



# โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์

โดย

นางสาวสุทธิกานต์ คำศิริ

เลขประจำตัวนิสิต 5732757823

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและฉบับเต็มของนิสิตของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นเพียงข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.



การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอกกาบาตบนดวงจันทร์

นางสาวสุทธิกานต์ คำศิริ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2560

# FREQUENCY-SIZE DISTRIBUTIION OF THE CRATERS ON MOON

MISS SUTTHIKAN KHAMSIRI

A project submitted in Partial Fulfilment of the Requirements  
for the Degree of the Bachelor of Science in Geology  
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Academic Year 2017



## 5732757823 : ภาควิชาธรณีวิทยา

คำสำคัญ : หลุมอุกกาบาต / ดวงจันทร์ / ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่-ขนาด

สุทธิกานต์ คำศิริ: การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์  
(FREQUENCY-SIZE DISTRIBUTION OF THE CRATERS ON MOON) อาจารย์ที่  
ปรึกษาโครงการหลัก: อาจารย์ ดร. อัครนัฐ ชะบางบอน อาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการ:  
รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่-ขนาด (Frequency-size distribution relationship) และประยุกต์ใช้ข้อมูลเพื่อประเมิน 1) ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลาที่พิจารณา 2) เวลาการเกิดเฉลี่ยของขนาดหลุมอุกกาบาตที่พิจารณา และ 3) โอกาสในการเกิดของขนาดหลุมอุกกาบาตและเวลาที่พิจารณา โดยใช้ข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่รวบรวมโดยหน่วยงาน Lunar and Planetary Institute (LPI) ซึ่งจากการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์ได้ทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุดข้อมูลเพื่อให้สอดคล้องกับทฤษฎีมากที่สุด ได้แก่ 1) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร 2) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร และ 3) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร ซึ่งจากเงื่อนไขดังกล่าว ผลการศึกษาสามารถประเมินค่า a และค่า b มีค่า 3.97 และ  $0.0201 \pm 0.0003$  ตามลำดับ และหากประเมินในเชิงพื้นที่พบว่าด้านโกลมีค่าสูงกว่าด้านไกล ในชุดข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร และค่า a และค่า b มีค่า 2.39 และ  $0.00246 \pm 0.0003$  ตามลำดับ และหากประเมินในเชิงพื้นที่พบว่าด้านโกลมีค่าสูงกว่าด้านไกล ในชุดข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร นอกจากนี้ผลการประเมินพบว่าในชุดข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร มีขนาดอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ ด้านโกลมีขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่กว่าด้านไกล ในขณะที่เวลาการเกิดเฉลี่ยด้านโกลมีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นกว่าด้านไกล และโอกาสในการเกิดพบว่าด้านโกลมีโอกาสในการเกิดสูงกว่าด้านไกล แต่ในชุดข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตรพบว่าขนาดอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ ด้านโกลมีขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่กว่าด้านไกล ในขณะที่เวลาการเกิดเฉลี่ยด้านโกลมีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นกว่าด้านไกล และโอกาสในการเกิดพบว่าด้านโกลมีโอกาสในการเกิดสูงกว่าด้านไกล ซึ่งขนาดที่เกิดแตกต่างกันของหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์มีผลมาจากความแตกต่างของชั้นเปลือก (crust) ของด้านโกลและด้านไกลของดวงจันทร์

ภาควิชา .....ธรณีวิทยา..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา .....ธรณีวิทยา..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาโครงการหลัก.....

ปีการศึกษา .....2560.....

## 5732757823 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : IMPACT CRATER / MOON / FREQUENCY-SIZE DISTRIBUTION /  
PLANETOLOGY

SUTTHIKAN KHAMSIRI: FREQUENCY-SIZE DISTRIBUTION OF THE CRATERS  
ON MOON. ADVISOR: Dr. AKKANEEWUT CHABANGBORN, CO-ADVISOR:  
ASSOC. PROF. Dr. SANTI PAILOPLEE

The aim of this study is to investigate the frequency-size distribution of the craters on the Moon in term of spatial distribution. The utilized database is based mainly on the Lunar and Planetary Institute (LPI). Based on the frequency-size distribution, the craters can be evaluated in terms of 1) maximum size, 2) average time and 3) the probability of occurrence. After analysis, this database is divided to three groups which are 1) craters with diameter less than or equal 140 kilometres, 2) craters with diameter more than 140 kilometres and less than or equal to 930 kilometres and 3) craters with diameter more than 930 kilometres. The results of a value and b value in craters with diameter less than or equal 140 kilometres are 3.97 and  $0.0201 \pm 0.0003$ , respectively and the nearside is more than the farside spatially. The results show that a value and b value in craters with diameter more than 140 kilometres and less than or equal 930 kilometres are 2.39 and  $0.00246 \pm 0.0003$  respectively. For craters with diameter less than or equal 140 kilometres, maximum size in the farside is larger than the nearside, average time of the farside is less than the nearside, and the probability of the occurrence of the farside is higher than the nearside. For craters with diameter more than 140 kilometres and less than or equal 930 kilometres, the maximum size in the nearside is larger than the farside, the time average of the nearside is shorter than the farside, and probability of occurrence of the nearside is higher than the farside. The difference sizes of craters on the Moon in both sides are caused by geological differences between the nearside and the farside.

Department .....Geology..... Student's Signature .....

Field of Study .....Geology..... Advisor's Signature .....

Academic Year .....2017.....

## กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการวิจัยนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีหากขาดบุคคลดังต่อไปนี้  
ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. อัครนีรุช ชะบางบอนและ รศ. ดร. สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่  
ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และเป็นທີ່ปรึกษาที่ดีมาตลอดมาตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัย  
แม้ว่าจะเกิดปัญหาระหว่างการทางาน หรืออุปสรรคใดๆ ก็ได้ท่านอาจารย์คอยให้คำแนะนำ ให้  
กำลังใจ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณข้อมูลจากหน่วยงาน Lunar and Planetary Institute ([www.lpi.usra.edu](http://www.lpi.usra.edu)) ที่มีการ  
เผยแพร่ข้อมูลและอนุญาตให้นำข้อมูลมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ทางด้านธรณีวิทยา  
ช่วยแนะนำสั่งสอน และบ่มเพาะให้ผู้วิจัยมีความเป็นนักวิทยาศาสตร์และนักธรณีวิทยาที่ติดต่อกับ  
การศึกษา และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือกันตลอดมา



## สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT)	ค
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ง
สารบัญ (CONTENT)	จ
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ช
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฉ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ฐ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2. วัตถุประสงค์ (Objective)	2
1.3. พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง (THEORY AND LITERATURE REVIEW)	3
2.1. ทฤษฎี (Theory)	3
2.2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)	5
2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)	9
บทที่ 3 ผลการศึกษา (RESULT)	11
3.1. ข้อมูลหลุมอุกกาบาต (Craters Database)	11
3.2. ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistic Data)	11
3.3. รูปแบบการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดของหลุมอุกกาบาต (Frequency-magnitude Distribution Model)	13
3.4. การประเมินค่า b, และค่า a โดยรวม (Analysis of a Value and b Value on Moon)	14
3.5. การประเมินค่า b ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า b เปอร์เซนต์ความ สอดคล้องระหว่างข้อมูลของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาด และค่า a เชิงพื้นที่ (Analysis b Value, Standard Deviation of b Value, Goodness Fit of Frequency-size Distribution and a Value in Spatial)	16
3.6. การประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุด (Maximum Size)	25

3.7. การประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย (Average Time)	32
3.8. การประเมินโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (Probability of Occurrence)	39
บทที่ 4 อภิปรายผล (DISCUSSION)	46
4.1. การประเมินการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตโดยรวม (Analysis of a Value and b Value on Moon)	46
4.2. การประเมินการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตเชิงพื้นที่ (Analysis of a Value and b Value in Spatial)	46
4.3. ขนาดอุกกาบาตใหญ่ที่สุด (Maximum Size)	47
4.4. การประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย (Average Time)	47
4.5. การประเมินโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (Probability of Occurrence)	48
บทที่ 5 สรุปผล (CONCLUSION)	49
5.1. กระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตโดยรวม (a Value and b Value on Moon)	49
5.2. การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตเชิงพื้นที่ (a Value and b Value in Spatial)	49
5.3. ขนาดอุกกาบาตใหญ่ที่สุด (Maximum Size)	49
5.4. การประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย (Average Time)	49
5.5. การประเมินโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (Probability of Occurrence)	50
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	51

## สารบัญรูปลูกภาพ (FIGURE CONTENT)

		หน้า
รูป 2.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดแผ่นดินไหววิเคราะห์จากข้อมูลแผ่นดินไหวในแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวสำคัญในภูมิภาคอาเซียน (Pailoplee and Choowong, 2013)	5
รูป 2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดของดินถล่มและความถี่ในการเกิด (Guthrie, 2008)	6
รูป 2.3	กราฟแสดงการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์ โดยแบ่งข้อมูลเป็นเชิงพื้นที่ (Neukum and Konig, 1974)	7
รูป 2.4	กราฟแสดงการกระจายตัวของหลุมอุกกาบาตขนาดต่างๆ โดยครอบคลุมพื้นที่ผิวทั้งหมดประมาณ 70,000 ตารางเมตร (Quantin, 2011)	8
รูป 2.5	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	10
รูป 3.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาตกับจำนวนหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าสะสม ในข้อมูลหลุมอุกกาบาตทั้งหมดบนดวงจันทร์	13
รูป 3.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาตกับจำนวนหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าสะสม ในข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร	14
รูป 3.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาตกับจำนวนหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าสะสม ในข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร	15
รูป 3.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาตกับจำนวนหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าสะสม ในข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร	16
รูป 3.5	แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า $b$ ในแต่ละตำแหน่งและกราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) จากข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร	17
รูป 3.6	แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า $b$ ในแต่ละตำแหน่ง และกราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่าเบี่ยงเบน	18

- มาตรฐานของค่า  $b$  จากข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร
- รูป 3.7 แผนที่แสดงเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดในแต่ละตำแหน่งและกราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) จากข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร 19
- รูป 3.8 แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า  $a$  ในแต่ละตำแหน่งกราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่า  $a$  จากข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร 20
- รูป 3.9 แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า  $b$  ในแต่ละตำแหน่งและกราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่า  $b$  จากข้อมูลทั้งหมดของชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร 21
- รูป 3.10 แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  ในแต่ละตำแหน่งและกราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  จากข้อมูลทั้งหมดของชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร 22
- รูป 3.11 แผนที่แสดงเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดในแต่ละตำแหน่งและกราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) จากข้อมูลทั้งหมดของชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร 23
- รูป 3.12 แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า  $a$  ในแต่ละตำแหน่งและกราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่า  $a$  จากข้อมูลทั้งหมดของชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร 24
- รูป 3.13 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 2,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร 25
- รูป 3.14 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 5,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร 26





- รูป 3.35 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 750 กิโลเมตร ในอีก 15,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร 44
- รูป 3.36 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 930 กิโลเมตร ในอีก 20,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร 45

สารบัญตาราง  
(TABLE CONTENT)

	หน้า
ตาราง 3.1. แสดงตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่นำมาวิเคราะห์	12



## สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)

	หน้า
สมการ 2.1. สมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ (Frequency-magnitude distribution) (Ishimoto and Iida, 1939 and Gutenberg and Richter, 1944)	3
สมการ 2.2. สมการประเมินพฤติกรรมการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่สุด (Yadav <i>et al.</i> , 2011)	3
สมการ 2.3. สมการประเมินเวลาการเกิดเฉลี่ย (Yadav <i>et al.</i> , 2011)	4
สมการ 2.4. สมการประเมินโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (Yadav <i>et al.</i> , 2011)	4

# บทที่ 1

## บทนำ

### (INTRODUCTION)

#### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ (Theme and Background)

เหตุการณ์อุกกาบาตชนโลกเป็นเหตุการณ์ที่ถูกรับรู้ว่าเป็นเรื่องไกลตัว เนื่องจากเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ได้เกิดขึ้นบ่อย แต่อย่างไรก็ตามเหตุการณ์อุกกาบาตชนโลกเป็นหนึ่งในภัยพิบัติที่รุนแรงและเป็นหนึ่งในเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ในอดีต (Schulte *et al.*, 2010) นอกจากนี้บนโลกยังปรากฏร่องรอยของหลุมอุกกาบาตจำนวนมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์นี้เป็นเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ และอาจก่อให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงกว่าภัยพิบัติที่เราเคยพบเจอ ถึงแม้ร่องรอยที่มีปรากฏอยู่บนโลกจะมีมาก แต่พบว่าหลุมที่ปรากฏในโลกยังไม่ใช่อะไรที่เกิดจากการชนของอุกกาบาตทั้งหมด โดยสาเหตุแรกคือการที่อุกกาบาตเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศซึ่งส่งผลให้เกิดการลุกไหม้และส่งผลให้อุกกาบาตมีขนาดเล็กลงหรือสลายตัวไปและอีกสาเหตุหนึ่งมาจากการที่ผิวโลกของเรามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานและกระบวนการกัดกร่อน (Osinski, 2014) ซึ่งส่งผลให้อะไรร่องรอยของอุกกาบาตที่เกิดขึ้นนั้นถูกลบเลือนไปและทำให้ข้อมูลเชิงสถิติเกี่ยวกับอุกกาบาตบนโลกมีน้อยมากและไม่เพียงพอในการหาคาบการเกิดหรือนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ

ในขณะที่ดวงจันทร์ซึ่งเป็นดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุดและโอกาสที่วิถีโคจรของดวงจันทร์จะทับกับอุกกาบาตมีโอกาสใกล้เคียงกับวิถีโคจรของโลกจะทับกับอุกกาบาต (Hiesinger *et al.*, 2014) นอกจากนี้ดวงจันทร์มีอายุอยู่ที่ 4.51 พันล้านปีจากการหาอายุจากตัวอย่างดวงจันทร์โดยวิธีแฮฟเนียม (Hafnium) ซึ่งเป็นอายุที่แก่ที่สุดของดวงจันทร์ที่มีข้อมูลในตอนนี้อยู่ (Barboni *et al.*, 2017) และจากการศึกษาโดยวิธีการหาอายุของแร่เซอร์คอน (Zircon dating) พบว่าโลกของเรามีอายุอย่างน้อย 4.4 พันล้านปี (Valley *et al.*, 2014) ซึ่งใกล้เคียงกับอายุที่หาจากวิธีการหาจากไอโซโทปของออกซิเจน (Oxygen isotope) ที่มีอายุอยู่ที่ 4.0 พันล้านปีและมีความเป็นไปได้ที่จะมีอายุมากถึง 4.2 พันล้านปี (Rumble, 2013) จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าดวงจันทร์และโลกมีอายุใกล้เคียงกันมากและหากพิจารณาโอกาสที่ดวงจันทร์และโลกจะโดนอุกกาบาตชนในปริมาณที่ใกล้เคียงกันจึงมีความเป็นไปได้สูง ยิ่งไปกว่านั้นดวงจันทร์ยังไม่มีชั้นบรรยากาศปกคลุม ส่งผลให้อุกกาบาตสามารถผ่านเข้ามาได้โดยไม่เกิดการลุกไหม้หรือลดขนาดลงและที่สำคัญที่สุดคือ หลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์มีจำนวนมากและไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดธรณีแปรสัณฐาน (Marshak, 2012) ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดของหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์ เพื่อมาประยุกต์ใช้กับการประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนโลก

## 1.2. วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อศึกษาการกระจายตัวของหลุมอุกกาบาตและประเมินพฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาตบนดวงจันทร์

## 1.3. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

ดวงจันทร์ซึ่งเป็นดาวบริวารเพียงดวงเดียวของโลก มีพื้นที่ผิว  $3.793 \times 10^7$  ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ใน 10 เท่าของพื้นที่ผิวโลกทั้งหมด ประกอบด้วยเส้นลองจิจูดที่มีค่าตั้งแต่  $180^\circ\text{E}$  ถึง  $180^\circ\text{W}$  และเส้นละติจูดที่มีค่าตั้งแต่  $90^\circ\text{N}$  ถึง  $90^\circ\text{S}$  มีคาบการหมุนแบบสมวารคือคาบการหมุนรอบตัวเองของดวงจันทร์มีค่าเท่ากับคาบการโคจรของดวงจันทร์รอบโลก ส่งผลให้โลกมองเห็นดวงจันทร์เพียงด้านเดียว โดยเรียกด้านที่หันเข้าหาโลกว่า ด้านใกล้ (nearside) และเรียกด้านที่หันออกจากโลกว่าด้านไกล (farside) ([www.nasa.gov](http://www.nasa.gov))

## 1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)

ศึกษาพฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาตโดยใช้ฐานข้อมูลจากหน่วยงาน Lunar and Planetary Institute ([www.lpi.usra.edu](http://www.lpi.usra.edu)) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ทำการศึกษเกี่ยวกับดวงจันทร์และมีความน่าเชื่อถือเป็นอย่างมาก โดยวิเคราะห์ในรูปการกระจายตัวเชิงพื้นที่เพื่อประเมิน 1) ขนาดอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ 2) เวลาการเกิดเฉลี่ยและ 3) โอกาสในการเกิดของขนาดอุกกาบาตและช่วงเวลาที่พิจารณา

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### (THEORY AND LITERATURE REVIEW)

#### 2.1. ทฤษฎี (Theory)

##### 2.1.1. สมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ (Frequency-magnitude distribution)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเรื่องของสมการความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาด (frequency-magnitude distribution) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ศึกษาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยเหตุการณ์เหล่านี้จะมีความถี่ในการเกิดเหตุการณ์ขนาดใหญ่ น้อยกว่าความถี่ในการเกิดเหตุการณ์ขนาดเล็ก สมการนี้ถูกนำมาใช้แพร่หลายในด้านการศึกษาแผ่นดินไหว หรืออาจเรียกว่า สมการกูเตินเบิร์ก-ริกเตอร์ (Gutenberg-Richter relationship) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของเหตุการณ์สะสมและขนาดของเหตุการณ์จะให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดังสมการ 2.1 ซึ่งถูกเสนอโดย Ishimoto and Iida (1939) และ Gutenberg and Richter (1944)

$$\log_{10} N_M = a - bM \quad (\text{สมการ 2.1})$$

กำหนดให้

$N$  คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวสะสมขนาดใหญ่กว่า  $M$

$a$  และ  $b$  คือ ค่าคงที่

$M$  คือ ขนาดของแผ่นดินไหว

โดยในทางแผ่นดินไหววิทยา ค่า  $a$  หรือจุดตัดแกน  $Y$  ของสมการหมายถึงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกขนาดแผ่นดินไหว และค่า  $b$  หรือความชันของกราฟ คือ สัดส่วนของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่กว่าต่อแผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า ดังนั้นบริเวณที่มีค่า  $b$  ต่ำจะสามารถบอกร่องตื้นได้ว่ามีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่สูงกว่าบริเวณที่มีค่า  $b$  สูง

##### 2.1.2. ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุด (Maximum size)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลหลุมอุกกาบาตด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ ได้ค่า  $a$  และค่า  $b$  ออกมาโดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสมการที่ใช้ประเมินพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่ถูกเสนอโดย Yadav *et al.* (2011) ดังสมการ 2.2

$$U_t = \frac{\ln \alpha t}{\beta} \quad (\text{สมการ 2.2})$$

กำหนดให้

$U_t$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาตที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา  $t$

$t$  คือ เวลาที่พิจารณา

$$\alpha = e^{aln10}$$

$$\beta = b^{ln10}$$

### 2.1.3. เวลาการเกิดโดยเฉลี่ย (Average Time)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลหลุมอุกกาบาตด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ ได้ค่า  $a$  และค่า  $b$  ออกมา Yadav et al. (2011) ยังได้เสนอสมการที่ใช้ประเมินคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวเอาไว้ โดยสมการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการหาเวลาเฉลี่ยในการเกิดของหลุมอุกกาบาตแต่ละขนาดได้ ดังสมการ 2.3

$$T_M = \frac{e^{\beta M}}{\alpha} \quad (\text{สมการ 2.3})$$

กำหนดให้

$T_M$  คือ เวลาการเกิดโดยเฉลี่ยของขนาดหลุมอุกกาบาตเส้นผ่านศูนย์กลาง  $M$  กิโลเมตร

$M$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาต

$$\alpha = e^{aln10}$$

$$\beta = b^{ln10}$$

### 2.1.4. โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (Probability of occurrence)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลหลุมอุกกาบาตด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ ได้ค่า  $a$  และค่า  $b$  ออกมา Yadav et al. (2011) ยังได้เสนอสมการที่ใช้ประเมินโอกาสในการเกิดแผ่นดินไหว (%) เอาไว้ โดยสมการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการหาเวลาเฉลี่ยในการเกิดของหลุมอุกกาบาตแต่ละขนาดได้ ดังสมการ 2.4

$$P_T = 1 - e^{-\alpha T e^{\beta M}} \quad (\text{สมการ 2.4})$$

กำหนดให้

$P_T$  คือ โอกาสในการเกิดขนาดหลุมอุกกาบาตเส้นผ่านศูนย์กลาง  $M$  กิโลเมตรในช่วงเวลา  $T$

