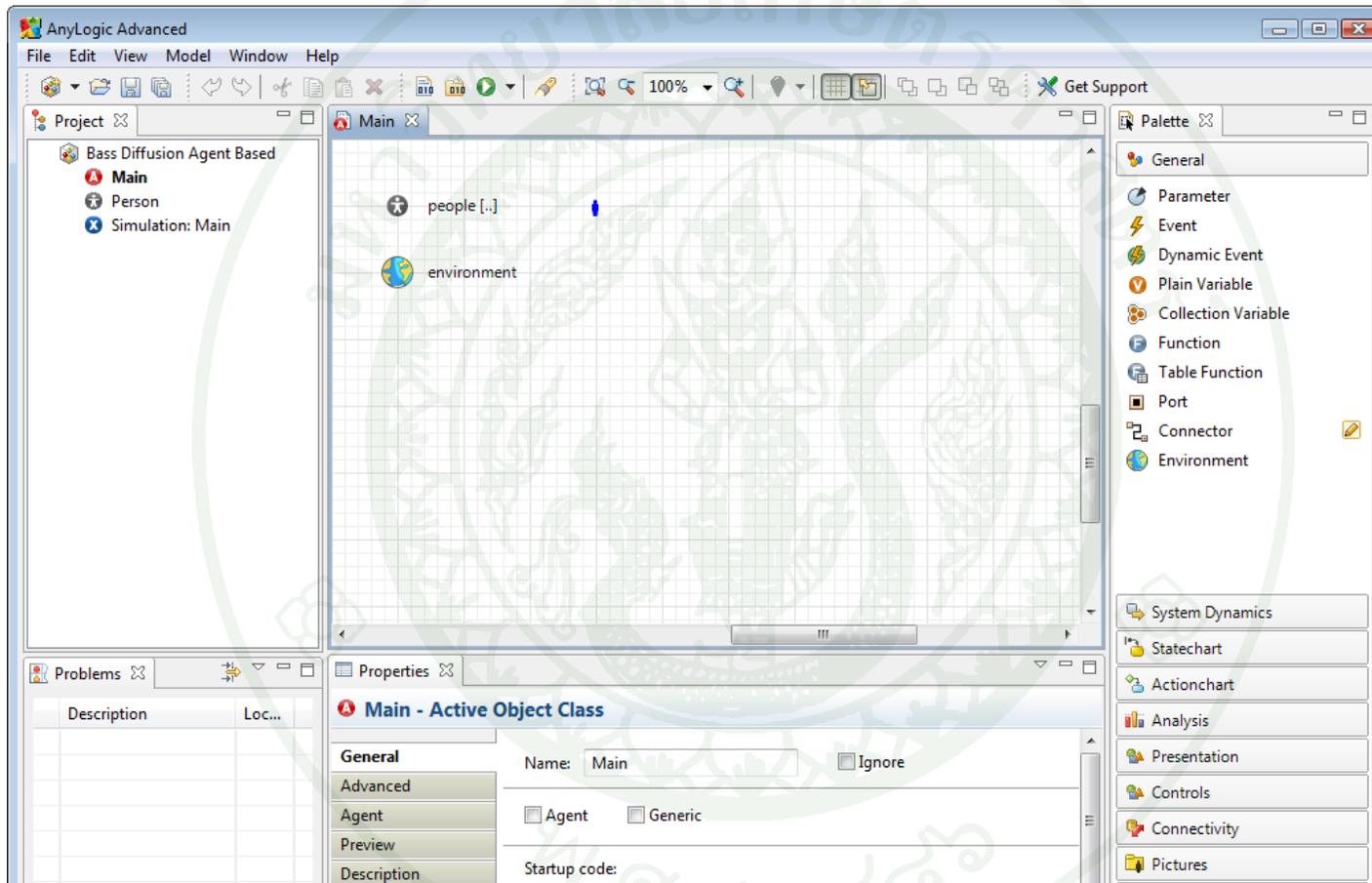


ภาพผนวกที่ ค5 การกำหนดให้ Agent มีพฤติกรรมซึ่งกำหนดโดยแผนภูมิสถานะ

เมื่อเสร็จแล้ว จะพบแบบตัวแบบ ABS ที่สร้างขึ้น ตัวแบบจะประกอบด้วย ส่วน Main และ Person และ ส่วนการทดลองที่เรียกว่า Simulation

- Person class คือส่วนของ agent class ใน class นี้จะประกอบด้วยภาพของ Agent และ แผนภูมิสถานะที่กำหนดพฤติกรรมของ Agent
- Main class ประกอบด้วยวัตถุสิ่งแวดล้อม (Environment object) และ object people ที่ถูกสร้างขึ้น สิ่งแวดล้อมจะครอบคลุมถึงพื้นที่ (space), โครงข่าย (network), และการติดต่อสื่อสารของ Agent

ส่วนของพื้นที่ทำงานด้านซ้ายของการจัดการกราฟฟิค คือ Projects ซึ่งจะแสดงแบบจำลองที่เปิดใช้งานอยู่ในส่วนพื้นที่การทำงานปัจจุบัน ด้านขวา คือ ส่วนของ Palette เป็นส่วนเครื่องมือที่ช่วยในการวาดแผนภาพและด้านล่างคือ Properties เป็นส่วนแสดงคุณลักษณะของส่วนที่เลือก



