การศึกษาตัวอย่างหินของดวงจันทร์จากโครงการยานอพอลโล 17 และความเป็นไปได้ในการทำเหมืองแร่บนดวงจันทร์

ศิวโรฒม์ ศิริลักษณ์*

สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่

*Corresponding author email: siwarote@hotmail.com

ได้รับบทความ: 13 กุมภาพันธ์ 2563
ได้รับบทความแก้ไข: 16 มิถุนายน 2563
ยอมรับตีพิมพ์: 21 มิถุนายน 2563

บทคัดย่อ

การเก็บตัวอย่างหินและดินบนดวงจันทร์ ในโครงการอพอลโล 17 เป็นโครงการสุดท้ายที่ทำงานโดยนักบินอวกาศ เทคนิคการเก็บตัวอย่างทางธรณีวิทยาบนดวงจันทร์ถูกเตรียมและฝึกซ้อมอย่างดี ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างหิน ดิน แร่ ธาตุที่พบในตัวอย่างได้ถูกนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการต่าง ๆ จากงานศึกษาวิจัยพบว่ามีโครงการที่เป็นไปได้ที่สามารถทำได้บนดวงจันทร์ คือ 1. โครงการเก็บเกี่ยว Helion เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการทำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟิวชันบนโลก 2. การทำเหมืองจากอุกกาบาต 3. โครงการผลิตสารออกฤทธิ์กลุ่มยา 4. การสร้างวงแหวนโซล่าร์เซลล์ล้อมรอบดวงจันทร์เพื่อการสร้างกระแสไฟฟ้า 5. เกษตรกรรมบนดวงจันทร์ ท้ายที่สุดจากข้อมูลที่ศึกษาทั้งหมดสรุปได้ว่า การทำเหมืองแร่นอกโลกนั้นมีความเป็นไปได้บนพื้นฐานของความมั่นคงทางทรัพยากรแร่ถึงแม้จะไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

คำสำคัญ: เหมืองแร่นอกโลก / ดวงจันทร์ / ฟิวชัน / อุกกาบาต

The Lunar Rock Samples Study from Apollo 17 and Lunar Mining Feasibility

Siwarote Siriluck*

School of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai
*Corresponding author email: siwarote@hotmail.com

Received: 13 February 2020
Revised: 16 June 2020
Accepted: 21 June 2020

Abstract

The Apollo 17 astronauts worked on the last project on lunar surface by human. The geological sample collecting technique was good prepared and practiced on earth. The regolith, soil, mineral and element results were analyzed from various laboratories. From the research study found that the five projects can work on lunar are 1. the Helion harvesting for fuel source in fusion reactor 2. the asteroids mining 3. the production of pharmaceutical substances project 4. the lunar ring for electricity distribution 5. the lunar agriculture. At last, all studied information can conclude that the off earth mining is the possible project based on the stability of mineral resource, even though the project value is not worth based on economic.

Keywords: Off-Earth mining / Lunar / Moon / Fusion and meteor

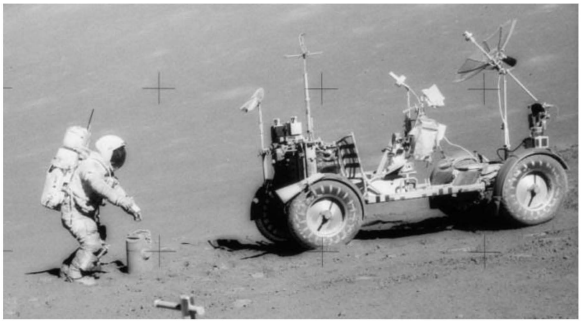
บทนำ

การนำกลับมาใช้ใหม่เป็นการยืดอายุวงจรการใช้แร่ในอุตสาหกรรม ด้วยขีดจำกัดของแร่บางชนิดไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน แร่กัมมันตภาพรังสี เป็นต้น ดังนั้นการเสาะแสวงหาแหล่งทรัพยากรใหม่จากนอกโลกจึงเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจและมีการวางแผนเพื่อการทำเหมืองแร่นอกโลก (Off-Earth mining) [1] ในปี 1969 องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (The National Aeronautics and Space Administration-NASA) ภายใต้งบประมาณของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ส่งยานอวกาศอพอลโล 11 พร้อมนักบินอวกาศและลูกเรือทั้งสองไปยังดวงจันทร์ในปฏิบัติการครั้งนั้นได้เก็บตัวอย่างดินและหินกลับมายังห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษา การเก็บตัวอย่างดินและหินจากดวงจันทร์ได้ทำอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งโครงการอพอลโล 17 ซึ่งเป็นโครงการสุดท้ายที่ยังคงทำการเก็บตัวอย่างโดยนักบินอวกาศ จากนั้นโครงการต่อมาคือโครงการที่ปฏิบัติการโดยหุ่นยนต์ทั้งหมดจนกระทั่งปัจจุบัน [2] ขอบเขตความสนใจของบทความนี้จะมุ่งไปยังตัวอย่างประเภท ตัวอย่างดิน (Lunar soil samples) และหินที่ (Lunar rock samples) จากการเก็บตัวอย่างในโครงการอพอลโล 17 เพื่อความเป็นไปได้ในการทำเหมืองแร่บนดวงจันทร์

