

วารสารวิชาการ
ทศทบ.
ประจำปี 2563

NBTC
JOURNAL
2020

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง
กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

Office of the National Broadcasting and Telecommunications Commission

CubeSat ดาวเทียมขนาดเล็ก กับยุคใหม่แห่งการสื่อสาร

CUBESAT NANO SCALE SATELLITE
AND NEW ERA OF COMMUNICATION

ไพโรจน์ ไชวานิชกิจ
Pairoj Waiwanijchakij

บริษัท วีวีอาร์ เอเชีย จำกัด กรุงเทพฯ 10160
VVR Asia Co., Ltd., Bangkok 10160 Thailand

Corresponding E-mail : pairoj.w@vvrasia.com

Received Date	August 31, 2020
Revised Date	September 17, 2020
Accepted Date	October 29, 2020

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีดาวเทียมขนาดเล็กจิ๋ว หรือ CubeSat ในปัจจุบันได้รับการยกระดับขึ้นจากยุคแรกของการออกแบบและพัฒนาสร้างดาวเทียมในระดับวงโคจรต่ำโดยสถาบันการศึกษา ให้มีขีดความสามารถในการใช้งานในหลากหลายวัตถุประสงค์ ทั้งในแง่การสำรวจทางภูมิศาสตร์ของโลก การถ่ายภาพ การสื่อสาร และการสำรวจอวกาศ โดยได้รับการเพิ่มขีดความสามารถในการปฏิบัติการตามประเภทของภารกิจที่ได้รับการจัดสร้างขึ้น นอกจากนี้บรรดาเครือข่ายนักพัฒนาดาวเทียมประเภท CubeSat ยังมีความร่วมมือกันในการเสริมความสามารถของการทำงานสื่อสารร่วมกันเป็นเครือข่าย ทำให้สามารถเพิ่มอรรถประโยชน์ในการงานเทคโนโลยีดาวเทียมที่มีความประหยัดทั้งต้นทุนการจัดสร้าง ต้นทุนการส่งดาวเทียม แม้จะมีข้อจำกัดในเรื่องของอายุการโคจรในระดับวงโคจรต่ำ ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มทวีจำนวนของดาวเทียม CubeSat ในปัจจุบันบทความนี้จะกล่าวถึงจุดกำเนิด พัฒนาการ การประยุกต์ใช้ และทิศทางของการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าว ซึ่งเป็นการยกระดับของอุตสาหกรรมการผลิตดาวเทียมและการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการประยุกต์ใช้งานในสายงานต่าง ๆ

คำสำคัญ : ดาวเทียมขนาดเล็กจิ๋ว นวัตกรรมดาวเทียม ดาวเทียมขนาดเล็ก

Abstract

A high growth of development and application on CubeSat in nowadays comes from significant enhancements in this Low Earth Orbit communication technology since the first era of its inception which were focused in academic institutes. CubeSat has various applications in geographical survey, photographic, communication and space observer with huge enhancement its specific technology. A constellation operation development under a global cooperation among worldwide developer helps creating much more utilization of CubeSat apart from a lower cost of manufacturing and launching comparing to larger scale satellites though there were a limitation on operation durability from physic law of Low Earth Orbital. These results in a high penetration of CubeSat in the space nowadays. This article describes a history of CubeSat, its development, applications and trend of future benefit, especially on the industrial enhancement and add-on application in vertical industries.

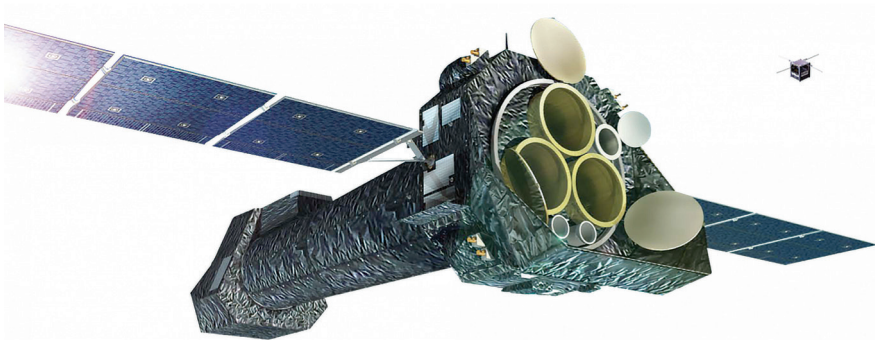
Keywords : CubeSat, Small Satellite, Nano Satellite