ภาพผนวกที่ ๑๖ พื้นที่ทำงานของตัวแบบ ABS โปรแกรม AnyLogic

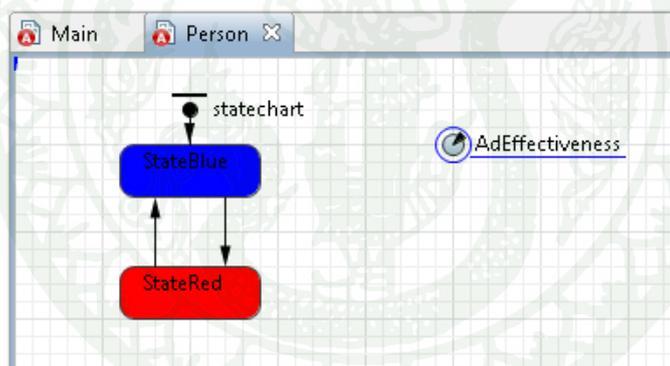
## 2. การสร้างแผนภูมิสถานะ (Statechart)

ตัวแบบ ABS ประกอบด้วย Agent จำนวนมากและสิ่งแวดล้อม ทุกๆ Agent จะประกอบด้วยชุดของกฎที่กำหนดสำหรับการติดต่อสื่อสารกับ Agent อื่น การติดต่อนี้จะทำให้เกิดระบบของพฤติกรรม ต่อจากนี้จะเป็นตัวอย่างการกำหนดพฤติกรรมของ Agent โดยใช้ แผนภูมิสถานะของตัวแบบการซื้อสินค้าจากอิทธิพลของการโฆษณา ซึ่งจะทำการสร้างพารามิเตอร์ต่างๆใน Person class

ในตัวแบบนี้ปริมาณของการโฆษณา และความน่าจะเป็นที่ผู้ซื้อจะเป็นลูกค้าจะซื้อสินค้า ถูกสมมติว่าเป็นค่าคงที่ในแต่ละช่วงเวลา แทนด้วยพารามิเตอร์ การโฆษณาที่ประสบผลสำเร็จ (ADESffectness) คือ สัดส่วนของอัตราการซื้อที่มีผลมาจากจากโฆษณา

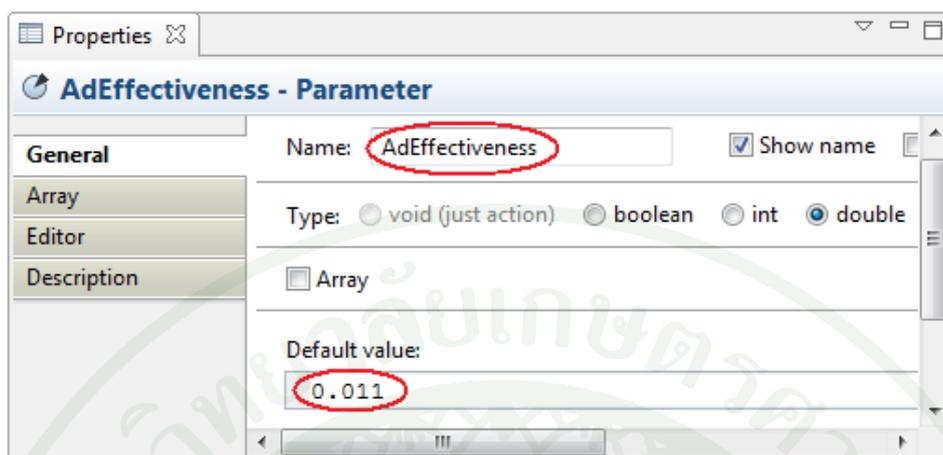
2.1 เปิด Person class diagram ซึ่งอยู่ในส่วนของ Projects

2.2 ลาก Parameter  จากส่วน General ของ Palette มาในแผนภาพ



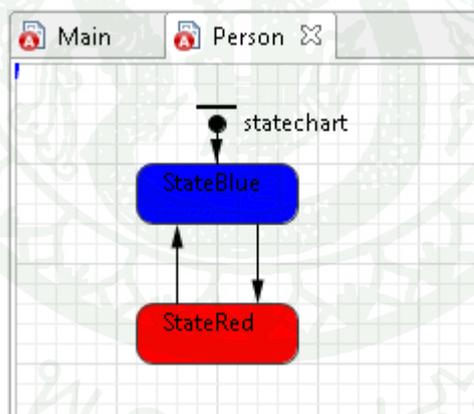
ภาพผนวกที่ ๑๗ การสร้างแผนภูมิสถานะของ Agent ในโปรแกรม

2.3 ทำการเปลี่ยนคุณสมบัติโดยไปที่แถบ General ของ Propertie ตั้งค่าคุณสมบัติของพารามิเตอร์โดยพิมพ์ชื่อ ADESfectiveness ในช่อง Name และตั้งค่า DESfault Value เท่ากับ 0.01



