

การเปรียบเทียบสมการทำนายขนาดแผ่นดินไหวของประเทศไทยด้วยโปรแกรมจินูพล็อต Comparison of Earthquake Predictive Equations of Thailand with the Gnuplot Program

พีรพัฒน์ คำเกิด^{1*}, วิโรจน์ จันทร์จิตวิริยะ¹, ชัยวัฒน์ ยิ้มช้าง¹
Peraphat Kamkird^{1*}, Virote Janjitviriya¹, Chaiwat Yimchang¹

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

¹Science Department, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University

* E-mail: peraphat.k@nsru.ac.th

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบสมการทำนายขนาดแผ่นดินไหวของประเทศไทยด้วยโปรแกรมจินูพล็อตมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมการคณิตศาสตร์ประเมินขนาดแผ่นดินไหวจากรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย ฟังก์ชันและพารามิเตอร์ของสมการคณิตศาสตร์ได้จากการใช้ข้อมูลรอยแตกที่ปรากฏบนผิวดินกับขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตของกลุ่มนรอยเลื่อนปัวและกลุ่มนรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ ชุดคำสั่งมี 3 ชุด ประกอบด้วยชุดคำสั่งหาค่าพารามิเตอร์ ชุดคำสั่งพล็อตกราฟของสมการและชุดคำสั่งพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนขนาดแผ่นดินไหว ผลปรากฏว่าได้ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันสำหรับเขียนสมการกำลัง สมการตัวแปรแกมมาสมการ Rodbard สมการลอการิทึมธรรมชาติและสมการพหุนาม 5 อันดับ กราฟของสมการ Rodbard และสมการลอการิทึมธรรมชาติสอดคล้องกับข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตมากที่สุดและคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดสามารถนำไปใช้ประเมินขนาดแผ่นดินไหวในประเทศไทยได้

คำสำคัญ: รอยแตกที่ปรากฏบนผิวดิน แผ่นดินไหว ฟังก์ชัน จินูพล็อต

Abstract

The comparison of the earthquake magnitude equation predictions for Thailand with the Gnuplot program was performed, aims to find the equation for assessment of earthquake's magnitude size from the active fault zones in Thailand. Functions and parameters of mathematical equations were obtained from the fracture surfaces data and the earthquake's magnitude size which have occurred in the past, the same data set with Pua and Uttaradit scroll groups. There are 3 instruction sets, including (1) Instruction set to find parameters (2) Instruction set for equation graphing and (3) Instruction set for size error comparison graphing. The results show that the parameters of the function for writing the power equation are obtained as well as Gamma variable equations, Rodbard equations, Natural logarithmic equations and 5th polynomial equations. The graph of the Rodbard equation and the natural logarithmic equation are

corresponding to the most recent earthquake data which have occurred in the past with the least inaccurate for magnitude equation predictions.