ความเป็นมา

ดาวเทียมขนาดเล็กหรือที่มีชื่อเรียกทางสากลว่า CubeSat ดวงแรกได้รับการปล่อยขึ้นสู่อวกาศของโลกในปี พ.ศ. 2546 ดาวเทียมประเภทนี้มีวงโคจรในระดับต่ำ (Low earth orbit หรือ LEO) ซึ่งอยู่สูงจากพื้นผิวโลก 2,000 กิโลเมตร (หรือประมาณ 1,200 ไมล์) และมีคาบการโคจรรอบโลกครบหนึ่งรอบในช่วงเวลาตั้งแต่ 84 ถึง 127 นาที ขึ้นอยู่กับแนวโคจรของ CubeSat การโคจรในระดับที่ไม่สูงจากพื้นโลกมากทำให้เวลาหน่วง (Latency) ในการสื่อสารข้อมูลระหว่าง CubeSat กับสถานีภาคพื้นดินมีค่าไม่มากนัก ประกอบกับจุดเด่นในเรื่องของต้นทุนในการออกแบบและสร้างที่ต่ำ ทำให้ดาวเทียมขนาดเล็กเหล่านี้ได้รับความนิยมในการสร้างและจัดส่งเพื่อใช้งานในหลากหลายวัตถุประสงค์เพิ่มมากขึ้น รายงานจากบริษัทวิจัย Morgan Stanley Aaron Pressman เปิดเผยว่า ธุรกิจทางอวกาศทั่วโลกจะมีมูลค่าถึง 22 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี พ.ศ. 2567 และจะเพิ่มขึ้นเป็น 41 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี พ.ศ. 2569 ซึ่งเกิดจากการก้าวเข้ามาเป็นผู้เล่นทางธุรกิจของบริษัทยักษ์ใหญ่ทางเทคโนโลยีระดับโลก เช่น Google SpaceX OneWeb และ Facebook โดยมีกรณีนำไปประยุกต์ใช้งานในกิจการที่หลากหลาย ตั้งแต่การตรวจวิเคราะห์สภาพทางภูมิศาสตร์บนพื้นโลกจากอวกาศ การป้องกันภัยธรรมชาติ และการสร้างโครงข่ายเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบ Internet of things (IoT) ไปยังอุปกรณ์เซนเซอร์ที่อยู่ในพื้นที่ที่ห่างไกล โดยเป็นการลดภาระของดาวเทียมขนาดใหญ่กว่าที่โคจรอยู่ในวงโคจร LEO เช่นเดียวกัน

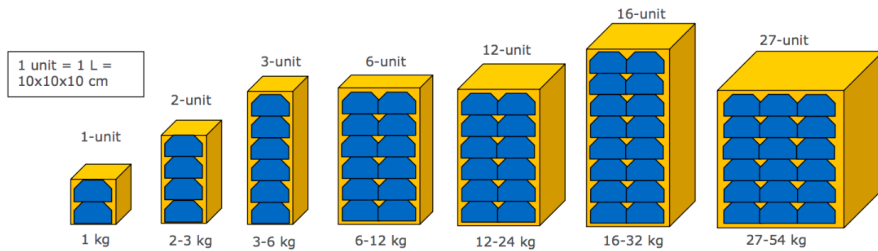
CubeSat ได้รับการกำหนดมาตรฐานและพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Bob Twiggs และ Jordi Puig-Suari ในปี พ.ศ. 2542 โดยนิยามว่าเป็นอวกาศยานประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบให้มีขนาดที่สามารถบรรจุลงใน