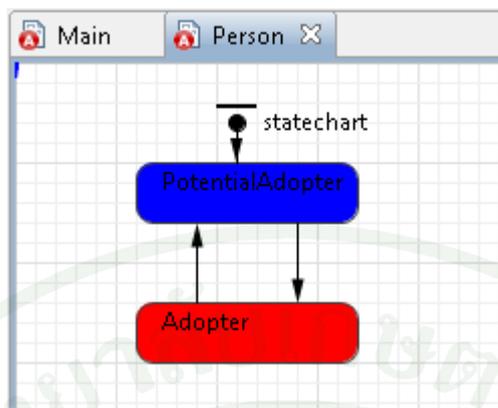
ภาพผนวกที่ ๘ การกำหนดค่าและชื่อของพารามิเตอร์

ต่อมาจะเป็นการกำหนดพฤติกรรมของ Agent โดยใช้ แผนภูมิสถานะ เมื่อเปิดแผนภาพของ Person class จะเป็นแผนภูมิสถานะที่ประกอบด้วย 2 สถานะ โดยอัตโนมัติ



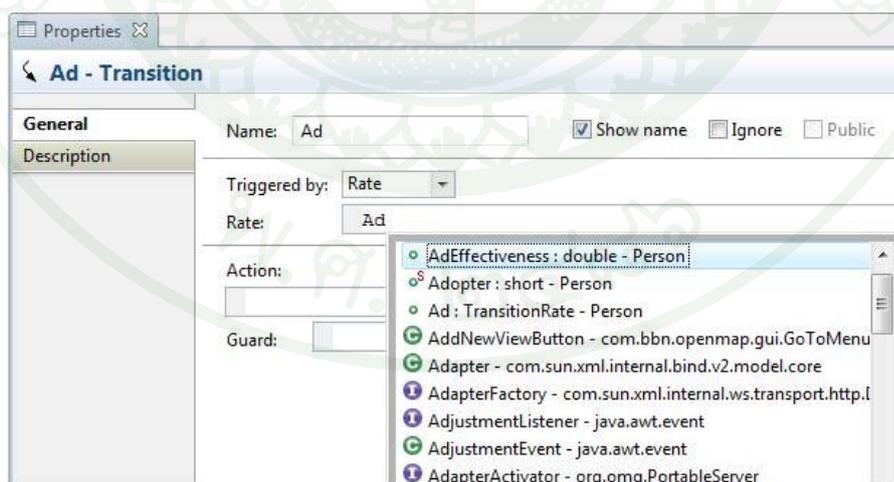
ภาพผนวกที่ ๙ แผนภูมิสถานะเริ่มต้น

1. เปลี่ยนชื่อของ สถานะทั้งสอง เป็น PotentialAdopter. คือ ลูกค้าที่มีความสนใจที่จะซื้อสินค้า (เป็นสถานะแรกของแผนภูมิสถานะ Agent ที่เข้ามาสู่ระบบจะอยู่ในสถานะนี้ จนกว่าจะถูกกระตุ้น) และ Adopter คือลูกค้าที่ซื้อสินค้าเรียบร้อยแล้ว (Agent จะเปลี่ยนมาอยู่ในสถานะนี้เมื่อถูกกระตุ้น)



ภาพผนวกที่ 10 การเปลี่ยนค่าแผนภูมิสถานะ

- 2.4 เปลี่ยนคุณสมบัติของการส่งผ่าน (Transition) จาก PotentialAdopterสู่ Adopter โดยให้ชื่อว่า Ad และเลือกให้แสดงชื่อ การส่งผ่านนี้จำลองการซื้อสินค้า เวลาที่ต้องการในการซื้อขึ้นกับการโฆษณา ดังนั้นการส่งผ่านนี้ต้องเกิดขึ้นด้วยอัตราการโฆษณาที่ประสบความสำเร็จ (ADESffectness Rate)
- 2.5 ไปที่หน้า General ของคุณสมบัติของการส่งผ่าน เลือกอัตรา (Rate) จากนั้นพิมพ์ ADESffectiveness ในช่องของอัตราด้านล่าง



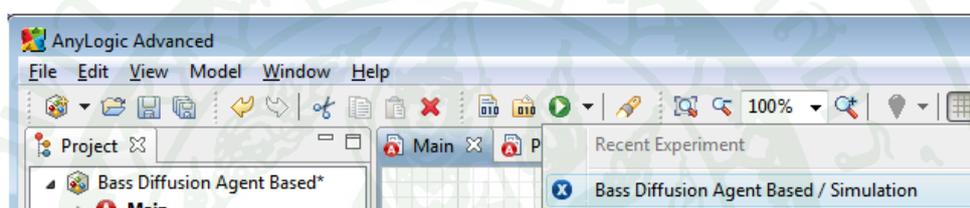
ภาพผนวกที่ 11 การตั้งค่าการส่งผ่าน(Transition)

1.6 ลบการส่งผ่านจากสถานะล่างขึ้นสู่สถานะบน เพราะสมมติฐานว่าลูกค้าจะไม่เปลี่ยนการตัดสินใจในการซื้อ