วิธีการเก็บตัวอย่างดินและหินในโครงการอพอลโล 17

การเก็บตัวอย่างดินและหินกลับมายังโลกของโครงการอพอลโล 17 นั้น เป็นกระบวนการที่ทำโดยยานโรเวอร์ และ นักบินอวกาศผู้สวมใส่ชุดอวกาศซึ่งมีการปรับอุณหภูมิและความดัน ทั้งนี้การงอแขนเข่าของนักบินอวกาศภายใต้ชุดที่พองตัวจะไม่สามารถทำได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและหินจึงต้องมีการออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งาน ความปลอดภัย ความรวดเร็วและการพกพา โดยอุปกรณ์เหล่านั้นคือ (1) คีมเก็บตัวอย่างแบบด้ามยาว มีลักษณะพิเศษคือสามารถควบคุมจากด้ามจับให้คีบหรือปล่อยได้ ด้ามที่ยาวเหมาะกับความสูงของนักบินอวกาศเพื่อให้ไม้ต้องย่อตัวลงเมื่อใช้งาน [3] (2) ที่ตักดินแบบปรับองศาการตัก อุปกรณ์มีการออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับที่ตักของรถแบคโฮใช้ไว้เก็บตัวอย่างดิน เมื่อตักเสร็จสามารถบังคับให้ที่ตักงอขึ้นได้เพื่อไม่ให้ดินตัวอย่างหลุดร่วงไป [4] (3) คราดเก็บกรวด ซี่คราดถูกออกแบบให้มีระยะห่างที่เหมาะสมกับการหมุนและร่อนดินทิ้งได้ [5] (4) ฆ้อน เพื่อทุบหรืองัดบางส่วนของตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ [6] (5) ท่อเก็บตัวอย่าง ท่อนี้จะใช้งานร่วมกับฆ้อน เพื่อเก็บตัวอย่างใต้พื้นผิว โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 2 และ 4 เซนติเมตร ทั้งนี้จากการออกแบบในสภาพแรงโน้มถ่วงดวงจันทร์สามารถเก็บตัวอย่างได้ลึกที่สุด 70 เซนติเมตร จากการตีด้วยฆ้อน 50 ครั้ง [7] (6) สว่านพลังงานไฟฟ้า สามารถต่อกับก้านเจาะที่มีเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เพื่อเก็บตัวอย่างได้ในระดับลึกถึง 3 -5 เมตร [8] โดยแต่ละตัวอย่างจะถูกถ่ายรูป บันทึกพิกัดของสถานที่เก็บตัวอย่าง จากนั้นจึงบรรจุ เก็บ จัดเรียงลงกล่องเก็บตัวอย่างและเก็บเข้าสู่ตัวยานอพอลโล 17 เพื่อเก็บกลับมาวิเคราะห์บนโลกพร้อมนักบินอวกาศ [9]



ภาพที่ 1 Eugene Andrew Cernan กำลังเก็บตัวอย่างโดยจอด Lunar roving vehicle (LRV) ไว้ด้านขวามือ โดยปัจจุบัน LRV ก็ยังถูกจอดทิ้งไว้ที่พื้นผิวดวงจันทร์ [10]

ตัวอย่างได้ถูกนำมาศึกษาด้านศิลาวิทยา เคมี ความเสถียรภาพและการแผ่รังสีไอโซโทป ลักษณะพื้นผิวของหิน สมบัติทางฟิสิกส์ และอื่น ๆ ซึ่งหลังจากเสร็จกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ ก็ได้ถูกเผยแพร่โดยองค์กรนาซ่า โดยบทความนี้จะนำเสนอบางตัวอย่าง ในส่วนของการวิเคราะห์แร่และส่วนประกอบทางเคมีจากตัวอย่างที่เก็บได้จากดวงจันทร์