Keywords: Surface Rupture Length, Earthquake, Functions, Gnuplot

บทนำ

แผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติธรรมชาติชนิดหนึ่งที่เกิดทั่วโลกโดยเฉพาะแนววงแหวนไฟซึ่งเป็นแนวที่เกิดแผ่นดินไหวบ่อยที่สุด แนวนี้อยู่ตามขอบมหาสมุทรแปซิฟิกมาถึงหมู่เกาะสุมาตราและประเทศนิวซีแลนด์ สำหรับประเทศไทยมีการสำรวจและปรับปรุงข้อมูลแผ่นดินไหวหลายครั้ง จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมทรัพยากรธรณี กรมอุตุนิยมวิทยา และหน่วยงานด้านการศึกษา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นงานด้านการสำรวจพื้นที่เพื่อจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยด้านสถิติและรวบรวมข้อมูลการอุบัติซ้ำของแผ่นดินไหว และด้านลักษณะทางกายภาพของรอยเลื่อนมีพลัง (บุรินทร์ เวชบันเทิง, 2532) สำหรับการบอกขนาดแผ่นดินไหวจะใช้สมการทางคณิตศาสตร์ของต่างชาติที่ทำไว้ซึ่งอยู่ในรูปของฟังก์ชันลอการิทึมฐานสิบ (Mirrashid et al., 2016) โดยที่ลักษณะทางภูมิศาสตร์กายภาพแตกต่างจากประเทศไทย แม้แต่ในประเทศไทยเองก็ยังมีสภาพภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถวัดขนาดแผ่นดินไหวจากพลังงานที่ปล่อยออกมาขณะเกิดแผ่นดินไหว พลังงานที่วัดได้เป็นพลังงานจลน์ซึ่งสัมพันธ์กับแอมพลิจูด (ความสูง) ของคลื่นในรูปของสมการลอการิทึมฐานสิบ สมการคณิตศาสตร์เหล่านี้ไม่ขึ้นกับลักษณะทางภูมิศาสตร์ เพราะเป็นการวัดพลังงานแผ่นดินไหวโดยตรงสามารถนำไปใช้ได้ทุกที่บนโลกหรือดาวดวงอื่น แต่การทำนายขนาดแผ่นดินไหวล่วงหน้าไม่สามารถใช้ความสูงของคลื่นได้เพราะเหตุการณ์แผ่นดินไหวยังไม่เกิดขึ้น จึงนิยมใช้ความยาวรอยเลื่อนมีพลัง เป็นตัวแปรต้นในการทำนายขนาดแผ่นดินไหวโดยอาศัยข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวในอดีตที่มีการจดบันทึกไว้ (He, Wang & Tao, 2010) แน่หนอนว่าลักษณะสัณฐานแผ่นเปลือกโลกย่อมมีความแตกต่างกันสมการความสัมพันธ์ระหว่างรอยเลื่อนมีพลังกับขนาดแผ่นดินไหวอาจใช้ได้กับบริเวณหนึ่งแต่อาจคลาดเคลื่อนกับบริเวณอื่น ๆ บนโลก สมการทางคณิตศาสตร์เป็นประโยชน์สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบการเท่ากันของสองตัวแปรได้แก่ ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม อาจกล่าวง่าย ๆ ได้ว่าเปรียบเทียบการเท่ากันของสองสิ่ง ตัวแปรต้นอยู่ด้านขวามือของสมการถูกเขียนในรูปของฟังก์ชันซึ่งมีหลายรูปแบบ จึงนิยมเรียกชื่อสมการตามชื่อฟังก์ชันนั้น ๆ และด้านซ้ายมือเป็นตัวแปรตาม เช่น สมการเส้นตรง ตัวแปรต้นเขียนในรูปฟังก์ชันเส้นตรง $y = mx + b$ เมื่อ y แทนตัวแปรตาม x แทนตัวแปรต้น m แทนความชันและ b เป็นจุดตัดบนแกน y ยังมีสมการอื่น ๆ อีก ได้แก่ สมการพหุนาม สมการกำลัง สมการลอการิทึมธรรมชาติ สมการตัวแปรแกมมา และสมการ Rodbard ฯลฯ เป็นต้น

ในการศึกษาเพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับลักษณะภูมิศาสตร์ของประเทศไทย โดยมีสมมติฐานว่าลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศในแต่ละภาคไม่มีความแตกต่างกัน และขนาดแผ่นดินไหวมีความสัมพันธ์กับความยาวรอยเลื่อนมีพลัง โดยการรวบรวมเหตุการณ์การที่เคยเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย มุ่งเก็บข้อมูลเฉพาะความยาวรอยเลื่อนมีพลังกับขนาดแผ่นดินไหวและใช้โปรแกรมจิงูพล็อต (Gnuplot) เป็นเครื่องมือพล็อตกราฟจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตกับ

กราฟที่พล็อตจากสมการคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องและเหมาะสมกัน หวังว่าจะได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับทำนายขนาดแผ่นดินไหวในประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการบรรเทาภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นให้มีผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน และประเทศชาติน้อยที่สุด

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตของกลุ่มรอยเลื่อนบัว และกลุ่มรอยเลื่อนอุตรดิตถ์
2. เพื่อเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากสมการคณิตศาสตร์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งพล็อตด้วยโปรแกรมจินูพล็อต
3. เพื่อเสาะหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมทำนายขนาดแผ่นดินไหวของประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลในการวิจัยเป็นโปรแกรม Gnuplot ที่พัฒนาโดย Thomas Williams, Colin Kelley ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1986 และพัฒนาเรื่อยมาอีกหลายรุ่น (Crawford, 2018) ผู้วิจัยใช้รุ่นที่ 5 ซึ่งเป็นรุ่นปัจจุบัน ข้อดีของโปรแกรมนี้คือแจกจ่ายฟรีและประมวลผลได้ทุกแพลตฟอร์ม โปรแกรมรุ่นนี้ Ethan A Merritt เป็นผู้พัฒนาหลักร่วมกับนักโปรแกรมเมอร์จากทั่วโลก