2. การประมวลผล

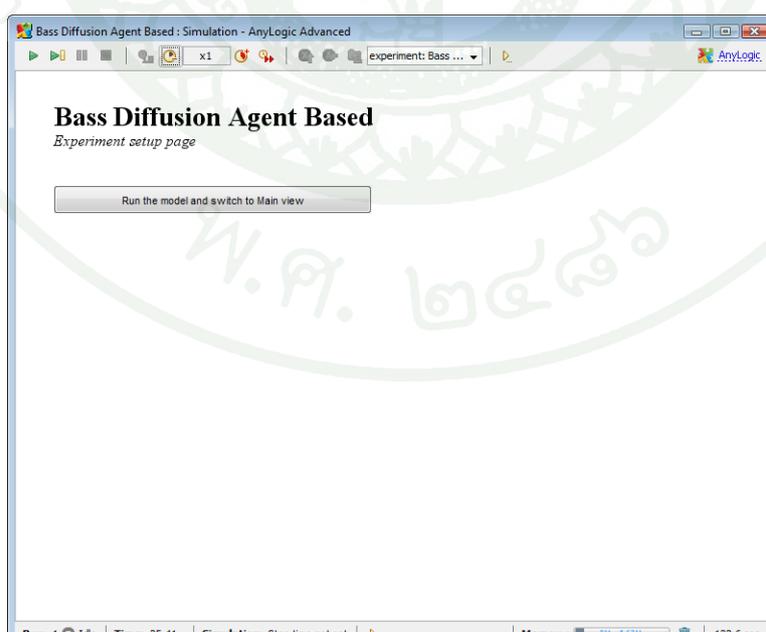
3.1 สร้างโครงการโดยเลือก Build MoDESI  ที่แถบเครื่องมือ ถ้ามีการจัดซ้ของโปรแกรมจะแสดงปัญหาในส่วนของ Problems ทำการคลิกสองครั้งเพื่อเข้าไปแก้ไข

3.2 เมื่อโครงการถูกสร้างแล้ว ให้เลือก Run  ที่แถบเครื่องมือและเลือกการทดลองที่ต้องการ เช่น ในตัวอย่างนี้เลือก Bass Diffusion Agent-Based



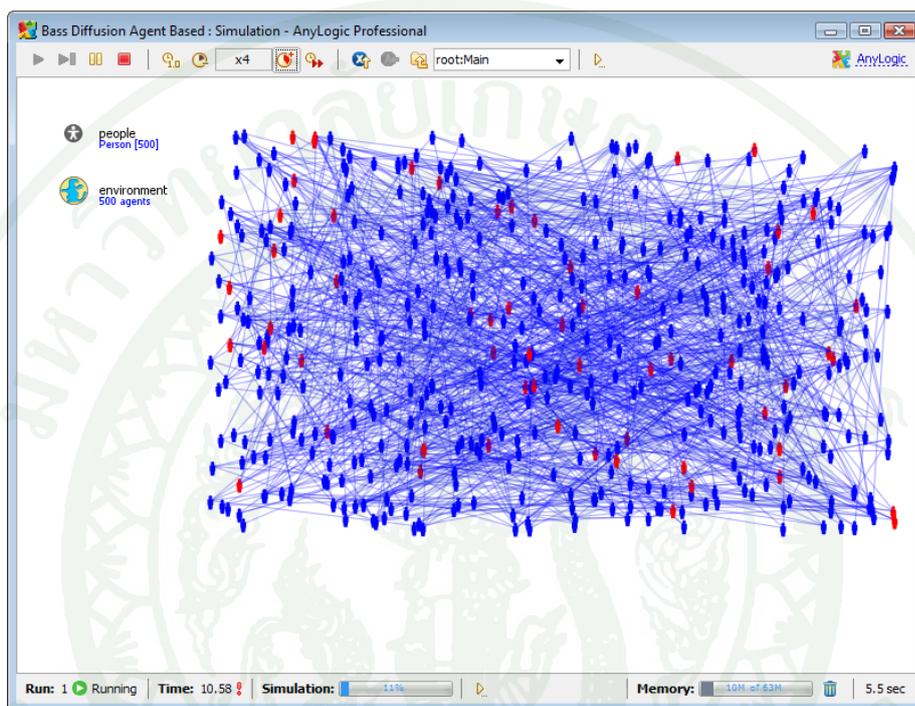
ภาพผนวกที่ ค13 การเลือกแบบจำลองสำหรับประมวลผล

3.3 เมื่อเริ่มประมวลผลจะเป็นหน้าแสดงผลขึ้นมา



ภาพผนวกที่ ค14 หน้าแสดงผลของโปรแกรม AnyLogic

3.4 กดที่ปุ่ม Run the model and switch to Main view และสังเกตกระบวนการซื้อสินค้า จะเห็น Agent บนพื้นที่ขนาด 550\*350 พิกเซล ลูกค้าผู้ซื้อผลิตภัณฑ์และผู้ที่อาจจะเป็นลูกค้า จะแสดงให้เห็นด้วยสี ที่ต่างกัน ลูกค้าจะแสดงด้วยสีแดง ส่วนผู้ที่อาจจะเป็นลูกค้าจะแสดงด้วยสีน้ำเงิน ผลของการโฆษณาจะทำให้ผู้ที่อาจจะเป็นลูกค้าเปลี่ยนมาเป็นลูกค้าด้วยสัดส่วนคงที่ต่อหน่วยเวลา