$M$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาต

$T$  คือ เวลาที่พิจารณา

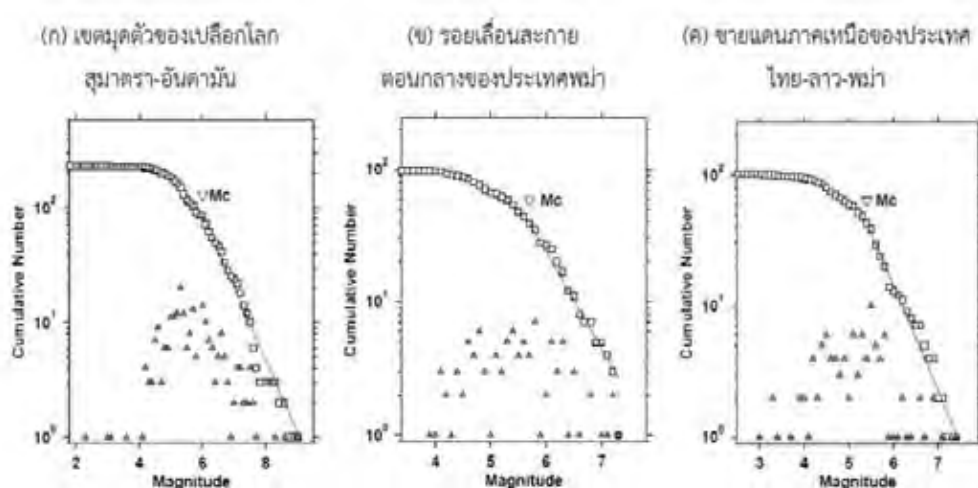
$$\alpha = e^{aln10}$$

$$\beta = b^{ln10}$$

## 2.2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

### 2.2.1. Pailoplee and Choowong (2013)

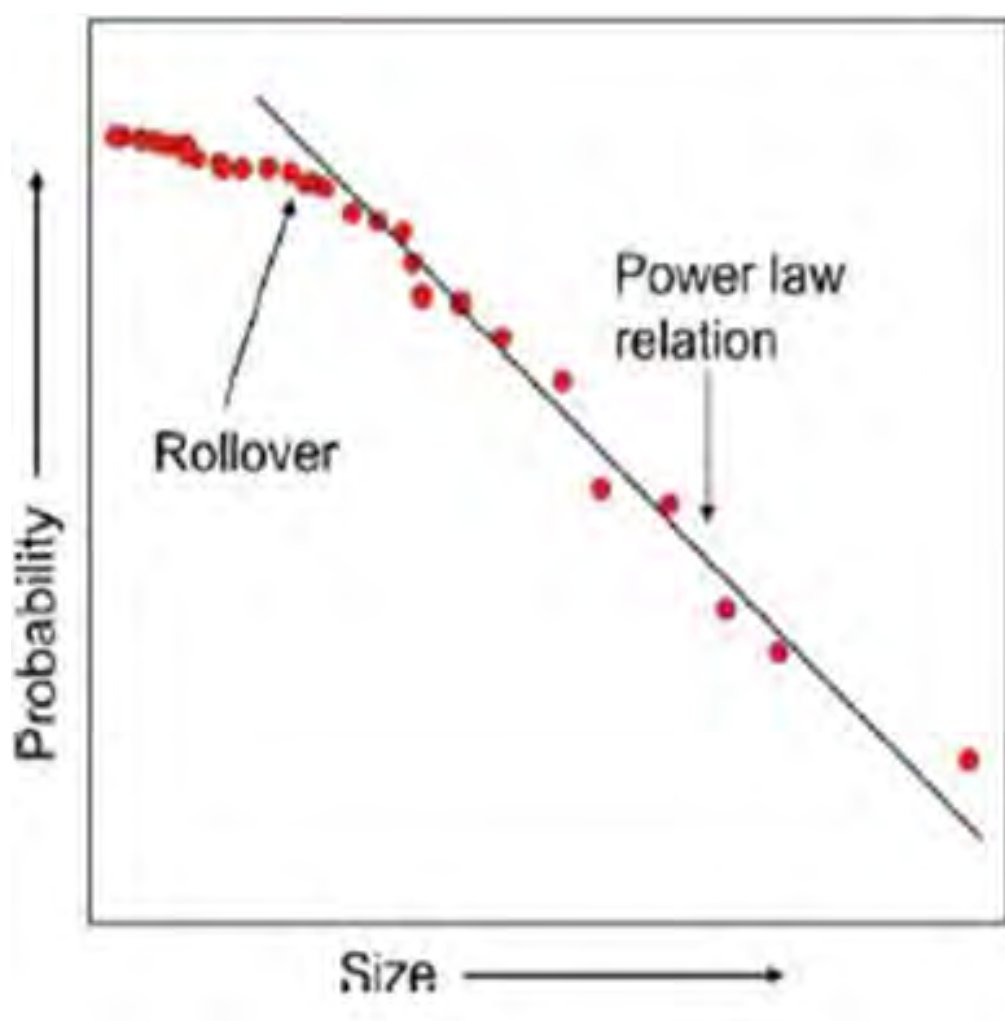
จาก Pailoplee and Choowong (2013) ได้ทำการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวในแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวสำคัญในภูมิภาคอาเซียนโดยวิเคราะห์ค่า  $a$  และค่า  $b$  ของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวสำคัญในภูมิภาคอาเซียน โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ทำการจำแนกข้อมูลแผ่นดินไหวดังกล่าวตามเขตกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดแผ่นดินไหว ดังแสดงตัวอย่างบางแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในรูป 2.1 ซึ่งบ่งชี้ว่าข้อมูลแผ่นดินไหวจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ สอดคล้องกับสมการความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดแผ่นดินไหว (รูป 2.1) โดยในทางแผ่นดินไหววิทยา ค่า  $a$  (จุดตัดแกน  $Y$  ของสมการความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดแผ่นดินไหว) คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกขนาดแผ่นดินไหว ส่วนในกรณีของค่า  $b$  (ความชันของสมการความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดแผ่นดินไหว) คือ สัดส่วนของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่กว่าต่อแผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า



รูป 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดแผ่นดินไหว วิเคราะห์จากข้อมูลแผ่นดินไหวในแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวสำคัญในภูมิภาคอาเซียน (Pailoplee and Choowong, 2013) สามเหลี่ยม คือ จำนวนแผ่นดินไหวในแต่ละขนาด  $M$  สี่เหลี่ยม คือ จำนวนแผ่นดินไหวสะสมของแผ่นดินไหวขนาด  $\geq M$  เส้นตรง คือ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ประเมินจากจำนวนแผ่นดินไหวสะสม

### 2.2.2. Guthrie (2008)

แม้การศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มนั้นยังถือเป็นเรื่องที่ไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก แต่การศึกษาภัยพิบัติดินถล่มก็นับว่าเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อชีวิตของคนทั่วไป การศึกษาของ Guthrie (2008) ได้สร้างแบบจำลองขึ้นมา เพื่อศึกษาพฤติกรรมดินถล่มจากการสร้างแบบจำลอง โดยคำนึงถึงภูมิศาสตร์และลักษณะลุ่มน้ำ บริเวณลุ่มน้ำเบอร์ (Loughborough) และลุ่มน้ำคลานาวา (Klanawa watershed) ประเทศแคนาดา โดยผลพบว่าพฤติกรรมดินถล่มที่เป็นไปตามความสัมพันธ์การกระจายเชิงความถี่ของขนาด ดังรูป 2.2 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของดินถล่มที่มีขนาดใหญ่ถึง 10,000-20,000 ตารางเมตร ในขณะที่ดินถล่มขนาดเล็กจะมีความชันของกราฟน้อย โดยจากความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลอง สามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง

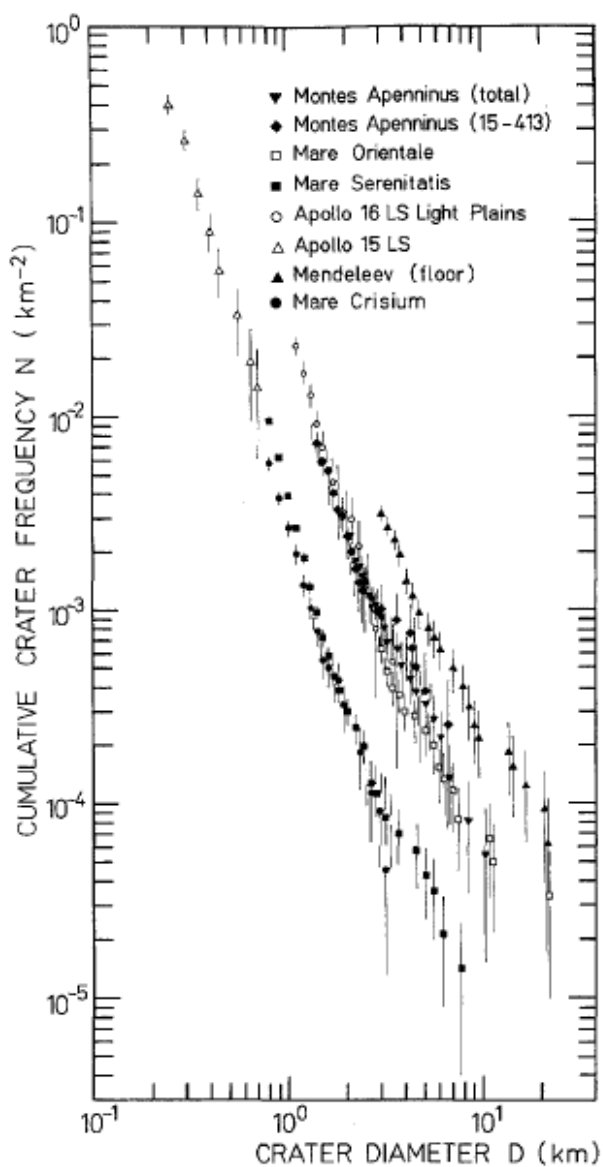


รูป 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดของดินถล่มและความถี่ในการเกิด (Guthrie, 2008)

วงกลม คือ จำนวนดินถล่มสะสม เส้นตรง คือ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ประเมินจากจำนวนดินถล่มสะสม

### 2.2.3. Neukum and Konig (1974)

จาก Neukum and Konig (1974) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาต โดยได้ทำการศึกษาตามข้อมูลเป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ บริเวณเทือกเขาแอฟเพนนิอุส (Montes Apenninus) ทะเลออเรนเทล (Mare Orientale) ทะเลเซเรนิเททิส (Mare Serenitatis) อพอลโล 16 (Apollo 16) อพอลโล 15 (Apollo 15) เมนเดเลอีฟ (Mendeleev) และทะเลครีเซียม (Mare Crisium) โดยได้กราฟแสดงความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตดังรูป 2.2 แต่อย่างไรก็ตามในด้านข้อจำกัดทางเทคโนโลยีและข้อมูลที่มีในการศึกษา การศึกษาของ Neukum and Konig (1974) ได้ใช้ข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์แค่บริเวณพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ไม่ได้ใช้ข้อมูลหลุมอุกกาบาตทั้งหมดบนดวงจันทร์

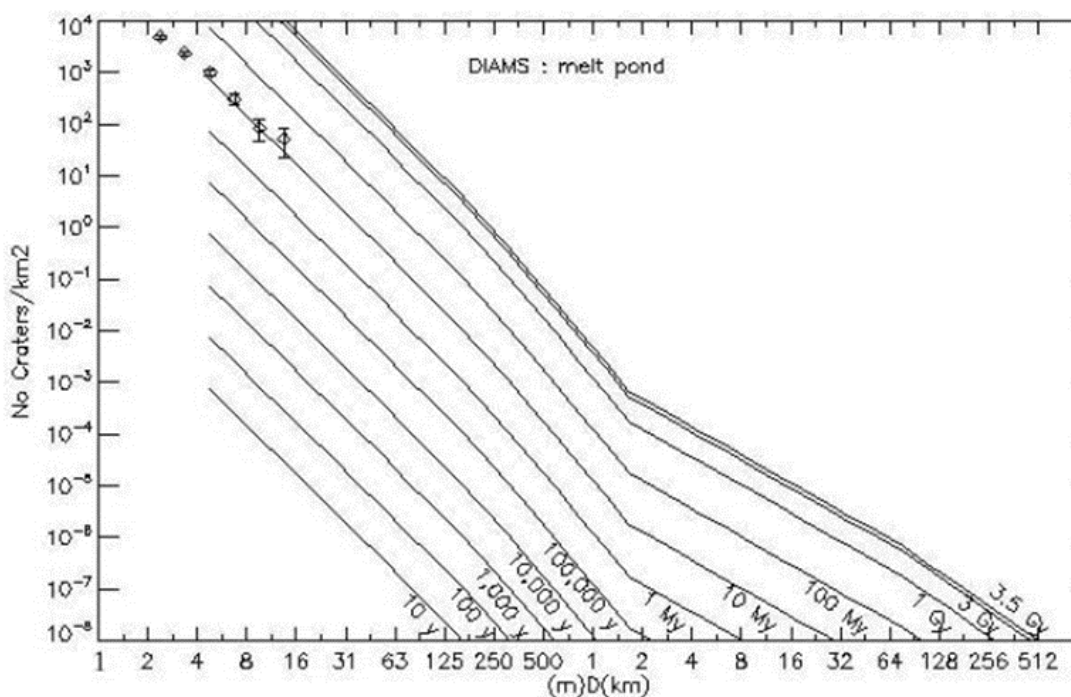


รูป 2.3 กราฟแสดงการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์ โดยแบ่งข้อมูลเป็นเชิงพื้นที่ (Neukum and Konig, 1974)



### 2.2.3. Quantin (2011)

Quantin (2011) ได้ใช้ความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดในการศึกษาการกระจายตัวเชิงความถี่ของหลุมอุกกาบาตขนาดเล็กบนดวงจันทร์ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากหน่วยงาน Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) และสามารถศึกษาหลุมอุกกาบาตขนาดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่า 30 เมตร โดยเลือกศึกษาบริเวณที่มีพื้นผิวที่มีอายุน้อย คือ บริเวณไทโค (Tycho) ซึ่งมีอายุประมาณ  $109 \pm 4$  ล้านปีและนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาผ่านแบบจำลองเพื่อศึกษาอายุจากขนาดของหลุมอุกกาบาต ซึ่งไม่เคยมีข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีขนาดเล็กกว่า 100 เมตร ถูกนำมาศึกษามาก่อน และผลพบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตในชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาดเล็กที่สุด (เส้นผ่านศูนย์กลาง < 30 เมตร) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาดเล็ก (30 เมตร-1 กิโลเมตร) ดังรูป 2.4 และใช้วิธีการหาอายุของ Hartmann and Neukum และพบว่าอายุที่ออกมาอยู่ในช่วง 10, 80-100 ล้านปี ซึ่งแสดงว่าถึงวิธีการหาอายุของ Hartmann and Neukum สามารถนำมาใช้ได้กับหลุมอุกกาบาตขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Quantin (2011) ได้ใช้ข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์เพียงบางส่วนเท่านั้น และเป็นการศึกษาแค่บางพื้นที่ของดวงจันทร์เท่านั้น ไม่ได้ทำการศึกษาหลุมอุกกาบาตทั้งหมดบนดวงจันทร์



รูป 2.4 กราฟแสดงการกระจายตัวของหลุมอุกกาบาตขนาดต่างๆ โดยครอบคลุมพื้นที่ผิวทั้งหมด ประมาณ 70,000 ตารางเมตร (Quantin, 2011)

## 2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยแบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

### 2.3.1. รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Relevant theory and literature review)

ทำการศึกษาทฤษฎีและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์ รวมไปถึงการหาองค์การที่ทำการรวบรวมข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์ไว้

### 2.3.2. เตรียมข้อมูล (Preparing data)

พิจารณาและคัดเลือกข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือและเหมาะสมกับการวิจัยครั้งนี้มากที่สุด หลังจากนั้นทำการปรับปรุงข้อมูลต่อการนำไปวิเคราะห์ตามทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

### 2.3.3. การวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis)

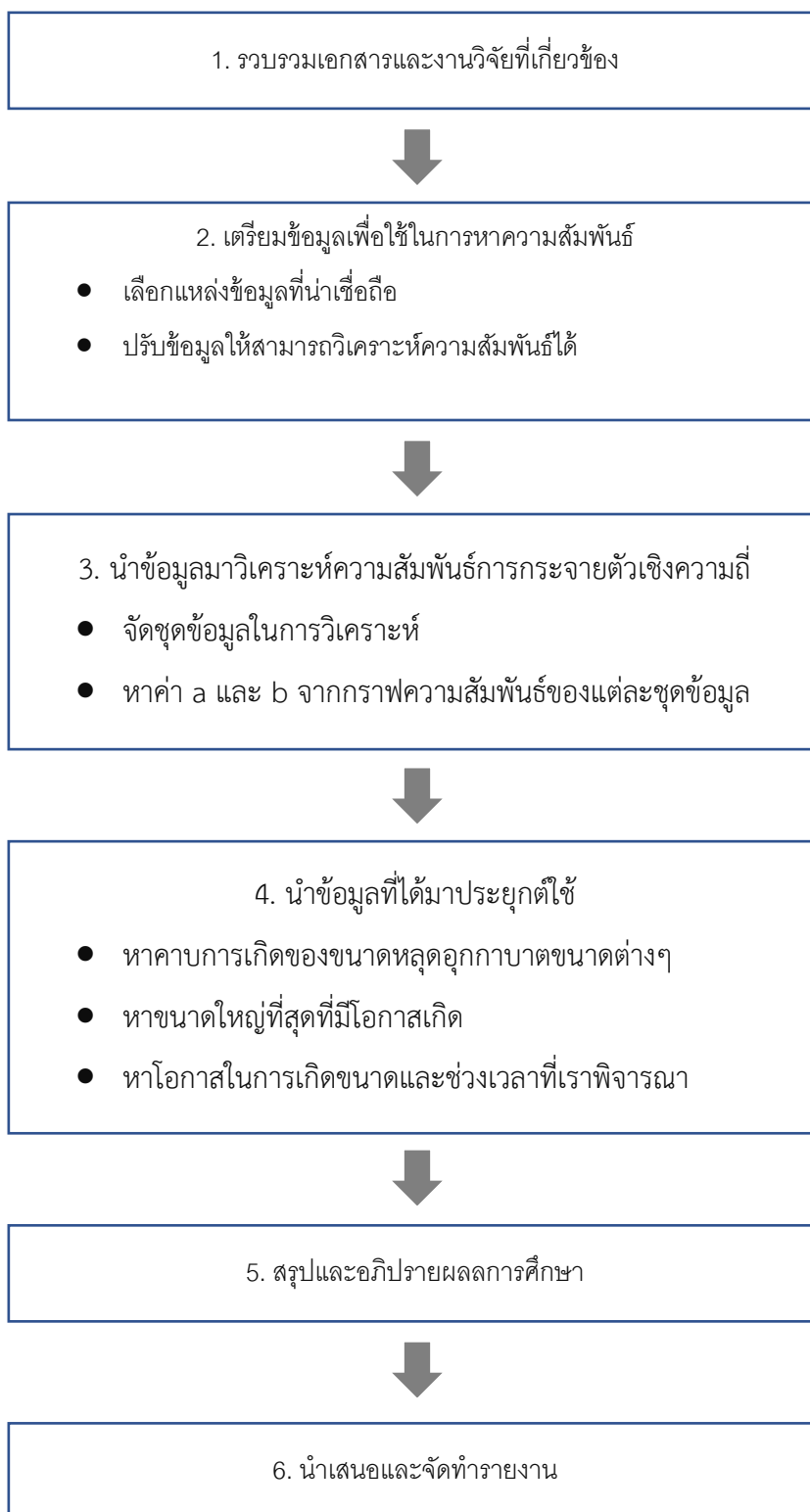
นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาต และทำการปรับปรุงให้ข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ตรงหรือใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุด เพื่อหาค่า  $a$  และค่า  $b$  จากความสัมพันธ์ โดยค่า  $a$  และค่า  $b$  ที่วิเคราะห์ออกมาจะเป็นค่า  $a$  และค่า  $b$  โดยรวมทั้งพื้นที่ทั้งหมดบนดวงจันทร์ และค่า  $a$  และ  $b$  ในเชิงพื้นที่ซึ่งจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของแผนที่

### 2.3.4. การประยุกต์ใช้ (Application)

หลังจากได้ค่า  $a$  และค่า  $b$  จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตแล้ว จะนำค่า  $a$  และค่า  $b$  มาวิเคราะห์หา 1) หาขนาดใหญ่ที่สุดที่มีโอกาสเกิด 2) หาคาบการเกิดของขนาดหลุมอุกกาบาตขนาดต่างๆ 3) หาโอกาสในการเกิดขนาดและช่วงเวลาที่เราพิจารณา

### 2.3.5. อภิปรายผลและสรุป (Discussion and conclusion)

ทำการสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก 2.3.3. และ 3.3.4. จากนั้นทำการอภิปรายผล โดยมุ่งเน้นที่จะอภิปรายผลในแง่ของลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างด้านใกล้และด้านไกลของดวงจันทร์



รูป 2.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

## บทที่ 3

### ผลการศึกษา

#### (RESULT)

#### 3.1. ข้อมูลหลุมอุกกาบาต (Craters Database)

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลพบว่าข้อมูลของหลุมอุกกาบาตมีการรวบรวมไว้จากหลายองค์กร ดังนี้

1) จาก Andersson and Whitaker (1982) มีการรวบรวมข้อมูลหลุมบนดวงจันทร์ทั้งหมดทั้งด้านใกล้และด้านไกล โดยมีข้อมูลทั้งหมด 8,497 หลุม โดยข้อมูลประกอบด้วย 1) ละติจูด 2) ลองจิจูดและ 3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาต

2) จาก Losiak *et al.* (2009) มีการรวบรวมข้อมูลของหลุมอุกกาบาตไว้ทั้งหมด 8,716 หลุม โดยข้อมูลนี้ได้มีการปรับปรุงอยู่ตลอดเวลาจนล่าสุดเมื่อปี 2015 โดยเป็นโครงการที่เกิดจากการร่วมมือของ Lunar Exploration Summer Intern Program at the Lunar and Planetary Institute in 2008 โดยข้อมูลประกอบด้วย 1) ชื่อหลุมอุกกาบาต 2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาต 3) ละติจูดและลองจิจูด 4) ความสูงของขอบหลุมอุกกาบาต 5) ความลึกปรากฏและ 6) ข้อมูลพื้นฐานอื่นๆ

3) จาก Lunar Orbiter Laser Altimeter instrument ซึ่งเป็นข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่ถูกรวบรวมไว้ทั้งหมด 5,185 ข้อมูล โดยได้ถูกนำไปใช้โดย Head *et al.* (2010) โดยข้อมูลประกอบด้วย 1) ละติจูด 2) ลองจิจูดและ 3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาต

โดยในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ข้อมูลจาก Losiak *et al.* (2009) เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีการปรับข้อมูลล่าสุดที่สุดและข้อมูลนี้ยังมีความครบถ้วนมากกว่าดังที่กล่าวไว้ในเบื้องต้น

#### 3.2. ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistic Data)

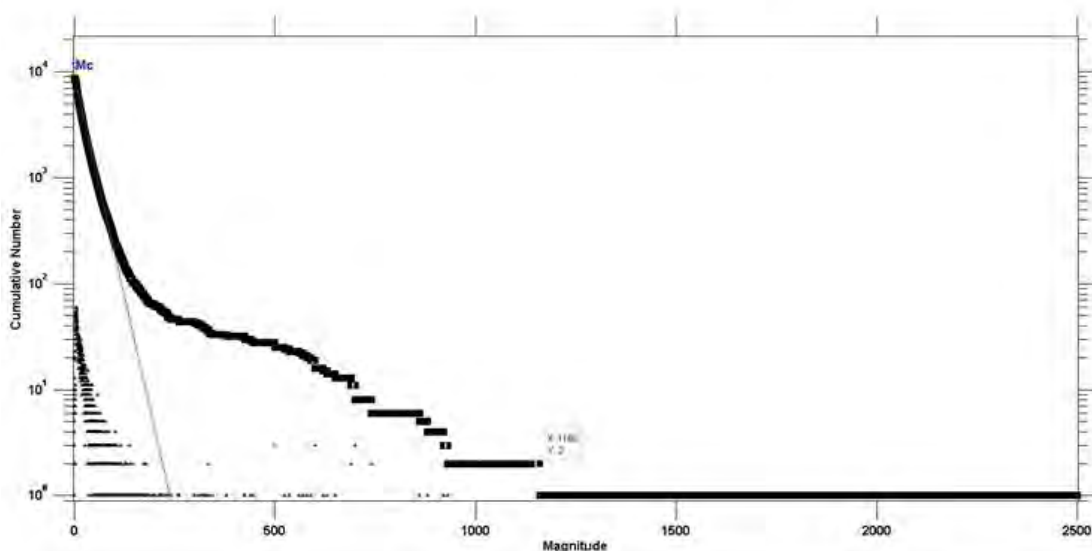
การนำข้อมูลเชิงสถิติของขนาดหลุมอุกกาบาตจาก Losiak *et al.* (2009) มาใช้ จะต้องมีการคัดเลือกข้อมูลที่จำเป็นโดยข้อมูลที่ต้องใช้ประกอบด้วย 1) ตำแหน่งของหลุมอุกกาบาต ได้แก่ ละติจูดและลองจิจูดและ 2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมอุกกาบาต มีตัวอย่างข้อมูล ดังแสดงตัวอย่างบางส่วนในตาราง 3.1.