ข้อมูลทั่วไปของหินและดินจากดวงจันทร์

ส่วนประกอบทั่วไปของดวงจันทร์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชั้น คือ ชั้นนอกสุดคือ ชั้นเปลือกดวงจันทร์ คือ บริเวณชั้นหินเย็นตัวเร็วบนพื้นผิวดวงจันทร์ ต่อมาชั้นหินเหลว (Mantle) คือ ส่วนภายใต้ชั้นเปลือกดวงจันทร์ลงไปและชั้นในสุดคือ ส่วนแกน (Core) การศึกษาเรื่องหินและดินได้ทำการศึกษาในส่วนของชั้นเปลือกดวงจันทร์ [11] หินดวงจันทร์ (Lunar rock) เกิดจากการเย็นตัวของแม็กม่า ได้เกิดขึ้นบนพื้นผิวและก่อตัวเป็นผลึกที่เย็นตัวเร็วจากแรงดึงดูดที่มีน้อยและการระเหยของแก๊สในกระบวนการเย็นตัวเร็วนี้จึงทำให้หินดวงจันทร์ถูกพบรูพรุนในมวลหิน [12]

ภาพที่ 2 หินดวงจันทร์ที่ซึ่งตั้งแสดงที่พิพิธภัณฑ์ประวัติศาสตร์ธรรมชาติแห่งสหรัฐอเมริกา นิวยอร์ก (American Museum of Natural History, New York) [13]

ดินดวงจันทร์ (Lunar soil) ถูกนิยามเพื่อใช้เรียกอนินทรีย์สารที่เกิดจากการแตกหักจากหินดวงจันทร์ โดยการกระทบจากอุกกาบาต การชน การระเบิดของมวลสารในอวกาศระหว่างดวงดาวในระยะเวลานับพันล้านปี จนขนาดของอนุภาคบนพื้นผิวดวงจันทร์มีสภาพคล้ายดิน แต่คงมีความแตกต่างจากดินของโลก เพราะนิยามของดินจะต้องมีส่วนของสารอินทรีย์ เช่น ซากพืชซากสัตว์ ฮิวมัสปะปนด้วย แต่ผลจากการศึกษาพบว่าดินดวงจันทร์นี้ไม่พบสารอินทรีย์ [14]

กระบวนการเกิดดินดวงจันทร์จากการศึกษาพบว่ามี 3 กระบวนการหลัก กระบวนการแรกคือ การลดขนาดของหินดวงจันทร์ พบร่องรอยการพุ่งชนของอุกกาบาตและสะเก็ดอุกกาบาต เศษของดวงดาวบนพื้นผิวดวงจันทร์โดยสะสมตัวเป็นเวลาหลายพันล้านปี บริเวณรอบพื้นผิวของดวงจันทร์ หลักฐานที่สนับสนุนกระบวนการนี้คือ การเกิดหลุมอุกกาบาตบริเวณพื้นผิวดวงจันทร์และเศษหินที่แตกหักเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย [14] กระบวนการต่อมาคือ กระบวนการหลอมรวมและตกผลึก พบรูปแบบการเกิดผิวอนุภาคแบบเนื้อแก้ว จากการศึกษาพบว่า เกิดจากความร้อนจากการพุ่งชนของอุกกาบาต ทำให้อุณหภูมิบริเวณจุดตกกระทบมีอุณหภูมิสูง จากนั้นหินบนดวงจันทร์เกิดการหลอมละลายบริเวณผิวแล้วจึงเกิดการเชื่อมกันใหม่บริเวณผิว สุดท้ายเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดการตกผลึกรูปแบบอสันฐาน [15] กระบวนการสุดท้าย คือ การสึกกร่อนจากการเกิดน้ำและการระเหยของน้ำ ดวงจันทร์มีชั้นบรรยากาศที่เบาบางมากกว่าโลก ดังนั้นการที่พายุลมสุริยะสามารถเข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้บนพื้นผิวของดวงจันทร์ โดยกระบวนการนี้ มีการเกิดโมเลกุลของน้ำ (H_2O) บนดวงจันทร์ ซึ่งสามารถเกิดได้จากโปรตอน (H^+) ที่มีพลังงานเพียงพอในพายุสุริยะได้เข้าทำการชน [16] และทำให้พันธะออกไซด์ที่พื้นผิวแร่บางตัวหลุดออกมาและฟอร์มตัวเกิดกับไฮโดรเจนจนเป็นโมเลกุลของน้ำ เหตุการณ์นี้ไม่สามารถ

เกิดบนผิวโลกได้ เพราะโปรตรอนที่มากับพายุสุริยะได้ถูกชั้นบรรยากาศของโลกปกป้องเอาไว้ได้อธิบายปรากฏการณ์นี้ [17]

