

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่อง “การศึกษาเชิงพื้นที่การแพร่ระบาดของโรคไข้ปวดข้อยุงลายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี”
ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการสำรวจความชุกชุมของยุงลาย

4.2 ผลการศึกษาความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้ปวดข้อยุงลายในจังหวัด
สุราษฎร์ธานี

4.3 ผลการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของโรคไข้ปวดข้อยุงลาย

4.4 ผลการสร้างแผนที่การระบาดของโรคไข้ปวดข้อยุงลาย

4.1 ผลการสำรวจความชุกชุมของยุงลาย

การศึกษาความชุกชุมของยุงลายผู้วิจัยได้ศึกษา 2 ลักษณะคือความชุกชุมของลูกน้ำยุงลายและความ
ชุกชุมของยุงลายตัวเต็มวัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1 ผลการสำรวจความชุกชุมของลูกน้ำยุงลาย

การสำรวจลูกน้ำยุงลายในหมู่บ้านหนองเป็ด ตำบลพลาวยาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ และหมู่บ้านสวน
ทุเรียน ตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี แล้วนำมาวิเคราะห์หาดัชนีความชุกชุมของลูกน้ำ
ยุงลายได้ผลดังตาราง 4.1.1-4.1.4

ตารางที่ 4.1.1 ผลการสำรวจลูกน้ำยุงลายของครัวเรือน หมู่บ้านหนองเป็ด ตำบลพลาวยาส อำเภอกาญจน
ดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในระยะห่างจากบ้านรัศมี 5 เมตร

ครั้งที่	วัน เดือน ปี	จำนวนบ้าน		จำนวนภาชนะ		ดัชนี		
		สำรวจ	พบ	สำรวจ	พบ	H.I.	C.I.	B.I.
1	15 ก.ค. 53	109	73	6,366	458	66.97	7.19	428.18
2	15 ต.ค. 53	109	87	6,095	718	79.82	11.78	658.72
3	15 ม.ค. 54	109	76	5,181	713	69.72	13.76	654.13
4	15 พ.ค. 54	109	86	4,285	655	78.90	15.29	600.92
ค่าเฉลี่ย		109	81	5,482	636	74.31	11.60	583.49

จากตาราง พบว่าดัชนีความชุกชุมของลูกน้ำยุงลายสูงสุดในเดือน ตุลาคม มีค่า H.I. เท่ากับ 79.82 C.I. เท่ากับ
11.78 และค่า B.I. เท่ากับ 658.72

ตารางที่ 4.1.2 ผลการสำรวจลูกน้ำยุงลายของครัวเรือน หมู่บ้านหนองเป็ด ตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในระยะห่างจากบ้านรัศมีมากกว่า 5 - 10 เมตร

ครั้งที่	วัน เดือน ปี	จำนวนบ้าน		จำนวนภาชนะ		ดัชนี		
		สำรวจ	พบ	สำรวจ	พบ	H.I.	C.I.	B.I.
1	15 ก.ค. 53	109	66	8,570	616	60.55	7.19	565.14
2	15 ต.ค. 53	109	93	7,694	1,031	85.32	13.40	945.87
3	15 ม.ค. 54	109	54	6,063	365	49.54	6.02	334.86
4	15 พ.ค. 54	109	73	5,459	862	66.97	15.79	790.83
ค่าเฉลี่ย		109	72	6,947	719	66.06	10.35	659.63

จากตาราง พบว่าดัชนีความชุกชุมของลูกน้ำยุงลายสูงสุดในเดือน ตุลาคม มีค่า H.I. เท่ากับ 85.32 และค่า B.I. เท่ากับ 945.87

ตารางที่ 4.1.3 ผลการสำรวจลูกน้ำยุงลายของครัวเรือน หมู่บ้านสวนทุเรียน ตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในระยะห่างจากบ้านรัศมี 5 เมตร

ครั้งที่	วัน เดือน ปี	จำนวนบ้าน		จำนวนภาชนะ		ดัชนี		
		สำรวจ	พบ	สำรวจ	พบ	H.I.	C.I.	B.I.
1	15 ก.ค. 53	121	51	1,225	144	42.15	11.76	119.01
2	15 ต.ค. 53	121	30	1,191	40	24.79	3.36	33.06
3	15 ม.ค. 54	121	27	1,279	14	22.31	1.09	11.57
4	15 พ.ค. 54	121	31	1,655	140	25.62	8.46	115.70
ค่าเฉลี่ย		121	35	1,338	85	28.93	6.35	70.25

จากตาราง พบว่าดัชนีความชุกชุมของลูกน้ำยุงลายสูงสุดในเดือน กรกฎาคม มีค่า H.I. เท่ากับ 42.15 ค่า C.I. เท่ากับ 11.76 และค่า B.I. เท่ากับ 119.01

ตารางที่ 4.1.4 ผลการสำรวจลูกน้ำยุงลายของครัวเรือน หมู่บ้านสวนทุเรียน ตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในระยะห่างจากบ้านรัศมีมากกว่า 5 - 10 เมตร

ครั้งที่	วัน เดือน ปี	จำนวนบ้าน		จำนวนภาชนะ		ดัชนี		
		สำรวจ	พบ	สำรวจ	พบ	H.I.	C.I.	B.I.
1	15 ก.ค. 53	121	79	2,327	206	65.29	8.85	170.25
2	15 ต.ค. 53	121	35	2,113	69	28.93	3.27	57.02
3	15 ม.ค. 54	121	8	1,792	13	6.61	0.73	10.74
4	15 พ.ค. 54	121	18	2,865	26	14.88	0.91	21.49
ค่าเฉลี่ย		121	35	2,274	79	28.93	3.47	65.29

จากตาราง พบว่าดัชนีความชุกชุมของลูกน้ำยุงลายสูงสุดในเดือน กรกฎาคมมีค่า H.I. เท่ากับ 65.29 ค่า C.I. เท่ากับ 8.85 และค่า B.I. เท่ากับ 170.25

การสำรวจลูกน้ำยุงลายในตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ และตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี แล้วนำมาวิเคราะห์หาจำนวน ร้อยละ และชนิดของยุง ผลดังตาราง 4.1.5-4.1.8

ตารางที่ 4.1.5 ผลการจำแนกชนิดของลูกน้ำของครัวเรือน หมู่บ้านหนองเป็ด ตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ข้อมูลสำรวจวันที่ 15 ตุลาคม 2553)

จำนวนบ้าน		ชนิดของลูกน้ำ	จำนวน (ตัว)	ร้อยละ
สำรวจ	พบ			
109	100	<i>St. aegypti</i>	339	14.06
		<i>St. albopictus</i>	1,617	67.07
		<i>Cx. barbiostris</i>	37	15.30
		<i>Cx. mimulus</i>	44	18.20
		<i>Cx. nigropunctatu</i>	1	0.04
		<i>Cx. brevipapis</i>	105	4.36
		<i>Armigeres ssp.</i>	213	8.83
		<i>Toxorhynchitis splendor</i>	55	12.28
รวม			2,410	100.00

จากตารางพบว่า ชนิดของลูกน้ำที่พบมากที่สุดคือ *St. albopictus* คิดเป็นร้อยละ 67.07 รองลงมาคือ ชนิด *Cx. mimulus* คิดเป็นร้อยละ 18.20 และชนิด *Cx. barbiostris* คิดเป็นร้อยละ 14.06

ตารางที่ 4.1.6 ผลการจำแนกชนิดของลูกน้ำของครัวเรือน หมู่บ้านสวนทุเรียน ตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ข้อมูลจากการสำรวจวันที่ 15 ตุลาคม 2553)

จำนวนบ้าน		ชนิดของลูกน้ำ	จำนวน (ตัว)	ร้อยละ
สำรวจ	พบ			
121	43	<i>St. aegypti</i>	2	0.38
		<i>St. albopictus</i>	105	19.96
		<i>Cx. infantutus</i>	367	69.77
		<i>Armigers spp.</i>	51	9.70
		<i>Toxorhynchitis splendor</i>	1	0.19
รวม			526	100.00

จากตารางพบว่า ชนิดของลูกน้ำที่พบมากที่สุดคือ *Cx. infantutus* คิดเป็นร้อยละ 69.77 รองลงมาคือ ชนิด *St. albopictus* คิดเป็นร้อยละ 19.96 และชนิด *Armigers spp.* คิดเป็นร้อยละ 9.70

ตารางที่ 4.1.7 ผลการจำแนกชนิดของลูกน้ำของครีวเรือน หมู่บ้านหนองเป็ด ตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ข้อมูลจากการสำรวจวันที่ 15 มกราคม 2553)

จำนวนบ้าน		ชนิดของลูกน้ำ	จำนวน(ตัว)	ร้อยละ
สำรวจ	พบ			
109	105	<i>St. aegypti</i>	570	14.05
		<i>St. albopictus</i>	576	14.19
		<i>Cx. mimulus</i>	383	9.44
		<i>Cx. barrudi</i>	104	2.56
		<i>Minutissimus group</i>	1,987	48.97
		<i>Armigeres spp.</i>	431	10.62
		<i>Toxorhynchites spp.</i>	7	0.17
รวม			4,058	100.00

จากตารางพบว่า ชนิดของลูกน้ำที่พบมากที่สุดคือ *Minutissimus group* คิดเป็นร้อยละ 48.97 รองลงมาคือชนิด *St. albopictus* คิดเป็นร้อยละ 14.19 และชนิด *St. aegypti* คิดเป็นร้อยละ 14.05

ตารางที่ 4.1.8 ผลการจำแนกชนิดของลูกน้ำของครีวเรือน หมู่บ้านสวนทุเรียน ตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ข้อมูลจากการสำรวจวันที่ 15 มกราคม 2553)

จำนวนบ้าน		ชนิดของลูกน้ำ	จำนวน(ตัว)	ร้อยละ
สำรวจ	พบ			
121	54	<i>St. aegypti</i>	12	1.89
		<i>St. albopictus</i>	135	21.23
		<i>Cx. infantutus</i>	434	68.24
		<i>Armigers spp.</i>	45	7.08
		<i>Toxorhynchitis splendor</i>	10	1.56
รวม			636	100.00

จากตารางพบว่า ชนิดของลูกน้ำที่พบมากที่สุดคือ *Cx. infantutus* คิดเป็นร้อยละ 68.24 รองลงมาคือชนิด *St. albopictus* คิดเป็นร้อยละ 21.23 และชนิด *Armigers spp.* คิดเป็นร้อยละ 7.08

4.1.2 ผลการสำรวจความชุกชุมของยุงลายตัวเต็มวัย

ผลการสำรวจยุงลายตัวเต็มวัยในตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ และตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยสำรวจยุงลายตัวเต็มวัยในบริเวณสวนยางพารา สวนปาล์มน้ำมัน และสวนผลไม้แล้วนำมาวิเคราะห์ชนิดของยุง จำนวนตัวผู้ จำนวนตัวเมีย อัตราการเกาะ และอัตราการกัดของยุงได้ผลดังตาราง 4.1.9 - 4.1.10

ตารางที่ 4.1.9 ผลการสำรวจยุงลายตัวเต็มวัยในหมู่บ้านหนองเป็ด ตำบลพลาขวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์
จังหวัดสุราษฎร์ธานี