ตาราง 3.1. แสดงตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่นำมาวิเคราะห์

ละติจูด (°)	ลองจิจูด (°)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (กิโลเมตร)
-57.58	174.77	63.98
-58.44	177.58	25.13
-59.82	176.86	26.10
-61.75	175.24	28.61
5.56	54.74	10.40
-34.63	85.78	137.35
-36.31	85.80	27.83
-36.72	82.60	41.55
-36.13	81.41	36.84
-37.67	86.45	27.90
-37.54	84.44	14.00
-34.69	77.46	9.94
-34.55	82.39	54.13
-32.38	83.52	91.01
-20.99	11.89	43.19
-22.79	10.44	22.19
-20.82	10.06	13.77
-21.37	11.09	43.69
-21.76	9.65	7.25
-21.46	9.40	14.11
-21.58	10.34	6.30
-20.53	11.00	4.92
-21.09	12.71	4.72
-19.92	10.69	4.26
-20.02	9.85	39.27
20.11	27.82	1.60
0.96	116.63	54.18
-36.20	79.87	18.76

### 3.3. รูปแบบการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดของหลุมอุกกาบาต (Frequency-size Distribution Model)

จากทฤษฎีความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาด พบว่าขนาดเหตุการณ์สะสมขนาดใหญ่กว่า ( $Y$ ) กับขนาดของเหตุการณ์ ( $X$ ) สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงได้ และมีค่าความชันของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ค่าหนึ่งหรือค่า  $b$  และการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมอุกกาบาตสะสมขนาดใหญ่กว่ากับขนาดของหลุมอุกกาบาต (รูป 5) พบว่าแนวโน้มความสัมพันธ์ไม่ได้เป็นเส้นตรงเดียวกันทั้งหมด โดยจะพบว่ากราฟมีแนวโน้มความชันของกราฟเส้นตรงแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลักๆ ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎีความสัมพันธ์เชิงความถี่ ดังรูป 3.1 ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงข้อมูล โดยการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ 1) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร 2) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร และ 3) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร



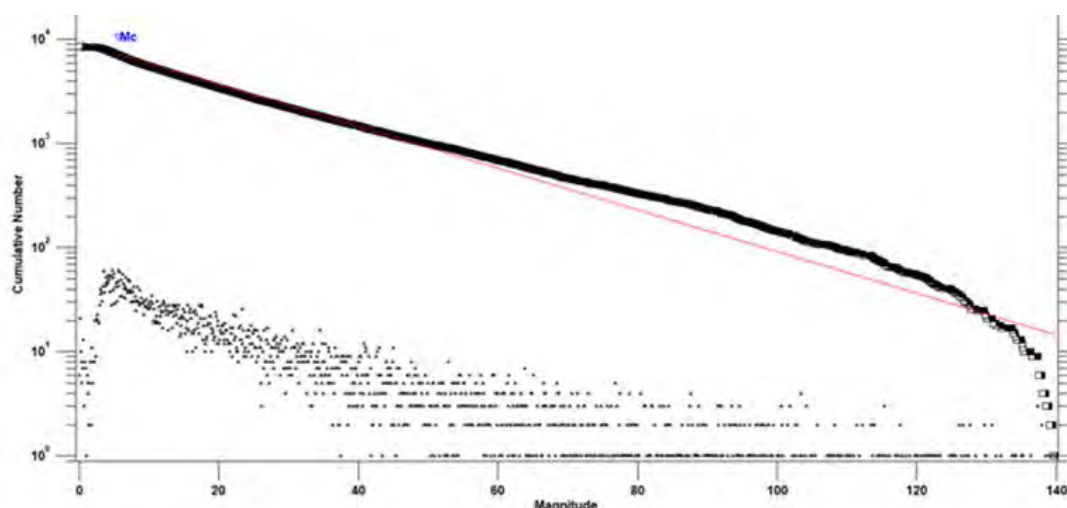
รูป 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาต (แกน  $Y$ ) กับจำนวนหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าสะสม (แกน  $X$ ) สามเหลี่ยม คือ จำนวนหลุมอุกกาบาตในแต่ละขนาด  $M$  สี่เหลี่ยม คือ จำนวนหลุมอุกกาบาตสะสมของหลุมอุกกาบาตขนาด  $\geq M$  เส้นตรง คือ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ประเมินจากหลุมอุกกาบาตสะสม ในข้อมูลหลุมอุกกาบาตทั้งหมดบนดวงจันทร์

### 3.4. การประเมินค่า $b$ , และค่า $a$ โดยรวม (Analysis of $a$ Value and $b$ Value on Moon)

การวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาต โดยอ้างอิงจากสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดแผ่นดินไหว (Frequency-magnitude distribution) ซึ่งเป็นสมการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสะสมของแผ่นดินไหวขนาด  $\geq M$  และขนาดแผ่นดินไหว ( $M$ ) ที่ถูกเสนอโดย Ishimoto and Iida (1939) และ Gutenberg and Richter (1944)

#### 3.4.1. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร (Craters with diameter less than or equal 140 kilometres)

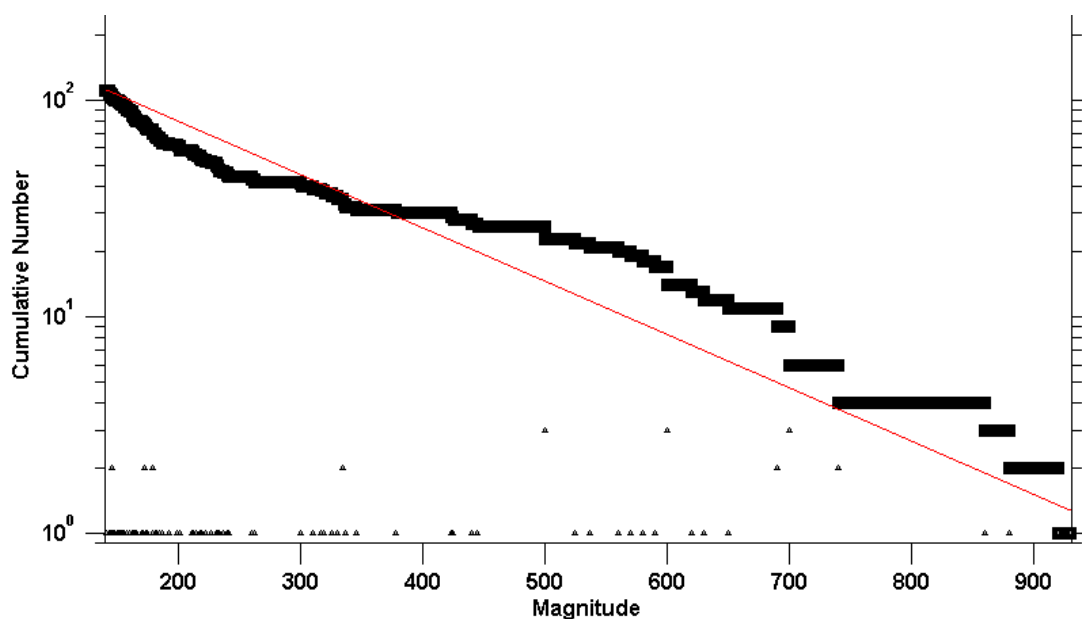
ชุดข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาต โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมอุกกาบาตสะสมขนาดใหญ่กว่า (แกน  $Y$ ) กับขนาดของหลุมอุกกาบาต (แกน  $X$ ) พบว่ามีค่า  $a$  หรืออัตราการเกิดหลุมอุกกาบาตโดยรวม เท่ากับ 3.97 และค่า  $b$  หรือค่าความชันของความสัมพันธ์สมการเชิงความถี่ เท่ากับ  $0.0201 \pm 0.0003$  ดังรูป 3.2



รูป 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาต (แกน  $Y$ ) กับจำนวนหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าสะสม (แกน  $X$ ) สามเหลี่ยม คือ จำนวนหลุมอุกกาบาตในแต่ละขนาด  $M$  สี่เหลี่ยม คือ จำนวนหลุมอุกกาบาตสะสมของหลุมอุกกาบาตขนาด  $\geq M$  เส้นตรง คือ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ประเมินจากหลุมอุกกาบาตสะสม ในข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร และได้ค่า  $a$  (จุดตัดแกน  $Y$ ) เท่ากับ 3.97 และค่า  $b$  (ความชันของกราฟ) เท่ากับ  $0.0201 \pm 0.0003$

### 3.4.2. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 140 kilometres and less than or equal 930 kilometres)

ชุดข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาต โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมอุกกาบาตสะสมขนาดใหญ่กว่า (แกน Y) กับขนาดของหลุมอุกกาบาต (แกน X) พบว่ามีค่า  $a$  หรืออัตราการเกิดหลุมอุกกาบาตโดยรวม เท่ากับ 2.39 และค่า  $b$  หรือค่าความชันของความสัมพันธ์สมการเชิงความถี่ เท่ากับ  $0.00246 \pm 0.0003$  ดังรูป 3.3

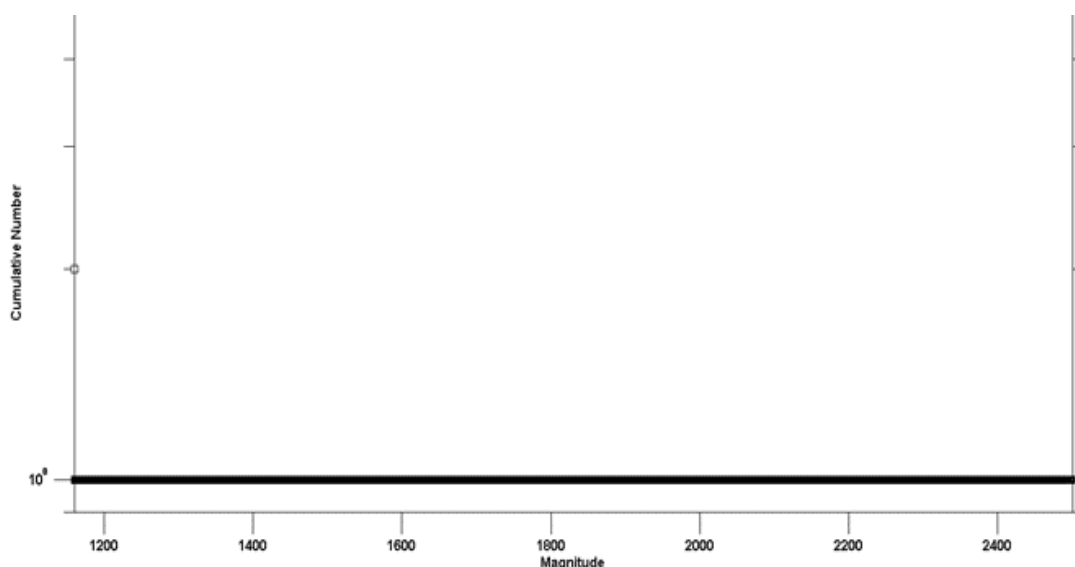


รูป 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาต (แกน Y) กับจำนวนหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าสะสม (แกน X) สามเหลี่ยม คือ จำนวนหลุมอุกกาบาตในแต่ละขนาด  $M$  สี่เหลี่ยม คือ จำนวนหลุมอุกกาบาตสะสมของหลุมอุกกาบาตขนาด  $\geq M$  เส้นตรง คือ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ประเมินจากหลุมอุกกาบาตสะสม ในข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร และได้ค่า  $a$  (จุดตัดแกน Y) เท่ากับ 2.39 และค่า  $b$  (ความชันของกราฟ) เท่ากับ  $0.00246 \pm 0.0003$



### 3.4.3. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 930 kilometres)

ชุดข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาต โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมอุกกาบาตสะสมขนาดใหญ่กว่า (แกน Y) กับขนาดของหลุมอุกกาบาต (แกน X) พบว่าไม่สามารถหาค่า  $a$  และค่า  $b$  ได้ เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่มีน้อยเกินไปส่งผลให้การประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ไม่สามารถทำได้ ดังรูป 3.4



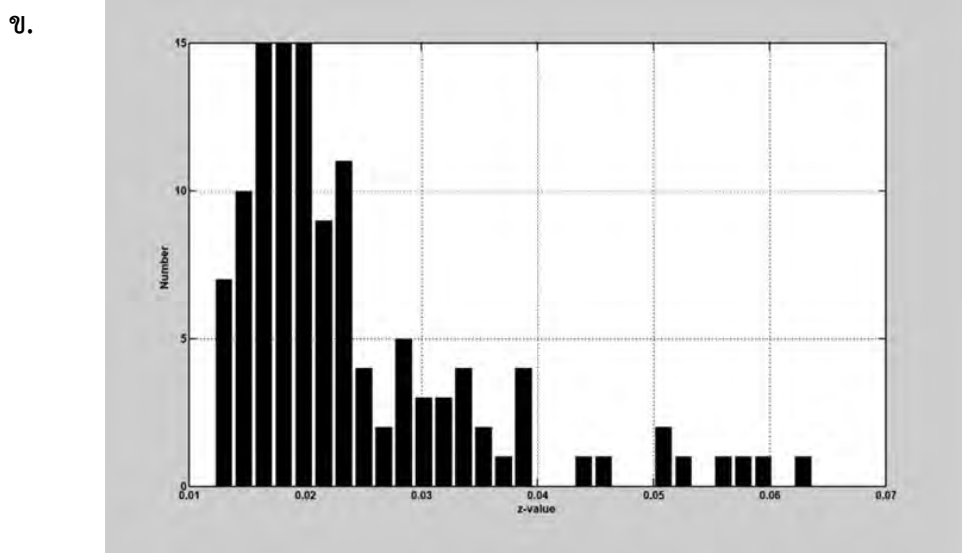
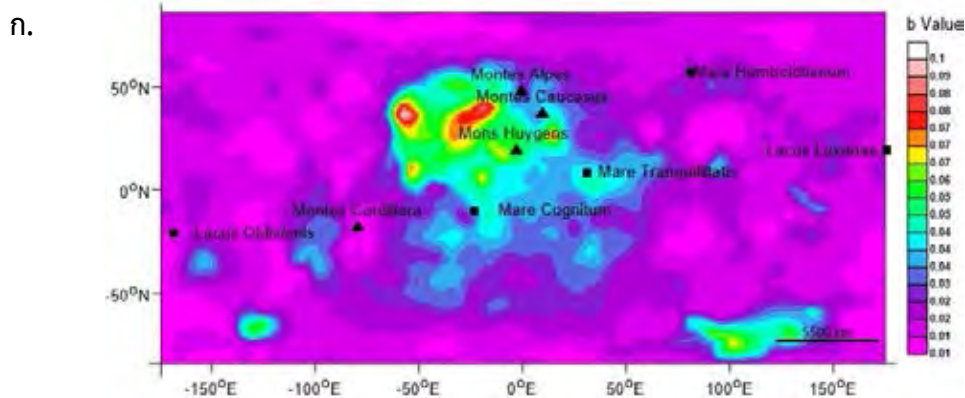
**รูป 3.4** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาต (แกน Y) กับจำนวนหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าสะสม (แกน X) ในข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร โดยค่า  $a$  (จุดตัดแกน Y) และค่า  $b$  (ความชันของกราฟ) ไม่สามารถหาค่าได้

### 3.5. การประเมินค่า $b$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า $b$ เปอร์เซนต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาด และค่า $a$ เชิงพื้นที่ (Analysis $b$ Value, Standard Deviation of $b$ Value, Goodness Fit of Frequency-size Distribution and $a$ Value in Spatial)

จากการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ย่อย  $550 \times 550$  ตารางกิโลเมตร (ประมาณ  $5^\circ \times 5^\circ$ ) โดยใช้ข้อมูลหลุมอุกกาบาตมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงความถี่ เพื่อหา 1) ค่า  $b$  2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $b$  3) Goodness และ 4) ค่า  $a$  โดยจะแสดงผลในลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่

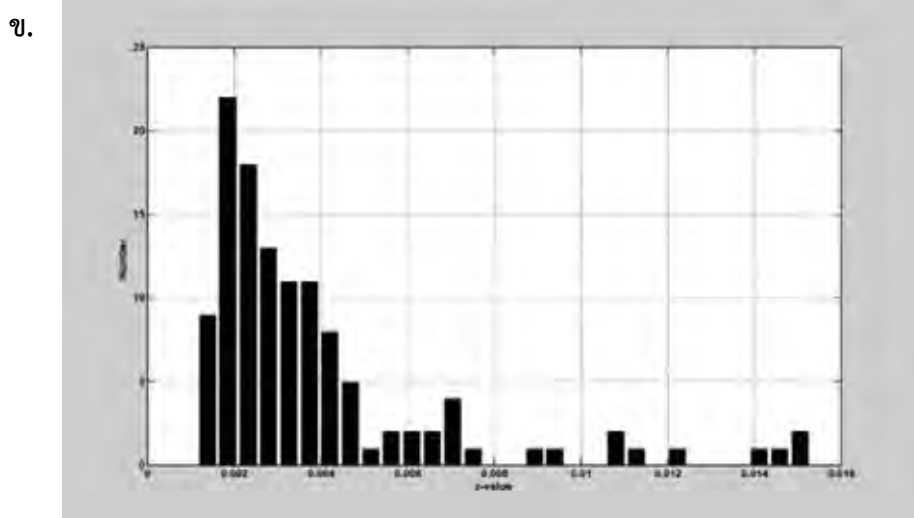
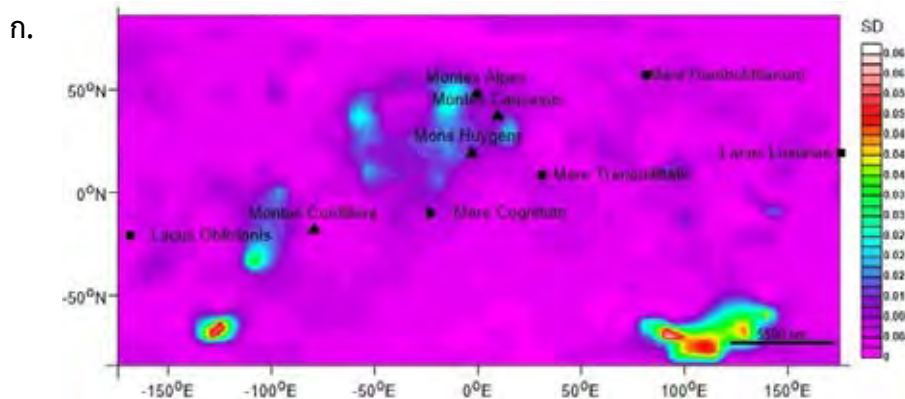
### 3.5.1. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร (Craters with diameter less than or equal 140 kilometres)

1) สำหรับการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ พบว่าค่า  $b$  มีค่าอยู่ตั้งแต่ 0.01-0.095 โดยค่าที่อยู่ในช่วง 0.01-0.025 จะมีการกระจายตัวเป็นบริเวณกว้าง โดยค่าที่สูงมากกว่า 0.065 มีการกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ 2 กลุ่ม คือ บริเวณลองจิจูดที่  $60^{\circ}\text{W}$  และ  $20^{\circ}\text{W}$  ซึ่งอยู่ทางตะวันตกของเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) นอกจากนี้ยังมีการกระจายตัวของค่า  $b$  ตั้งแต่ 0.03 -0.06 เป็นกลุ่มเล็กๆ อยู่ทั่วพื้นที่ดังรูป 3.5ก และเมื่อวิเคราะห์ค่าจากฮิสโตแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนแนวตั้งคือจำนวนค่า  $b$  และแกนแนวนอนคือค่า  $b$  พบว่าค่า  $b$  ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงไม่เกิน 0.02 และมีจำนวนลดลงอย่างไม่เป็นระบบเมื่อค่า  $b$  มากขึ้นดังรูป 3.5ข



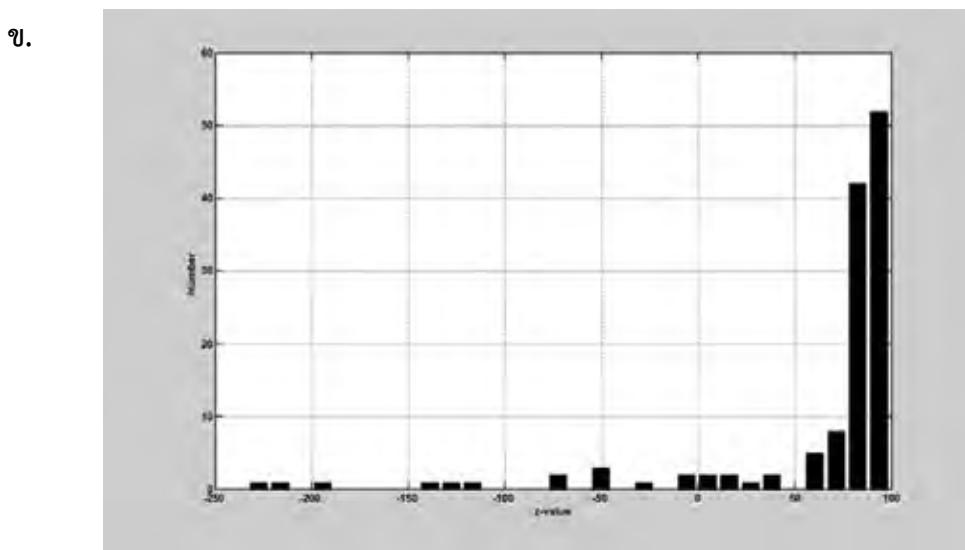
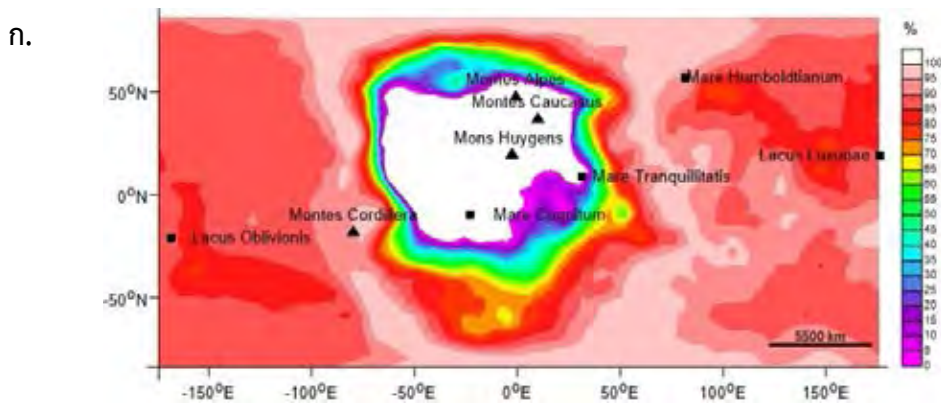
รูป 3.5 (ก) แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า  $b$  ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) และ (ข) กราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) จากข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

2. สำหรับการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  มีค่าอยู่ตั้งแต่ 0.0-0.06 โดยค่าที่อยู่ในช่วง 0.00-0.012 จะมีการกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างทั่วทั้งพื้นที่ โดยค่าที่สูงมากกว่า 0.048 มีการกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ 2 กลุ่ม ซึ่งอยู่ทางใต้ของพื้นที่ทั้งทางฝั่งตะวันตกและตะวันออก โดยทางฝั่งตะวันออกจะมีบริเวณที่กว้างกว่า นอกจากนี้ยังมีการกระจายตัวของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  ตั้งแต่ 0.02-0.032 เป็นกลุ่มเล็กๆ โดยส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณกลางพื้นที่ใกล้เทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) และทางตะวันตกของเทือกเขาคอร์ดิลเลอรา (Montes Cordillera) ดังรูป 3.6ก และเมื่อวิเคราะห์ค่าจากฮิสโตแกรมซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนแนวดิ่งคือจำนวนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  และแกนแนวนอนคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  พบว่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงไม่เกิน 0.002 ดังรูป 3.6ข



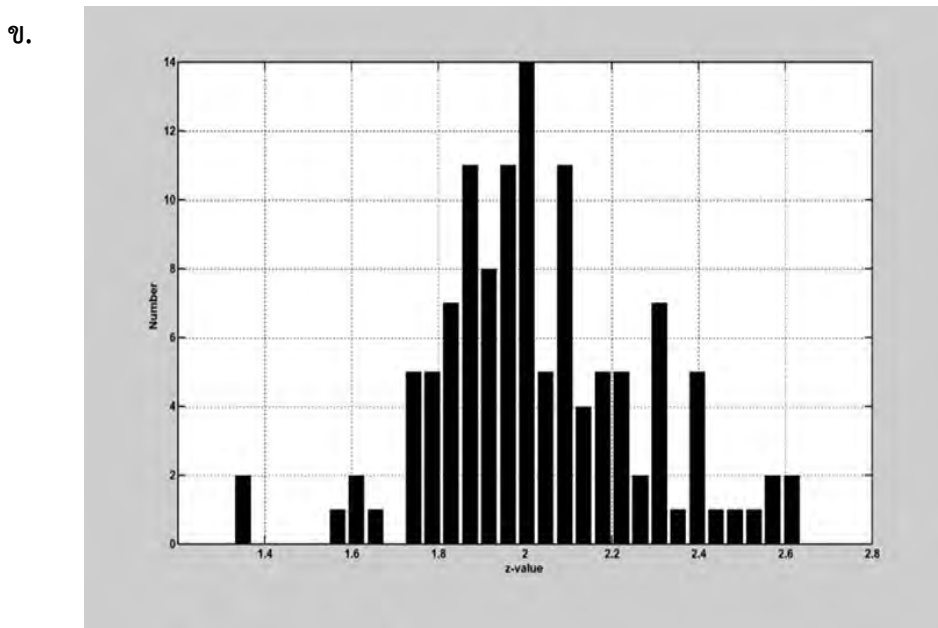
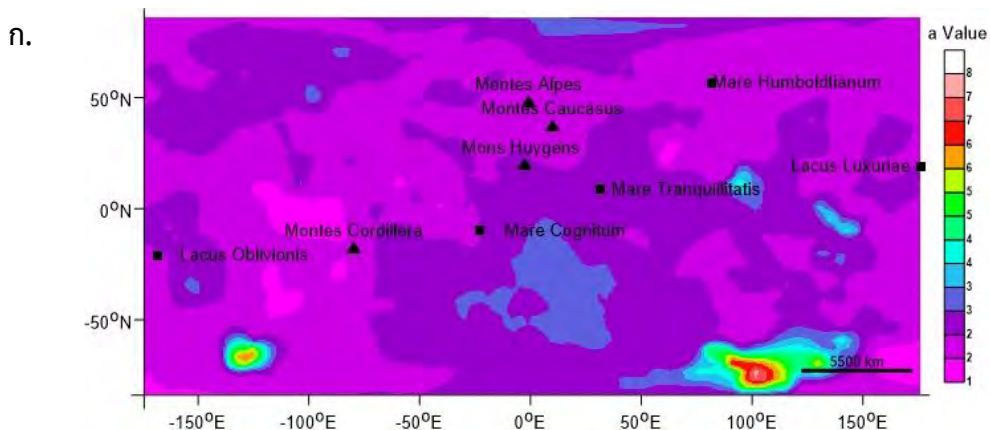
รูป 3.6 (ก) แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) และ (ข) กราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  จากข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

3. สำหรับการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยจะพบว่าส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ 100 หรือใกล้เคียง ยกเว้นบริเวณตรงกลางของพื้นที่บริเวณเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) และภูเขาฮายเจน (Mons Huygens) ดังรูป 3.7ก และเมื่อวิเคราะห์ค่าจากฮิสโตแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนแนวดิ่งคือจำนวนเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาด และแกนแนวนอนคือเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาด พบว่าค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 100% ดังรูป 3.7ข



รูป 3.7 ก) แผนที่แสดงเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) และ ข) กราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) จากข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

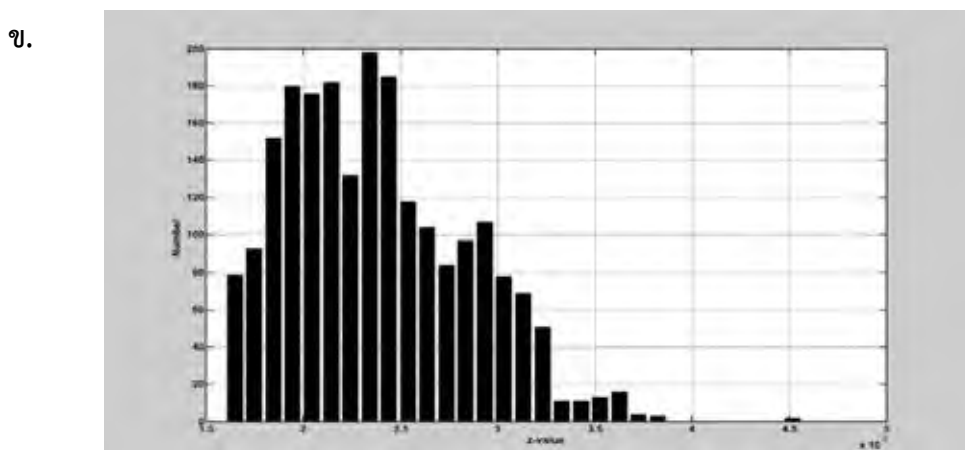
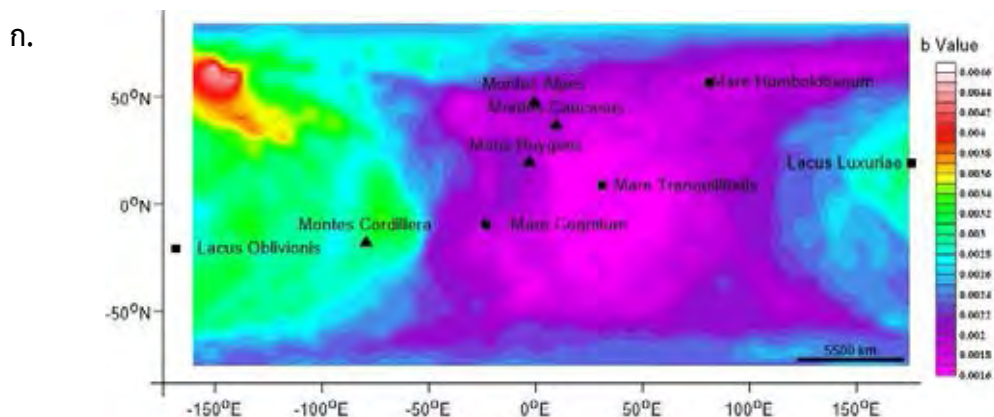
4. สำหรับการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ พบว่าค่า  $a$  มีค่าตั้งแต่ 1.00-7.50 โดยค่า  $a$  ที่มีค่าตั้งแต่ 1.00-2.00 จะมีการกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างทั่วทั้งพื้นที่ โดยจะพบบางบริเวณที่มีค่าสูงได้แก่ บริเวณทางฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษาที่มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 7.5 และบริเวณทางตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษาซึ่งมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 6.00-6.50 ดังรูป 3.8ก และเมื่อวิเคราะห์ค่าจากฮิสโตแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนแนวดิ่งคือจำนวนค่า  $a$  และแกนแนวนอนคือค่า  $a$  พบว่าค่า  $a$  มีจำนวนมากสุดคือค่าเท่ากับ 2 และมีการลดลงของข้อมูลตามค่า  $a$  ที่มีค่ามากขึ้น ดังรูป 3.8ข



รูป 3.8 ก) แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า  $a$  ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) และ ข) กราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่า  $a$  จากข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

3.5.2. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 140 kilometres and less than or equal 930 kilometres)

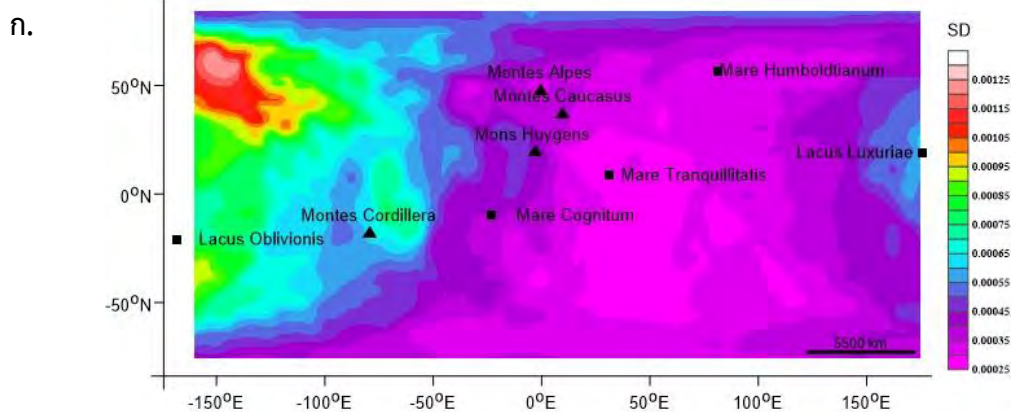
1. สำหรับการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ พบว่าค่า  $b$  มีค่าตั้งแต่ 0.0016-0.0046 โดยค่า  $b$  ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.0016-0.0022 จะมีการกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างบริเวณตอนกลางของพื้นที่ในแถบบริเวณเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) และภูเขาฮายเจน (Mons Huygens) โดยค่าที่สูงมากกว่า 0.0024 จะมีการกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างทั้งทางฝั่งตะวันออกและตะวันตก โดยทางฝั่งตะวันออกบริเวณทะเลสาบลูซูเรีย (Lacus Luxuriae) จะมีค่าตั้งแต่ 0.0024-0.0032 ในขณะที่ทางฝั่งตะวันตกบริเวณทะเลสาบออบลิเวนิส (Lacus Oblivionis) จะมีค่าตั้งแต่ 0.0024-0.0046 ดังรูป 3.9ก



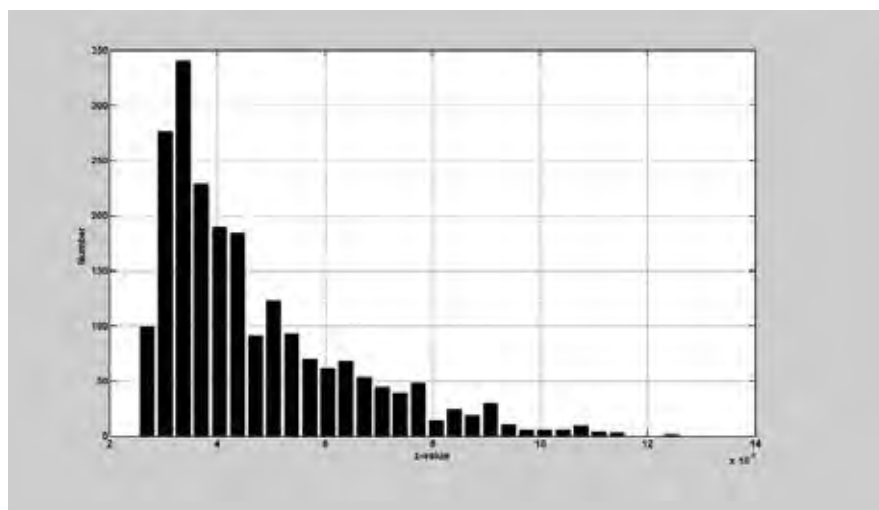
รูป 3.9 (ก) แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า  $b$  ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) และ (ข) กราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่า  $b$  จากข้อมูลทั้งหมดของชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

จากการวิเคราะห์ค่าจากฮิสโตแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนแนวดิ่งคือจำนวนค่า  $b$  และแกนแนวนอนคือค่า  $b$  พบว่าค่า  $b$  ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1.75 ถึง 2.5 และมีจำนวนลดลงตามลำดับ ดังรูป 3.9ข

2. สำหรับการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  ค่าอยู่ตั้งแต่ 0.00025-0.00125 โดยค่าที่อยู่ในช่วง 0.00025-0.00045 จะมีการกระจายตัวเป็นบริเวณตอนกลางของพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  ที่สูงมากกว่า 0.0045 จะกระจายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันตกของเทือกเขาคอर्डิลเลอรา (Montes Cordillera) โดยเฉพาะทางตะวันตกเฉียงเหนือจะมีค่าสูงที่สุดและมีค่าอยู่ที่ 0.00125 และทางฝั่งตะวันออกบริเวณทะเลสาบลูซูเรีย (Lacus Luxuriae) ที่มีค่าประมาณ 0.00065 ดังรูป 3.10ก



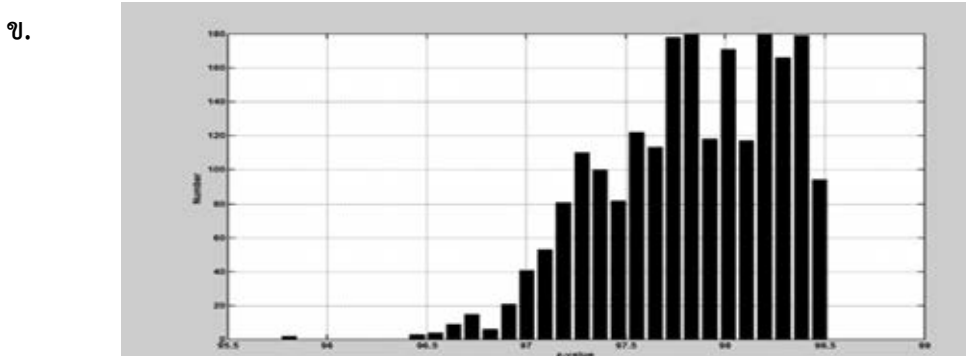
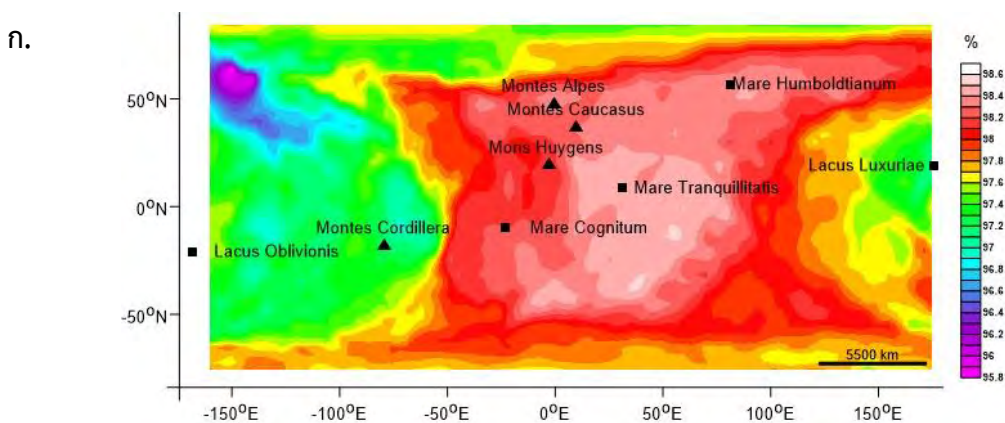
ข.



รูป 3.10 (ก) แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) และ (ข) กราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  จากข้อมูลทั้งหมดของชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาต มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

จากการวิเคราะห์ค่าจากฮิสโตแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนแนวดิ่งคือจำนวนค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า b และแกนแนวนอนคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า b พบว่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของค่า b ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.0002 ถึง 0.0004 ดังรูป 3.10ข

3. สำหรับการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่าง ข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ มีค่า ตั้งแต่ 95.8-98.6 โดยจะพบว่าบริเวณเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) ซึ่งอยู่ตรงกลางพื้นที่ ศึกษาจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทาง คณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่มากกว่า 98 ในขณะที่บริเวณทางตะวันตกของ เทือกเขาคอร์ดิลเลรา (Montes Cordillera) มีค่าตั้งแต่ 95.8 ถึง 97.5 และบริเวณทางตะวันออก บริเวณทะเลสาบลูซูเรีย (Lacus Luxuriae) มีค่าตั้งแต่ 97 ถึง 97.4 ดังรูป 3.11ก

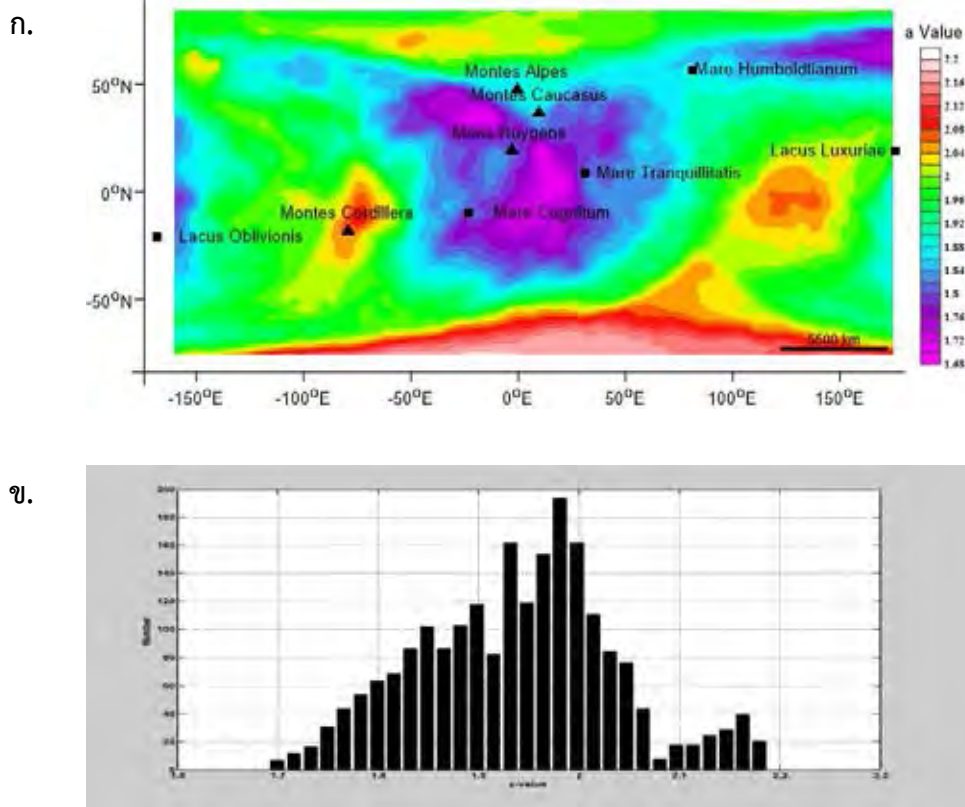


รูป 3.11 (ก) แผนที่แสดงเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ของขนาดในแต่ละ ตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) และ (ข) กราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) จากข้อมูลทั้งหมดของชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร



จากการวิเคราะห์ค่าจากฮิสโตแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนแนวดิ่งคือจำนวนเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ และแกนแนวนอนคือเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจริงที่ใช้วิเคราะห์และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการความสัมพันธ์เชิงความถี่ พบว่าค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 97.75 ถึง 98.5 ดังรูป 3.11ข

4. สำหรับการประเมินความสัมพันธ์เชิงความถี่ พบว่าค่า  $a$  มีค่าตั้งแต่ 1.68-2.2 โดยค่า  $a$  ที่มีค่าตั้งแต่ 1.68-1.80 จะมีการกระจายตัวอยู่ตรงกลางของพื้นที่บริเวณภูเขาฮายเจน (Mons Huygens) และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยบริเวณที่มีค่าสูงมากคือทางตะวันออกใกล้กับทะเลสาบลูซูเรีย (Lacus Luxuriae) มีค่าประมาณ 2.08 และทางตะวันตกของพื้นที่ศึกษาบริเวณเทือกเขาคอร์ดีลเลอรา (Montes Cordillera) มีค่าสูงสุดประมาณ 2.10 ดังรูป 3.12ก และเมื่อวิเคราะห์ค่าจากฮิสโตแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนแนวดิ่งคือจำนวนค่า  $a$  และแกนแนวนอนคือค่า  $a$  พบว่าค่า  $a$  มีจำนวนมากสุดประมาณ 2 ดังรูป 3.12ข



รูป 3.12 (ก) แผนที่แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า  $a$  ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) และ (ข) กราฟแสดงฮิสโตแกรม (histogram) ค่า  $a$  จากข้อมูลทั้งหมดของชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