แร่และเคมีวัสดุในหินดวงจันทร์

หินตัวอย่างจากดวงจันทร์ที่โครงการ อพอลโล 17 พบ คือ หินบะซอลต์ หินพลูโตนิค หินกรานูลเลติก หินเบรกเซีย หินควอทซ์ไซท์ ส่วนตัวอย่างแร่ พบว่าส่วนใหญ่เป็นแร่ตระกูลซิลิเกตโดยแร่หลัก คือ โอลิวีน (Olivine) ไพร็อกซีน (Pyroxene) พลาจิโอเคลส (Plagioclase) โอแพ็ค (Opaque) อิลเมไนท์ (Ilmenite) เมโซสเตซิส (Mesostasis) เวสิเคิลส์ (Vesicles) รูไทล์ (Rutile) สไปเนล (Spinel) ออไจท์ (Augite) ไพโรนีน (Pyronene) โครไมท์ (Chromite) ฟายาไลท์ (Fayalite) เซอร์คอนอไลท์ (Zirconolite) อนอร์ทอไซท์ (Anorthosite) นอร์ไลท์ (Norite) และทร็อคโทไลท์ (Troctolite) จากรายงานพบว่าไม่มีส่วนประกอบของ ดินเคลย์ (Clay) ไมก้า (Mica) และแอมฟิโบล (Amphiboles) [18]

เทคนิคในการใช้วิเคราะห์ธาตุ ใช้ด้วยกัน 3 วิธี คือ Instrumental neutron activation analysis (INAA), X-ray fluorescence (XRF) และ Isotopic dilution mass spectrometry (IDMS) [19]

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ธาตุ จำนวน 10 ตัวอย่าง จากดวงจันทร์ในโครงการอพอลโล 17 [20]

ธาตุพื้นฐาน	ปริมาณของสาร	ธาตุที่สำคัญ	ปริมาณ
SiO_2 %	>40	Au ppb	<10 (Sample70161)
TiO_2 %	>5	Pt ppb	<10
Al_2O_3 %	>10	Zn ppm	<10
FeO %	>20	Sn ppb	<1
MgO %	<10	U ppm	<1
CaO %	<10	Y ppb	<100
MnO %	<1	Ni ppm	<250
Na_2O %	<1	Cu ppm	<10
K_2O %	-	Co ppm	<100
P_2O_5 และ S%	-	Cr ppm	<5000

ความคาดหวังและการหาทางออกในด้านทรัพยากรธรณีที่มีต่อดวงจันทร์เพื่อค้นหาแหล่งปริมาณสำรองของแร่โลหะมีค่า และแร่กัมมันตภาพรังสีเพื่อเป็นทางออกให้กับปัญหา

พลังงานบนโลกเป็นเรื่องหลัก รายงานการพบธาตุทอเรี่ยมและธาตุยูเรเนียมบนดวงจันทร์ที่มีปริมาณเฉลี่ยมากกว่าปริมาณเฉลี่ยในธรรมชาติของแร่บนโลก แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อเทคโนโลยีเพื่อการผลิตในเชิงเศรษฐศาสตร์ ลำดับความสนใจถัดไปส่วนประกอบของแร่โลหะของดวงจันทร์ เช่น ไททาเนียม เหล็ก อลูมีเนียม แมกนีเซียม หากมองถึงยุทธศาสตร์การใช้ทรัพยากรแร่บนโลก เช่น การนำกลับมารีไซเคิล (Recycle) จะดูเป็นทางออกที่ดีกว่าสำหรับการทำเหมืองแร่บนดวงจันทร์

ส่วนสุดท้ายคือ สารประกอบซิลิเกต ในส่วนประกอบของโลกเองวัตถุดิบตั้งต้น คือ ทรายและหินควอทไซท์ก็มีอยู่มากและพบได้ทั่วไปบนผิวโลก การรีไซเคิลแก้วในทางอุตสาหกรรมก็ยังเป็นเรื่องที่ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ความคาดหวังของทางประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งไม่ได้มีความต้องการแข่งขันกับทางประเทศรัสเซีย ประเทศกลุ่มยุโรป จีน อินเดียและ ญี่ปุ่นในยุคปัจจุบัน แต่ยังมีการอำนวยความสะดวกและทำโครงการสถานีอวกาศนานาชาติเพื่อเทคโนโลยีทางอวกาศร่วมกัน [21]