เวลา	ชนิดของยุง	จำนวนยุงที่จับได้				อัตรา		สถานที่
		ตัวผู้	ตัวเมีย	รวม	ร้อยละ	การกัด (ตัว/คน/ชม.)	การเกาะ (ตัว/คน/ชม.)	
9.30 - 9.55	<i>Ae. albopictus</i>	13	117	130	64.68	87.75	97.50	สวน ยางพารา
	<i>An. barbiovstris</i>	2	8	10	4.98	6.00	7.50	
	<i>Cu. whitei</i>	2	15	17	8.46	11.25	12.75	
	<i>Ar. subalbatus</i>	7	37	44	21.88	27.75	33.00	
	รวม	24	177	201	100	132.75	150.75	
10.45-11.05	<i>Ae. albopictus</i>	7	22	29	82.86	16.50	21.75	สวน ผลไม้
	<i>An. barbiovstris</i>	0	1	1	2.86	0.75	0.75	
	<i>Ar. subalbatus</i>	0	5	5	14.28	3.75	3.75	
	รวม	7	28	35	100	21.00	26.25	
11.45-12.05	<i>Ae. albopictus</i>	2	25	27	29.67	18.75	20.25	สวน ปาล์ม
	<i>Cu. tritaeniorthynchus</i>	3	26	29	31.87	19.50	21.75	
	<i>Cu. gelidus</i>	1	8	9	9.89	6.00	6.75	
	<i>Ar. subalbatus</i>	5	21	26	28.57	15.75	19.50	
	รวม	11	80	91	100	60.00	68.25	

หมายเหตุ สำรวจครั้งที่ 1 วันที่ 7 กรกฎาคม 2553 อุณหภูมิ = 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ = 60%

อัตราการเข้ากัด = จำนวนยุงตัวเมีย \times 3 (20 นาที คือ $60/20 = 3$) หารด้วยจำนวนคน คือ 4

อัตราการเข้าเกาะ = จำนวนยุงตัวเมียและตัวผู้ \times 3 (20 นาที คือ $60/20 = 3$) หารด้วยจำนวนคนคือ 4

จากตารางพบว่าในสวนยางพาราพบยุง *Ae. albopictus* คิดเป็นร้อยละ 64.68 อัตราการกัด 87.75

อัตราการเกาะ 112.50 รองลงมา ยุง *Ar. subalbatus* คิดเป็นร้อยละ 21.88 อัตราการกัด 27.75

อัตราการเกาะ 33.00 ในสวนผลไม้พบยุง *Ae. albopictus* คิดเป็นร้อยละ 82.86 อัตราการกัด 16.50

อัตราการเกาะ 21.75 รองลงมา ยุง *Ar. subalbatus* คิดเป็นร้อยละ 14.28 อัตราการกัด 3.75 และ

อัตราการเกาะ 3.75 และในสวนปาล์มน้ำมันพบยุง *Cu. tritaeniorthynchus* คิดเป็นร้อยละ 31.87

อัตราการกัด 19.50 และอัตราการเกาะ 21.75

ตารางที่ 4.1.10 ผลการสำรวจยุงลายตัวเต็มวัยในตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

เวลา	ชนิดของยุง	จำนวนยุงที่จับได้				อัตรา		สถานที่
		ตัวผู้	ตัวเมีย	รวม	ร้อยละ	การกัด (ตัว/คน/ชม.)	การเกาะ (ตัว/คน/ชม.)	
9.30 - 9.55	<i>Ae. albopictus</i>	13	58	71	68.27	43.50	53.25	สวน ยางพารา
	<i>Cu. whitei</i>	0	4	4	3.85	3.00	3.00	
	<i>Ar. subalbatus</i>	6	23	29	27.88	17.25	21.75	
	รวม	19	85	104	100	63.75	75.00	
10.45-11.05	<i>Ae. albopictus</i>	9	47	56	58.95	35.25	42.00	สวนผลไม้
	<i>Ar. subalbatus</i>	9	30	39	41.05	22.50	29.25	
	รวม	18	77	95	100	57.75	71.25	
11.45-12.00	<i>Ae. albopictus</i>	2	15	17	77.27	11.25	12.75	สวนปาล์ม
	<i>Ar. subalbatus</i>	0	5	5	22.73	3.75	3.75	
	รวม	2	20	22	100	15.00	16.50	

หมายเหตุ สำรวจครั้งที่ 2 วันที่ 8 กรกฎาคม 2553 อุณหภูมิ 33.8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55 % จากตารางพบว่าในสวนยางพาราพบยุง *Ae. albopictus* คิดเป็นร้อยละ 68.27 อัตราการกัด 43.50 อัตราการเกาะ 53.25 รองลงมา ยุง *Ar. subalbatus* คิดเป็นร้อยละ 27.88 อัตราการกัด 17.25 อัตราการเกาะ 21.75 ในสวนผลไม้พบยุง *Ae. albopictus* คิดเป็นร้อยละ 58.95 อัตราการกัด 35.25 และอัตราการเกาะ 42.00 รองลงมา ยุง *Ar. subalbatus* คิดเป็นร้อยละ 41.05 อัตราการกัด 22.50 อัตราการเกาะ 29.25 และในสวนปาล์มน้ำมันพบยุง *Ae. albopictus* คิดเป็นร้อยละ 77.27 อัตราการกัด 11.25 และอัตราการเกาะ 12.75 รองลงมา ยุง *Ar. subalbatus* คิดเป็นร้อยละ 22.73 อัตราการกัด 3.75 และอัตราการเกาะ 3.75

4.2 ผลการศึกษาความรู้ ทักษะและพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้ปวดข้อยุงลายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

4.2.1 ผลการศึกษาความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้ปวดข้อยุงลายของชุมชนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน

อำเภอกาญจนดิษฐ์

ส่วนที่ 1 ลักษณะทางประชากร

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุช่วง 41 – 50 ปี นับถือศาสนาพุทธ การศึกษาระดับประถม สถานภาพสมรส อาชีพเกษตรกร มีจำนวนสมาชิกในครอบครัว 1 - 5 คน ในปีที่ผ่านมาสมาชิกในครัวเรือนไม่ป่วยเป็นโรคไข้ปวดข้อ เคยรับรู้เกี่ยวกับโรคไข้ปวดข้อยุงลายจากเจ้าหน้าที่สาธารณสุข

ส่วนที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้วัดข้อยุ้งลาย

ผลการสำรวจพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ มีความรู้เกี่ยวกับโรคไข้วัดข้อยุ้งลายในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 63.75 และระดับดีคิดเป็นร้อยละ 36.25

ส่วนที่ 3 พฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลาย

ผลการสำรวจพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลายพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลายในระดับสูง และระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 68.89 และ 31.11 ตามลำดับ

ส่วนที่ 4 ทักษะการมีส่วนร่วมและความร่วมมือขององค์กรเกี่ยวกับการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลาย

ผลการสำรวจทักษะการมีส่วนร่วมและความร่วมมือขององค์กรเกี่ยวกับการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลายพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามโดยรวมมีทักษะการมีส่วนร่วมและความร่วมมือขององค์กรเกี่ยวกับการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลายระดับสูง คิดเป็นร้อยละ 100.00

อำเภอบ้านตาขุน

ส่วนที่ 1 ลักษณะทางประชากร

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุมากกว่า 50 ขึ้นไป นับถือศาสนาพุทธ การศึกษาระดับประถมศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพเกษตรกร มีจำนวนสมาชิกในครอบครัว 1- 5 คน ในปีที่ผ่านมาสมาชิกในครัวเรือนไม่ป่วยเป็นโรคไข้วัดข้อยุ้งลาย เคยรับรู้เกี่ยวกับโรคไข้วัดข้อยุ้งลายจากเจ้าหน้าที่สาธารณสุข

ส่วนที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้วัดข้อยุ้งลาย

ผลการสำรวจพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับโรคไข้วัดข้อยุ้งลายในระดับดีมากคิดเป็นร้อยละ 45.00 ระดับดีคิดเป็นร้อยละ 31.25 และระดับปานกลางร้อยละ 17.50

ส่วนที่ 3 พฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลาย

ผลการสำรวจพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลายพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลายในระดับสูง และระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 93.33 และ 6.67 ตามลำดับ

ส่วนที่ 4 ทักษะการมีส่วนร่วมและความร่วมมือขององค์กรเกี่ยวกับการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลาย

ผลการสำรวจทักษะการมีส่วนร่วมและความร่วมมือขององค์กรเกี่ยวกับการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลายพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีทักษะการมีส่วนร่วมและความร่วมมือขององค์กรเกี่ยวกับการป้องกันควบคุมโรคไข้วัดข้อยุ้งลายระดับสูง คิดเป็นร้อยละ 100.00

4.2.2 ผลการจัดอบรมให้ความรู้แก่นักเรียนระดับประถมศึกษาตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ และตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผลตามตาราง 4.2.1- 4.2.5

ตารางที่ 4.2.1 ผลการจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้ปวดข้อขลุ่ยลายแก่นักเรียนระดับประถมศึกษาในตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

คะแนน	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	Sig
ก่อนการอบรม	109	7.48	2.14	15.17	<0.001
หลังการอบรม	109	10.56	2.10		

จากตาราง คะแนนหลังการอบรมสูงกว่าคะแนนก่อนการอบรมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

ตารางที่ 4.2.2 ผลการจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้ปวดข้อขลุ่ยลายแก่นักเรียนระดับประถมศึกษาตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

คะแนน	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	Sig
ก่อนการอบรม	100	10.31	1.89	10.21	<0.001
หลังการอบรม	100	11.80	1.66		

จากตาราง ผลการจัดอบรมทำให้นักเรียนมีความรู้สูงกว่าก่อนอบรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ตารางที่ 4.2.3 เปรียบเทียบผลการจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้ปวดข้อขลุ่ยลายแก่นักเรียนในตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ และ ตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

คะแนน	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	df	Sig
หลังอบรมนักเรียน กาญจนดิษฐ์	100	11.80	1.66	4.76	202	<0.001
หลังอบรมนักเรียน บ้านตาขุน	109	10.56	2.10			

จากตาราง คะแนนหลังการอบรมของนักเรียนกาญจนดิษฐ์สูงกว่านักเรียนบ้านตาขุนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

**ตารางที่ 4.2.4 ผลการจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้ปวดข้อุงลายแก่ประชาชนในตำบลพลาวยาส
อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี**

คะแนน	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	Sig
ก่อนการอบรม	91	9.97	2.41	8.53	<0.001
หลังการอบรม	91	11.73	2.18		

จากตาราง คะแนนหลังการอบรมสูงกว่าคะแนนก่อนการอบรมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

ตารางที่ 4.2.5 ผลการจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้ปวดข้อุงลายแก่ประชาชนในตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

คะแนน	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	Sig
ก่อนการอบรม	90	8.80	3.14	12.63	<0.001
หลังการอบรม	90	12.63	2.34		

จากตาราง คะแนนหลังการอบรมสูงกว่าคะแนนก่อนการอบรมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

ตารางที่ 4.2.6 เปรียบเทียบผลการจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้ปวดข้อุงลายแก่ประชาชนในตำบลพลาวยาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ และ ตำบลเขาวง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

คะแนน	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	df	Sig
หลังอบรมประชาชน กาญจนดิษฐ์	91	11.73	2.18	2.81	179	<0.001
หลังอบรมประชาชน บ้านตาขุน	90	12.63	2.34			