อุปกรณ์ส่งดาวเทียมขนาดเล็ก (Poly-Picosatellite orbital deployer หรือ P-POD) ซึ่งมีปริมาตรความจุมาตรฐานเท่ากับ $13 \times 16 \times 40$ เซนติเมตร ทำให้สามารถขนส่งดาวเทียม CubeSat ได้สูงสุด 3 ดวง และมีการกำหนดหน่วยวัดขนาดของ CubeSat รุ่นเล็กสุดเรียกว่า “1U” โดยให้มีขนาดเท่ากับ $10 \times 10 \times 11$ เซนติเมตร (ในปัจจุบันมีการนิยามขนาดใหม่เป็น $10 \times 10 \times 10$ เซนติเมตร) เท่ากับว่าใน P-POD หนึ่งชิ้นจะสามารถบรรจุ CubeSat ขนาด 1U ได้สูงสุด 3 ดวง หรือจะเป็น CubeSat ขนาด 3U ได้ 1 ดวง ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ $10 \times 10 \times 33$ เซนติเมตร และต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 5 กิโลกรัม ทำให้มีการกำหนดมาตรฐานว่า CubeSat ขนาด 1U จะต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 1.33 กิโลกรัม และมีต้นทุนไม่เกิน 1,000 ดอลลาร์สหรัฐต่อดวง มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ และใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รวมถึงเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่เป็นเกรดทั่วไปทางพาณิชย์ CubeSat ได้รับการออกแบบให้มีรูปร่างเป็นลูกบาศก์เพื่อให้ด้านทั้ง 8 ด้านที่ติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์สามารถรับพลังงานได้โดยไม่มีเงาจากส่วนหนึ่งส่วนใดของดาวเทียมปิดบัง โดยในภาวะที่รับแสงจากดวงอาทิตย์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ CubeSat ขนาด 1U จะสามารถสร้างพลังงานได้ 1-7 วัตต์ ซึ่งถือว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับดาวเทียมขนาดใหญ่ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถกางแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่และสร้างพลังงานได้ในช่วง 20-60 วัตต์ จึงเป็นข้อจำกัดต่อการออกแบบกำลังส่งสัญญาณวิทยุจาก CubeSat กลับมายังผิวโลกไม่ให้มีค่ากำลังส่งเกินกว่า 1 วัตต์ (30 dBm) รูปทรงลูกบาศก์ยังเป็นรูปทรงที่สมดุผลที่สุดในการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวดาวเทียมกลับไปสู่อวกาศ



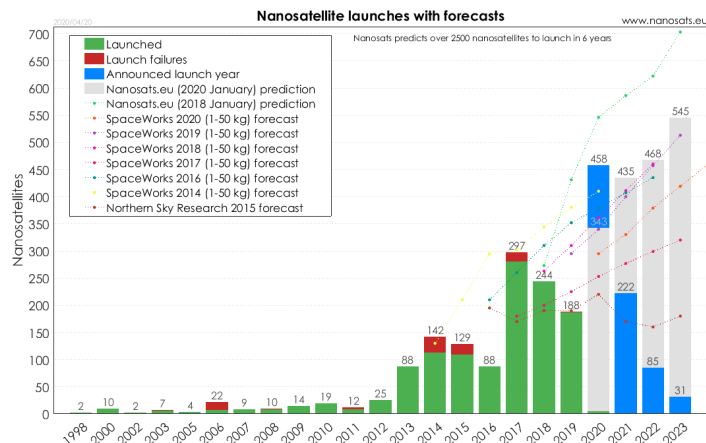
ภาพที่ 1 เปรียบเทียบขนาดของ CubeSat เมื่อเทียบกับดาวเทียมขนาดใหญ่ที่ใช้กันทั่วไป

หมายเหตุ. จาก https://www.cosmos.esa.int/documents/13611/1603502/20181220_cubesats.pdf/ef892af4-2b19-fdfe-fc5b-0d82c3cf8f91.



ภาพที่ 2 ขนาดมาตรฐานของ CubeSat สำหรับการออกแบบและส่งเข้าสู่วงโคจร

หมายเหตุ. จาก https://www.cosmos.esa.int/documents/13611/1603502/20181220_cubesats.pdf/ef892af4-2b19-fdfe-fc5b-0d82c3cf8f91.



ภาพที่ 3 การเพิ่มจำนวนของ CubeSat ที่ได้รับการส่งขึ้นสู่วงโคจร
แยกตามประเภทของขนาดดาวเทียม

หมายเหตุ. จาก https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_csl_i_cubesat_101_508.pdf.