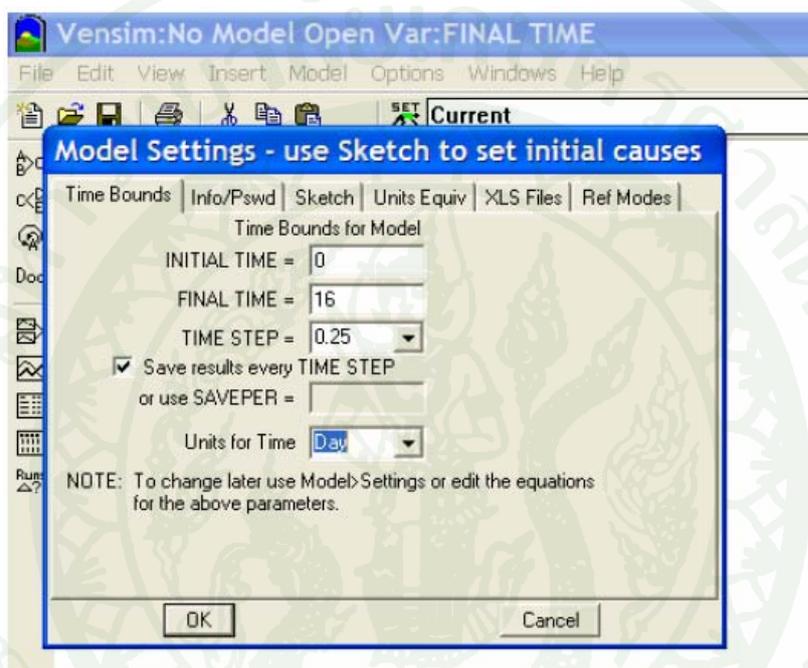
ภาพผนวกที่ ค15 การแสดงผลการประมวลผลของโปรแกรม AnyLogic



ภาคผนวก ง  
คู่มือการใช้โปรแกรม Vensim PLE

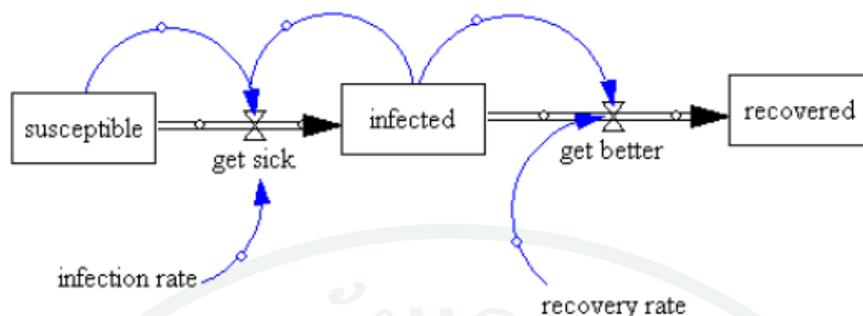
## คู่มือการใช้โปรแกรม Vensim PLE

1. เปิดโปรแกรม Vensim และสร้างแบบจำลองใหม่ (File->New).
2. ตั้งค่าเวลา เช่น เลือกเวลาสิ้นสุดเท่ากับ 16 วัน ระวังหน่วยของแบบจำลอง และก้าวอย่างเวลา (Time Step) เท่ากับ 0.25.



ภาพผนวกที่ ๑1 การตั้งค่าเวลาในโปรแกรม Vensim

3. ตัวอย่างที่กำลังสร้างคือแบบจำลอง SIR (susceptible-infected-recovered) ของไข้หวัด ในแบบจำลอง SIR ประชากรที่มีโอกาสรับเชื้อจะติดเชื้อจากผู้ป่วยที่สามารถแพร่เชื้อ และหลังจากผู้ป่วยมีอาการดีขึ้นแล้ว จะกลายเป็นผู้ฟื้นตัวและมีภูมิคุ้มกันและจะไม่ป่วยอีกเป็นครั้งที่สอง ในการสร้างแบบจำลองนี้ใน Vensim ขั้นตอนแรกจะวาด แผนภาพ System Dynamics ขึ้นมาก่อน ดังลักษณะนี้



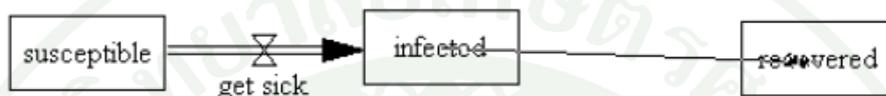
ภาพผนวกที่ 32 แผนภาพ System Dynamics ของแบบจำลอง SIR

4. เริ่มสร้างแบบจำลอง โดยการสร้างสต็อก (stocks) หรือกล่องตัวแปร (box variables) คลิกที่กล่องตัวแปรที่แถบเครื่องมือ แล้วนำมาคลิกที่จอ พิมพ์ชื่อตัวแปรแล้วกด Enter ต่อจากนั้นก็สร้างสต็อกอื่นๆจนเสร็จ



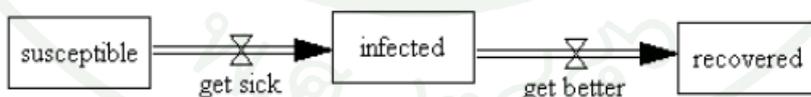
ภาพผนวกที่ 33 การสร้างสต็อก (stocks) หรือกล่องตัวแปร (box variables)