จากตาราง คะแนนหลังการอบรมของประชาชนอำเภอกาญจนดิษฐ์และอำเภอบ้านตาขุนมีความรู้ที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

4.3 การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของโรคไข้ปวดข้อยุงลาย

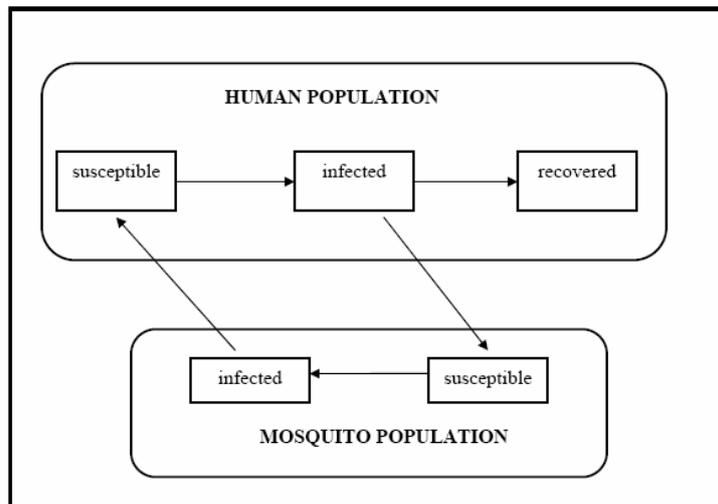
ในการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และการหาคำตอบเชิงวิเคราะห์โดยการศึกษาค่าจุดสมดุล (Equilibrium Point) ของระบบ ศึกษาเสถียรภาพของจุดสมดุลได้แก่ Disease Free State และ Endemic State และหาคำตอบเชิงตัวเลขมาสนับสนุนคำตอบเชิงวิเคราะห์ของระบบสมการ

4.3.1 การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์

กำหนดประชากรคน (Human Population) มีจำนวนคงที่ และประชากรยุง (Mosquito Population) มีจำนวนคงที่ โดยตัวแบบดังกล่าวมีข้อตกลงเบื้องต้นดังนี้

1. คนแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มไวต่อโรค (Susceptible) กลุ่มติดโรค (Infectious) และกลุ่มมีภูมิคุ้มกัน (Recovered) กลุ่มไวต่อโรคคือผู้ที่ไม่มีภูมิคุ้มกันและมีโอกาสติดโรคและยังไม่ติดโรค กลุ่มติดโรคคือผู้ที่ติดโรคและสามารถแพร่เชื้อไวรัสสู่ยุงได้ และกลุ่มมีภูมิคุ้มกันคือผู้ที่ติดเชื้อหลังจากผ่านระยะที่มีไวรัสในเลือดสูง (Viremia) จนถึงระยะที่มีภูมิคุ้มกันจากโรค โดยสมมุติว่าอัตราการตายของประชากรคนเนื่องจากเชื้อโรคไม่มี

2. ยุงแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ยุงที่ไวต่อโรค (Susceptible) และยุงติดโรค (Infectious) โดยยุงเมื่อติดเชื้อแล้วจะติดเชื้อไปตลอดชีวิตของยุง



ภาพที่ 4.3.1 แผนภาพการแพร่ระบาดของโรคไข้ปวดข้อยุงลายระหว่างคนกับยุง การสร้างตัวแบบจะพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทั้ง 5 ดังนี้

\bar{S}_h เป็นจำนวนคนที่ไวต่อโรค ณ เวลา t ใดๆ

\bar{I}_h เป็นจำนวนคนที่ติดโรค ณ เวลา t ใดๆ

\bar{R}_h เป็นจำนวนคนที่มีภูมิคุ้มกัน ณ เวลา t ใดๆ

\bar{S}_m เป็นจำนวนยุงที่ไวต่อโรค ณ เวลา t ใดๆ

\bar{I}_m เป็นจำนวนยุงที่ติดโรค ณ เวลา t ใดๆ

- เมื่อ μ_h เป็นอัตราการเกิดและอัตราการตายของคน
 N_h เป็นจำนวนคนทั้งหมด
 N_m เป็นจำนวนยุงทั้งหมด
 A เป็นอัตราการเกิดใหม่ของยุง
 γ_h เป็นอัตราการสร้างภูมิคุ้มกันของคนติดเชื้อ
 μ_m เป็นอัตราการตายของยุง
 β_{mh} เป็นความน่าจะเป็นในการแพร่เชื้อของไวรัสจากยุงสู่คน
 β_{hm} เป็นความน่าจะเป็นในการแพร่เชื้อของไวรัสจากคนสู่ยุง
 b เป็นอัตราการกัดของยุงคือจำนวนเฉลี่ยของการกัดต่อยุงต่อวัน
 p เป็นอัตราการใช้สารเคมีในการกำจัดยุง

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โรคไข้วัดชื้อยุงลาย เป็นตัวแบบคณิตศาสตร์ แบบ SIR

(Susceptible – Infectious – Recovered) ที่มีตัวแบบเป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ไม่เชิงเส้นดังนี้

$$\frac{d\bar{S}_h}{dt} = \mu_h N_h - b\beta_{mh} \frac{\bar{I}_m}{N_h} \bar{S}_h - \mu_h \bar{S}_h \quad (1)$$

$$\frac{d\bar{I}_h}{dt} = b\beta_{mh} \frac{\bar{I}_m}{N_h} \bar{S}_h - \gamma_h \bar{I}_h - \mu_h \bar{I}_h \quad (2)$$

$$\frac{d\bar{R}_h}{dt} = \gamma_h \bar{I}_h - \mu_h \bar{R}_h \quad (3)$$

$$\frac{d\bar{S}_m}{dt} = A - b\beta_{hm} \frac{\bar{S}_m}{N_h} \bar{I}_h - \mu_m \bar{S}_m - p\bar{S}_m \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{I}_m}{dt} = b\beta_{hm} \frac{\bar{S}_m}{N_h} \bar{I}_h - \mu_m \bar{I}_m - p\bar{I}_m \quad (5)$$

โดยสอดคล้องกับ 2 เงื่อนไข คือ $N_h = \bar{S}_h + \bar{I}_h + \bar{R}_h$ และ $N_m = \bar{S}_m + \bar{I}_m$

จาก $N_m = \bar{S}_m + \bar{I}_m$

จะได้ $N_m = \frac{A}{\mu_m + p}$

จาก $\bar{S}_h + \bar{I}_h + \bar{R}_h = N_h$

จะได้ $\bar{S}_h + \bar{I}_h + \bar{R}_h = 1$

ในการสร้างตัวแบบการแพร่ระบาดของโรค มักจะใช้หลักอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มใด ๆ อัตราที่มีผลต่อการเพิ่มของประชากร ลบด้วยอัตราที่มีผลต่อการลดของประชากร นั่นคือ

$$\text{RATE OF CHANGE} = \text{RATE INFLOW} - \text{RATE OUTFLOW}$$

สมการ (1) คือ จำนวนคนที่ไวต่อโรค (\bar{S}_h) ณ เวลา t ใดๆ เท่ากับจำนวนคนเกิดใหม่ (อัตราการเกิดของคนคูณกับจำนวนคนทั้งหมด : $\mu_h N_h$) ลบด้วยจำนวนคนที่ได้รับเชื้อจากยุง (อัตราการกัดของยุงคูณด้วย

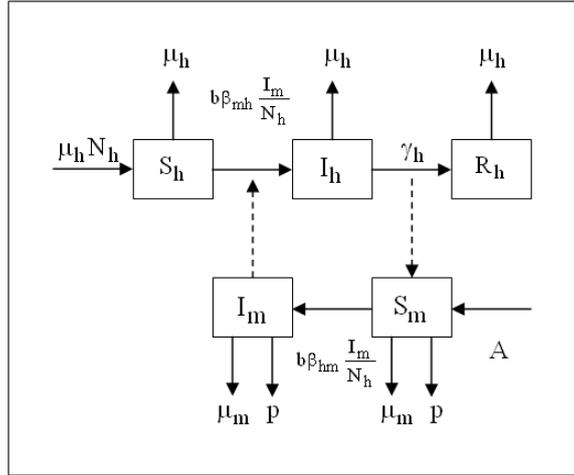
ความน่าจะเป็นของการแพร่เชื้อจากยุงสู่คนคูณด้วยจำนวนยุงที่ติดเชื้อหารด้วยจำนวนคนทั้งหมดคูณด้วยจำนวนคนที่ไวต่อโรค : $b\beta_{mh} \frac{\bar{I}_m}{N_h} \bar{S}_h$) ลบด้วยจำนวนคนที่ไวต่อโรคตายโดยธรรมชาติ(อัตราการตายของคนคูณด้วยจำนวนคนที่ไวต่อโรค : $\mu_h \bar{S}_h$)

สมการ (2) คือ จำนวนคนที่ติดเชื้อ (\bar{I}_h) ณ เวลา t ใดๆ เท่ากับจำนวนคนที่ได้รับเชื้อจากยุง (อัตราการกัดของยุงคูณด้วยความน่าจะเป็นของการแพร่เชื้อจากยุงสู่คนคูณด้วยจำนวนยุงที่ติดเชื้อหารด้วยจำนวนคนทั้งหมดคูณด้วยจำนวนคนที่ไวต่อโรค : $b\beta_{mh} \frac{\bar{I}_m}{N_h} \bar{S}_h$) ลบด้วยจำนวนคนที่ติดโรคและมีภูมิคุ้มกัน (อัตราการสร้างภูมิคุ้มกันคูณด้วยจำนวนคนที่ติดโรค : $\gamma_h \bar{I}_h$) ลบด้วยจำนวนคนที่ติดโรคตายโดยธรรมชาติ (อัตราการตายของคนคูณด้วยจำนวนคนที่ติดเชื้อ : $\mu_h \bar{S}_h$)

สมการ (3) คือ จำนวนคนที่ภูมิคุ้มกัน (\bar{R}_h) ณ เวลา t ใดๆ เท่ากับจำนวนคนที่ติดโรคและมีภูมิคุ้มกัน(อัตราการสร้างภูมิคุ้มกันของคนติดเชื้อคูณด้วยจำนวนคนที่ติดโรค : $\gamma_h \bar{I}_h$) ลบด้วยจำนวนคนที่ภูมิคุ้มกันตายโดยธรรมชาติ(อัตราการตายของคนคูณด้วยจำนวนคนที่ภูมิคุ้มกัน : $\mu_h \bar{R}_h$)

สมการ (4) คือ จำนวนยุงที่ไวต่อโรค(\bar{S}_m) ณ เวลา t ใดๆ เท่ากับจำนวนยุงเกิดใหม่(A) ลบด้วยจำนวนยุงที่ได้รับเชื้อจากคน(อัตราการกัดของยุงคูณด้วยความน่าจะเป็นของการแพร่เชื้อจากคนสู่ยุงคูณด้วยจำนวนยุงที่ไวต่อโรคหารด้วยจำนวนคนทั้งหมดคูณด้วยจำนวนคนที่ไวต่อโรค : $b\beta_{hm} \frac{\bar{S}_m}{N_h} \bar{I}_h$) ลบด้วยจำนวนยุงที่ไวต่อโรคตาย(อัตราการตายของยุงคูณด้วยจำนวนยุงที่ไวต่อโรค : $\mu_m \bar{S}_m$) ลบด้วยจำนวนยุงที่ไวต่อโรคตายจากการได้รับสารเคมี(อัตราการใช้สารเคมีในการกำจัดยุงคูณด้วยจำนวนยุงที่ติดเชื้อ : $p \bar{S}_m$)