ภาพที่ 1 เปรียบเทียบขนาดของ CubeSat กับดาวเทียมขนาดมาตรฐานทั่วไปที่มีแผงรับสัญญาณแสงอาทิตย์ ภาพที่ 2 เป็นขนาดมาตรฐานของ CubeSat ประเภทต่าง ๆ ที่มีการวางข้อกำหนดสำหรับส่งเข้าสู่วงโคจรตั้งแต่ 1U จนถึง 27U และภาพที่ 3 แสดงถึงการเพิ่มจำนวนของ CubeSat ที่ได้รับการส่งเข้าสู่วงโคจรแยกตามประเภทของขนาดดาวเทียม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปี พ.ศ. 2546 เป็นปีที่ทั่วโลกเริ่มมีการส่งดาวเทียมขนาดจิ๋ว CubeSat ขึ้นสู่อวกาศมากขึ้นอย่างก้าวกระโดด

พัฒนาการของเทคโนโลยีและการใช้งาน CubeSat

มีการออกแบบสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ สำหรับอุปกรณ์ P-POD เพื่อรองรับการบรรจุและกระจายดาวเทียม CubeSat ออกสู่ชั้นบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง ดาวเทียม CubeSat ดวงแรกของโลกได้รับการส่งเข้าสู่วงโคจร LEO ในปี พ.ศ. 2546 และนับจากนั้นมาอีก 9 ปี ทั่วโลกมีการส่ง CubeSat ดวงที่ 100 เข้าสู่วงโคจร เมื่อถึงสิ้นปี พ.ศ. 2555 มี CubeSat โคจรอยู่ทั่วโลกถึง 112 ดวง โดยมีหน่วยงานที่เป็นเจ้าของและควบคุมดาวเทียมจิวเหล่านี้ จากองค์กรเกือบ 80 แห่ง ทั้งมหาวิทยาลัย หน่วยงานอวกาศและการทหาร และบริษัทเอกชน จาก 24 ประเทศ ใช้จรวดส่งดาวเทียมทั้งสิ้น 29 ลำ และในปี พ.ศ. 2546 ก็เริ่มมีสถาบันการศึกษาในระดับมัธยมส่งดาวเทียม CubeSat ของตนเองขึ้นสู่อวกาศ แม้กระทั่งปัจจุบันในประเทศไทยเอง โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนได้ร่วมกับ สถาบันเทคโนโลยีอวกาศนานาชาติเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ (สทอศ.) หรือ International Institute of Space Technology for Economic Development (INSTED) จัดหลักสูตรสอนและส่งเสริมให้กลุ่มนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายของโรงเรียนสามารถวางข้อกำหนดของการใช้งาน ออกแบบ พัฒนา และสร้างดาวเทียม CubeSat ด้วยตนเองจนสำเร็จ เป็นดาวเทียม CubeSat ขนาด 1U ในการถ่ายภาพสำรวจความหนาแน่นของระดับสสารคอโรฟิลล์บนผิวโลก ใช้เวลาดำเนินการทั้งสิ้นตั้งแต่การฝึกอบรมโดย INSTED ให้กับนักเรียนกลุ่มนี้ ในปี พ.ศ. 2561 เพียง 2 ปี และ CubeSat ของโรงเรียนก็จะได้รับการส่งเข้าสู่วงโคจรภายในปี พ.ศ. 2563 นอกจากนั้นกองทัพอากาศไทยก็มีการดำเนินการร่วมกับ INSTED ในการออกแบบสร้าง CubeSat ขนาด 3U ในการสื่อสารเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ IoT ภาคพื้นดิน ซึ่งขณะนี้ยังอยู่ในช่วงการพัฒนาและสร้างชิ้น



BCCSAT-1

Bangkok Christian College



NDVI Image



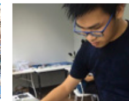
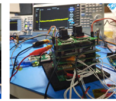
Payload Prototype
2018



Payload EM
2019



Engineering Model (EM)
2019



INSTED

ภาพที่ 4 ดาวเทียม CubeSat ขนาด 1U ติดกล้องถ่ายภาพความหนาแน่นของระดับคอโรฟิลล์บนผิวโลก ออกแบบและดำเนินการสร้างโดยนักเรียนระดับชั้นมัธยมปลาย โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน ภายใต้การอำนวยการของ INSTED ซึ่งจะได้รับการส่งขึ้นสู่วงโคจรในปี พ.ศ. 2563

หมายเหตุ. จาก เอกสารแนะนำสถาบันเทคโนโลยีอวกาศนานาชาติเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ, โดยพงศธร สายสุจริต, 2563, เอกสารอัดสำเนา.