2. ขั้นตอนการวิจัย

รวบรวมข้อมูลการประเมินขนาดแผ่นดินไหวของกลุ่มรอยเลื่อนบัวและกลุ่มรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ที่นำเสนอโดยกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) นำข้อมูลมาสังเคราะห์และจัดเรียงลำดับตามความยาวรอยเลื่อนมีพลังกับขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ข้อมูลถูกประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Gnuplot (Janert, 2016) มีชุดคำสั่ง 3 ชุด มีรายละเอียด ดังนี้

ชุดคำสั่งที่ 1

บรรทัด 1 กำหนดฟังก์ชันที่ใช้ ผู้วิจัยได้สำรวจฟังก์ชันสำหรับสมการคณิตศาสตร์ พบว่ามีฟังก์ชัน 5 ชนิด สอดคล้องกับข้อมูล ได้แก่

ฟังก์ชันกำลัง : $f(x) = ax^b$

ฟังก์ชันตัวแปรแกมมา : $f(x) = a(x-b)^c e^{-\frac{(x-a)}{d}}$

ฟังก์ชัน Rodbard : $f(x) = d + \frac{a-d}{1 + \left(\frac{x}{c}\right)^b}$

ฟังก์ชันลอการิทึมธรรมชาติ : $f(x) = a + b \ln(x-c)$

ฟังก์ชันพหุนาม 5 อันดับ : $f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5$

บรรทัด 2 หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ด้วยคำสั่ง fit f(x) “ชื่อไฟล์ข้อมูล” via a, b,

ชุดคำสั่งที่ 2

กำหนดค่าต่าง ๆ บนแกน x หรือแนวราบเป็นค่ารอยแตกที่ปรากฏบนผิวดิน (ความยาวรอยเลื่อนมีพลัง) และแกน y หรือแนวตั้งเป็นขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตด้วยคำสั่ง set บรรทัดสุดท้ายจึงสั่งพล็อตกราฟจากข้อมูลและกราฟจากสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 5 ชนิด ด้วยคำสั่ง plot

ชุดคำสั่งที่ 3

พล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของสมการชนิดต่าง ๆ ให้อยู่ในกราฟกรอบเดียวกัน ค่านี้เป็นผลต่างระหว่างขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตกับขนาดแผ่นดินไหวจากสมการ

ผลการวิจัย

ผลการเรียงลำดับตามความยาวรอยเลื่อนมีพลังกับขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตจะได้จำนวนข้อมูลจำนวน 18 คู่ลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่เคยเกิดในอดีตของกลุ่มรอยเลื่อนบัวและกลุ่มรอยเลื่อนอุตรดิตถ์

คู่ที่	ความยาวรอยเลื่อน (กิโลเมตร)	ขนาดแผ่นดินไหว (ริกเตอร์)	คู่ที่	ความยาวรอยเลื่อน (กิโลเมตร)	ขนาด แผ่นดินไหว (ริกเตอร์)
1	2	5.43	10	12	6.33
2	4	5.78	11	13	6.37
3	5	5.89	12	14	6.41
4	6	5.98	13	15	6.44
5	7	6.06	14	19	6.51
6	8	6.13	15	18	6.54
7	9	6.19	16	20	6.59
8	10	6.24	17	22	6.64
9	11	6.29	18	23	6.66

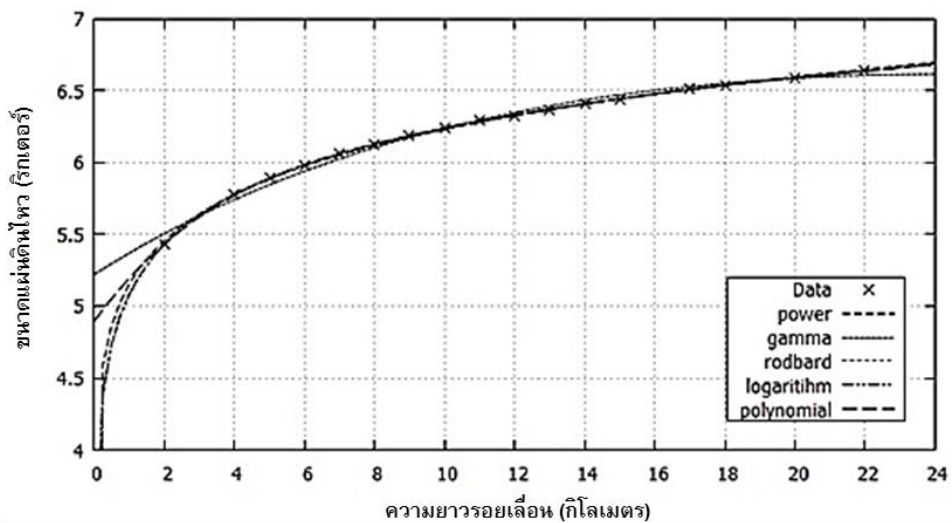
เมื่อพิจารณາตารางที่ 1 พบว่ามีแนวโน้มไปทางเดียวกันคือเมื่อความยาวรอยเลื่อนเพิ่มขึ้นแล้วขนาดแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้นด้วย