### 3.5.3. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 930 kilometres)

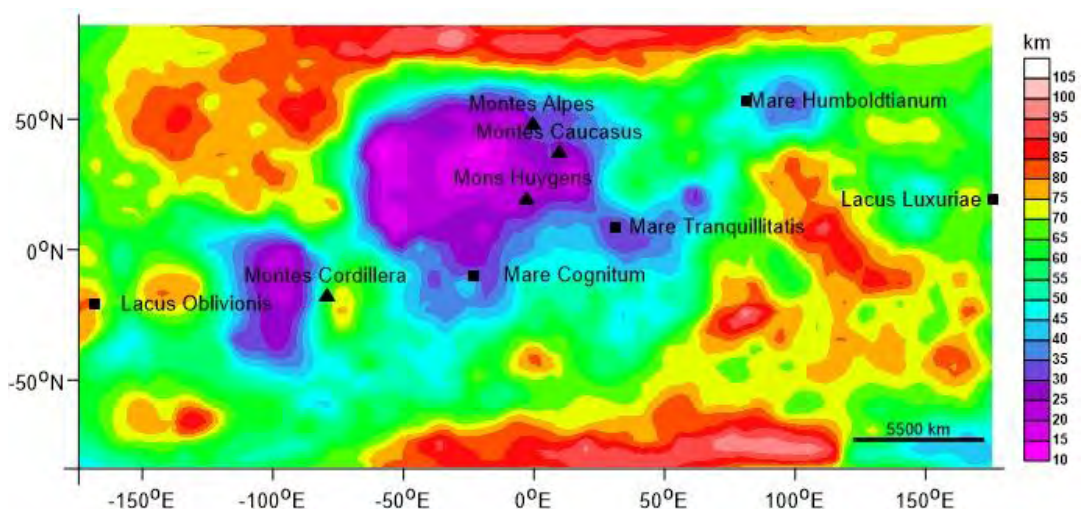
ข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตรมีเพียง 2 ข้อมูล ซึ่งส่งผลให้การประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติไม่สามารถทำได้ ส่งผลให้ข้อมูลชุดนี้ไม่สามารถหาค่า  $a$  และค่า  $b$  ได้

### 3.6 การประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุด (Maximum Size)

จากการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุด โดยสมการที่ถูกเสนอโดย Yadav *et al.* (2011) สามารถนำมาวิเคราะห์กับชุดข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาตที่ถูกแบ่งย่อยออกเป็น 3 ชุดข้อมูลได้ผลดังนี้

#### 3.6.1. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร (Craters with diameter less than or equal 140 kilometres)

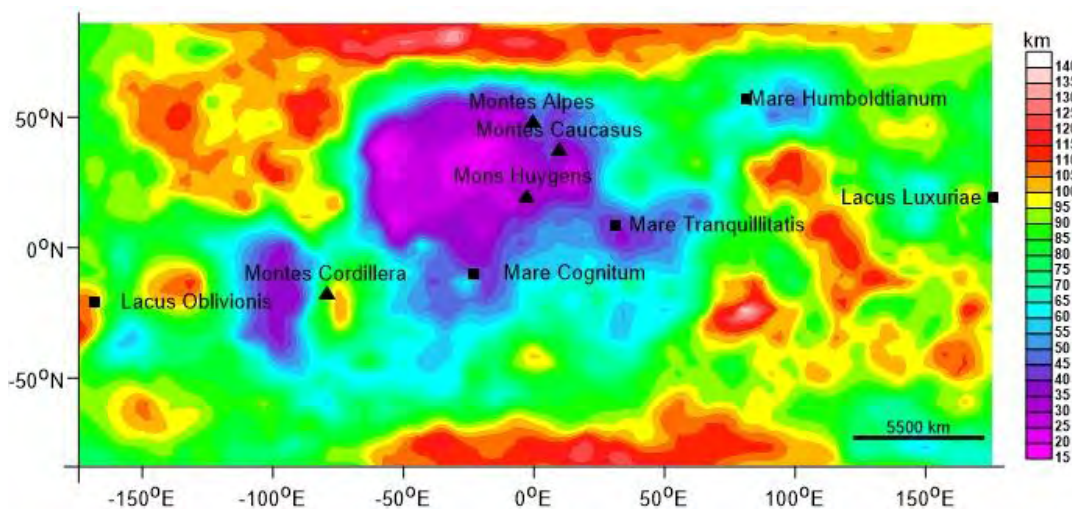
1. จากการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 2,000 ล้านปี พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 13-104 กิโลเมตร โดยบริเวณที่มีขนาดหลุมอุกกาบาตที่ใหญ่ที่สุด คือ บริเวณขั้วเหนือ ลองจิจูดที่  $29^{\circ}W$  ละติจูดที่  $81^{\circ}N$  หรือทางเหนือของเทือกเขาแอลป์ (Montes Alpes) รองลงมา มีขนาด 102 กิโลเมตรและขนาดตั้งแต่ 95 - 100 กิโลเมตร โดยจะอยู่ที่บริเวณลองจิจูดที่  $80^{\circ}E$  ละติจูดที่  $24^{\circ}S$  หรือทางตะวันออกเฉียงใต้ของทะเลทรานควิลลิตาส (Mare Tranquillitatis) และบริเวณตั้งแต่ลองจิจูดที่  $70^{\circ}E-100^{\circ}E$  ละติจูดที่  $70^{\circ}S-80^{\circ}S$  ตามลำดับ ดังรูป 3.13



รูป 3.13 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 2,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

ขณะที่หลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 2,000 ล้านปี ที่มีขนาดเล็กที่สุด อยู่บริเวณลองจิจูดที่ 60°W ละติจูดที่ 30°N บริเวณทางตะวันตกของเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) โดยหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลาดังกล่าวที่มีขนาดตั้งแต่ 13–30 กิโลเมตร จะกระจายตัวเป็นบริเวณกว้าง ตั้งแต่ประมาณลองจิจูดที่ 60°W-20°E ละติจูดที่ 30°S-50°N และยังพบกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็ก 2 กลุ่ม คือ บริเวณทางตะวันตกของเทือกเขาออร์ดิลเลอรา (Montes Cordillera) และบริเวณทางตะวันออกของทะเลฮัมโบลต์เนียนัม (Mare Humboldtianum) ดังรูป 3.13

2. จากการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 5,000 ล้านปี พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 17-143 กิโลเมตร โดยบริเวณที่มีขนาดหลุมอุกกาบาตที่ใหญ่ที่สุด คือ บริเวณลองจิจูดที่ 80°E ละติจูดที่ 24°S หรือทางตะวันออกเฉียงใต้ของทะเลทรานควิลลิตาส (Mare Tranquillitatis) และรองลงมา มีขนาด 140 กิโลเมตรและขนาดตั้งแต่ 110-130 กิโลเมตร คือ บริเวณขั้วเหนือ ลองจิจูดที่ 29°W ละติจูดที่ 81°N หรือทางเหนือของเทือกเขาแอลป์ (Montes Alpes) และบริเวณตั้งแต่ลองจิจูดที่ 45°W-95°E ละติจูดที่ 70°S-80°S ตามลำดับ ดังรูป 3.14

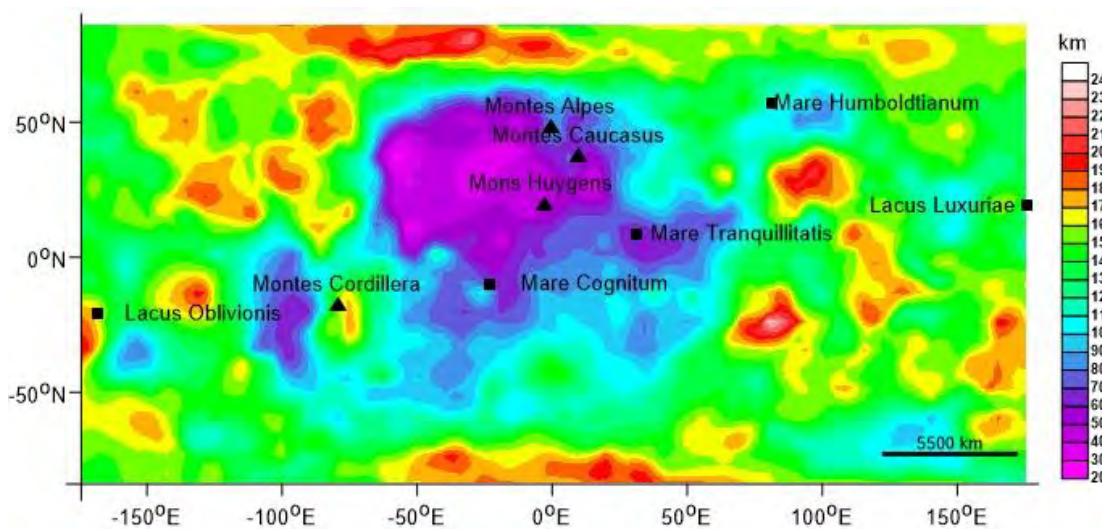


รูป 3.14 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 5,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

ขณะที่หลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 5,000 ล้านปี ที่มีขนาดเล็กที่สุด อยู่บริเวณลองจิจูดที่ 60°W ละติจูดที่ 30°N บริเวณทางตะวันตกของเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) โดยหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลาดังกล่าวที่มีขนาดตั้งแต่ 17–40

กิโลเมตร จะกระจายตัวเป็นบริเวณกว้าง ตั้งแต่ประมาณลองจิจูดที่  $60^{\circ}\text{W}$ - $30^{\circ}\text{E}$  ละติจูดที่  $10^{\circ}\text{S}$ - $50^{\circ}\text{N}$  และยังพบกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็ก 2 กลุ่ม คือ บริเวณทางตะวันตกของเทือกเขาคอร์ดีลเลอรา (Montes Cordillera) และบริเวณทางตะวันออกของทะเลฮัมโบล์ตเนียนัม (Mare Humboldtianum) ดังรูป 3.14

3. จากการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 50,000 ล้านปี พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 27-247 กิโลเมตร โดยบริเวณที่มีขนาดหลุมอุกกาบาตที่ใหญ่ที่สุด คือ บริเวณลองจิจูดที่  $80^{\circ}\text{E}$  ละติจูดที่  $24^{\circ}\text{S}$  หรือทางตะวันออกเฉียงใต้ของทะเลทรานควิลลิตาส (Mare Tranquillitatis) และรองลงมา มีขนาด 226 กิโลเมตรและขนาดตั้งแต่ 180-200 กิโลเมตร คือ บริเวณขั้วเหนือ ลองจิจูดที่  $29^{\circ}\text{W}$  ละติจูดที่  $81^{\circ}\text{N}$  หรือทางเหนือของเทือกเขาแอลป์ (Montes Alpes) และบริเวณตั้งแต่ลองจิจูดที่  $50^{\circ}\text{W}$ - $65^{\circ}\text{E}$  ละติจูดที่  $70^{\circ}\text{S}$ - $80^{\circ}\text{S}$  ตามลำดับ ดังรูป 3.15

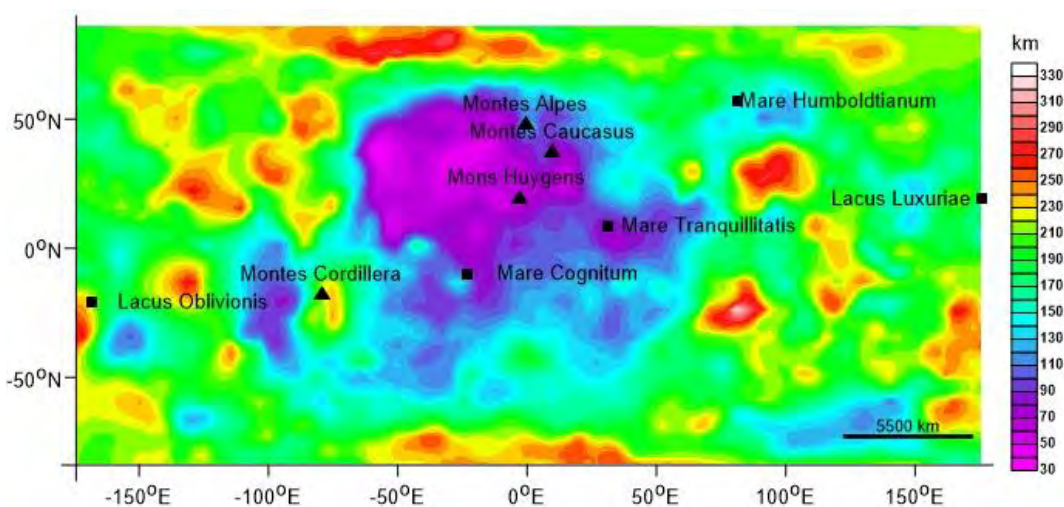


รูป 3.15 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 50,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาต ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

ขณะที่หลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 50,000 ล้านปี ที่มีขนาดเล็กที่สุด อยู่บริเวณลองจิจูดที่  $60^{\circ}\text{W}$  ละติจูดที่  $30^{\circ}\text{N}$  บริเวณทางตะวันตกของเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) โดยหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลาดังกล่าวที่มีขนาดตั้งแต่ 27-80 กิโลเมตร จะกระจายตัวเป็นบริเวณกว้าง ตั้งแต่ประมาณลองจิจูดที่  $65^{\circ}\text{W}$ - $65^{\circ}\text{E}$  ละติจูดที่  $40^{\circ}\text{S}$ - $60^{\circ}\text{N}$  และยังพบกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็ก 2 กลุ่ม คือ บริเวณทางตะวันตกของเทือกเขาคอร์ดีลเลอรา

(Montes Cordillera) และบริเวณทางตะวันออกของทะเลฮัมโบเตียนัม (Mare Humboldtianum) ดังรูป 3.15

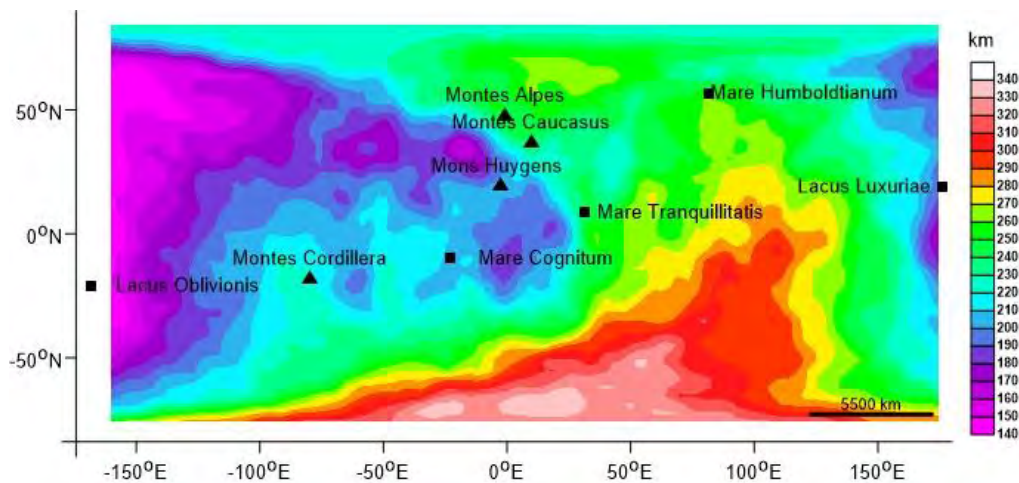
4. จากการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 400,000 ล้านปี พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 37-340 กิโลเมตร โดยบริเวณที่มีขนาดหลุมอุกกาบาตที่ใหญ่ที่สุด คือ บริเวณลองจิจูดที่ 80°E ละติจูดที่ 24°S หรือทางตะวันออกเฉียงใต้ของทะเลทรานคิลิตาติส (Mare Tranquillitatis) และรองลงมามีขนาด 310 กิโลเมตรและขนาดตั้งแต่ 220-240 กิโลเมตร คือ บริเวณขั้วเหนือ ลองจิจูดที่ 29°W ละติจูดที่ 81°N หรือทางเหนือของเทือกเขาแอลป์ (Montes Alpes) และบริเวณตั้งแต่ลองจิจูดที่ 60°W-75°E ละติจูดที่ 60°S-80°S ตามลำดับ ในขณะที่หลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ใน ช่วงเวลา 400,000 ล้านปี ที่มีขนาดเล็กที่สุด อยู่บริเวณลองจิจูดที่ 60°W ละติจูดที่ 30°N บริเวณทาง ตะวันตกของเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) โดยหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ใน ช่วงเวลาดังกล่าวที่มีขนาดตั้งแต่ 37-140 กิโลเมตร จะกระจายตัวเป็นบริเวณกว้าง ตั้งแต่ประมาณ ลองจิจูดที่ 60°W-80°E ละติจูดที่ 65°S-55°N และยังพบกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็ก 2 กลุ่ม คือ บริเวณ ทางตะวันตกของเทือกเขาคอร์ดีลเลอร์รา (Montes Cordillera) และบริเวณทางตะวันออกของ ทะเลฮัมโบเตียนัม (Mare Humboldtianum) ดังรูป 3.16



รูป 3.16 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 400,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาต ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

### 3.6.2. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 140 kilometres and less than or equal 930 kilometres)

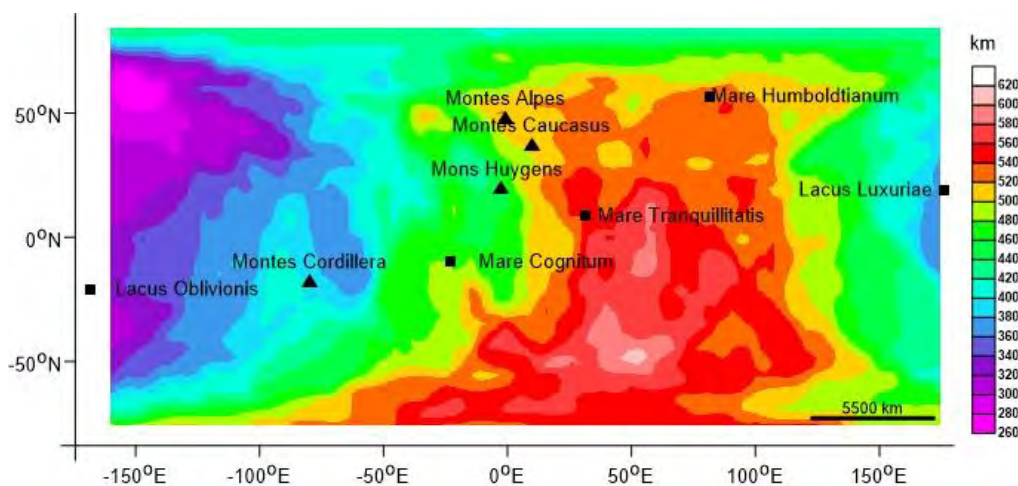
1. จากการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 3,000 ล้านปี พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 146-340 กิโลเมตร โดยบริเวณที่มีขนาดหลุมอุกกาบาตที่ใหญ่ที่สุด คือ บริเวณลองจิจูดที่ 0-20°E ละติจูดที่ 70°S และมีขนาดรองลงมาจะอยู่บริเวณใกล้เคียงกันโดยกระจายตัวเกาะกลุ่มกันอยู่ทางใต้ที่บริเวณลองจิจูดประมาณ 100°W-145°E ละติจูดประมาณ 0°-70°S ดังรูป 3.17



รูป 3.17 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 3,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

ขณะที่หลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 3,000 ล้านปี ที่มีขนาดเล็กที่สุดอยู่บริเวณทางลองจิจูดประมาณ 140°W-150°W ละติจูดประมาณ 60°N พบว่าขนาดหลุมอุกกาบาตที่เล็กกว่า 190 กิโลเมตรจะกระจายตัวอยู่ทางทิศตะวันตกตั้งแต่ทางตะวันตกของเทือกเขาอคเคซัส (Montes Caucasus) และทางเหนือของภูเขาฮายเจน (Mons Huygens) ไปจนถึงลองจิจูดที่ 180°W นอกจากนี้ยังพบว่ามีการกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็กๆทางตะวันออกบริเวณรอบทะเลสาบลูซูเรีย (Lacus Luxuriae) ดังรูป 3.17

2. จากการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 10,000 ล้านปี พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 260 - 605 กิโลเมตร โดยบริเวณที่มีขนาดหลุมอุกกาบาตที่ใหญ่ที่สุด คือ บริเวณลองจิจูดที่  $54^{\circ}\text{E}$  ละติจูดที่  $45^{\circ}\text{S}$  และมีขนาดรองลงมาจะอยู่บริเวณใกล้เคียงกันโดยกระจายตัวเกาะกลุ่มกันอยู่ทางใต้ที่บริเวณลองจิจูดประมาณ  $50^{\circ}\text{W}$ - $130^{\circ}\text{E}$  ละติจูดประมาณ  $70^{\circ}\text{S}$ - $30^{\circ}\text{N}$  ดังรูป 3.18

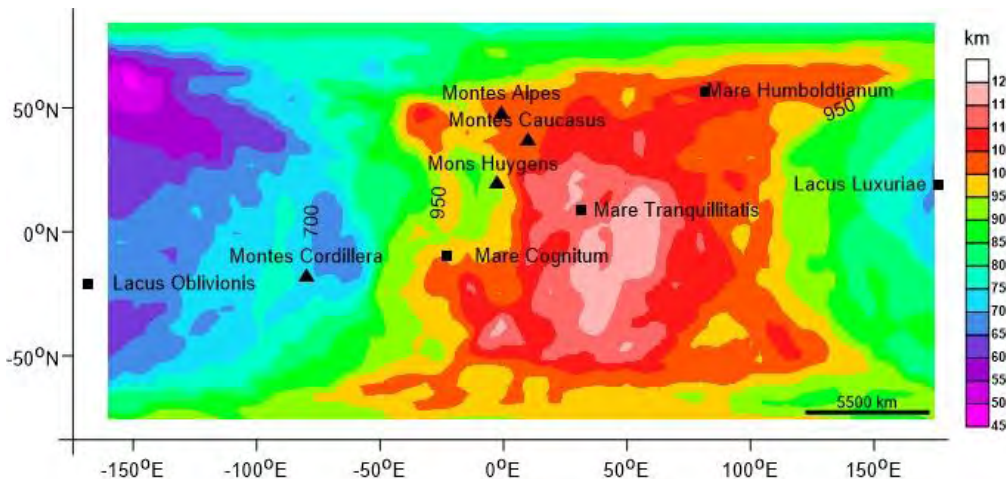


รูป 3.18 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 10,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

ขณะที่หลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 10,000 ล้านปี ที่มีขนาดเล็กที่สุดอยู่บริเวณลองจิจูดประมาณ  $140^{\circ}\text{W}$ - $150^{\circ}\text{W}$  ละติจูดประมาณ  $60^{\circ}\text{N}$  ดังรูป 3.18 และขนาดหลุมอุกกาบาตที่เล็กกว่า 340 กิโลเมตรจะกระจายตัวอยู่ทางทิศตะวันตก ตั้งแต่ลองจิจูดประมาณ  $110^{\circ}\text{W}$ - $180^{\circ}\text{W}$  ละติจูดประมาณ  $60^{\circ}\text{S}$ - $70^{\circ}\text{N}$  นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดหลุมอุกกาบาตที่ประมาณ 30 กิโลเมตร กระจายตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ ทางตะวันออกบริเวณใต้ทะเลสาบลูซูเรีย (Lacus Luxuriae) ดังรูป 3.18

3. จากการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 100,000 ล้านปี พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 480 - 1205 กิโลเมตร โดยบริเวณที่มีขนาดหลุมอุกกาบาตที่ใหญ่ที่สุด คือ บริเวณลองจิจูดที่  $34^{\circ}\text{E}$  ละติจูดที่  $5^{\circ}\text{S}$  โดยจะอยู่ทางใต้ของทะเลทรานคิลลิตาติส (Mare Tranquillitatis) และมีขนาดรองลงมาจะอยู่บริเวณใกล้เคียงกันโดยกระจายตัวเกาะกลุ่มกันอยู่ทางใต้ที่บริเวณลองจิจูดประมาณ  $15^{\circ}\text{W}$ - $100^{\circ}\text{E}$  ละติจูดประมาณ  $70^{\circ}\text{S}$ - $60^{\circ}\text{N}$  ในขณะที่หลุมอุกกาบาตใหญ่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 100,000 ล้านปี ที่มีขนาดเล็กที่สุด อยู่บริเวณลองจิจูดประมาณ  $140^{\circ}\text{W}$ - $150^{\circ}\text{W}$  และ

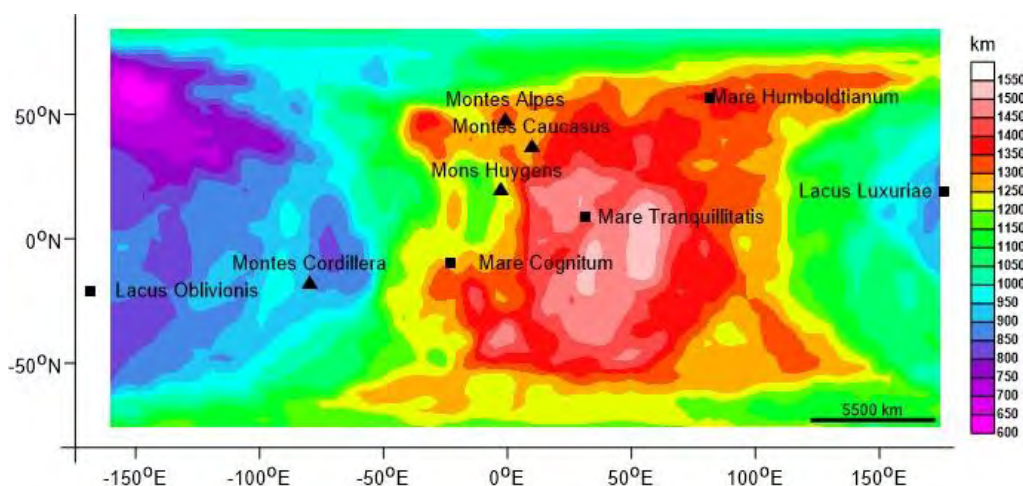
ละติจูดประมาณ 60°N-65°N และพบว่าในบริเวณเทือกเขาแอลป์ (Montes Alpes), ทะเลทรานคิลลิทาทิส (Mare Tranquillitatis) ไปทางตะวันออกจะมีขนาดหลุมอุกกาบาตตั้งแต่ 650 กิโลเมตรถึง 1,200 กิโลเมตร ในขณะที่ถ้ามาทางฝั่งตะวันตกจะมีค่าตั้งแต่ 480 กิโลเมตรถึง 900 กิโลเมตร ดังรูป 3.19



รูป 3.19 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 100,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาต ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

4. จากการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 360,000 ล้านปี พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 602-1,550 กิโลเมตร โดยบริเวณที่มีขนาดหลุมอุกกาบาตที่ใหญ่ที่สุด คือ บริเวณ ลองจิจูด ประมาณ 34°E ละติจูดประมาณ 5°S โดยจะอยู่ทางใต้ของทะเลทรานคิลลิทาทิส (Mare Tranquillitatis) ดังรูป 3.20 และมีขนาดรองลงมาจะอยู่บริเวณใกล้เคียงกันโดยกระจายตัวเกาะกลุ่มกันอยู่ที่บริเวณลองจิจูดประมาณ 25°W-90°E ละติจูดประมาณ 60°S-50°N ในขณะที่หลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่ ในขณะที่หลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลา 100,000 ล้านปี ที่มีขนาดเล็กที่สุด อยู่บริเวณลองจิจูดประมาณ 140°S - 150°S ละติจูดประมาณ 60°N-65°N และพบว่าในบริเวณ เทือกเขาแอลป์ (Montes Alpes), ทะเลทรานคิลลิทาทิส (Mare Tranquillitatis) ไปทางตะวันออก จะมีขนาดหลุมอุกกาบาตตั้งแต่ 800 กิโลเมตร ถึง 1550 กิโลเมตร ในขณะที่ถ้ามาทางฝั่งตะวันตกจะมีค่าตั้งแต่ 600 กิโลเมตร ถึง 1,200 กิโลเมตร ดังรูป 3.20





รูป 3.20 แผนที่แสดงขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้เชิงพื้นที่ ในช่วงเวลา 360,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

### 3.6.3. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 930 kilometres)

ข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตรมีเพียง 2 ข้อมูล ซึ่งส่งผลให้การประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติไม่สามารถทำได้ ส่งผลให้ข้อมูลชุดนี้ไม่สามารถหาค่า  $a$  และค่า  $b$  ได้ และส่งผลให้ไม่สามารถหาค่าขนาดแผ่นดินไหวใหญ่ที่สุดได้เช่นกัน

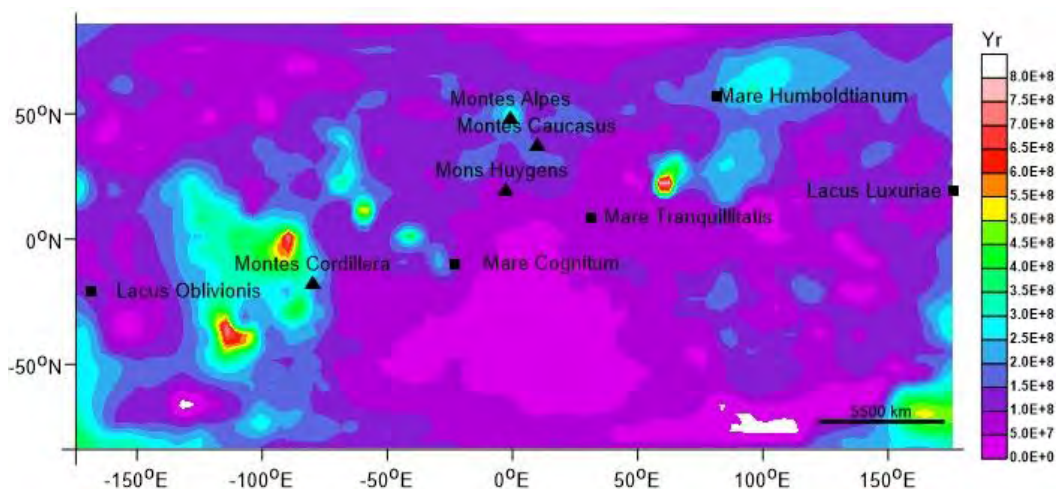
## 3.7. การประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย (Average Time)

จากการประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย โดยสมการที่ถูกระบุโดย Yadav *et al.* (2011) สามารถนำมาวิเคราะห์กับชุดข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาตที่ถูกแบ่งย่อยออกเป็น 3 ชุดข้อมูลได้ผลดังนี้

### 3.7.1. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร (Craters with diameter less than or equal 140 kilometres)

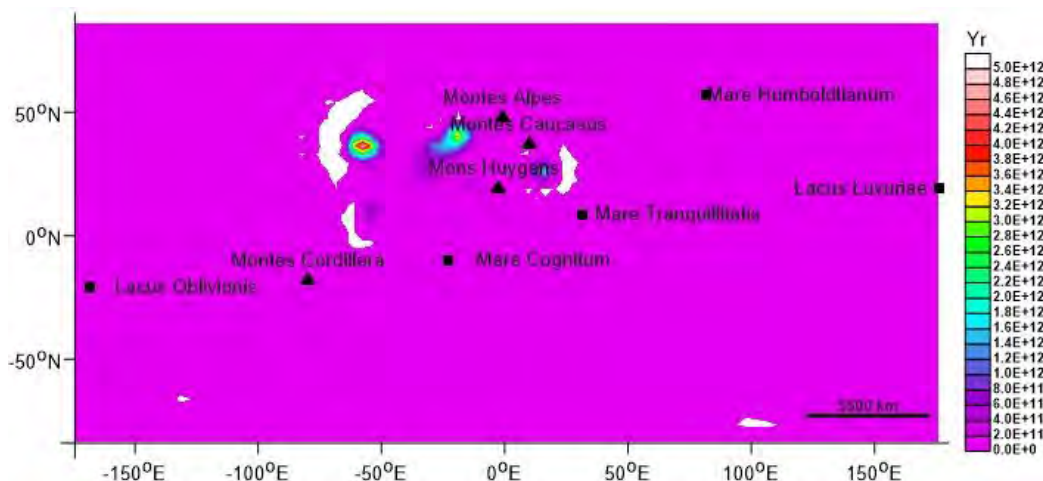
1. จากการประเมินเวลาการเกิดเฉลี่ยของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 420 ปีและเวลาการเกิดเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 1,300 ล้านปี พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยกว่า 100 ล้านปี โดยบริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยนยาวนานที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ 60°E และละติจูดประมาณ 20°N ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของทะเลฮัมโบต์เนียนัม (Mare Humboldtianum) ประมาณ 1,200 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังพบเวลาการเกิดเฉลี่ยนยาวนานรองลงมาอยู่ที่ตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้บริเวณเทือกเขาออร์ดีลเลอร์

(Montes Cordillera) ในขณะที่บริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $100^{\circ}\text{E}$  และละติจูดประมาณ  $75^{\circ}\text{S}$  ดังรูป 3.21



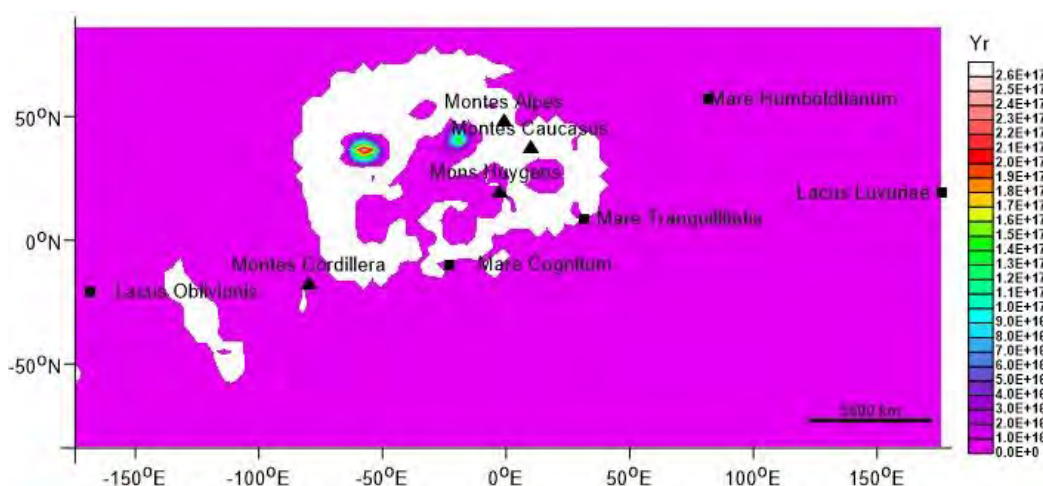
รูป 3.21 แผนที่แสดงเวลาการเกิดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 กิโลเมตร ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

2. จากการประเมินเวลาการเกิดเฉลี่ยของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 1.45 ล้านปีและเวลาการเกิดเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 6 ล้านล้านปี พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยกว่า 1,600 ล้านปี ดังรูป 3.22 และบริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยยาวนานที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $60^{\circ}\text{W}$  และละติจูดประมาณ  $35^{\circ}\text{N}$  ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) ประมาณ 1,700 กิโลเมตรนอกจากนี้ยังพบเวลาการเกิดเฉลี่ยนานรองลงมาอยู่ถัดไปทางตะวันออกประมาณ 1,000 กิโลเมตร บริเวณทางเหนือของภูเขาฮายเจน (Mons Huygens) ในขณะที่บริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $100^{\circ}\text{E}$  และละติจูดประมาณ  $70^{\circ}\text{S}$  ดังรูป 3.22



รูป 3.22 แผนที่แสดงเวลาการเกิดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 กิโลเมตร ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

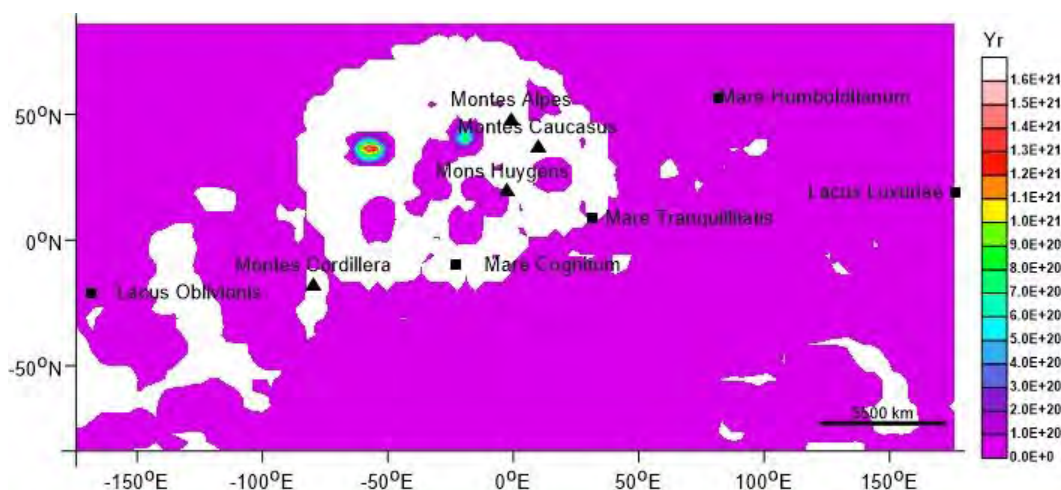
3. จากการประเมินเวลาการเกิดเฉลี่ยของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 1,750 ล้านปีและเวลาการเกิดเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 300,000 ล้านล้านปี พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยกว่า 5,000 ล้านปี โดยบริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยนานที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ 60°W และละติจูดประมาณ 35°N ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) ประมาณ 1,700 กิโลเมตร ดังรูป 3.23



รูป 3.23 แผนที่แสดงเวลาการเกิดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 กิโลเมตร ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

นอกจากนี้ยังพบเวลาการเกิดเฉลี่ยยาวนานรองลงมาอยู่ถัดไปทางตะวันออกประมาณ 1,000 กิโลเมตร บริเวณทางเหนือของภูเขาฮายเจน (Mons Huygens) ในขณะที่บริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $30^{\circ}\text{W}$  และละติจูดประมาณ  $80^{\circ}\text{N}$  ดังรูป 3.23

4. จากการประเมินเวลาการเกิดเฉลี่ยของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 4,500 ล้านปีและเวลาการเกิดเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 1,870 ล้านล้านปี พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยกว่า 19,000 ล้านปี โดยบริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยยาวนานที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $60^{\circ}\text{W}$  และละติจูดประมาณ  $35^{\circ}\text{N}$  ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเทือกเขาคอเคซัส (Montes Caucasus) ประมาณ 1,700 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังพบเวลาการเกิดเฉลี่ยยาวนานรองลงมาอยู่ถัดไปทางตะวันออกประมาณ 1,000 กิโลเมตร บริเวณทางเหนือของภูเขาฮายเจน (Mons Huygens) ในขณะที่บริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $30^{\circ}\text{W}$  และละติจูดประมาณ  $80^{\circ}\text{N}$  ดังรูป 3.24

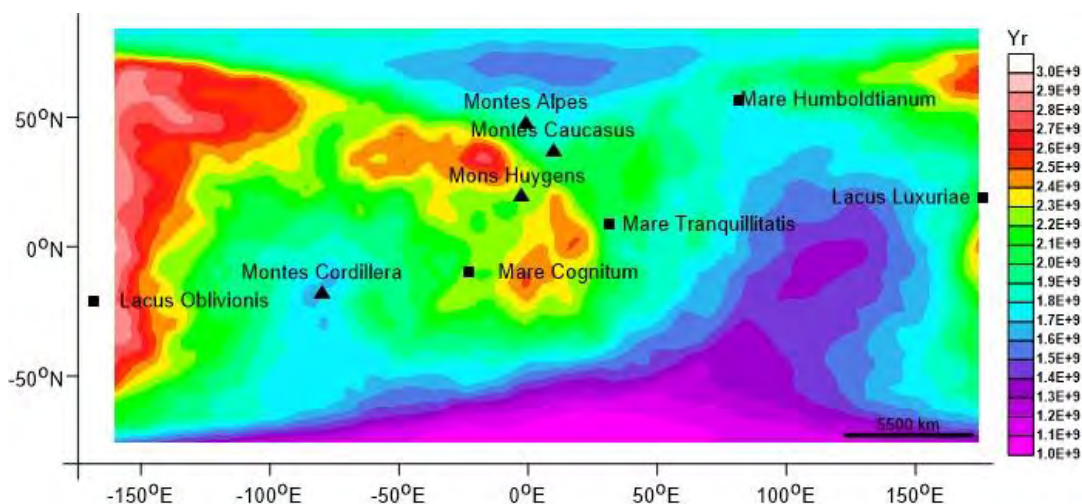


รูป 3.24 แผนที่แสดงเวลาการเกิดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 กิโลเมตร ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

### 3.7.2. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 140 kilometres and less than or equal 930 kilometres)

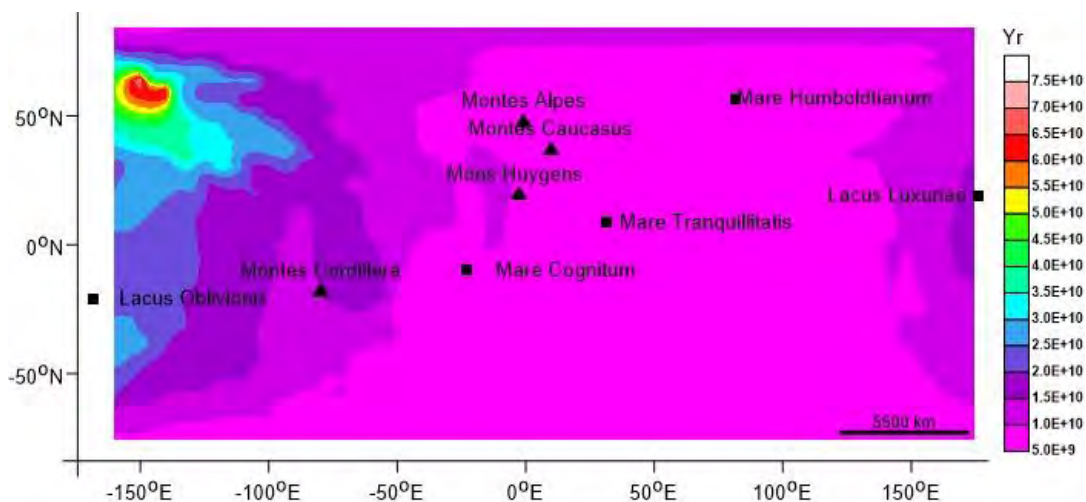
1. จากการประเมินเวลาการเกิดเฉลี่ยของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 1,000 ล้านปี และเวลาการเกิดเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 2,800 ล้านปี พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีเวลาการเกิดเฉลี่ย 1,600-1,800 ล้านปี ดังรูป 3.25 โดยบริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยยาวนานที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $155^{\circ}\text{W}$  และละติจูดประมาณ  $0^{\circ}$  ซึ่งอยู่เหนือ

ทะเลสาบอบลิวนิส (Lacus Oblivionis) นอกจากนี้ยังพบเวลาการเกิดเฉลี่ยยาวนานรองลงมาอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้บริเวณเทือกเขาคอร์ดีลเลอรา (Montes Cordillera) ในขณะที่บริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นที่สุดอยู่ที่ละติจูดประมาณ  $70^{\circ}\text{S}$  และลองจิจูดประมาณ  $5^{\circ}\text{E}$  โดยเวลาเฉลี่ยการเกิดที่มีค่าน้อยจะกระจายตัวอยู่ทางใต้เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ทางตอนเหนือจะมีค่าอยู่ในช่วงกลางคือประมาณ 2,000 ล้านปี และเวลาการเกิดเฉลี่ยที่มีค่าสูงจะกระจายตัวอยู่เฉพาะบริเวณทางฝั่งตะวันตกโดยมีแนวการกระจายตัวในทิศเหนือ-ใต้ ดังรูป 3.25



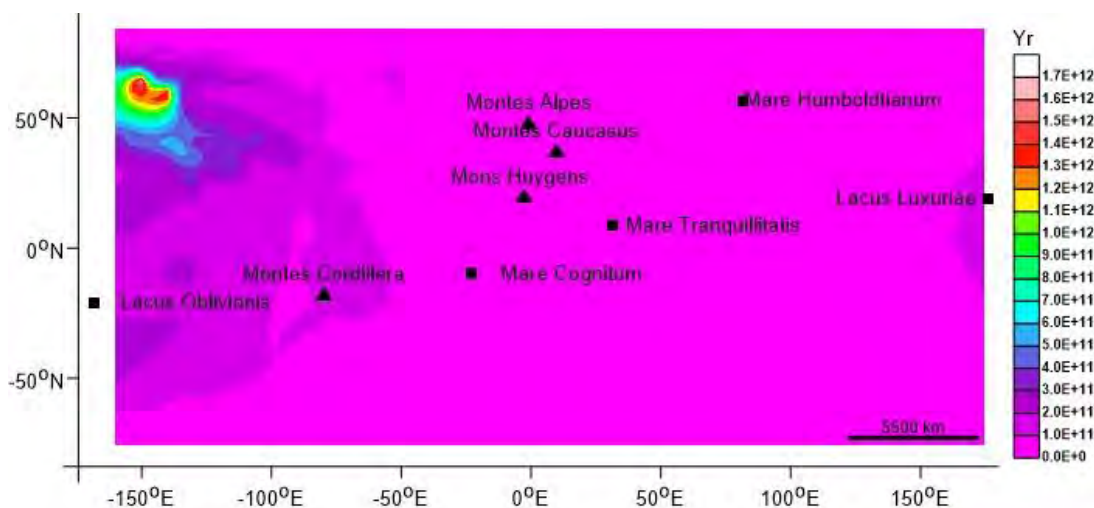
รูป 3.25 แผนที่แสดงเวลาการเกิดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 กิโลเมตร ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

2. จากการประเมินเวลาการเกิดเฉลี่ยของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 5,000 ล้านปี และเวลาการเกิดเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 72,000 ล้านปี ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีเวลาการเกิดเฉลี่ย 6,000–7,000 ล้านปี และบริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยยาวนานที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $140^{\circ}\text{W}$  และละติจูดประมาณ  $60^{\circ}\text{N}$  ซึ่งอยู่เหนือของพื้นที่ศึกษา และมีการกระจายตัวเป็นพื้นที่เล็กๆ เท่านั้น โดยเวลาการเกิดเฉลี่ยที่มีค่ามากกว่า 35,000 ล้านปีจะกระจายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ในขณะที่บริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $55^{\circ}\text{E}$  และละติจูดประมาณ  $50^{\circ}\text{S}$  โดยเวลาเฉลี่ยการเกิดที่มีค่าน้อยจะกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ลองจิจูดประมาณ  $75^{\circ}\text{W}$  ไปทางตะวันออก ดังรูป 3.26