ประเภทของภารกิจและการออกแบบ CubeSat

แม้จะมีข้อจำกัดในเรื่องของวงโคจรในระดับ LEO ซึ่งส่งผลให้ดาวเทียมไม่สามารถลอยตัวอยู่เหนือตำแหน่งคงที่เหนือผิวโลกได้ตลอดเวลาเมื่อเทียบกับดาวเทียมในวงโคจรระดับ Geostationary Earth Orbit (GEO) ซึ่งลอยตัวห่างจากเหนือผิวโลกถึง 35,768 กิโลเมตรอันเป็นระดับวงโคจรค้างฟ้า ประกอบกับขนาดของดาวเทียมที่เล็กมากจนทำให้ควบคุมกำลังส่งในการสื่อสารคลื่นวิทยุไม่เกิน 1 วัตต์ และอายุของการใช้งานซึ่งมีอยู่เกิน 5 ปีก่อนที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบควบคุมการปรับและแก้ไขการทรงตัวจะเสื่อมสภาพจนต้องตกลงสู่ผิวโลก แต่ CubeSat ก็มีข้อดีในเรื่องของต้นทุนทั้งการออกแบบสร้างรวมถึงการส่งขึ้นสู่วงโคจร ประกอบกับความหวังของการสื่อสารกับภาคพื้นดินที่ไม่มากนัก ทำให้เกิดความตื่นตัวในการออกแบบใช้งาน CubeSat ในหลากหลายภารกิจ ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งาน CubeSat ขององค์การอวกาศแห่งสหภาพยุโรป (European Space Agency หรือ ESA) โดยกล่าวถึงชื่อของโครงการ ภารกิจ และขนาดของดาวเทียมขนาดจิ๋วประเภทนี้ เช่น

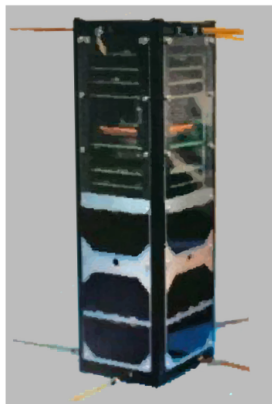
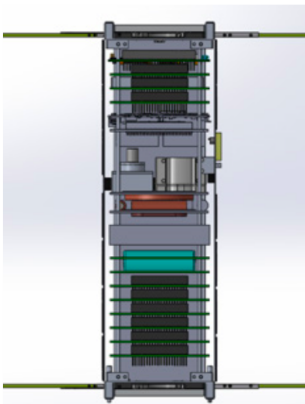
- ดาวเทียม Qarman ขนาด 3U ได้รับการออกแบบเพื่อศึกษาผลกระทบเมื่อดาวเทียมหรืออากาศยานเดินทางกลับเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลก
- ดาวเทียม GOMX-4b ขนาด 6U ทดสอบเทคนิคการสื่อสารโดยตรงระหว่างกลุ่มดาวเทียม CubeSat ด้วยกันโดยตรง (Constellation)
- ดาวเทียม PICSASSO ขนาด 3U ศึกษาสภาพชั้นบรรยากาศของโลก
- ดาวเทียม SIMBA ขนาด 3U ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศของโลก
- ดาวเทียม PRETTY ขนาด 3U ทำหน้าที่ทดสอบการสะท้อนของสัญญาณจากดาวเทียมนำร่องต่าง ๆ (Global navigation satellite system) ไม่ว่าจะจากกลุ่มดาวเทียม GPS หรือ GLONASS ที่มีการประยุกต์ใช้งานในกิจการต่าง ๆ ทั่วโลก
- ดาวเทียม RACE ขนาด 6U จำนวน 2 ดวง ซึ่งสามารถประกบและแยกออกจากกันเองได้เพื่อทดสอบผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดจากการรวมร่างดาวเทียม CubeSat เข้าด้วยกัน
- ดาวเทียม RadCube ขนาด 3U ทำหน้าที่วัดการแพร่กระจายของสนามพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในอวกาศ
- ดาวเทียม XFM Cube ขนาด 2U ได้รับการออกแบบให้วัดระดับความแรงของพลาสมาแม่เหล็กที่เกิดจากรังสีเอกซ์ที่แพร่กระจายอยู่ในอวกาศ