สภาพที่ไม่เอื้ออำนวยในการทำเหมืองแร่

การดำรงชีวิตทางด้านกายภาพที่ต้องคำนึงถึง เช่น การไม่มีแหล่งน้ำทางธรรมชาติ ความเร่งโน้มถ่วงบนดวงจันทร์ 1.6 m/s^2 (บนโลก 9.8 m/s^2) ความยาวนานในหนึ่งวันบนดวงจันทร์เป็น 708.7ชั่วโมง (บนโลกเป็น 24 ชั่วโมง) ใน 1 วัน [22] อุณหภูมิบนดวงจันทร์ด้านหันเข้าดวงอาทิตย์ 123 องศาเซลเซียส แต่ส่วนด้านที่มืดมีอุณหภูมิ –153 องศาเซลเซียส [23] ชั้นบรรยากาศของดวงจันทร์มีความเบาบางมากจากการตรวจวัดพบว่า ใน 1 คิวบิกเซนติเมตร มีอากาศเพียง 100 โมเลกุล ซึ่งเทียบกับโลก ณ ระดับน้ำทะเลมีอากาศ 10^{20} โมเลกุล ต่อคิวบิกเซนติเมตร [24] ความกดอากาศที่เบาบางเป็นผลเกี่ยวเนื่องให้เกิดการปล่อยก๊าซจากส่วนใต้ผิวดวงจันทร์ทั้งยังตรวจพบการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี การเกิดผิวดวงจันทร์ไหว (Moonquakes) [25] การตกกระทบโดยตรงของแสงจากดวงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศที่เบาบางจึงเกิดความรุนแรงเสียหายมากกว่าการตกกระทบของแสงอาทิตย์ที่ลงสู่พื้นโลก การตกกระทบโดยตรงของอุกกาบาตขนาดเล็กและอุกกาบาตขนาดใหญ่โดยไม่มีชั้นบรรยากาศที่หนาแน่นเพียงพอต่อการลุกไหม้ด้วยตนเอง [26] ปรากฏการณ์ดวงจันทร์เรืองแสง (Moon glow) ที่จริงแล้วคือปรากฏการณ์ฝุ่นตก โดยรังสีอัลตราไวโอเลตเข้มข้นจากดวงอาทิตย์เดินทางสู่ผิวดวงจันทร์ในตอนกลางวันแล้วตกกระทบอนุภาคทั้งหลายบนพื้นผิวดวงจันทร์ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา อนุภาคฝุ่นที่สูญเสียอิเล็กตรอนเหล่านั้นไม่เสถียรจึงลอยตัวสูงขึ้นเต็มท้องฟ้าสูงมากกว่า 1 กิโลเมตร จากนั้นในตอนกลางคืนอนุภาคที่ล่องลอยเหล่านั้นได้รับอิเล็กตรอนจากพายุสุริยะ ฝุ่นก็เสถียรอีกครั้งก็ตกตัวกลับสู่พื้นผิวดวงจันทร์ การมีฝุ่นลอยขึ้นลงในลักษณะนี้ ผลการศึกษาพบว่า

ส่วนประกอบของฝุ่นคือ ฝุ่นซิลิเกต ซึ่งสามารถทำให้เกิดการตกกระทบ ขัดสี สึกกร่อนในส่วนของอุปกรณ์ต่าง ๆ และคอมพิวเตอร์ที่เอาไปใช้ในโครงการอพอลโล [27]

โครงการที่เป็นไปได้บนดวงจันทร์

การศึกษาจนมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ ทำให้ปัจจุบันมีข้อมูลด้านต่าง ๆ ของดวงจันทร์ ซึ่งสามารถประเมิน ณ ปัจจุบันว่ายังไม่คุ้มค่าที่จะทำเหมืองแร่บนดวงจันทร์ [28] จึงได้มีการศึกษาในดาวเคราะห์ดวงอื่นเช่นดาวอังคารเป็นลำดับถัดไป แต่ว่าบนสถานีอวกาศนานาชาติรอบโลก ยังมีการศึกษาสมบัติเด่นของดวงจันทร์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอนาคตอันใกล้ เช่น