สมการ (5) คือ จำนวนยุงที่ติดโรค(\bar{I}_m) ณ เวลา t ใดๆ เท่ากับจำนวนยุงที่ได้รับเชื้อจากคน(อัตราการกัดของยุงคูณด้วยความน่าจะเป็นของการแพร่เชื้อจากคนสู่ยุงคูณด้วยจำนวนยุงที่ไวต่อโรคหารด้วยจำนวนคนทั้งหมดคูณด้วยจำนวนคนที่ไวต่อโรค : $b\beta_{hm} \frac{\bar{S}_m}{N_h} \bar{I}_h$) ลบด้วยจำนวนยุงที่ติดเชื้อตาย(อัตราการตายของยุงคูณด้วยจำนวนยุงที่ติดเชื้อ : $\mu_m \bar{I}_m$) ลบด้วยจำนวนยุงที่ติดเชื้อตายจากการได้รับสารเคมี(อัตราการใช้สารเคมีในการกำจัดยุงคูณด้วยจำนวนยุงที่ติดเชื้อ : $p \bar{I}_m$) ซึ่งสามารถเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในตัวเองได้ดังนี้



ภาพที่ 4.3.2 แผนภาพแสดงตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของโรคไข้ปวดข้อยุงลาย

เพื่อต้องการลดทอนขนาดของระบบ (Normalize the system) กำหนดให้

$$S_h = \frac{\bar{S}_h}{N_h}, I_h = \frac{\bar{I}_h}{N_h}, I_m = \frac{\bar{I}_m}{N_h}$$

$$S_m = \frac{\bar{S}_m}{(A/(\mu_m + p))}, I_m = \frac{\bar{I}_m}{(A/(\mu_m + p))}$$

$$R_h = 1 - S_h - I_h \text{ และ } S_m = 1 - I_m$$

จากระบบสมการ(1) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{1}{N_h} \frac{d\bar{S}_h}{dt} &= \mu_h \frac{N_h}{N_h} - b\beta_{mh} \frac{\bar{I}_m}{N_h} \frac{\bar{S}_h}{N_h} - \mu_h \frac{\bar{S}_h}{N_h} \\ &= \mu_h - b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h - \mu_h S_h \\ &= \mu_h (1 - S_h) - b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{N_h} \frac{d\bar{I}_h}{dt} &= b\beta_{mh} \frac{\bar{I}_m}{N_h} \frac{\bar{S}_h}{N_h} - \gamma_h \frac{\bar{I}_h}{N_h} - \mu_h \frac{\bar{I}_h}{N_h} \\ &= b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h - (\gamma_h + \mu_h) I_h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{N_h} \frac{d\bar{R}_h}{dt} &= \gamma_h \frac{\bar{I}_h}{N_h} - \mu_h \frac{\bar{R}_h}{N_h} \\ &= \gamma_h I_h - \mu_h R_h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{(A/(\mu_m + p))} \frac{d\bar{S}_m}{dt} &= \frac{A}{(A/(\mu_m + p))} - b\beta_{hm} \frac{\bar{S}_m}{(A/(\mu_m + p))} \frac{\bar{I}_h}{N_h} - \mu_m \frac{\bar{S}_m}{(A/(\mu_m + p))} - p \frac{\bar{S}_m}{(A/(\mu_m + p))} \\ &= (\mu_m + p) - b\beta_{hm} S_m I_h - (\mu_m + p) S_m \end{aligned}$$

$$= (\mu_m + p)(1 - S_m) - b\beta_{hm} S_m I_h$$

$$\frac{1}{(A/(\mu_m + p))} \frac{d\bar{I}_m}{dt} = b\beta_{hm} \frac{\bar{S}_m}{(A/(\mu_m + p))} \frac{\bar{I}_h}{N_h} - \mu_m \frac{\bar{I}_m}{(A/(\mu_m + p))} - p \frac{\bar{I}_m}{(A/(\mu_m + p))}$$

$$\begin{aligned}
&= b\beta_{hm}S_m I_h - \mu_m I_m - p I_m \\
&= b\beta_{hm}(1 - I_m)I_h - (\mu_m + p)I_m
\end{aligned}$$

จะได้ตัวแบบหลังลดทอนแล้วดังนี้

$$\frac{dS_h}{dt} = \mu_h(1 - S_h) - b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h \quad (6)$$

$$\frac{dI_h}{dt} = b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h - (\gamma_h + \mu_h)I_h \quad (7)$$

$$\frac{dI_m}{dt} = b\beta_{hm}(1 - I_m)I_h - (\mu_m + p)I_m \quad (8)$$

4.3.2 การวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นวิเคราะห์ตามแบบมาตรฐาน (Standard Method) โดยศึกษาจุดสมดุลและศึกษาเสถียรภาพของจุดสมดุลเพื่อหาเงื่อนไขพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของจุดสมดุลนั้น โดยวิธีเชิงวิเคราะห์และหาคำตอบเชิงตัวเลขของตัวแบบโรคไข้วัดข้อยุ่งลาย ในการศึกษาจุดสมดุลทำได้โดยจัดให้ขวามือของสมการ (6), (7), (8) เท่ากับศูนย์ พิจารณาสมการ (8)

$$\begin{aligned}
b\beta_{hm}(1 - I_m)I_h - (\mu_m + p)I_m &= 0 \\
I_m &= \frac{b\beta_{hm}I_h}{b\beta_{hm}I_h + \mu_m + p} \\
I_m &= \frac{BI_h}{BI_h + C} \quad (9)
\end{aligned}$$

เมื่อ $B = b\beta_{hm}$

$C = \mu_m + p$

จากสมการ (6)

$$\begin{aligned}
\mu_h(1 - S_h) - b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h &= 0 \\
S_h &= \frac{\mu_h N_h (BI_h + C)}{DI_h + \mu_h N_h (BI_h + C)} \quad (10)
\end{aligned}$$

เมื่อ $D = b\beta_{mh}A$

จากสมการ (7)

$$b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h - (\gamma_h + \mu_h)I_h = 0$$

$$\frac{D}{CN_h} \left(\frac{BI_h}{BI_h + C} \right) \left(\frac{\mu_h N_h (BI_h + C)}{DI_h + \mu_h N_h (BI_h + C)} \right) - (\gamma_h + \mu_h)I_h = 0$$

$$I_h(XI_h^2 + YI_h + Z) = 0$$

$$I_h = 0$$

$$I_h^* = \frac{-Y \pm \sqrt{Y^2 - 4XZ}}{2X}$$

$$\text{เมื่อ } X = ECN_hBD + ECN_h^2B^2\mu_h$$

$$Y = EC^2DN_h + 2EC^2N_h^2B\mu_h - FBN_h$$

$$Z = EC^3N_h^2\mu_h - FCN_h$$

$$E = \gamma_h + \mu_h$$

$$F = DB\mu_h$$

ในระบบนี้จะให้จุดสมดุล 2 จุด เนื่องจากมีค่า I_h 2 ค่า

1. จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free Equilibrium Point) แทนด้วย $E_0(S_h, I_h, I_m)$

$$\text{เมื่อ } I_h = 0$$

$$\text{จาก } S_h = \frac{\mu_h N_h (BI_h + C)}{DI_h + \mu_h N_h (BI_h + C)}$$

$$\text{แทน } I_h = 0$$

$$\text{จะได้ } S_h = \frac{\mu_h N_h (B(0) + C)}{DI_h + \mu_h N_h (B(0) + C)}$$

$$S_h = 1$$

$$\text{จาก } I_m = \frac{BI_h}{BI_h + C}$$

$$\text{แทน } I_h = 0$$

$$\text{จะได้ } I_m = \frac{B(0)}{B(0) + C}$$

$$I_m = 0$$

นั่นคือจุด $E_0(S_h, I_h, I_m) = (1, 0, 0)$

ต่อไปนี้จะหาเมทริกซ์จาโคเบียน (Jacobian Matrix)

กำหนดให้

$$F_1(S_h, I_h, I_m) = \mu_h(1 - S_h) - b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h$$

$$F_2(S_h, I_h, I_m) = b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h - (\gamma_h + \mu_h)I_h$$

$$F_3(S_h, I_h, I_m) = b\beta_{hm}(1 - I_m)I_h - (\mu_m + p)I_m$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial S_h} = -\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \right), \quad \frac{\partial F_1}{\partial I_h} = 0, \quad \frac{\partial F_1}{\partial I_m} = -\frac{Ab\beta_{mh}S_h}{N_h(\mu_m + p)}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial S_h} = b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)}, \quad \frac{\partial F_2}{\partial I_h} = -(\gamma_h + \mu_h), \quad \frac{\partial F_2}{\partial I_m} = \frac{Ab\beta_{mh}S_h}{N_h(\mu_m + p)}$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial S_h} = 0, \quad \frac{\partial F_3}{\partial I_h} = b\beta_{hm}(1 - I_m), \quad \frac{\partial F_3}{\partial I_m} = -(b\beta_{mh}I_h + \mu_m + p)$$

เมทริกซ์จาโคเบียน ณ จุด $E_0(1,0,0)$

$$J = \begin{bmatrix} -\mu_h & 0 & -\frac{Ab\beta_{mh}}{N_h(\mu_m + p)} \\ 0 & -(\gamma_h + \mu_h) & \frac{Ab\beta_{mh}}{N_h(\mu_m + p)} \\ 0 & b\beta_{hm} & -(\mu_m + p) \end{bmatrix}_{E_0}$$

หาสมการลักษณะเฉพาะ(Characteristic Equation) โดยให้

$$\det(J - \lambda I) = 0 \text{ ณ จุด } E_0$$

เมื่อ λ เป็นค่าลักษณะเฉพาะ(Eigenvalue) และ I เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 3×3

$$J - \lambda I = \begin{bmatrix} -(\mu_h + \lambda) & 0 & -\frac{Ab\beta_{mh}}{N_h(\mu_m + p)} \\ 0 & -(\gamma_h + \mu_h + \lambda) & \frac{Ab\beta_{mh}}{N_h(\mu_m + p)} \\ 0 & b\beta_{hm} & -(\mu_m + p + \lambda) \end{bmatrix}_{E_0}$$

สมการลักษณะเฉพาะที่ได้

$$-(\mu_h + \lambda) \left((\gamma_h + \mu_h + \lambda)(\mu_m + p + \lambda) - (b\beta_{hm} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)})(b\beta_{mh}) \right) = 0$$

$$-(\mu_h + \lambda)(\lambda^2 + G\lambda + H) = 0$$

$$\lambda_1 = -\mu_h \text{ หรือ } \lambda^2 + G\lambda + H = 0$$

$$\lambda_{2,3} = \frac{-G \pm \sqrt{G^2 - 4H}}{2}$$

เมื่อ $G = p + \mu_m + \mu_h + \gamma_h$

$$H = \gamma_h\mu_m + \gamma_h p + \mu_h\mu_m + \mu_h p - b^2\beta_{hm}\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)}$$

$$\text{นั่นคือ } \lambda_2 = \frac{-G - \sqrt{G^2 - 4H}}{2}$$

จะมีเครื่องหมายเป็นลบ

$$\text{และ } \lambda_3 = \frac{-G + \sqrt{G^2 - 4H}}{2}$$

จะมีเครื่องหมายเป็นลบ ถ้า $\sqrt{G^2 - 4H} < G$

ดังนั้นจุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค $E_0(1,0,0)$ จะ Local Asymptotically Stable

2. จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Endemic Disease Equilibrium Point) แทนด้วย $E_1(S_h^*, I_h^*, I_m^*)$

$$\text{จาก } S_h = \frac{\mu_h N_h (BI_h + C)}{DI_h + \mu_h N_h (BI_h + C)}$$

แทน I_h^*

$$\text{จะได้ } S_h^* = \frac{\mu_h N_h (BI_h^* + C)}{DI_h^* + \mu_h N_h (BI_h^* + C)}$$

$$\text{จาก } I_m = \frac{BI_h}{BI_h + C}$$

แทน I_h^*

$$\text{จะได้ } I_m^* = \frac{BI_h^*}{BI_h^* + C}$$

$$\text{นั่นคือ } E_1(S_h^*, I_h^*, I_m^*) = \left(\frac{\mu_h N_h (BI_h^* + C)}{DI_h^* + \mu_h N_h (BI_h^* + C)}, I_h^*, \frac{BI_h^*}{BI_h^* + C} \right)$$

$$\text{เมื่อ } I_h^* = \frac{-Y + \sqrt{Y^2 - 4XZ}}{2X}$$

ต่อไปนี้เพื่อหาเมทริกซ์จาโคเบียน(Jacobian Matrix)

กำหนดให้

$$F_1(S_h, I_h, I_m) = \mu_h (1 - S_h) - b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h$$

$$F_2(S_h, I_h, I_m) = b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h - (\gamma_h + \mu_h) I_h$$

$$F_3(S_h, I_h, I_m) = b\beta_{hm} (1 - I_m) I_h - (\mu_m + p) I_m$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial S_h} = -\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \right), \quad \frac{\partial F_1}{\partial I_h} = 0, \quad \frac{\partial F_1}{\partial I_m} = -\frac{Ab\beta_{mh} S_h}{N_h(\mu_m + p)}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial S_h} = b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)}, \quad \frac{\partial F_2}{\partial I_h} = -(\gamma_h + \mu_h), \quad \frac{\partial F_2}{\partial I_m} = \frac{Ab\beta_{mh} S_h}{N_h(\mu_m + p)}$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial S_h} = 0, \quad \frac{\partial F_3}{\partial I_h} = b\beta_{hm} (1 - I_m), \quad \frac{\partial F_3}{\partial I_m} = -(b\beta_{mh} I_h + \mu_m + p)$$

เมทริกซ์จาโคเบียน ณ จุด $E_1(S_h^*, I_h^*, I_m^*)$

$$J = \begin{bmatrix} -\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h\right) & 0 & -\frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)} \\ b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} & -(\gamma_h + \mu_h) & \frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)} \\ 0 & b\beta_{hm}(1 - I_m^*) & -(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p) \end{bmatrix}_{-E_1}$$

หาสมการลักษณะเฉพาะ(Characteristic Equation) โดยให้

$$\det(J - \lambda I) = 0$$

เมื่อ λ เป็นค่าลักษณะเฉพาะ(Eigenvalue) และ I เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 3×3

$$J - \lambda I = \begin{bmatrix} -\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h + \lambda\right) & 0 & -\frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)} \\ b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} & -(\gamma_h + \mu_h + \lambda) & \frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)} \\ 0 & b\beta_{hm}(1 - I_m^*) & -(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p + \lambda) \end{bmatrix}_{-E_1}$$

สมการลักษณะเฉพาะที่ได้

$$-[(k + \lambda)(q + \lambda)(w + \lambda)] - lmv + [vl(k + \lambda)] = 0$$

$$-(\lambda^3 + \lambda^2(w + k + q) + \lambda(kw + qw + kq - vl) + (kqw + lmv - vlk)) = 0$$

$$\lambda^3 + \gamma\lambda^2 + \mu\lambda + \eta = 0$$

$$\text{เมื่อ } \gamma = w + k + q$$

$$\mu = kw + qw + kq - vl$$

$$\eta = kql + lmv - kvl$$

$$k = \frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h$$

$$l = \frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)}$$

$$m = \frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)}$$

$$q = \gamma_h + \mu_h$$

$$v = b\beta_{hm}(1 - I_m^*)$$

$$w = b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p$$

สัมประสิทธิ์ของสมการลักษณะเฉพาะเป็นบวกและสอดคล้องกับ

เงื่อนไขของ Routh-Hurwitz Criteria

$$\gamma\mu = (w + k + q)(kw + qw + kq - vl)$$

$$= kw^2 + qw^2 + 3kqw + k^2w + k^2q + q^2w + kq^2 - (qvl + wvl + kvl)$$

$$= \left(\frac{Ab\beta_{mh}I_m^* \gamma_h}{N_h(\mu_m + p)} + \frac{Ab\beta_{mh}I_m^* \mu_h}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h b\beta_{hm} - \mu_h b\beta_{hm}I_m^* \right) \left(\frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)} \right) + \beta - \delta$$

$$\eta = kql + lmv - kvl$$

$$= \left(\frac{Ab\beta_{mh}I_m^* \gamma_h}{N_h(\mu_m + p)} + \frac{Ab\beta_{mh}I_m^* \mu_h}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h b\beta_{hm} - \mu_h b\beta_{hm}I_m^* \right) \left(\frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)} \right)$$

$$\gamma\mu = \eta + \beta - \delta$$

$$\gamma\mu > \eta \quad \text{ถ้า} \quad \beta > \delta$$

$$\beta = \left(\frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \right) \left(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p \right)^2 + (\gamma_h + \mu_h) \left(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p \right)$$

$$+ 3 \left(\frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \right) (\gamma_h + \mu_h) \left(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p \right) + \left(\frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \right)^2 \left(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p \right)$$

$$+ (\gamma_h + \mu_h)^2 \left(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p \right) + \left(\frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \right) (\gamma_h + \mu_h)^2$$

$$+ \left(\frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \right) \left(\left(\frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \right) \gamma_h + \left(\frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \right) \mu_h \right)$$

$$\text{เมื่อ } \delta = \left(I_h^* (b\beta_{hm})^2 + b\beta_{hm}\mu_m + b\beta_{hm}p - I_h^* I_m^* (b\beta_{hm})^2 - b\beta_{hm}I_m^* \mu_m - b\beta_{hm}I_m^* p + \frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} b\beta_{hm} + b\beta_{hm}\mu_h \right) \left(\frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)} \right)$$

$$- \frac{Ab\beta_{mh}I_m^*}{N_h(\mu_m + p)} - b\beta_{hm}\mu_h I_m^* + b\beta_{hm}\gamma_h - b\beta_{hm}I_m^* \gamma_h + \frac{Ab\beta_{mh}I_m^* \gamma_h}{N_h(\mu_m + p)} + \frac{Ab\beta_{mh}I_m^* \mu_h}{N_h(\mu_m + p)}$$

ดังนั้น E_1 เป็น Locally Asymptotically Stable

ต่อไปนี้เพื่อหาค่า Basic Reproductive Number (\mathcal{R}_0) จัดสมการ (6), (7), (8) ให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ สามารถจัดรูปเป็น

$$\frac{dx}{dt} = F(x) - V(x)$$

$$F(x) = \begin{bmatrix} b\beta_{hm}(1 - I_m)I_h \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$V(x) = \begin{bmatrix} (\mu_m + p)I_m \\ -b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} S_h + (\gamma_h + \mu_h)I_h \\ -\mu_h(1 - S_h) + b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} S_h \end{bmatrix}$$

หาเมทริกซ์จาโคเบียนของ $F(x)$ และ $V(x)$ ซึ่งให้ $DF(x) = F$ และ $DV(x) = V$ จะได้ดังนี้

$$DF(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial I_m} (b\beta_{hm}(1 - I_m)I_h) & \frac{\partial}{\partial I_h} (b\beta_{hm}(1 - I_m)I_h) & \frac{\partial}{\partial S_h} (b\beta_{hm}(1 - I_m)I_h) \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} -b\beta_{hm}I_h & b\beta_{hm}(1-I_m) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$DV(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial I_m}(\mu_m + p)I_m & \frac{\partial}{\partial I_h}(\mu_m + p)I_m & \frac{\partial}{\partial S_h}(\mu_m + p)I_m \\ \frac{\partial}{\partial I_m} \left(-b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} S_h + (\gamma_h + \mu_h)I_h \right) & \frac{\partial}{\partial I_h} \left(-b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} S_h + (\gamma_h + \mu_h)I_h \right) & \frac{\partial}{\partial S_h} \left(-b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} S_h + (\gamma_h + \mu_h)I_h \right) \\ \frac{\partial}{\partial I_m} \left(-\mu_h(1-S_h) + b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} S_h \right) & \frac{\partial}{\partial I_h} \left(-\mu_h(1-S_h) + b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} S_h \right) & \frac{\partial}{\partial S_h} \left(-\mu_h(1-S_h) + b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} S_h \right) \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} \mu_m + p & 0 & 0 \\ -b\beta_{mh} \frac{AS_h}{N_h(\mu_m + p)} & \gamma_h + \mu_h & -b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} \\ b\beta_{mh} \frac{AS_h}{N_h(\mu_m + p)} & 0 & b\beta_{mh} \frac{AI_m}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h \end{bmatrix}$$

และเมทริกซ์ที่จุดสมดุลไม่มีโรคระบาด $E_0 = (1,0,0)$ คือ

$$F = \begin{bmatrix} 0 & b\beta_{hm} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} \mu_m + p & 0 & 0 \\ -b\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)} & \gamma_h + \mu_h & 0 \\ b\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)} & 0 & \mu_h \end{bmatrix}$$

คำนวณหาเมทริกซ์ FV^{-1} โดยที่ V^{-1} หาได้จาก $V^{-1} = \frac{1}{\det(V)} \text{adj}(V)$

$$\text{จาก } V = \begin{bmatrix} \mu_m + p & 0 & 0 \\ -b\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)} & \gamma_h + \mu_h & 0 \\ b\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)} & 0 & \mu_h \end{bmatrix}$$

จะได้ $\det(V) = \mu_h(\mu_m + p)(\gamma_h + \mu_h)$

และ

$$\text{adj}(V) = \begin{bmatrix} (\gamma_h + \mu_h)\mu_h & \mu_h \left(b\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)} \right) & -b\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)} (\gamma_h + \mu_h) \\ 0 & (\mu_m + p)\mu_h & 0 \\ 0 & 0 & (\mu_m + p)(\gamma_h + \mu_h) \end{bmatrix}^T$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{bmatrix} (\gamma_h + \mu_h)\mu_h & 0 & 0 \\ \mu_h \left(b\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)} \right) & (\mu_m + p)\mu_h & 0 \\ -b\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)}(\gamma_h + \mu_h) & 0 & (\mu_m + p)(\gamma_h + \mu_h) \end{bmatrix} \\
V^{-1} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{\mu_m + p} & 0 & 0 \\ \frac{Ab\beta_{mh}}{N_h(\mu_m + p)^2(\gamma_h + \mu_h)} & \frac{1}{\gamma_h + \mu_h} & 0 \\ \frac{-Ab\beta_{mh}}{\mu_h N_h(\mu_m + p)^2} & 0 & \frac{1}{\mu_h} \end{bmatrix} \\
FV^{-1} &= \begin{bmatrix} 0 & b\beta_{hm} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\mu_m + p} & 0 & 0 \\ \frac{Ab\beta_{mh}}{N_h(\mu_m + p)^2(\gamma_h + \mu_h)} & \frac{1}{\gamma_h + \mu_h} & 0 \\ \frac{-Ab\beta_{mh}}{\mu_h N_h(\mu_m + p)} & 0 & \frac{1}{\mu_h} \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \frac{b^2\beta_{hm}\beta_{mh}A}{N_h(\mu_m + p)^2(\gamma_h + \mu_h)} & \frac{b\beta_{hm}}{\gamma_h + \mu_h} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