5. สร้างการไหล ในที่นี้ต้องการการไหลจากผู้มีโอกาสรับเชื้อไปสู่ผู้ติดเชื้อ และจากผู้มีอาการป่วยไปสู่ผู้ที่ฟื้นตัว เลือกเครื่องมือที่มีลักษณะเป็นลูกศรหนา (ดังรูป) จากแถบเครื่องมือ คลิกที่จุดศูนย์กลางของจุดตั้งต้นของการไหลและคลิกอีกครั้งที่ศูนย์กลางของจุดสิ้นสุดของการไหล



ภาพผนวกที่ 4 การสร้างการไหลระหว่างสต็อก

6. สร้างค่าคงที่และการคำนวณอย่างง่าย โดยในกรณีนี้ต้องการค่าคงที่สองตัวคือ อัตราการติดเชื้อ (get sick) และอัตราการฟื้นตัว (get better) ซึ่งสร้างโดยเลือกเครื่องมือตัวแปร (ไม่มีกล่อง) จากแถบเครื่องมือ คลิกบนจอและพิมพ์ตัวแปรที่ต้องการ

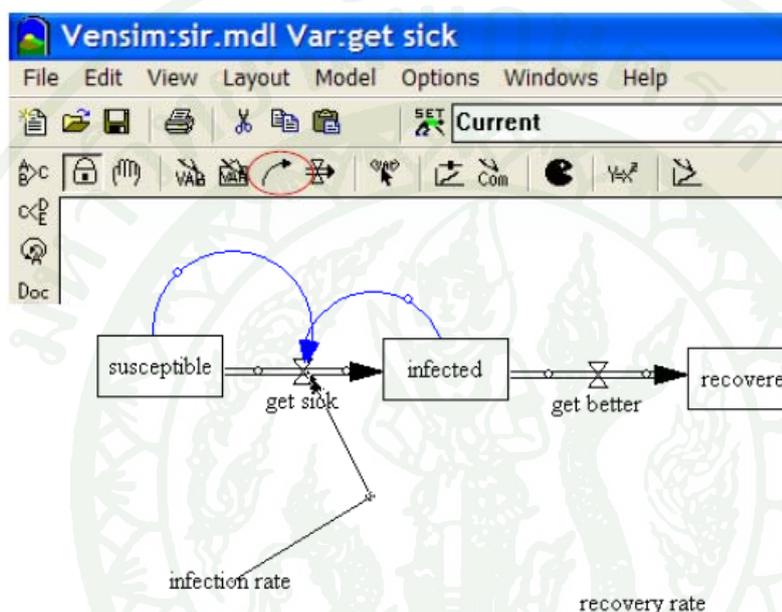


infection rate

recovery rate

ภาพผนวกที่ 5 การสร้างตัวแปรซึ่งเป็นค่าคงที่

7. การจะสร้างการไหลขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรในระบบ เช่น ในแบบจำลอง SIR อัตราการป่วย (get sick) ขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรที่สามารถรับเชื้อ, จำนวนประชากรที่แพร่เชื้อ, และอัตราการติดเชื้อ การฟื้นตัว (get better) ขึ้นอยู่กับอัตราการฟื้นตัว, จำนวนผู้ป่วย, และประสิทธิภาพในการฟื้นตัว เพื่อเพิ่มความสัมพันธ์ในแบบจำลอง เลือกเครื่องมือที่มีลักษณะเป็น ลูกศรโค้ง คลิกที่จุดเริ่มต้นของความสัมพันธ์ไปหาเป้าหมายของความสัมพันธ์



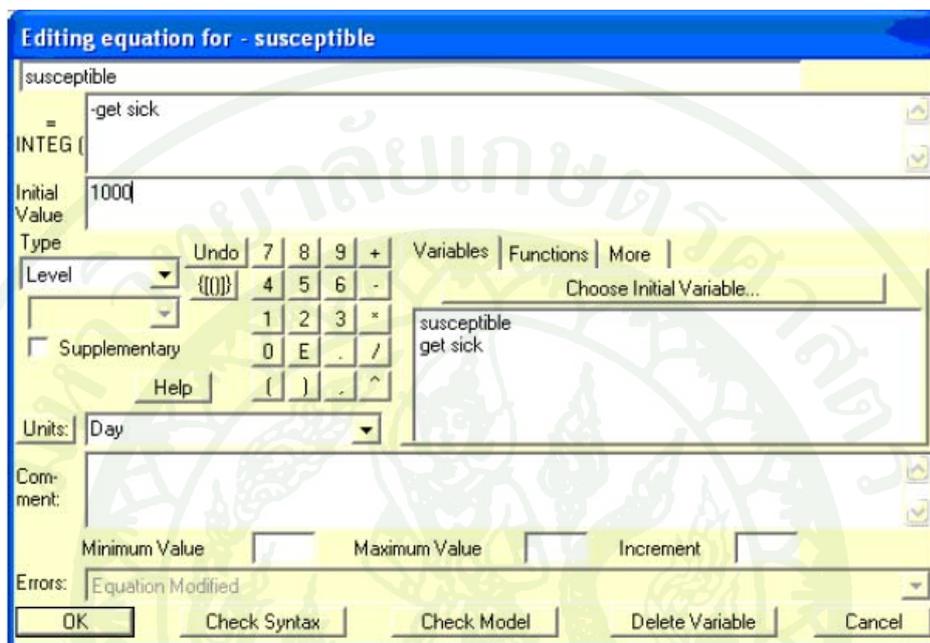
ภาพผนวกที่ 6 การสร้างความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร

8. ณ จุดนี้ แผนภาพของแบบจำลองสร้างเสร็จแล้ว แต่แบบจำลองยังไม่สมบูรณ์ ต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้แบบจำลอง กติที่ปุ่ม ( $Y=x^2$ ) จะสังเกตว่าแต่ละหน่วยย่อยบนจอจะถูกป้ายสี



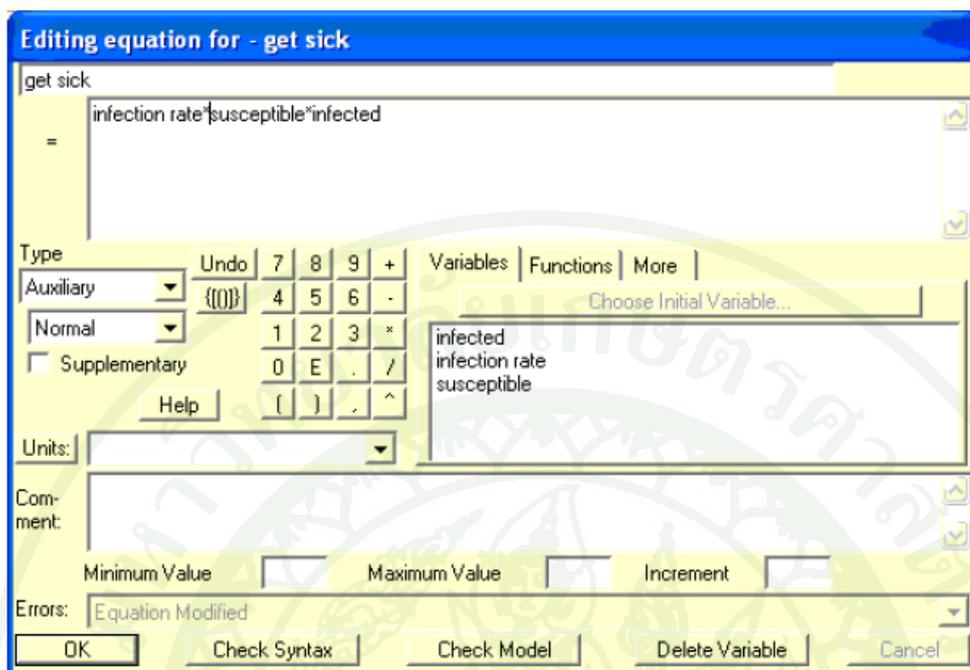
ภาพผนวกที่ 7 ปุ่มสมการ (Equation) สำหรับกำหนดค่าให้แบบจำลอง

9. เริ่มด้วยการกำหนดค่าให้สต็อก ในตัวอย่างนี้กำหนดให้จำนวนประชากรเริ่มต้นเท่ากับ คนสุขภาพดี 1000 คน, คนป่วย 1 คน และจำนวนผู้ฟื้นตัว 1 คน คลิกแต่ละกล่องและตัวค่าเงื่อนไข เริ่มต้น สังเกตว่า ถ้าตั้งค่าอย่างสมบูรณ์แล้วตัวแปรนั้นจะไม่ถูกป้ายสีอีกต่อไป



ภาพผนวกที่ ๖8 การตั้งค่าเริ่มต้นให้กับสต็อกผู้มีโอกาสรับเชื้อ

10. ตั้งค่าการไหล ประชากรที่ป่วยเกิดเมื่อประชากรมีการติดต่อ จะมีประชากรบางส่วนที่มีการติดต่อ ( $\text{infection rate} * \text{susceptible} * \text{infected}$ ) จะกลายมาเป็นผู้ติดเชื้อ ส่วนการฟื้นตัว ในวันหนึ่งๆ ประชากรบางส่วนจะมีการฟื้นตัว ( $\text{recoveryrate} * \text{infected}$ ).