1. โครงการเก็บเกี่ยว Helion ($^{3}_{2}He$) บนดวงจันทร์ – ไอโซโทปของฮีเลียม ($^{4}_{2}He$) เป็นไอโซโทปที่มีความเสถียรชนิดเดียวที่มีโปรตรอนมากกว่านิวตรอน สามารถใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมอาวุธ กระบวนการปฏิกิริยาของนิวเคลียร์ฟิวชั่น แหล่งกำเนิดพลังงาน โครงการนี้ถูกพูดถึงทั้งจากบริษัท SpaceX ของประเทศสหรัฐอเมริกา และ CLEP ของประเทศจีน [29-31]
2. การทำเหมืองจากอุกกาบาต – บรรยากาศที่เบาบางเป็นข้อดีที่ทำให้อุกกาบาตตกสู่ผิวของดวงจันทร์ได้โดยตรงแบบสูญเสียมวลน้อยกว่าบนโลก การศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของดวงจันทร์อย่างใกล้ชิด โดยหุ่นยนต์ที่ทิ้งไว้บนดวงจันทร์จะสำรวจข้อมูลของอุกกาบาต ถ้าเป็นโลหะกลุ่มแพลตินั่มหรือแร่หายาก (Rare earth minerals) จะมีแผนการลดขนาดและลำเลียงกลับมายังโลก แต่มันก็เป็นการรอคอยที่เปรียบเสมือนโบนัสหรือผลพลอยได้ [32]
3. การฟอร์มผลึกของผลิตภัณฑ์ยากลุ่มออกฤทธิ์ในสภาพไร้แรงโน้มถ่วง – การวิจัยการผลิตยาภายใต้แรงโน้มถ่วงต่ำบนสถานีอวกาศนานาชาติ ได้ทำให้เกิดกระบวนการสร้างผลึก (Crystallisation) และการสร้างผลึกซ้อน (Re-crystallisation) ในทิศทางรูปแบบที่แตกต่างจากห้องทดลองบนโลก จึงมีแผนในการทำสายการผลิตกลุ่มยาออกฤทธิ์บางประเภทบนดวงจันทร์อีกด้วย [33]
4. วงแหวนโซล่าร์เซลล์รอบดวงจันทร์ (Lunar ring) – การสร้างโซล่าร์เซลล์รอบเส้น Lunar equator แล้วส่งพลังงานในรูปแบบไมโครเวฟและเลเซอร์กลับมายังโลกโดยยินยอมสูญเสียพลังงานในระบบ เพราะการไม่มีชั้นบรรยากาศดูดซับ พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นข้อดีที่จะผลิตพลังงานสะอาดในปริมาณ 13,000 Terawatts โครงการนี้ถูกกล่าวถึง โดยบริษัท ชิมิตซุ (Shimizu) ประเทศญี่ปุ่น ในปี 2013 [34]
5. การเกษตรบนดวงจันทร์ (Lunar agriculture) – แสงอาทิตย์ 354 ชั่วโมงในกลางวันเร่งกระบวนการทำอาหารและการเจริญเติบโตของพืช ท่ามกลางสภาวะไร้แมลงปัญหา

ศัตรูพืช ส่วนในตอนกลางคืน 354 ชั่วโมงที่เป็นเวลาเก็บเกี่ยว ลำเลียงบรรจุหีบห่อเป็นเรื่องที่กำลังศึกษาของรัฐบาลรัสเซียและองค์การนาซ่าประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อพัฒนาพันธุ์พืชให้เหมาะสมกับดินที่ไร้ไนโตรเจน แรงโน้มถ่วงน้อย เป็นโครงการที่กำลังค้นคว้าในระดับงานวิจัยในชื่อโครงการ “การปลูกพืชวันเดียว” [35,36] และความสำเร็จของต้นฝ้ายที่เจริญเติบโตบนดวงจันทร์ในส่วนด้านมืดบนยานฉางอี้-4 ในปี 2019 ถึงแม้ปัจจุบันจะมีการรายงานผลว่าต้นฝ้ายที่เคยเจริญเติบโตนั้นได้ตายลงแล้วในวันที่ 15 มกราคม 2020 แต่ช่วงที่ผ่านมาของการมีการเจริญเติบโตถือเป็นก้าวที่สำคัญในด้านการเกษตรอวกาศ [37]

สรุป

แม้ว่าผลการศึกษาสภาพของดาวเคราะห์ที่เป็นบริวารของโลกพบว่าไม่สามารถทำเหมืองแร่ได้ในปัจจุบัน ทว่าการสำรวจที่มีต่อไปอย่างละเอียดขึ้นและจุดที่มีข้อมูลสำรวจน้อย เช่น ขั้วดวงจันทร์เหนือและขั้วดวงจันทร์ใต้ อาจพบแหล่งแร่หรืออุกกาบาตโลหะที่ตกมานานอยู่ใต้ดินดวงจันทร์ ซึ่งต้องทำการเจาะสำรวจในระดับที่ลึกขึ้น หรือปัจจัยของสงครามการค้าระหว่างจีนและสหรัฐอาจทำให้มีปัญหาด้านความมั่นคงทางทรัพยากร ความตึงเครียดจนอาจนำไปสู่การยกเลิกข้อตกลงการขายแร่หายาก (Rare earth minerals) ให้กับสหรัฐอเมริกา ดังนั้นความเป็นได้ของการทำเหมืองแร่บนพื้นฐานของความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์อาจจะไม่ถูกนำมาพิจารณาแต่ต้องเดินหน้าทำเหมืองแร่บนดวงจันทร์ด้วยเหตุผลทางความมั่นคงของประเทศ ท่ามกลางความพร้อมของการประกาศ The United States Space Force (USSF) ในวันที่ 20 ธันวาคม 2019 [38]