คำนวณหา Spectral Radius ของ FV^{-1} เขียนแทนด้วย $\rho(FV^{-1})$ หาได้จาก

$$\begin{vmatrix} \frac{b^2\beta_{hm}\beta_{mh}A}{N_h(\mu_m + p)^2(\gamma_h + \mu_h)} - \lambda & \frac{b\beta_{hm}}{\gamma_h + \mu_h} & 0 \\ 0 & -\lambda & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda \end{vmatrix}$$

จะได้สมการลักษณะเฉพาะคือ

$$\left(\frac{b^2\beta_{hm}\beta_{mh}A}{N_h(\mu_m + p)^2(\gamma_h + \mu_h)} - \lambda \right) (-\lambda)(-\lambda) = 0$$

$$\lambda_{1,2} = 0$$

$$\lambda_3 = \frac{b^2\beta_{hm}\beta_{mh}A}{N_h(\mu_m + p)^2(\gamma_h + \mu_h)}$$

จากบทนิยาม Spectral radius ของ FV^{-1} ที่ได้คือ

$$\rho(FV^{-1}) = \frac{b^2\beta_{hm}\beta_{mh}A}{N_h(\mu_m + p)^2(\gamma_h + \mu_h)}$$

และหา Basic Reproductive Number (\mathcal{R}_0) ได้จาก $\rho(FV^{-1})$ จะได้

$$\mathcal{R}_0 = \frac{b^2\beta_{hm}\beta_{mh}A}{N_h(\mu_m + p)^2(\gamma_h + \mu_h)}$$

พิจารณาค่าเสถียรของจุดสมดุล (E_1) เพื่อดูว่าสอดคล้องกับค่า \mathcal{R}_0 หรือไม่ซึ่งทำได้ดังนี้

จาก

$$J = \begin{bmatrix} -\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h\right) & 0 & -\frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)} \\ b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} & -(\gamma_h + \mu_h) & \frac{Ab\beta_{mh}S_h^*}{N_h(\mu_m + p)} \\ 0 & b\beta_{hm}(1 - I_m^*) & -(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p) \end{bmatrix}_{E_1}$$

จากทฤษฎีบท 2.15 จะได้ว่าถ้า

$$\text{tr}(J) = -\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + 2\mu_h + \gamma_h + b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p\right) < 0$$

และ

$$\det(J) = -\left[\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h\right)(\gamma_h + \mu_h)(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p) + \left(\frac{b\beta_{mh}AS_h^*}{N_h(\mu_m + p)}\right)\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)}\right)(b\beta_{hm}(1 - I_m^*))\right] < 0$$

$$-\left[b\beta_{hm}(1 - I_m^*)\left(\frac{b\beta_{mh}AS_h^*}{N_h(\mu_m + p)}\right)\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h\right)\right]_{E_1}$$

จะได้ว่าจุดสมดุล (E_1) จะ Local Asymptotically Stable โดยมีเงื่อนไขดังนี้

$$-\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h\right)(\gamma_h + \mu_h)(b\beta_{hm}I_h^* + \mu_m + p) - \left(\frac{b\beta_{mh}AS_h^*}{N_h(\mu_m + p)}\right)\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)}\right)(b\beta_{hm}(1 - I_m^*))$$

$$+ (b\beta_{hm}(1 - I_m^*))\left(\frac{b\beta_{mh}AS_h^*}{N_h(\mu_m + p)}\right)\left(b\beta_{mh} \frac{AI_m^*}{N_h(\mu_m + p)} + \mu_h\right) < 0$$

แล้วจุดสมดุลเป็น Stable Spiral

4.3.2 การวิเคราะห์เชิงตัวเลข

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการศึกษาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ โดยการหาคำตอบเชิงตัวเลขของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ที่แสดงการแพร่ระบาดของโรค ไข้วัดข้อมูล เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้จุด Disease Free Equilibrium เป็น Local Asymptotically Stable และจุด Endemic Equilibrium สำหรับแต่ละชุดของค่าพารามิเตอร์ จะตรวจสอบเสถียรภาพของจุดสมดุลว่าเป็น Local Asymptotically Stable โดยการหาค่าลักษณะเฉพาะ ของเมทริกซ์จาโคเบียน และตรวจสอบว่าสอดคล้องกับเงื่อนไข Routh-Hurwitz Criteria

จาก

$$\frac{dS_h}{dt} = \mu_h(1 - S_h) - b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h$$

$$\frac{dI_h}{dt} = b\beta_{mh} \frac{A}{\mu_m + p} \frac{I_m}{N_h} S_h - (\gamma_h + \mu_h)I_h$$

$$\frac{dI_m}{dt} = b\beta_{hm}(1 - I_m)I_h - (\mu_m + p)I_m$$

1. เสถียรภาพของจุดสมดุล Disease Free State

ตารางที่ 4.3.1 ค่าพารามิเตอร์ของจุด Disease Free State

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
b	1 (ต่อ 1/วัน)
γ_h	0.1428 (ต่อ 1/วัน)
β_{hm}	0.7
β_{mh}	0.5
μ_h	0.0000457 (ต่อ 1/วัน)
N_h	10,000 คน
μ_m	0.25 (ต่อ 1/วัน)
A	5,000 ตัว
p	1

พิจารณาสถิติการลึกลับเฉพาะและหาค่าลึกลับเฉพาะจะได้

$$\lambda_1 = -\mu_h$$

$$\lambda_2 = \frac{-G - \sqrt{G^2 - 4H}}{2}$$

$$\lambda_3 = \frac{-G + \sqrt{G^2 - 4H}}{2}$$

$$\mathcal{R}_0 = \frac{b^2\beta_{hm}\beta_{mh}(A/(\mu_m + p))}{N_h(\mu_m + p)(\gamma_h + \mu_h)}$$

เมื่อ $G = p + \mu_m + \mu_h + \gamma_h$

$$H = \gamma_h\mu_m + \gamma_h p + \mu_h\mu_m + \mu_h p - b^2\beta_{hm}\beta_{mh} \frac{A}{N_h(\mu_m + p)}$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 4.3.1 จะได้

$$\lambda_1 = -0.0000457$$

$$\lambda_2 = -1.36459$$

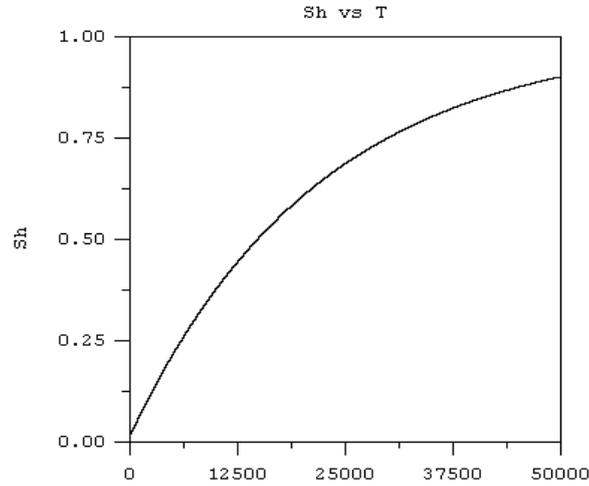
$$\lambda_3 = -0.02826$$

$$\mathcal{R}_0 = 0.784063$$

เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของระบบ ณ จุด Disease Free Equilibrium จะพบว่า

ค่าลักษณะเฉพาะทุกค่ามีส่วนจริงเป็นลบซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขของ Routh – Hurwitz Criteria ดังนั้นคำตอบ (Steady State Solution) จะเข้าสู่จุด $E_0(1,0,0)$ เป็น Local Asymptotically Stable

กราฟของ จุดสมดุล Disease Free State



ภาพที่ 4.3.3 ค่าตอบเชิงตัวเลขแสดงจำนวนคนที่ไวต่อโรค (S_h) เทียบกับเวลา (T)

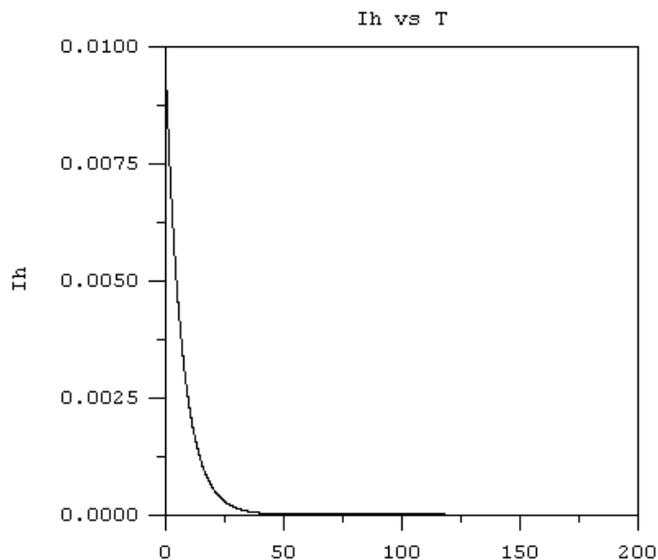
เมื่อ $A = 5000$, $b = 1$, $\mu_h = 0.0000457$, $\mu_m = 0.25$, $\gamma_h = 0.1428$,

$\beta_{mh} = 0.5$, $\beta_{hm} = 0.7$, $N_h = 10000$, $p = 1$

T หน่วยเป็นวัน S_h หน่วยเป็นคน

กรณี $\mathcal{R}_0 < 1$

จำนวนของคนที่ไม่ไวต่อโรคเข้าสู่จุด Disease Free Equilibrium



ภาพที่ 4.3.4 ค่าตอบเชิงตัวเลขแสดงจำนวนคนที่ติดเชื้อ (I_h) เทียบกับเวลา (T)

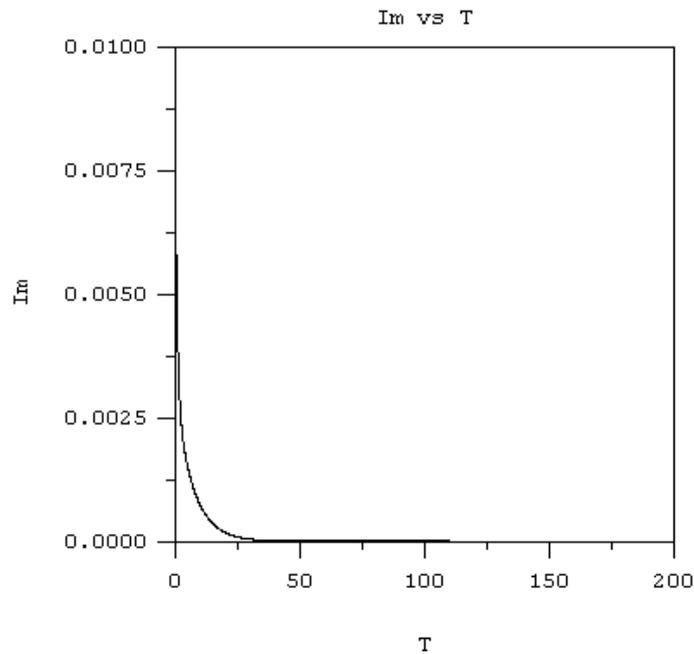
เมื่อ $A = 5000$, $b = 1$, $\mu_h = 0.0000457$, $\mu_m = 0.25$, $\gamma_h = 0.1428$,