ผลการใช้ชุดคำสั่งที่ 1 ได้ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันสำหรับเขียนสมการคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของสมการคณิตศาสตร์

พารามิเตอร์	ชนิดของสมการคณิตศาสตร์				
	กำลัง	Rodbard	ตัวแปรแกมมา	ลอการิทึมธรรมชาติ	พหุนาม 5 อันดับ
a	5.15527	-3.3694	-12.4151	5.07464	4.89743
b	0.0823782	0.103844	1.54653	0.505759	0.332707
c	-	12.5812	0.557663	-0.0202545	-0.0370501
d	-	16.0818	66.0518	-	0.00241633
e	-	-	-	-	-8.01359e-05
f	-	-	-	-	1.04685e-06

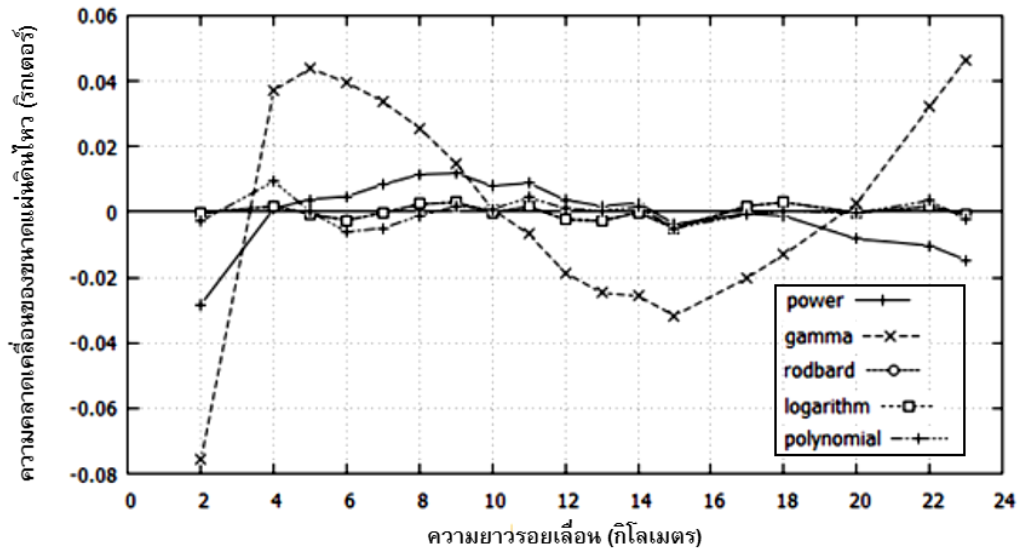
จากตารางเป็นข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของสมการคณิตศาสตร์ที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรม Gnuplot ด้วยชุดคำสั่งที่ 1 โดยการวนซ้ำจนกว่าค่าที่ได้จะเข้าใกล้ข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณีแล้วนำสมการคณิตศาสตร์ไปพล็อตกราฟด้วยชุดคำสั่งที่ 2 ได้ ดังภาพที่ 1 แสดงเส้นโค้งของกราฟสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 5 ชนิดกับขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีต



ภาพที่ 1 เส้นโค้งของกราฟสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 5 ชนิดกับขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีต

จากภาพที่ 1 พบว่าเส้นกราฟของสมการตัวแปรแกมมาหลุดออกมาจากข้อมูลชัดเจนในช่วงต้นและช่วงปลายของกราฟ สำหรับสมการกำลัง สมการ Rodbard สมการลอการิทึมธรรมชาติ และสมการพหุนามนามเส้นโค้งของกราฟทับซ้อนกันมีเพียงช่วงต้นกราฟของสมการพหุนามเท่านั้นที่แยกออกมา เพื่อ

ความสะดวกในการเปรียบเทียบสมการคณิตศาสตร์ จึงเปรียบเทียบสมการคณิตศาสตร์จากค่าความคลาดเคลื่อนได้ ดังภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนขนาดแผ่นดินไหวของสมการคณิตศาสตร์