ทั้งนี้ไม่เพียงแต่ดวงจันทร์เท่านั้น การแสวงหาทรัพยากรทางแร่ให้กับสหรัฐอเมริกาที่ไม่ได้ตั้งบนพื้นฐานของความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ยังคงดำเนินต่อเนื่องแม้จะมีการยับยั้งหรือตัดงบประมาณจากสภาคองเกรส ดังกรณีของการตัดงบประมาณของ NASA ในปี 2017 ในโครงการต่าง ๆ ของการสำรวจอวกาศ เช่น การสำรวจดาวอังคารด้วยยาน Curiosity เป็นต้น [39] แต่เมื่อคำนึงถึงเหตุผลของความมั่นคงทางทรัพยากรแล้วก็ต้องอนุมัติงบในส่วนนี้และยังอนุมัติงบต่อเนื่องจนมาถึงปัจจุบัน การสานต่อได้ของโครงการต่าง ๆ ตามงบประมาณที่ถึงแม้จะน้อยลงก็ยังต้องดำเนินต่อไป [40] ดังนั้นการทำเหมืองแร่นอกโลก อาจจะมองข้ามดวงจันทร์ไปสู่การทำเหมืองที่ดาวอังคารพร้อมการสร้างอาณานิคมโดยตรงในอนาคต [41]

เอกสารอ้างอิง

1. Spearing S, Hall S. Future mining issues and mining education. AusIMM Bull 2016;Aug:26.
2. Thorpe DG, Henderson EM. Proposed lunar mission to commemorate Apollo 11 moon landing. In 52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference 2016:4515.
3. Wilshire HG, Schaber GG, Silver LT, Phinney WC, Jackson ED. Geologic setting and petrology of Apollo 15 anorthosite (15415). Geol Soc Am Bull 1972;83:1083-92.
4. Scott RF, Carrier WD, Costes NC, Mitchell JK. Apollo 12 soil mechanics investingation. Geotechnique 1971;21:1-4.
5. Heiken GH, McKay DS, Fruland RM. Apollo 16 soils: grain size analyses and petrography. Lunar and Planetary Science Conference Proceedings 1973;4:251.
6. Meckler M. Apollo 11 moon rocks revisited. ASHRAE J 2000;42:30.
7. Toklu YC. Civil engineering in the design and construction of a lunar base. Space 2000 2000:822-34.
8. Fryxell R, Anderson D, Carrier D, Greenwood W, Heiken G. Apollo 11 drive-tube core samples: an initial physical analysis of lunar surface sediment. Science 1970;167:734-7.
9. Taylor LA, Mao HK, Bell PM. Identification of the hydrated iron oxide mineral akaganéite in Apollo 16 lunar rocks. Geology 1974;2:429-32.
10. Howell E. Humans last landed on the moon 42 years ago today - universe today [Internet]. 2014 [cited 2020 February 12]. Available from: http://www.universetoday.com/117247/humans-last-landed-on-the-moon-42-years-ago-today/#
11. Toksöz MN, Dainty AM, Solomon SC, Anderson KR. Structure of the Moon. Rev Geophys 1974;12:539-67.
12. Schaal RB, Hörz F, Thompson TD, Bauer JF. Shock metamorphism of granulated lunar basalt. Lunar and Planetary Science Conference Proceedings 1979;10:2547-71.