$\beta_{mh} = 0.5$, $\beta_{hm} = 0.7$, $N_h = 10000$, $p = 1$

T หน่วยเป็นวัน I_h หน่วยเป็นคน

กรณี $R_0 < 1$

จำนวนของคนที่ยังติดเชื้อเข้าสู่จุด Disease Free Equilibrium



ภาพที่ 4.3.5 ค่าตอบเชิงตัวเลขแสดงจำนวนที่ยังติดเชื้อ (I_m) เทียบกับเวลา (T)

เมื่อ $A = 5000$, $b = 1$, $\mu_h = 0.0000457$, $\mu_m = 0.25$, $\gamma_h = 0.1428$,

$\beta_{mh} = 0.5$, $\beta_{hm} = 0.7$, $N_h = 10000$, $p = 1$

T หน่วยเป็นวัน I_m หน่วยเป็นตัว

กรณี $R_0 < 1$

จำนวนของที่ยังติดเชื้อเข้าสู่จุด Disease Free Equilibrium

2. เสถียรภาพของจุดสมดุล Endemic State

ตารางที่ 4.3.2 ค่าพารามิเตอร์ของจุด Endemic State

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
b	1 (ต่อ 1/วัน)
γ_h	0.1428 (ต่อ 1/วัน)

β_{hm}	0.7
β_{mh}	0.5
μ_h	0.0000457 (ต่อ 1/วัน)
N_h	10,000 คน
μ_m	0.25 (ต่อ 1/วัน)
A	5,000 ตัว
p	0.1

พิจารณาสมการลักษณะเฉพาะและหาค่าลักษณะเฉพาะจะได้

$$\lambda^3 + \gamma\lambda^2 + \mu\lambda + \eta$$

$$\text{เมื่อ } \gamma = w + k + q$$

$$\mu = kw + qw + kq - vl$$

$$\eta = kql + lmv - kvl$$

$$\text{และ } \mathcal{R}_0 = \frac{b^2\beta_{hm}\beta_{mh}A/(\mu_m + p)}{N_h(\mu_m + p)(\gamma_h + \mu_h)}$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 4.2 จะได้

$$\lambda_1 = -0.4931596$$

$$\lambda_2 = -0.0004782 + 0.003685i$$

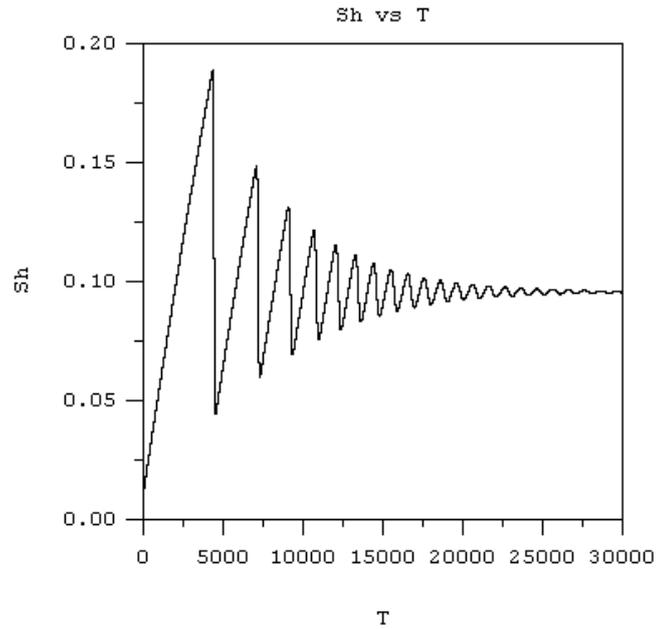
$$\lambda_3 = -0.0004782 - 0.003685i$$

$$\mathcal{R}_0 = 10.0008 > 1$$

เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของระบบ ณ จุดสมดุล Endemic State จะพบว่าค่าลักษณะเฉพาะทุกค่ามีส่วนจริงเป็นลบซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขของ Routh- Hurwitz Criteria ดังนั้น คำตอบ (Steady State Solution) ณ จุด $E_1(0.100107, 0.000576, 0.00115)$ เป็น

Local Asymptotically Stable

กราฟของ จุดสมดุล Endemic State



ภาพที่ 4.3.6 ค่าตอบเชิงตัวเลขแสดงจำนวนคนที่ไวต่อโรค(S_h) เทียบกับเวลา(T)

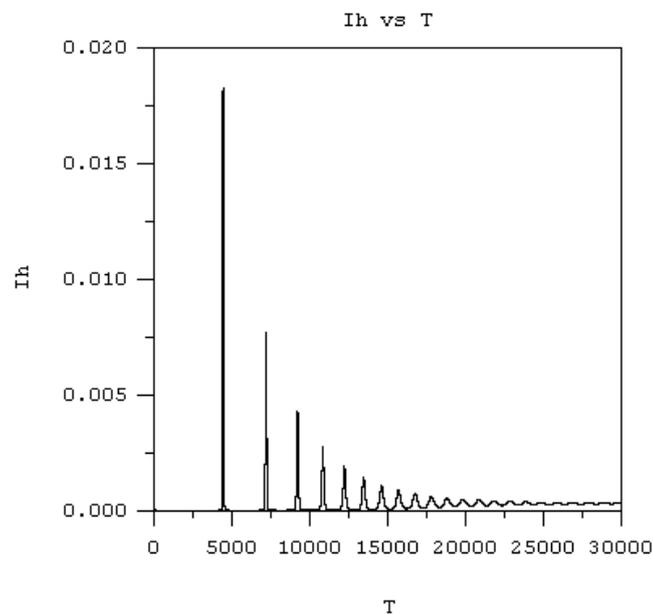
เมื่อ $A = 5000$, $b = 1$, $\mu_h = 0.0000457$, $\mu_m = 0.25$, $\gamma_h = 0.1428$,

$\beta_{mh} = 0.5$, $\beta_{hm} = 0.7$, $N_h = 10000$, $p = 0.1$

T หน่วยเป็นวัน S_h หน่วยเป็นคน

กรณี $\mathcal{R}_0 > 1$

จำนวนของคนที่ไม่ไวต่อโรคเข้าสู่จุด Endemic Equilibrium



ภาพที่ 4.3.7 ค่าตอบเชิงตัวเลขแสดงจำนวนคนที่ติดเชื้อ(I_h) เทียบกับเวลา(T)

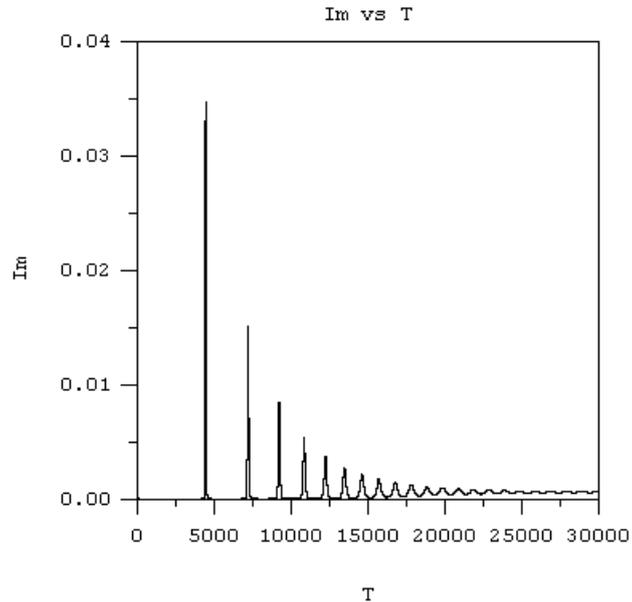
เมื่อ $A = 5000$, $b = 1$, $\mu_h = 0.0000457$, $\mu_m = 0.25$, $\gamma_h = 0.1428$,

$\beta_{mh} = 0.5$, $\beta_{hm} = 0.7$, $N_h = 10000$, $p = 0.1$

T หน่วยเป็นวัน I_h หน่วยเป็นคน

กรณี $\mathcal{R}_0 > 1$

จำนวนของคนติดเชื้อโรคเข้าสู่จุด Endemic Equilibrium



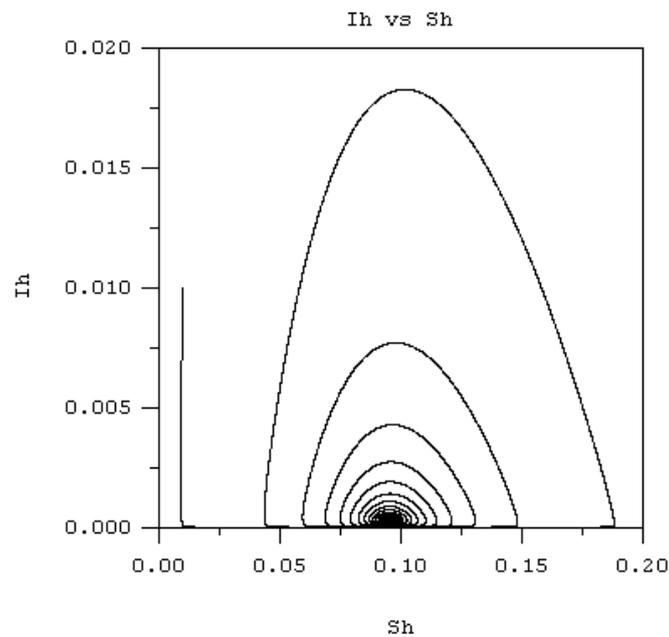
ภาพที่ 4.3.8 ค่าตอบเชิงตัวเลขแสดงจำนวนยุงที่ติดเชื้อ (I_m) เทียบกับเวลา (T)

เมื่อ $A = 5000$, $b = 1$, $\mu_h = 0.0000457$, $\mu_m = 0.25$, $\gamma_h = 0.1428$,

$\beta_{mh} = 0.5$, $\beta_{hm} = 0.7$, $N_h = 10000$, $p = 0.1$, T หน่วยเป็นวัน I_m หน่วยเป็นตัว