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนขนาดแผ่นดินไหวของสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 5 ชนิด

จากภาพที่ 2 สมการตัวแปรแกมมาคลาดเคลื่อนมากที่สุด รองลงมาเป็นสมการกำลัง สมการพหุนาม 5 อันดับ และสมการ Rodbard กับสมการลอการิทึมธรรมชาติคลาดเคลื่อนเท่ากัน ตามลำดับจึงสามารถใช้สมการ Rodbard หรือ สมการลอการิทึมธรรมชาติประเมินขนาดแผ่นดินไหวในประเทศไทยได้

อภิปรายผลการวิจัย

สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพล็อตกราฟด้วยโปรแกรม Gnuplot พบว่ามีสมการ 5 ชนิด ได้แก่ สมการพหุนาม 5 อันดับ สมการกำลัง สมการลอการิทึมฐานธรรมชาติ สมการ Rodbard และสมการตัวแปรแกมมา ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นสมการทำนายขนาดแผ่นดินไหวได้ โดยนำมาพล็อตกราฟหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละสมการ ปรากฏว่าสมการกำลังและสมการตัวแปรแกมมามีค่าคลาดเคลื่อนมากกว่าสมการพหุนาม 5 อันดับ สมการลอการิทึมฐานธรรมชาติ และสมการ Rodbard อย่างชัดเจน จากการพล็อตกราฟด้วยสมการทั้ง 5 โดยตัดสมการที่มีค่าคลาดเคลื่อนมากออกไป 2 ชนิดได้แก่ สมการกำลังและสมการตัวแปรแกมมา ปรากฏว่าสมการพหุนาม 5 อันดับ ใช้ได้ดีที่ความยาวรอยเลื่อนมีพลังมากกว่า 7 กิโลเมตร ขึ้นไป สำหรับสมการลอการิทึมฐานธรรมชาติและสมการ Rodbard ใช้ได้ดีทุกช่วงความยาวรอยเลื่อน

การพล็อตกราฟด้วยสมการคณิตศาสตร์มีข้อจำกัด เพราะนิยามของสมการคณิตศาสตร์จะกำหนดให้ $x \neq 0$ เพราะเป็นกรณีที่มีปัญหาหากโดยเฉพาะการคูณ การหาร และการยกกำลัง เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ใช้ความยาวรอยเลื่อนมีพลังจำนวน 18 รอยที่มีความยาวตั้งแต่ 2 – 23 กิโลเมตร ถ้าพิจารณา

จากการที่ไม่มีรอยเลื่อนจะไม่มีแผ่นดินไหวแล้วเลขคู่ลำดับ $(x, y) = (0, 0)$ ไม่สามารถพล็อตกราฟได้ ดังนั้น จึงเลือกใช้ค่าที่เข้าใกล้ศูนย์ที่สุดซึ่งของโปรแกรม Gnuplot เท่ากับ 1×10^{-8} ($1e-008$) จึงจะได้ค่าพารามิเตอร์ของสมการ

สมการลอการิทึมฐานธรรมชาติ จำนวนข้อมูล 18 คู่ลำดับ มีพารามิเตอร์ a_1, b_1 และ c_1 เท่ากับ 5.07464, 0.505759 และ -0.0202545 ตามลำดับ ถ้าเพิ่มคู่ลำดับ (0,0) ข้อมูลจะเป็น 19 คู่ลำดับ มีพารามิเตอร์เป็น a_2, b_2 และ c_2 เท่ากับ 5.07961, 0.504162 และ $4.21147e-005$ ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาเลขนัยสำคัญของขนาดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตซึ่งมีเพียง 3 ตัว พบว่าค่าพารามิเตอร์ไม่มีความแตกต่าง สมการ Rodbard จำนวนข้อมูล 18 คู่ลำดับ มีพารามิเตอร์ a_1, b_1, c_1 และ d_1 เท่ากับ -3.3694, 0.103844, 12.5812 และ 16.0818 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มคู่ลำดับ (0,0) ข้อมูลจะเป็น 19 คู่ลำดับ มีพารามิเตอร์เป็น a_2, b_2, c_2 และ d_2 เท่ากับ -0.538947, 0.155788, 5.63168, และ 12.4414 ตามลำดับ พบว่าค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวแรก เพิ่มขึ้น 2 หลัก แต่เมื่อพิจารณาภาพรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