รูป 3.26 แผนที่แสดงเวลาการเกิดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 กิโลเมตร ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

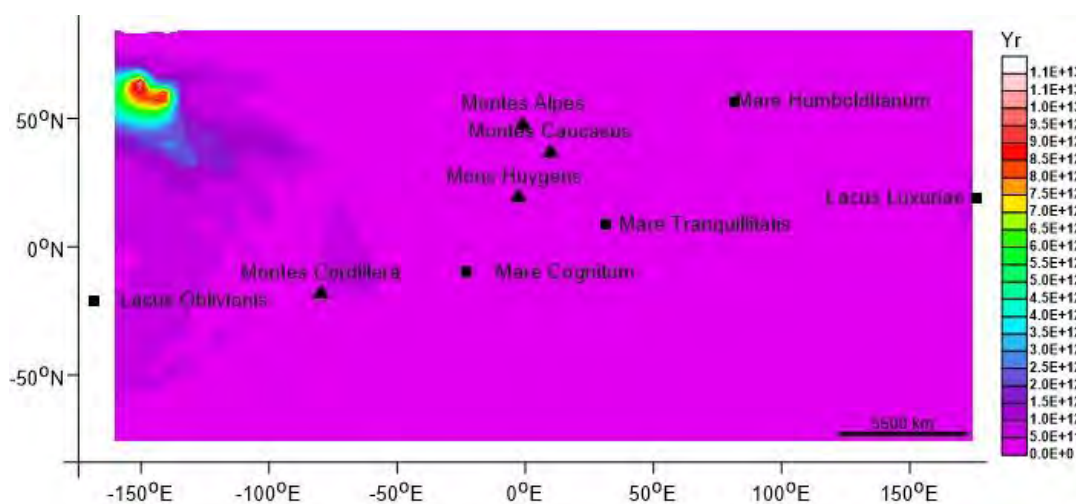
3. จากการประเมินเวลาการเกิดเฉลี่ยของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 750 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 18,000 ล้านปี และเวลาการเกิดเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 1.7 ล้านล้านปี พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีเวลาการเกิดเฉลี่ย 24,000–30,000 ล้านปี



รูป 3.27 แผนที่แสดงเวลาการเกิดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 750 กิโลเมตร ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

บริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยยาวนานที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $140^{\circ}\text{W}$  และละติจูดประมาณ  $60^{\circ}\text{N}$  ซึ่งอยู่เหนือของพื้นที่ศึกษา และมีการกระจายตัวเป็นพื้นที่เล็กๆ เท่านั้น โดยเวลาการเกิดเฉลี่ยที่ค่าที่มากกว่า 30,000 ล้านปีและกระจายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ในขณะที่บริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $55^{\circ}\text{E}$  และละติจูดประมาณ  $45^{\circ}\text{S}$  โดยเวลาเฉลี่ยการเกิดที่มีค่าน้อยจะกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ลองจิจูดประมาณ  $100^{\circ}\text{W}$  ไปทางตะวันออก ดังรูป 3.27

4. จากการประเมินเวลาการเกิดเฉลี่ยของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 930 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 36,000 ล้านปี และเวลาการเกิดเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 11 ล้านล้านปี พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีเวลาการเกิดเฉลี่ย 50,000–70,000 ล้านปี โดยบริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยยาวนานที่สุดอยู่ที่ละติจูดประมาณ  $60^{\circ}\text{N}$  และลองจิจูดประมาณ  $140^{\circ}\text{W}$  ซึ่งอยู่ทางเหนือของพื้นที่ศึกษา และมีการกระจายตัวเป็นพื้นที่เล็กๆ เท่านั้น โดยเวลาการเกิดเฉลี่ยที่มีค่ามากกว่า 3 ล้านล้านปีจะกระจายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ในขณะที่บริเวณที่มีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นที่สุดอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ  $35^{\circ}\text{E}$  และละติจูดประมาณ  $5^{\circ}\text{S}$  โดยเวลาเฉลี่ยการเกิดที่มีค่าน้อยจะกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ลองจิจูดประมาณ  $125^{\circ}\text{W}$  ไปทางตะวันออก ดังรูป 3.28



รูป 3.28 แผนที่แสดงเวลาการเกิดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 930 กิโลเมตร ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

### 3.7.3. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 930 kilometres)

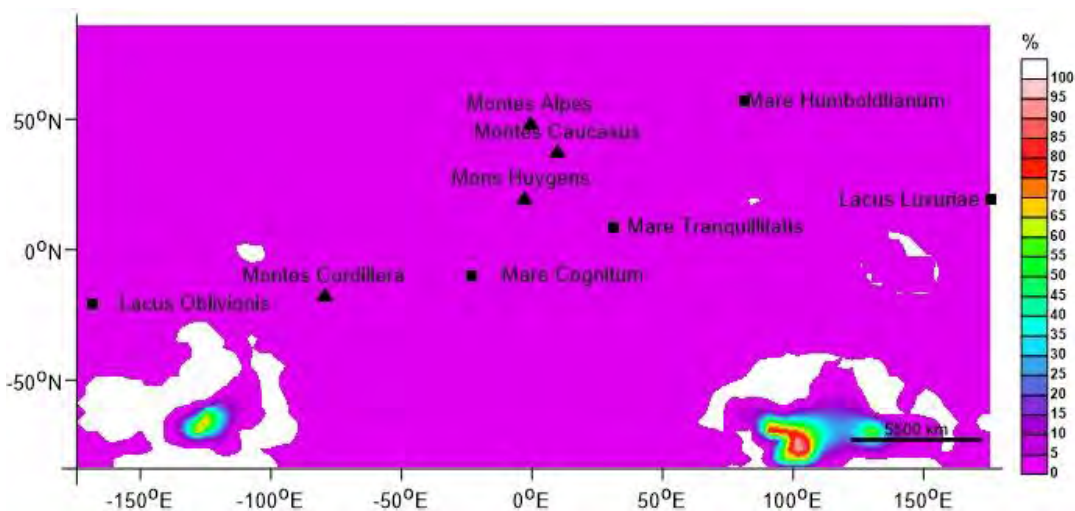
ข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร มีจำนวนข้อมูล 2 ข้อมูล ซึ่งส่งผลให้การประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติไม่สามารถทำได้ ส่งผลให้ข้อมูลชุดนี้ไม่สามารถหาค่า  $a$  และค่า  $b$  ได้ และส่งผลต่อเนื่องไม่สามารถใช้สมการในการหาเวลาเกิดโดยเฉลี่ยได้ หากดวงจันทร์ที่มีอายุ 4.51 พันล้านปี สามารถอนุมานได้ว่าเวลาเกิดโดยเฉลี่ยของข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร มีเวลาการเกิดเฉลี่ย คือ 2.255 พันล้านปี

### 3.8. การประเมินโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (Probability of Occurrence)

จากการประเมินโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (%) โดยสมการที่ถูกเสนอโดย Yadav *et al.* (2011) สามารถนำมาวิเคราะห์กับชุดข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอุกกาบาตที่ถูกแบ่งย่อยออกเป็น 3 ชุดข้อมูลได้ผลดังนี้

#### 3.8.1. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร (Craters with diameter less than 140 kilometres)

1. โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 กิโลเมตร ในอีก 10,000 ปี พบว่ามีโอกาสในการเกิดน้อยที่สุด 0.001% และโอกาสในการเกิดมากที่สุดประมาณ 99.2% พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดประมาณ 0.001% - 0.002% เท่านั้น ดังรูป 3.29

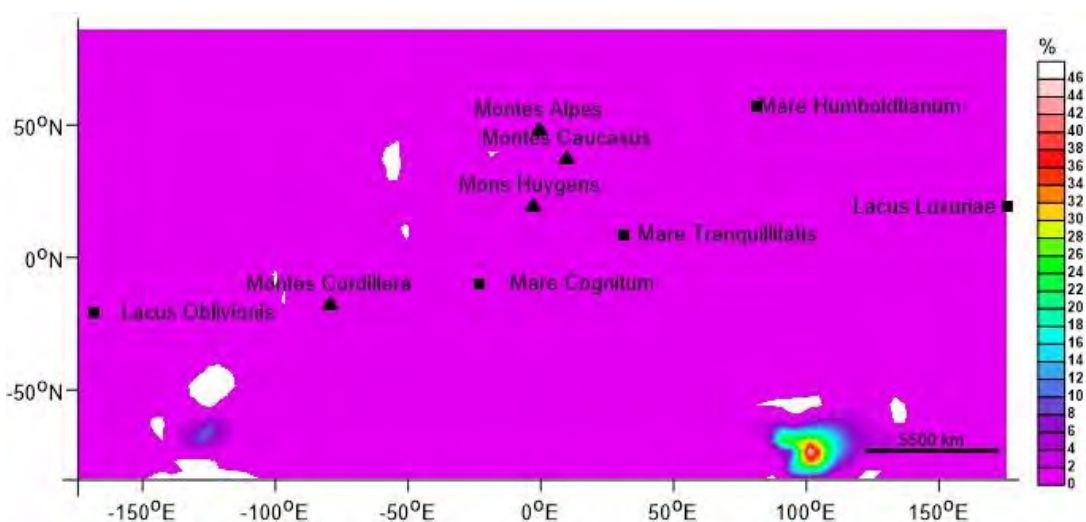


รูป 3.29 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 กิโลเมตร ในอีก 10,000 ปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร



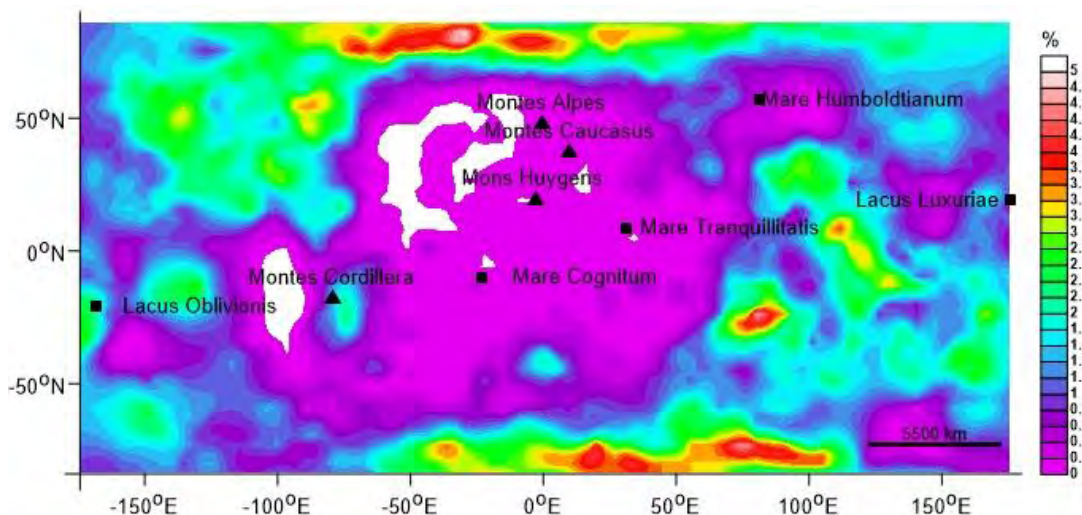
บริเวณที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดอยู่ที่ละติจูดประมาณ  $100^{\circ}\text{E}$  และลองจิจูดประมาณ  $74^{\circ}\text{S}$  ซึ่งอยู่ทางใต้ของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นพื้นที่เดียวที่มีโอกาสในการเกิดมากกว่า 80% และโอกาสในการเกิดของบริเวณอื่นจะลดลงอย่างมาก โดยพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดที่น้อยกว่า 0.01% ดังรูป 3.29

2. โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 กิโลเมตร ในอีก 1 ล้านปี พบว่าในบางพื้นที่มีโอกาสเกิดน้อยมากและสามารถถือได้ว่ามีโอกาสที่จะไม่เกิดเลย แต่ในบางพื้นที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดถึง 49.6% พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดประมาณ 0.017% - 0.025% เท่านั้น ดังรูป 3.29 โดยบริเวณที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดอยู่ที่ละติจูดประมาณ  $74^{\circ}\text{S}$  และลองจิจูดประมาณ  $100^{\circ}\text{E}$  ซึ่งอยู่ทางใต้ของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นพื้นที่เดียวที่มีโอกาสในการเกิดมากกว่า 25% และโอกาสในการเกิดของบริเวณอื่นจะลดลงอย่างมาก โดยพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดที่น้อยกว่า 10% ดังรูป 3.30



รูป 3.30 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 กิโลเมตร ในอีก 1 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

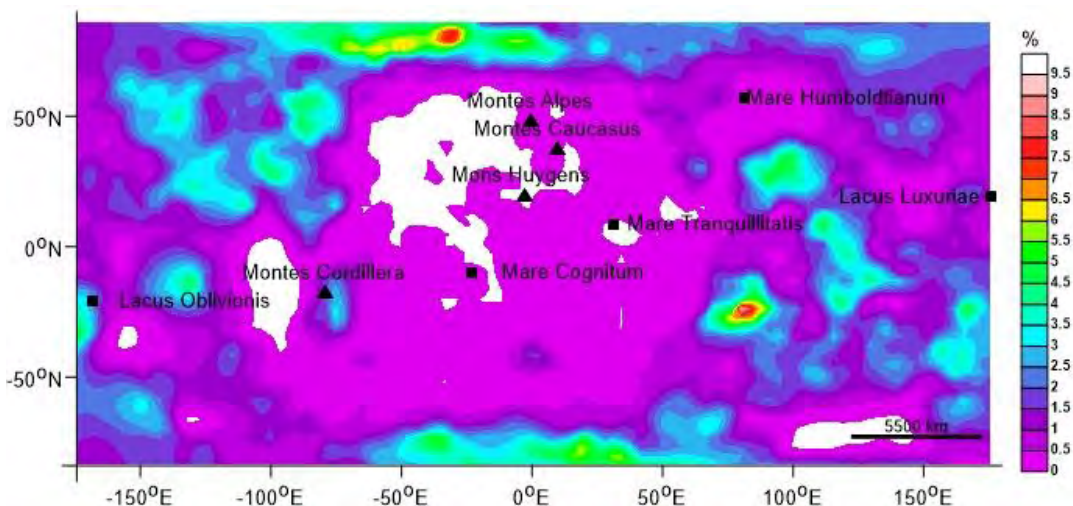
3. โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 กิโลเมตร ในอีก 100 ล้านปี พบว่าในบางพื้นที่มีโอกาสเกิดน้อยมากและสามารถถือได้ว่ามีโอกาสที่จะไม่เกิดเลย แต่ในบางพื้นที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดถึง 4.2% พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดน้อยกว่า 0.3% โดยบริเวณที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดอยู่ที่ละติจูดประมาณ  $23^{\circ}\text{S}$  และลองจิจูดประมาณ  $80^{\circ}\text{E}$  ซึ่งอยู่ทางใต้ของทะเลฮัมโบเตียนัม (Mare Humboldtianum) มาทางใต้ประมาณ 2,400 กิโลเมตร ดังรูป 3.31



รูป 3.31 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 กิโลเมตร ในอีก 100 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูล หลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

พื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดสูงยังปรากฏอยู่ทางเหนือและทางใต้ของพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณเล็กๆ ซึ่งเป็นพื้นที่เดียวที่มีโอกาสในการเกิดมากกว่า 3% และบริเวณที่มีละติจูดและลองจิจูดต่ำหรือบริเวณกลางพื้นที่ศึกษาจะมีโอกาสในการเกิดต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ดังรูป 3.31

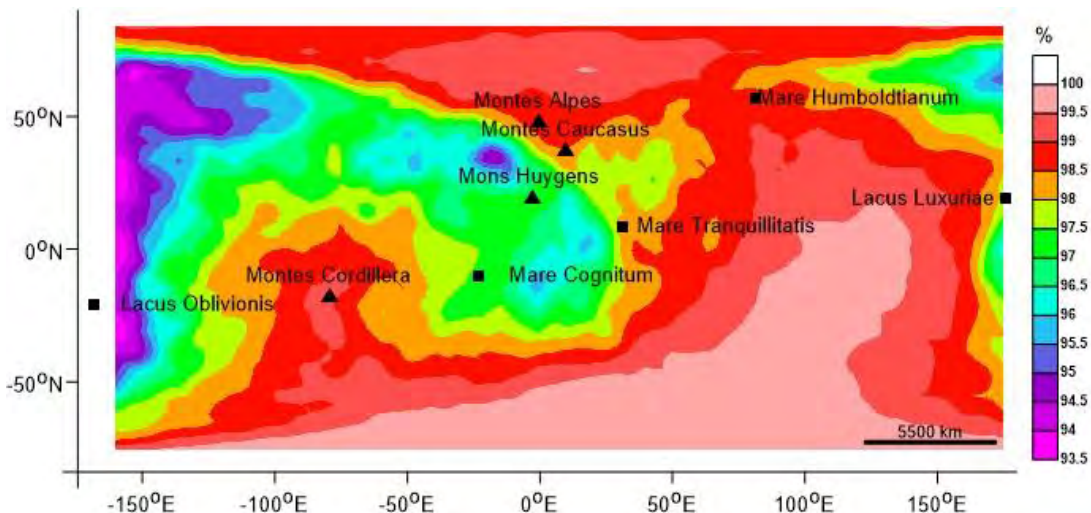
4. โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 กิโลเมตร ในอีก 500 ล้านปี พบว่าในบางพื้นที่มีโอกาสเกิดน้อยมากและสามารถถือได้ว่ามีโอกาสที่จะไม่เกิดเลย แต่ในบางพื้นที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดถึง 10.3% พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดน้อยกว่า 0.4% โดยบริเวณที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดอยู่ที่ละติจูดประมาณ 24°S และลองจิจูดประมาณ 80°E ซึ่งอยู่ทางใต้ของทะเลฮัมโบเตียนัม (Mare Humboldtianum) มาทางใต้ประมาณ 2,450 กิโลเมตร ดังรูป 3.31 นอกจากนี้พื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดสูงยังปรากฏอยู่ทางเหนือของพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณเล็กๆ ซึ่งเป็นพื้นที่เดียวที่มีโอกาสในการเกิดมากกว่า 3% และบริเวณที่มีละติจูดและลองจิจูดต่ำหรือบริเวณกลางพื้นที่ศึกษาจะมีโอกาสในการเกิดต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ดังรูป 3.32



รูป 3.32 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 กิโลเมตร ในอีก 500 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูล หลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 140 กิโลเมตร

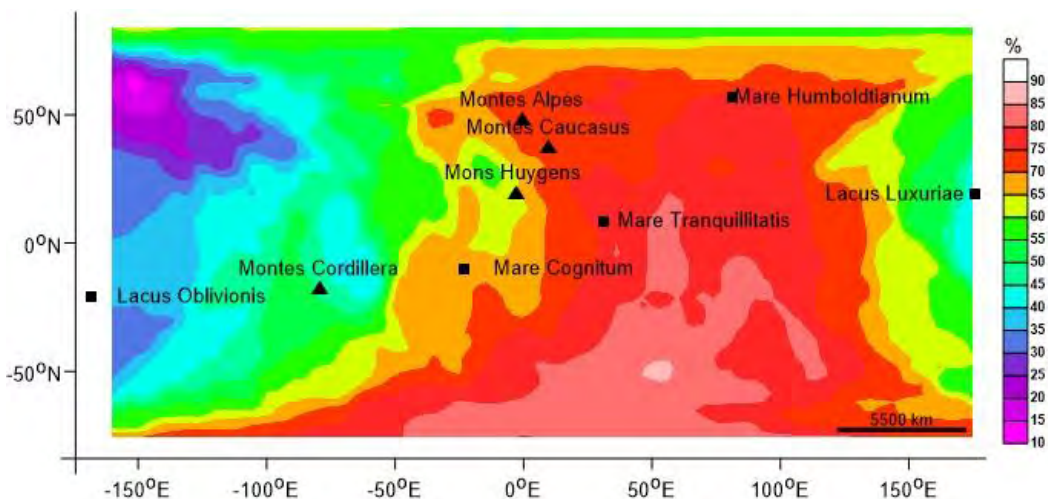
### 3.8.2. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 140 kilometres and less than or equal 930 kilometres)

1. โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 กิโลเมตร ในอีก 8,000 ล้านปี พบว่าพื้นที่ศึกษาทั้งหมดสามารถเกิดหลุมอุกกาบาตได้ โดยในบางพื้นที่มีโอกาสในการเกิด 100% พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดตั้งแต่ 98% - 99% โดยบริเวณที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดจะอยู่ทางใต้ของพื้นที่ศึกษาโดยมีการกระจายตัวทางฝั่งตะวันออกจะมีโอกาสในการเกิดสูงมากกว่าทางฝั่งตะวันตก นอกจากนี้ทางเหนือของพื้นที่ศึกษาก็มีโอกาสในการเกิดมากถึง 99% ในขณะที่ทางตะวันตกของภูเขาฮายเจน (Mons Huygens) จะมีโอกาสในการเกิดที่ต่ำกว่า 97% ดังรูป 3.33



รูป 3.33 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 กิโลเมตร ในอีก 8,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูล หลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

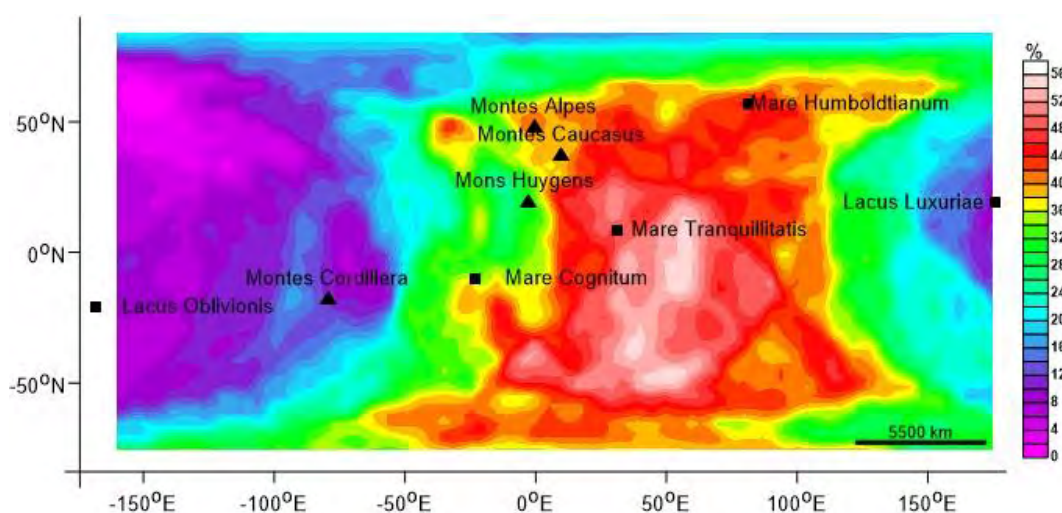
2. โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 กิโลเมตร ในอีก 10,000 ล้านปี พบว่าในพื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดสูงสุดมีค่าอยู่ที่ 86.5% และพื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดน้อยสุดมีค่าอยู่ที่ 12.8% ดังรูป 3.34