กรณี $\mathcal{R}_0 > 1$

จำนวนของยุงที่ติดเชื้อจะเข้าสู่ Endemic Equilibrium Point

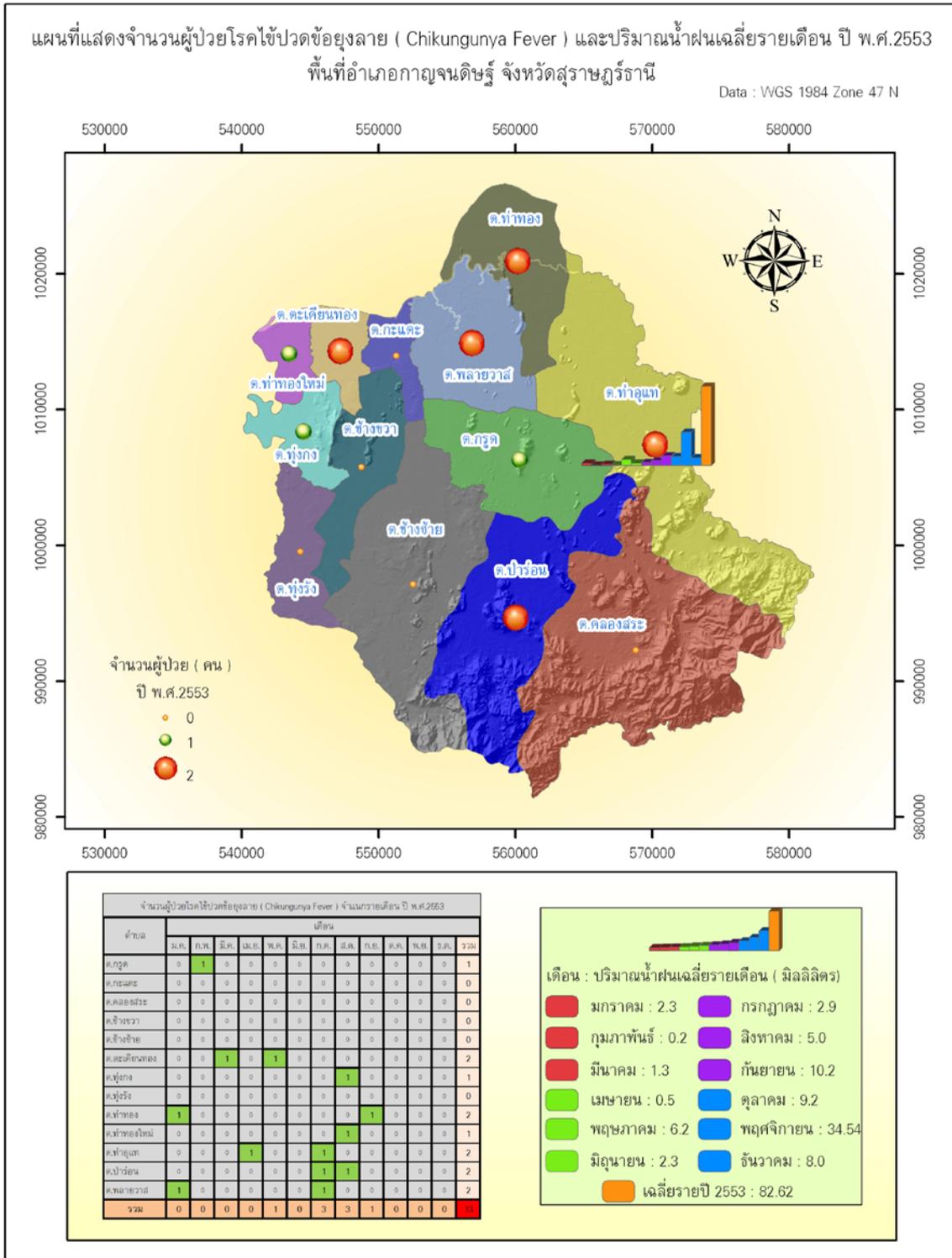


ภาพที่ 4.3.9 ค่าตอบเชิงตัวเลขแสดงวิถีของคำตอบ (Trajectory) บนระนาบ (S_h, I_h)

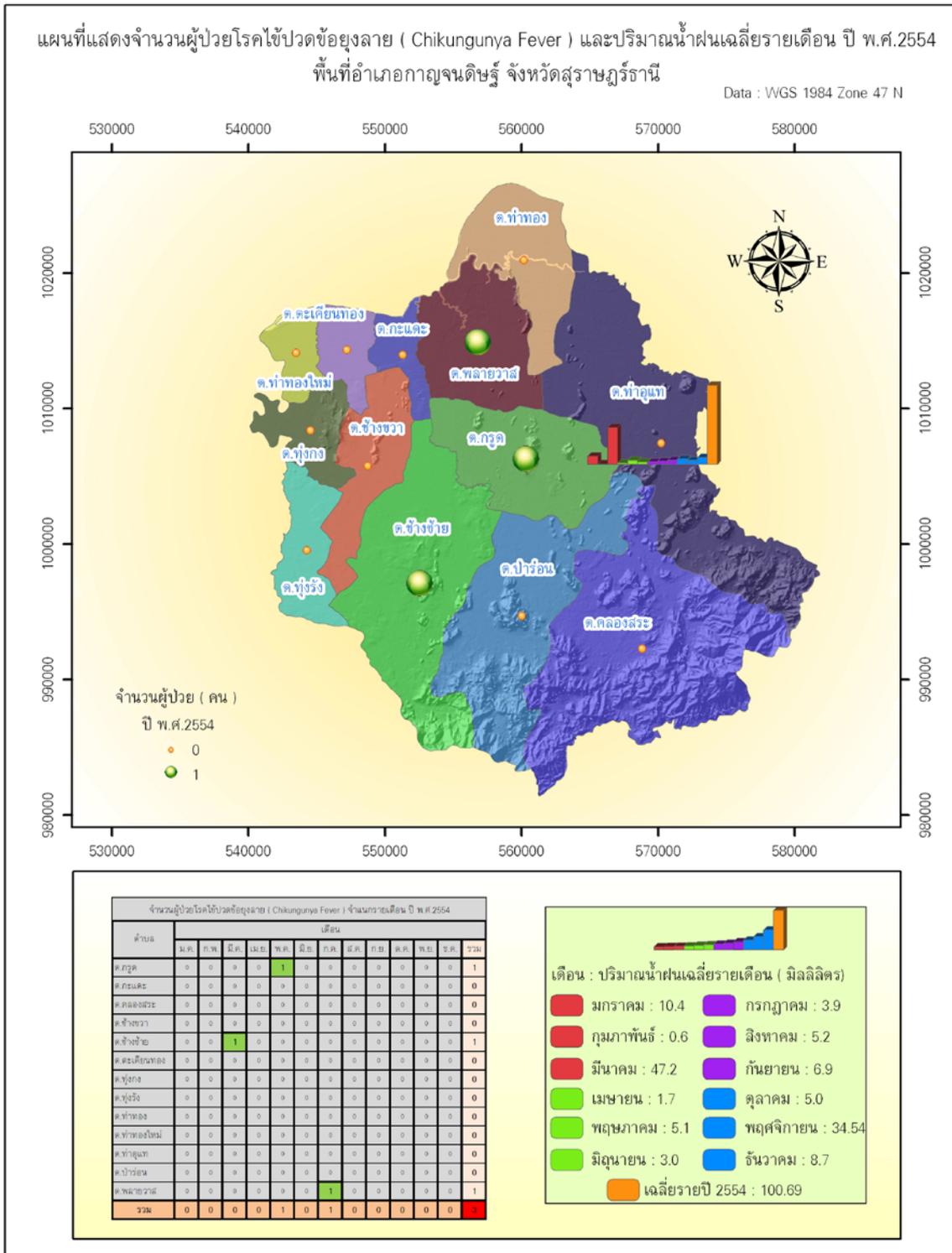
เมื่อ $\mathcal{R}_0 > 1$ วิถีคำตอบเข้าสู่จุด Endemic Equilibrium

4.4 ผลการสร้างแผนที่การระบาดของโรคไข้ปวดข้อยุงลาย

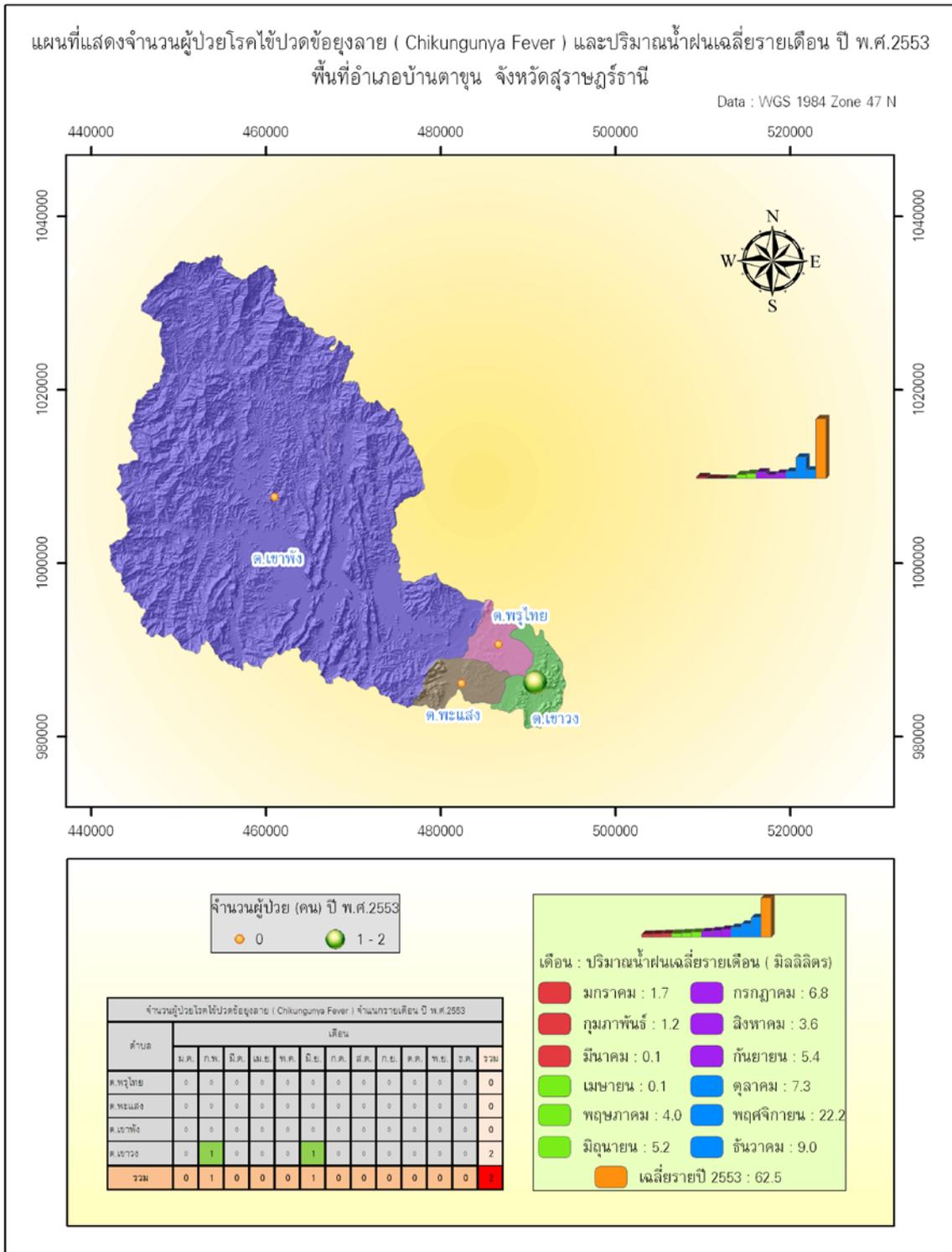
4.4.1 แผนที่แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้ปวดข้อยุงลาย และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2553 พื้นที่อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี



4.4.2 แผนที่แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้วัดไข้วัดชองกลาย และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2554
พื้นที่อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี



4.4.3 แผนที่แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้ปวดข้อยุงลาย และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2553
พื้นที่อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี



4.4.4 แผนที่แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้ปวดข้อยุงลาย และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ.2554
พื้นที่อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