- ดาวเทียม M-ARGO ขนาด 12U ศึกษาการพุ่งเข้าชนของอุกกาบาต กับวิเคราะห์ระบุตัวตนของวัตถุต่าง ๆ ในอวกาศ
- ดาวเทียม HURA CUBESATS ขนาด 6U จำนวน 2 ดวง ทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อตรวจสอบการล่องล้าของอุกกาบาต
- ดาวเทียม LUNAR ปฏิบัติภารกิจศึกษาสภาพพื้นผิวและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ บนดวงจันทร์



THAI-IOT

Royal Thai Air Force Academy



ภาพที่ 5 ดาวเทียม CubeSat ขนาด 3U ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ IoT ภาคพื้นดิน เป็นการออกแบบและพัฒนาร่วมกันระหว่างกองทัพอากาศไทยกับ INSTED

หมายเหตุ. จาก เอกสารแนะนำสถาบันเทคโนโลยีอวกาศนานาชาติเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ, โดยพงศธร สายสุจริต, 2563, เอกสารอัดสำเนา.

ตารางที่ 1 แสดงรายชื่อของโครงการและรายละเอียดของดาวเทียม CubeSat และดาวเทียมขนาดเล็ก ซึ่งใหญ่กว่า CubeSat แต่ล้วนมีวงจรโคจรอยู่ในระดับ LEO เช่นเดียวกัน โดยดาวเทียมเหล่านี้ใช้ความถี่คลื่นวิทยุ ทั้งในย่าน Ku X UHF S และ Ka Band สำหรับติดต่อสื่อสารกับสถานีควบคุมหรืออุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นดิน ดาวเทียมขนาดเล็ก เช่น โครงการ Starlink (SpaceX) OneWeb TeleSat LEO และ Kuniper มีการลงทุนปล่อยดาวเทียมเป็นจำนวนมากเพื่อให้สามารถสร้างพื้นที่ครอบคลุมสำหรับให้บริการอินเทอร์เน็ตได้ทั่วโลก อีกทั้งยังมีขนาดที่ใหญ่กว่าดาวเทียมจิ๋ว CubeSat ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงภารกิจที่แตกต่างกันของดาวเทียม ทั้ง 2 ประเภทนี้ซึ่งต่างก็มีวงโคจรในระดับ LEO เหมือนกัน

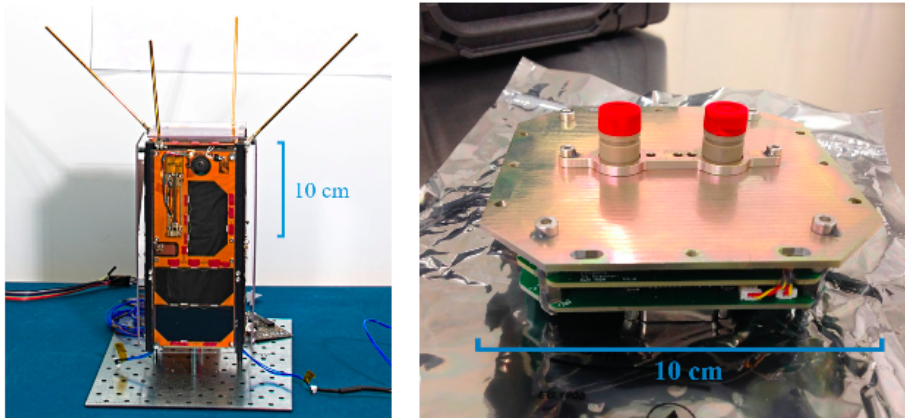
ตารางที่ 1 ตัวอย่างของ CubeSat และดาวเทียมขนาดเล็กที่มีการทิจในการดำเนินการที่โดดเด่น