รูป 3.34 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 กิโลเมตร ในอีก 10,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูล หลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

โดยพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดตั้งแต่ 75% - 80% โดยบริเวณที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดจะอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ 55°E และละติจูดประมาณ 50°S ซึ่งอยู่ทางใต้ของพื้นที่ศึกษา ดังรูป 3.35 ซึ่งอยู่ทางใต้ของพื้นที่ศึกษา โดยโอกาสในการเกิดที่สูงกว่าจะมีการกระจายตัวมาทางฝั่งตะวันออก ยกเว้นบริเวณทะเลสาบลูซูเรีย (Lacus Luxuriae) ที่มีโอกาสในการเกิดต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง ในขณะที่ทางฝั่งตะวันตกจะมีโอกาสในการเกิดน้อยกว่า 60% และมีบริเวณที่มีโอกาสในการเกิดต่ำที่สุดซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูดประมาณ 60°N ถึง 65°N และลองจิจูดประมาณ 140°W ถึง 150°W ดังรูป 3.34

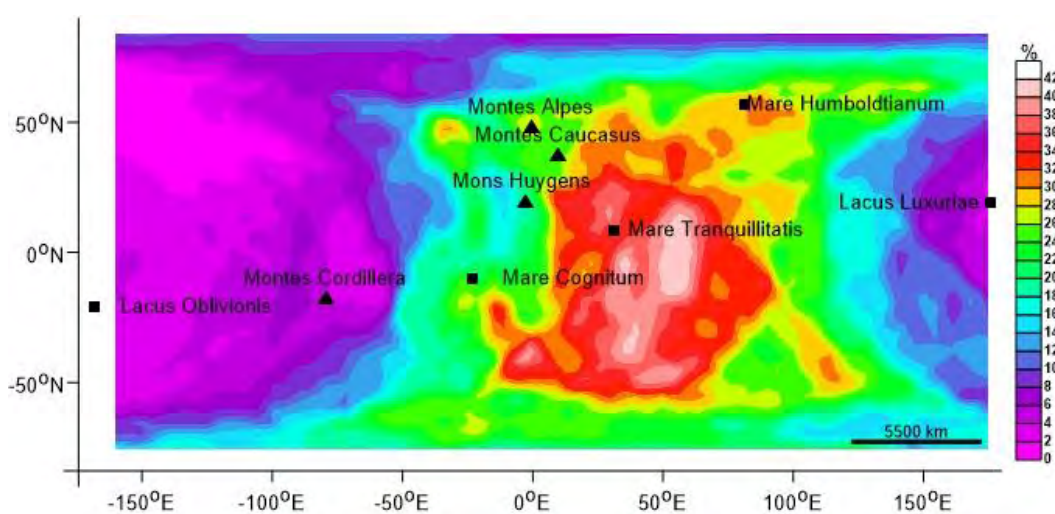
3. โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 750 กิโลเมตร ในอีก 15,000 ล้านปี พบว่าในพื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดสูงสุดมีค่าอยู่ที่ 56% และพื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดน้อยสุดมีค่าอยู่ที่ 0.9% โดยพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดตั้งแต่ 40% - 60% ดังรูป 3.35



รูป 3.35 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 750 กิโลเมตร ในอีก 15,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

บริเวณที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดจะอยู่ที่ลองจิจูดประมาณ 55°E และละติจูดประมาณ 45°S ซึ่งอยู่ทางใต้ของพื้นที่ศึกษา โดยโอกาสในการเกิดที่สูงจะมีการกระจายตัวอยู่ตอนกลางของพื้นที่ ยกเว้นบริเวณทะเลสาบลูซูเรีย (Lacus Luxuriae) ที่มีโอกาสในการเกิดต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง ในขณะที่ทางฝั่งตะวันตกจะมีโอกาสในการเกิดน้อยกว่า 20% และมีบริเวณที่มีโอกาสในการเกิดต่ำที่สุดซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูดประมาณ 60°N ถึง 65°N และลองจิจูดประมาณ 140°W ถึง 150°W ดังรูป 3.35

4. โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 930 กิโลเมตร ในอีก 20,000 ล้านปี พบว่าในพื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดสูงสุดมีค่าอยู่ที่ 42.5% และพื้นที่ที่มีโอกาสในการเกิดน้อยสุดมีค่าอยู่ที่ 0.2% โดยพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดตั้งแต่ 3% - 6% โดยบริเวณที่มีโอกาสในการเกิดมากที่สุดจะอยู่ที่ละติจูดประมาณ 5°S และลองจิจูดประมาณ 35°E ซึ่งอยู่ใกล้กับทะเลทรานคิลลิตาติส (Mare Tranquillitatis) โดยโอกาสในการเกิดที่สูงจะมีการกระจายตัวอยู่ตอนกลางของพื้นที่ โดยพื้นที่ทางตะวันออกส่วนใหญ่จะมีโอกาสในการเกิดสูงกว่าทางตะวันตก ยกเว้นบริเวณทะเลสาบลูซูเรีย (Lacus Luxuriae) ที่มีโอกาสในการเกิดต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง ในขณะที่ทางฝั่งตะวันตกจะมีโอกาสในการเกิดน้อยกว่า 15% และมีบริเวณที่มีโอกาสในการเกิดต่ำที่สุดซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูดประมาณ 60°N ถึง 65°N และลองจิจูดประมาณ 140°W ถึง 150°W ดังรูป 3.36



รูป 3.36 แผนที่แสดงเวลาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 930 กิโลเมตร ในอีก 20,000 ล้านปี ในแต่ละตำแหน่งละติจูด (แกน Y) และลองจิจูด (แกน X) ของข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

### 3.8.3. ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร (Craters with diameter more than 930 kilometres)

ข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตรมีเพียง 2 ข้อมูล ซึ่งส่งผลให้การประเมินความสัมพันธ์เชิงสถิติไม่สามารถทำได้ ส่งผลให้ข้อมูลชุดนี้ไม่สามารถหาค่า  $a$  และค่า  $b$  ได้ และส่งผลต่อเนื่องไม่สามารถหาค่าโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (%) ในขนาดและช่วงเวลาที่ต้องการพิจารณาได้เช่นกัน

## บทที่ 4

### อภิปรายผล

#### (DISCUSSION)

ดังที่กล่าวไว้ในข้างต้นว่า ดวงจันทร์ประกอบด้วย 2 ด้าน คือ ด้านไกล (farside) เป็นด้านที่หันออกจากโลกเสมอ มีลองจิจูดตั้งแต่  $90^{\circ}\text{E}$  ถึง  $90^{\circ}\text{W}$  โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูด  $0^{\circ}$  และลองจิจูดที่  $180^{\circ}$  และด้านใกล้ (nearside) เป็นด้านที่หันเข้าหาโลกเสมอ มีลองจิจูดตั้งแต่  $90^{\circ}\text{W}$  ถึง  $90^{\circ}\text{E}$  โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูด  $0^{\circ}$  และลองจิจูดที่  $0^{\circ}$  โดยดวงจันทร์มีการโคจรรอบโลกและหมุนรอบตัวเองแบบสมวาร (synchronous rotation) คือคาบการหมุนรอบตัวเองกับคาบการโคจรรอบโลกมีค่าเท่ากัน ส่งผลให้สามารถเห็นดวงจันทร์ได้เพียงด้านเดียวจากโลก ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งตามลองจิจูดเท่านั้น โดยแบ่งเป็นด้านใกล้และด้านไกล เพื่อง่ายต่อการเข้าใจ

#### 4.1. การประเมินการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตโดยรวม (Analysis of a Value and b Value on Moon)

1) ข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาดเล็กกว่า 140 กิโลเมตร โดยพบว่าพบว่ามีค่า  $b$  เท่ากับ  $0.0201 \pm 0.0003$  และค่า  $a$  เท่ากับ 3.97

2) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร โดยพบว่าพบว่ามีค่า  $b$  เท่ากับ  $0.00246 \pm 0.0003$  และค่า  $a$  เท่ากับ 2.39

จากการวิเคราะห์หาค่า  $a$  และค่า  $b$  พบว่าบริเวณที่มีค่า  $a$  สูงจะพบว่ามีค่า  $b$  สูง เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ค่า  $a$  แสดงถึงอัตราการเกิดหลุมอุกกาบาต โดยพบว่าบริเวณที่มีค่า  $a$  สูงจะมีอัตราการเกิดของหลุมอุกกาบาตสูงด้วย และตรงกับงานวิจัยของ Nuannin (2006) ซึ่งพบว่าค่า  $a$  และ ค่า  $b$  มีความสัมพันธ์กัน โดยค่า  $a$  แสดงถึงขนาดแผ่นดินไหว ในขณะที่ค่า  $b$  แสดงถึงค่าความเครียด (stress) และค่า  $a$  กับค่า  $b$  มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน

#### 4.2. การประเมินการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตเชิงพื้นที่ (Analysis of a Value and b Value in Spatial)

1) ข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาดเล็กกว่า 140 กิโลเมตร โดยพบว่าค่า  $b$  มีค่าตั้งแต่ 0.010 - 0.095 และมีค่า  $a$  มีค่าตั้งแต่ 0.919-7.414 โดยด้านใกล้มีค่าสูงกว่าด้านไกล และพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  มีค่า  $\leq 0.06$  ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมากและบ่งชี้ได้ว่าค่า  $b$  และ ค่า  $a$  ที่หามาได้มีความแปรปรวนต่ำ นอกจากนี้เมื่อดูผลการวิเคราะห์ของเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลพบว่าการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ส่วนที่มีเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลสูงกว่า 50% ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ด้านไกลและบริเวณที่ต่ำกว่าซึ่งบริเวณที่มีเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลต่ำจะครอบคลุมพื้นที่ด้านใกล้

2) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร โดยพบว่าค่า  $b$  มีค่ามีค่าตั้งแต่ 0.002-0.005 และมีค่า  $a$  มีค่าตั้งแต่ 1.691-2.188 โดยด้านไกลมีค่าสูงกว่าด้านใกล้ และพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า  $b$  มีค่า  $\leq 0.00125$  ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมาก และบ่งชี้ได้ว่าค่า  $b$  และ ค่า  $a$  ที่หามาได้มีความแปรปรวนต่ำ นอกจากนี้เมื่อดูผลการวิเคราะห์ของเปอร์เซ็นต์ความสอดคล้องระหว่างข้อมูล พบว่ามีค่า  $> 95\%$  ซึ่งบ่งชี้ได้ว่า ผลวิเคราะห์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือทางสถิติ

#### 4.3. ขนาดอุกกาบาตใหญ่ที่สุด (Maximum Size)

1) ขนาดอุกกาบาตขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 140 กิโลเมตร จากการประเมินอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในอีก 2,000–400,000 ล้านปี พบว่าบริเวณขั้วเหนือและขั้วใต้เป็นแหล่งกำเนิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด และด้านไกลเป็นแหล่งกำเนิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่มากกว่าด้านใกล้

2) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร จากการประเมินอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในอีก 3,000–360,000 ล้านปี พบว่าบริเวณด้านใกล้เป็นแหล่งกำเนิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด และขั้วใต้เป็นแหล่งกำเนิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าขั้วเหนือ

จาก Miljković *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาจากแผนที่ชั้นเปลือกของดวงจันทร์ โดยพบว่าด้านใกล้ของดวงจันทร์มีหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าหลุมอุกกาบาตด้านไกล เนื่องจากองค์ประกอบของเปลือกดวงจันทร์ทั้งสองฝั่งต่างกัน ซึ่งตรงกับการประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดได้ในช่วงเวลาต่างๆ ที่พิจารณา ในชุดข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร พบว่าด้านใกล้มีการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่กว่าด้านไกล

#### 4.4. การประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย (Average Time)

1) ขนาดอุกกาบาตขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 140 กิโลเมตร จากการประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นจะอยู่ทางด้านใกล้และมีเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยกว่า 90 ล้านปี ในกรณีขนาดหลุมอุกกาบาต 0.1 กิโลเมตร ในขณะที่กรณีขนาดหลุมอุกกาบาต 50, 100 และ 140 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นจะอยู่ทางด้านไกลและมีเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยกว่า 500 ล้านปี, 50,000 ล้านปีและ 5 ล้านล้านปี ตามลำดับ

2) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร จากการประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นจะอยู่ทางด้านใกล้ โดยจะอยู่ทางขั้วใต้เป็นส่วนใหญ่และมีเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยกว่า 1,300 ล้านปี ในกรณีขนาดหลุมอุกกาบาต 140 กิโลเมตร, 450, 750 และ 930 กิโลเมตร พบว่าเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นจะอยู่ทางด้านไกลและมีเวลาการเกิดเฉลี่ยน้อยกว่า 9,000 ล้านปี, 100,000 ล้านปีและ 700,000 ล้านปี ตามลำดับ



3) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร จากการประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย และจาก Marchi *et al.* (2014) ได้ทำการศึกษาพบว่าดวงจันทร์ที่มีอายุ 4.51 พันล้านปี สามารถอนุมานได้ว่าเวลาเกิดโดยเฉลี่ยของข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร มีเวลาดำเนินการเกิดเฉลี่ย คือ 2.255 พันล้านปี

#### 4.5. การประเมินโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (Probability of Occurrence)

1) ขนาดอุกกาบาตขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 140 กิโลเมตร การประเมินโอกาสเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเล็ก (0.1 – 140 กิโลเมตร) ในช่วงเวลาที่พิจารณา (2,000 ปี – 500 ล้านปี) จากรูป พบว่าทางใต้บริเวณลองจิจูดที่ 10°E มีโอกาส 100% ที่จะเกิดอุกกาบาตขนาด 0.1 กิโลเมตร ในอีก 2,000 ปี ในขณะที่โอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาด 50 กิโลเมตร ในอีก 1 ล้านปี มีค่าประมาณ 50% และจากรูป ค พบว่าด้านไกลและบริเวณขั้วใต้และขั้วเหนือมีโอกาสสูงสุดประมาณ 5% และ 10% ในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาด 100 กิโลเมตร ในอีก 100 ล้านปีและหลุมอุกกาบาตขนาด 140 กิโลเมตร ในอีก 500 ล้านปี ตามลำดับ

2) ขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร การประเมินโอกาสเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดเล็ก (140 – 930 กิโลเมตร) ในช่วงเวลาที่พิจารณา (8,000 – 20,000 ล้านปี) จากรูป พบว่าทางขั้วใต้และขั้วเหนือ มีโอกาสเกิด 100% ที่จะเกิดอุกกาบาตขนาด 140 กิโลเมตร ในอีก 8,000 ล้านปี หรือหากพิจารณาโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาด 450 กิโลเมตร ในอีก 15,000 ล้านปี มีค่าประมาณ 90% ซึ่งจะอยู่บริเวณขั้วใต้ และจากรูป ค พบว่าด้านใกล้มีโอกาสสูงสุดประมาณ 50% และ 40% ในการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาด 750 กิโลเมตร ในอีก 15,000 ล้านปีและหลุมอุกกาบาตขนาด 930 กิโลเมตร ในอีก 20,000 ล้านปี ตามลำดับ

## บทที่ 5

### สรุปผล

### (CONCLUSION)

#### 5.1. กระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตโดยรวม (a Value and b Value on Moon)

จากการประเมินพบว่าค่า a และค่า b จากความสัมพันธ์การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดของหลุมอุกกาบาตมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาดเล็กกว่า 140 กิโลเมตร มีค่า a และค่า b สูงกว่าข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร

#### 5.2. การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตเชิงพื้นที่ (a Value and b Value in Spatial)

จากการประเมินการกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์เชิงพื้นที่พบว่าข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาดเล็กกว่า 140 กิโลเมตร มีค่า a และค่า b บริเวณด้านใกล้สูงกว่าด้านไกล ในขณะที่ข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร มีค่า a และค่า b บริเวณด้านไกลสูงกว่าด้านใกล้

#### 5.3. ขนาดอุกกาบาตใหญ่ที่สุด (Maximum Size)

จากการประเมินขนาดอุกกาบาตใหญ่ที่สุด พบว่าข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาดเล็กกว่า 140 กิโลเมตร มีขั้วเหนือและขั้วใต้เป็นแหล่งกำเนิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด และด้านไกลเป็นแหล่งกำเนิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่มากกว่าด้านใกล้ ในขณะที่ข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร บริเวณด้านใกล้เป็นแหล่งกำเนิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด และขั้วใต้เป็นแหล่งกำเนิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่มากกว่าขั้วเหนือ

#### 5.4. การประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย (Average Time)

จากการประเมินเวลาการเกิดโดยเฉลี่ย พบว่าข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาดเล็กกว่า 140 กิโลเมตร มีเวลาการเกิดเฉลี่ยสั้นอยู่ด้านไกล ในขณะที่ข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร จะอยู่ทางด้านใกล้ โดยจะอยู่ทางขั้วใต้เป็นส่วนใหญ่ แต่ในข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 930 กิโลเมตร พบว่ามีเวลาการเกิดเฉลี่ย เท่ากับ 2.255 พันล้านปี โดยไม่สามารถหาค่าเชิงพื้นที่ได้

### 5.5. การประเมินโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (Probability of Occurrence)

จากการประเมินการประเมินโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาต (%) พบว่าข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาดเล็กกว่า 140 กิโลเมตร มีโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตสูงบริเวณขั้วใต้และขั้วเหนือ นอกจากนี้ยังมีโอกาสสูงทางด้านโกลมากกว่าด้านใกล้ ในขณะที่ข้อมูลขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 140 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 930 กิโลเมตร มีโอกาสในการเกิดหลุมอุกกาบาตสูงทางด้านใกล้มากกว่าด้านไกล

## บรรณานุกรม (References)

- Andersson, L.E. and Whitaker, E.A. 1982. Nasa catalogue of Lunar Nomenclature. Online: [ntrs.nasa.gov/](https://ntrs.nasa.gov/)
- Barboni, M., Boehnke, P., Keller, B., Kohl, I.E., Schoene, B., Young, E.D. and McKeegan, K.D. 2017. Early formation of the Moon 4.51 billion years ago. *Science advances* 3: e1602365.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F. 1944. Frequency of Earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34: 185-188.
- Guthrie, R.H., Deadman, P.J., Cabrera, A.R. and Evans, S.G. 2008. Exploring the magnitude-frequency distribution: A cellular automata model for landslide. In *Landslide*. DOI 10.1007/s10346-007-0104-1
- Head, J.W., Fassett, C.I., Kadish, S.J., Smith, D.E., Zuber, M.T., Neumann, G.A. and Mazarico, E. 2010. Global distribution of large Lunar craters: Implications for resurfacing and impactor populations. *Science* 329 (5998), 1504-1507. DOI 10.1126/science.1195050
- Hiesinger, H. and Jaumann, R. 2014. Chapter 23 the Moon. In *Encyclopedia of the Solar System (Third Edition)*, pp. 493-538.
- Losiak, A., Kohout, T., O'Sullivan, K., Thaisen, K. and Weider, S. 2009. A new Lunar Impact Crater database. Online: [www.lpi.usra.edu/lunar/](http://www.lpi.usra.edu/lunar/).
- Marchi, S., Bottke, F.W., Elkins-Tanton, T.L., Bierhaus, M., Wuennemann, K., Morbidelli, A. and Kring, A.D. 2014. Widespread mixing and burial of Earth's Hadean crust by asteroid impacts. *Nature* 511, p. 578-562
- Marshak, S. 2012. CHAPTER 2 The Way the Earth Works: Plate Tectonics. In *Essentials of Geology*.
- Miljković, K., Wiczorek, M.A., Collins, G.S., Laneuville, M., Neumann, N.A., Melosh, H.J., Solomon, S.C., Phillips, R.J., Smith, D.E. and Zuber, M.T. 2013. Asymmetric Distribution of Lunar Impact Basins Caused by Variations. *Science* 342 (6159), 724-726.
- Neukum, g., Konig, b. and ARKANI-HAMED, J. 1974. A study of Lunar Impact Crater Size-Distributions. *The Moon*, vol. 12: 201-229.

- Nuannin, P. 2006. The potential of b-value variations as earthquake precursors for small and large events. Acta Universitatis Upsaliensis Uppsala. ISBN 91-554-6568-4.
- Okal, E.A. and Romanowicz, B.A. 1994. On the variation of b-values with earthquake size. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 87 (1994) 55—76
- Osinski, R.G. 2014. The geological record of meteorite impacts. ResearchGate.
- Pailoplee, S. and Choowong, M. 2013. Probabilities of earthquake occurrences in Mainland Southeast Asia. *Journal of Geoscience*, 6(12),: 4993-5006,
- Quantin, C., Trey, b., Hartmann, W.K. and Allemand, P. 2011. Size frequency distribution of small craters on the Moon. EPSC 6, EPSC-DPS2011-808, 2011.
- Rumble, D., Bowring, S., Iizuka, T., Komiya, T., Lepland, A., Rosing, M.T. and Ueno, Y. 2013. The oxygen isotope composition of earth's oldest rocks and evidence of a terrestrial magma ocean. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14, 1929–1939.
- Schulte, P., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Barton, P.J., Bown, P.R., Bralower, T.J., Christeson, G.L., Claeys, P., Cockell, C.S., Collins, G.S. Deutsch, A., Goldin, T.J., Goto, K., Grajales-Nishimura, J.M., Grieve, R.A.F., Gulick, S.P.S., Johnson, K.R., Kiessling, W., Koeberl, C., Kring, D.A., MacLeod, K.G., Matsui, T., Melosh, J., Montanari, A., Morgan, J.V., Neal, C.R., Nichols, D.J., Norris, R.D., Pierazzo, E., Ravizza, G., Rebolledo-Vieyra, M., Reimold, W.U., Robin, E., Salge, T., Speijer, R.P., Sweet, A.R., Urrutia-Fucugauchi, J., Vajda, V., Whalen, M.T. and Willumsen, P.S. 2010. The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. *Science* 327 (5970), 1214-1218.
- Valley, W.J., Cavosie, A.J., Ushikubo, T., Reinhard, D.A., Lawrence, D.F., Larson, D.J., Clifton, P.H., Kelly, T.F., Wilde, S.A., Moser, D.E. and Spicuzza, M.J. 2014. Hadean age for a post-magma-ocean zircon confirmed by atom-probe tomography. *Nature Geoscience*, DOI: 10.1038/NGEO2075
- Yadav, R.B.S., Tripathi, J.N., Shanker, D., Rastogi, B.K., Das, M.C. and Kumar, V. 2011. Probabilities for the Occurrences of Medium to Large Earthquakes in Northeast India and Adjoining Region. *Natural Hazards*, 56: 145-167.