โดยสมการลอการิทึมฐานธรรมชาติที่ได้สอดคล้องกับสมการทำนายขนาดแผ่นดินไหวชนิดลอการิทึมธรรมชาติของ Anderson, Wesnousky และ Stirling (1996) และ Wells และ Coppersmith (1994) ซึ่งเป็นสมการที่นิยมใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นดินไหวกับลักษณะของรอยเลื่อนที่มีพลัง แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของสมการทำนายขนาดแผ่นดินไหวชนิดลอการิทึมธรรมชาติ

พารามิเตอร์	สมการทำนายขนาดแผ่นดินไหวชนิดลอการิทึมธรรมชาติ		
	Anderson, Wesnousky & Stirling (1996)	Wells & Coppersmith (1994)	ผลงานวิจัยนี้
a	5.12	4.38	5.07464
b	0.503782	0.647099	0.505759
c	-	-	-0.0202545

สรุปผลการวิจัย

การทำนายขนาดแผ่นดินไหวในประเทศไทย สามารถใช้สมการลอการิทึมธรรมชาติแบบพารามิเตอร์ 3 ตัวได้ ดังสมการ

$$ML = a + b \ln(x - c)$$

เมื่อ ML แทนขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (ริกเตอร์) x แทนความยาวรอยเลื่อนมีพลัง (กิโลเมตร) a, b และ c เป็นพารามิเตอร์ มีค่า 5.07464, 0.505759 และ -0.0202545 ตามลำดับ

หรือใช้สมการ Rodbard ซึ่งเป็นสมการพหุนามดีกรี 4 ตัว แทนได้ดังสมการ

$$ML = d + \frac{a-d}{1 + \left(\frac{x}{c}\right)^b}$$

เมื่อ ML แทนขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (ริกเตอร์) x แทนความยาวรอยเลื่อนมีพลัง (กิโลเมตร) a, b, c และ d เป็นพารามิเตอร์ มีค่า $-3.3694, 0.103844, 12.5812$ และ 16.0818 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำสมการลอการิทึมธรรมชาติ หรือสมการ Rodbard ที่ได้ไปทำนายขนาดแผ่นดินไหวในประเทศไทยกับรอยเลื่อนมีพลังอื่น ๆ
2. สร้างสมการขึ้นมาใหม่ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสมการโดยใช้สมการลอการิทึมธรรมชาติร่วมกับสมการ Rodbard เป็นสมการพื้นฐาน
3. สมการที่สร้างขึ้นเป็นสมการที่ใช้เฉพาะรอยเลื่อนบัวกับอุตรดิตถ์เท่านั้น ซึ่งถ้านำไปใช้กับรอยเลื่อนอื่น ควรต้องศึกษาตัวแปรเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินรายได้ สาขาวิชาฟิสิกส์ และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ประจำปีงบประมาณ 2562

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2554). *โครงการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ที่แสดงร่องรอยการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลังใน จังหวัดอุตรดิตถ์ น่าน พิชณุโลก และ สุโขทัย (กลุ่มรอยเลื่อนอุตรดิตถ์และกลุ่มรอยเลื่อนบัว)*. สืบค้นจาก http://www.dmr.go.th/n_more.php?c_id=470
- บุรินทร์ เวชบันเทิง. (2532). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแผ่นดินไหว. สืบค้นจาก <http://www.earthquake.tmd.go.th/documents/file/seismo-doc-1404895189.pdf>
- Anderson, J.G., Wesnousky, S.G. & Stirling, M.W. (1996). Earthquake size as a function of fault slip rate. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(3), 683–690.
- Crawford, D. (2018). *gnuplot 5.3 :An Interactive Plotting Program*. Retrieved from http://www.gnuplot.info/docs_5.2/Gnuplot_5.2.pdf
- He, M., Wang, Y. & Tao, Z. (2010). A new early-warning prediction system for monitoring shear force of fault plane in the active fault. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2(3), 223–231.
- Janert, P.K. (2016). *Gnuplot in action* (2nd ed.). New York: Manning Publications.

- Mirrashid, M., Givehchi, M., Miri, M. & Madandoust, R. (2016). Performance investigation of neuro-fuzzy system for earthquake prediction. *Asian Journal of Civil Engineering*, 17(2), 213-223.
- Wells, D.L. & Coppersmith, K.J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of Seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.

วันที่รับบทความ 16 ม.ค. 63, วันที่แก้ไขบทความ 15 พ.ค. 63, วันที่ตอบรับบทความ 1 มิ.ย. 63