13. American Museum of Natural History. Moon rock [Internet]. 2020 [cited 2020 February 12]. Available from: http://www.amnh.org/exhibitions/permanent-exhibitions/rose-center-for-earth-and-space/dorothy-and-lewis-b.-cullman-hall-of-the-universe/the-moon/moon-rock
14. Wilson L, Sparks RS, Walker GP. Explosive volcanic eruptions-IV. The control of magma properties and conduit geometry on eruption column behaviour. Geophys J Int 1980;63:117-48.
15. Pieters C, Shkuratov Y, Kaydash V, Stankevich D, Taylor L. Lunar soil characterization consortium analyses: Pyroxene and maturity estimates derived from Clementine image data. Icarus 2006;184:83-101.
16. Podosek FA, Huneke JC, Burnett DS, Wasserburg GJ. Isotopic composition of xenon and krypton in the lunar soil and in the solar wind. Earth Planet Sci Lett 1971;10:199-216.
17. Liu Y, Guan Y, Zhang Y, Rossman GR, Eiler JM, Taylor LA. Direct measurement of hydroxyl in the lunar regolith and the origin of lunar surface water. Nat Geosci 2012;5:779-82.
18. Steele IM. Mineralogy. Boston, MA: Springer; 1981.
19. Colaux JL, Jeynes C. High accuracy traceable Rutherford backscattering spectrometry of ion implanted samples. Anal Methods 2014;6:120-9.
20. C. R. N, Taylor L. Lunar Samples [Internet]. 2016 [cited 2020 February 12]. Available from: http://www.lpi.usra.edu/lunar/samples/#apollo17s
21. Gao Y, Phipps A, Taylor M, Crawford IA, Ball AJ, Wilson L, et al. Lunar science with affordable small spacecraft technologies: MoonLITE and Moonraker. Planet Space Sci 2008;56:368-77.
22. Williams DR. Planetary fact sheet [Internet]. 2019 [cited 2020 February 12]. Available from: http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/index.html
23. Space facts. Moon facts - interesting facts about the moon [Internet]. 2020 [cited 2020 February 12]. Available from: http://space-facts.com/the-moon/

24. Dunbar B. Is there an atmosphere on the moon? [Internet]. 2014 [cited 2020 February 12]. Available from: https://www.nasa.gov/mission_pages/LADEE/news/lunar-atmosphere.html#.WBqJ_cmsiVA
25. Latham G, Ewing M, Dorman J, Lammlein D, Press F, Toksoz N, et al. Moonquakes. Science 1971;174:687-92.
26. Hartmann WK. Early lunar cratering. Icarus 1966;5:406-18.
27. Rennilson JJ, Criswell DR. Surveyor observations of lunar horizon-glow. The moon 1974;10:121-42.
28. David L. Is moon mining economically feasible? [Internet]. 2015 [cited 2020 February 12]. Available from: http://www.space.com/28189-moon-mining-economic-feasibility.html
29. Suggs RM, Cooke WJ, Suggs RJ, Swift WR, Hollon N. The NASA lunar impact monitoring program. In Advances in Meteoroid and Meteor Science New York: Springer; 2007.
30. Wang B. Elon Musk believes SpaceX super heavy starship could have manned flight next year [Internet]. 2020 [cited 2020 February 12]. Available from: https://www.nextbigfuture.com/2019/09/elon-musk-believes-spacex-super-heavy-starship-could-have-manned-flight-next-year.html
31. Beck J. China's Helium-3 program: a global game-changer – [Internet]. 2020 [cited 2020 February 12]. Available from: http://www.spacesafetymagazine.com/space-on-earth/everyday-life/china-helium-3-program
32. Benaroya H. Prospects of commercial activities at a lunar base. Solar System Development Journal 2001;1:1-22.
33. Ahari H, Bedard RL, Bowes CL, Coombs N, Dag O, Jiang T, et al. Effect of microgravity on the crystallization of a self-assembling layered material. Nature 1997;388:857-60.
34. Shimizu Corporation. Luna ring, solar power generation on the moon [Internet]. 2020 [cited 2020 February 12]. Available from: https://www.shimz.co.jp/en/topics/dream/content02

35. Kozyrovska NO, Lutvynenko TL, Korniichuk OS, Kovalchuk MV, Voznyuk TM, Kononuchenko O, et al. Growing pioneer plants for a lunar base. Adv Space Res 2006;37:93-9.
36. Marshack A. A lunar-solar year calendar stick from North America. Am Antiq 1985;50:27-51.
37. Yeager A. China is growing cotton on the moon [Internet]. 2020 [cited 2020 February 12]. Available from: https://www.the-scientist.com/news-opinion/china-is-growing-cotton-on-the-moon-65321
38. Godshall S, Frederick RA. Collaborative space and propulsion education: leveraging all sectors of the space enterprise to benefit the future US space and propulsion workforce!. AIAA Propulsion and Energy 2019 Forum 2019:3804.
39. Bitten RE, Shinn SA, Emmons DL. Challenges and potential solutions to develop and fund NASA flagship missions. 2019 IEEE Aerospace Conference 2019:1-13.
40. Swanson S. Are astronauts worth tens of billions of dollars in extra costs to go to Mars? [Internet]. 2019 [cited 2020 February 12]. Available from: https://theconversation.com/are-astronauts-worth-tens-of-billions-of-dollars-in-extra-costs-to-go-to-mars-111348
41. Chowdhury RP, Stoffle NN, Rios RR, Stegeman LA, Bahadori AA. A novel, population-based approach to astronaut radiation risk assessment. Radiat Phys Chem 2020:108736.