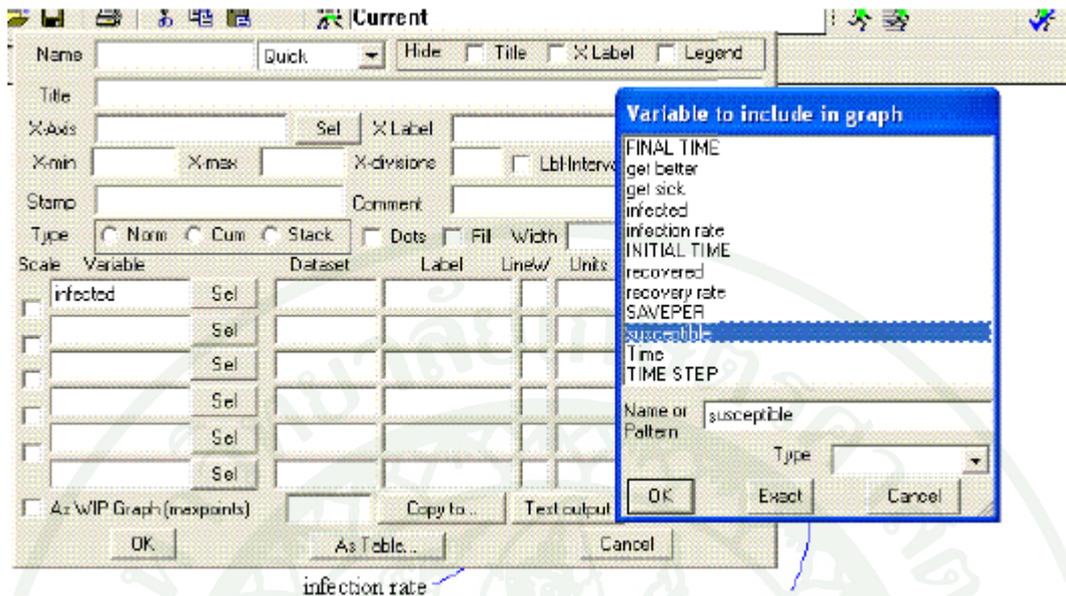
ภาพผนวกที่ 9 การตั้งสมการอัตราการป่วย

11. กำหนดค่าให้กับค่าคงที่ อัตราการฟื้นตัวเท่ากับ 0.5 ส่วนอัตราการติดเชื้อเท่ากับ 0.002 การติดเชื้อต่อรอบต่อวัน สังเกตสิ่งที่ค่าคงที่แสดงด้วย บางครั้งผู้ป่วยอาจถูกกับตัว หรือบางครั้งผู้ที่มีโอกาสติดเชื้อไม่มีการติดต่อกับผู้ป่วย หรือบางที่การติดต่อก็อาจจะไม่เกิดการแพร่กระจายของโรค

12. เมื่อสร้างแบบจำลองเสร็จแล้ว หากต้องการผลการทดลองจากการประมวลผล เริ่มต้นจากการสร้างกราฟสำหรับแสดงผล เริ่มจากส่วนควบคุม (Control panel) กดที่ปุ่มมิเตอร์ความเร็ว ด้านบนขวาของโปรแกรม แล้วเลือกที่แถบกราฟ สร้างกราฟใหม่ โดยสามารถเลือกตัวแปรต่างๆ มาเป็นกราฟ ในที่นี้จะสร้างกราฟของ infected, Susceptible, recovered



ภาพผนวกที่ 10 ส่วนควบคุมและปุ่มมิเตอร์ความเร็ว



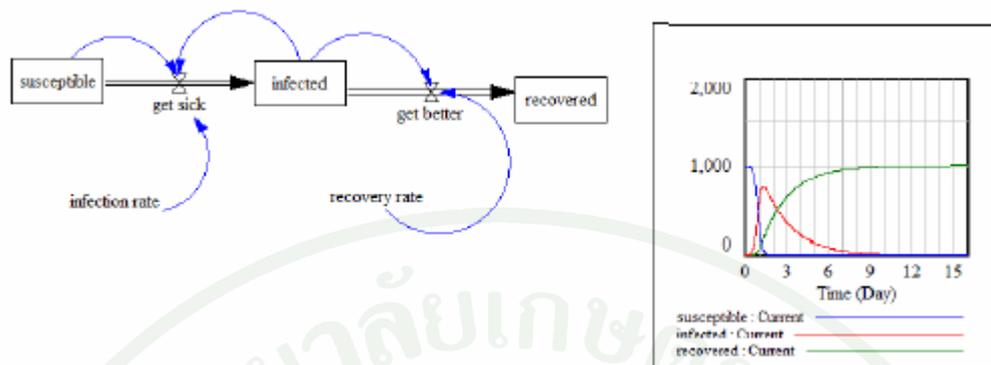
ภาพผนวกที่ 10 การสร้างกราฟเพื่อแสดงผลการทดลอง

หลังจากเลือกตัวแปรเพื่อพลอตกราฟ คลิกเครื่องหมายถูกที่กล่องหน้าตัวแปรเพื่อให้แต่ละตัวแปรที่นำมาพลอตกราฟมีมาตราส่วนเดียวกัน

14. ประมวลผลแบบจำลอง โดยใช้ปุ่มวิ่ง (run once) ที่เป็นรูปเหมือนคนวิ่ง หลังจากนั้นก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาในรูปกราฟ หากต้องการจะเปรียบเทียบผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าในแบบจำลอง ให้เลือกปุ่มตั้งค่า (Set) พิมพ์ชื่อของการทดลองในช่องว่าหลังการตั้งค่า จากนั้นเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ต้องการเปรียบเทียบและนั้นก็กดปุ่มคนวิ่งเพื่อประมวลผล



ภาพผนวกที่ 11 ปุ่มตั้งค่าและปุ่มวิ่งเพื่อใช้ในการประมวลผล



ภาพผนวกที่ 12 ภาพตัวอย่างจากการรันโปรแกรม

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวภาพตะวัน ลयरมภ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	20 กันยายน 2528
สถานที่เกิด	สมุทรสงคราม
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารการอาหาร)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-