ปีที่ส่งขึ้นวงโคจร (พ.ศ.)	ชื่อภารกิจ	ประเภทของภารกิจ	ขนาด	ย่านความถี่สื่อสารกับพื้นโลก	จำนวนของดาวเทียม	สถานะการทำงาน
2554	DICE	ตรวจสอบสภาพบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์	1.5U	UHF-Band	2	ปฏิบัติหน้าที่สำเร็จแล้ว
2554	QuakeSat	พยากรณ์การเกิดแผ่นดินไหว	3U	UHF-Band	1	ปฏิบัติหน้าที่สำเร็จแล้ว
2558	GOMX-3	การตรวจจับสัญญาณของเครื่องบิน	3U	X-Band	1	ปฏิบัติหน้าที่สำเร็จแล้ว
2560	ISARA	ทดสอบแบนด์วิดท์ในการสื่อสาร	3U	Ka-Band	1	ยังปฏิบัติงานอยู่
2560	ASTERIA	ทดสอบการควบคุมระดับความสูง	6U	S-Band	1	ยังปฏิบัติงานอยู่
2561	KIPP	เชื่อมต่อการสื่อสารทั่วโลก	3U	Ku-Band	2	ยังปฏิบัติงานอยู่
2561	Radix	ทดลองการสื่อสารทางลำแสง	6U	ลำแสง	1	ปฏิบัติหน้าที่สำเร็จแล้ว
2561	Lemur-2	พยากรณ์สภาพอากาศ	3U	-	100	ยังปฏิบัติงานอยู่
2561	Marco	สถานีทวนสัญญาณไปยังอวกาศไกลโพ้น	6U	UHF, X-Band	2	ยังไม่ปฏิบัติหน้าที่
2562	Starlink	ให้บริการอินเทอร์เน็ตครอบคลุมทุกพื้นที่	เป็นดาวเทียมขนาดเล็ก	X, Ku-Band	42,000	เริ่มให้บริการเป็นบางส่วน
2562	OneWeb	ให้บริการอินเทอร์เน็ตครอบคลุมทุกพื้นที่	เป็นดาวเทียมขนาดเล็ก	Ku-Band	650	เริ่มให้บริการเป็นบางส่วน
2562	Telesat LEO	ให้บริการอินเทอร์เน็ตครอบคลุมทุกพื้นที่	เป็นดาวเทียมขนาดเล็ก	Ka-Band	200	เริ่มให้บริการเป็นบางส่วน
2562	Kuiper	ให้บริการอินเทอร์เน็ต broadband	เป็นดาวเทียมขนาดเล็ก	Ka-Band	3,236	เริ่มให้บริการเป็นบางส่วน

หมายเหตุ. จาก <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019arXiv1908095015>

ภาพที่ 6 แสดงถึงรูปร่างของดาวเทียม CubeSat ในโครงการ SE01 ซึ่งเป็นดาวเทียมขนาด 2U ของมหาวิทยาลัย Lulea University of Technology (LUT) ประเทศสวีเดน ซึ่งมีการทิจในการสร้างเครือข่ายร่วมกันระหว่าง CubeSat จำนวน 36 ดวง เพื่อทำหน้าที่อ่านค่าและวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าและความร้อนของบรรยากาศชั้นเทอร์โมสเฟียร์ชั้นล่าง (Lower thermosphere) ซึ่งอยู่ในระดับความสูง 200-380 กิโลเมตรเหนือพื้นโลก โดยที่ CubeSat แต่ละดวงในโครงการนี้จะได้รับการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอย่างใดอย่างหนึ่งใน 3 ชนิดนี้ อันประกอบไปด้วยเซนเซอร์ประเภทแรกที่มีชื่อว่า Flux-Phi-Probe Experiment (FIPEX) ทำหน้าที่ตรวจจับพฤติกรรมของอะตอมและโครงสร้างทางโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนในอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา เซนเซอร์ประเภทที่สองมีชื่อว่า Multi-Needle Langmuir Probe (mNLP) สำหรับตรวจจับความหนาแน่นของ

อิเล็กทรอนิกส์อย่างรวดเร็ว เช่น เซอร์ประเภทสุดท้ายมีชื่อว่า Ion-Neutral Mass Spectrometer (INMS) สำหรับตรวจยืนยันค่าสนามแม่เหล็กจากอนุภาคต่าง ๆ ในอวกาศ ไม่ว่าจะเป็นอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน ไนโตรเจน รวมถึงไอโซต์ที่เกิดจากไนโตรเจน โดยมีการติดต่อสื่อสารระหว่างดาวเทียมเพื่อประสานการทำงานภารกิจร่วมกันให้เป็นไปตามจุดประสงค์ของโครงการ

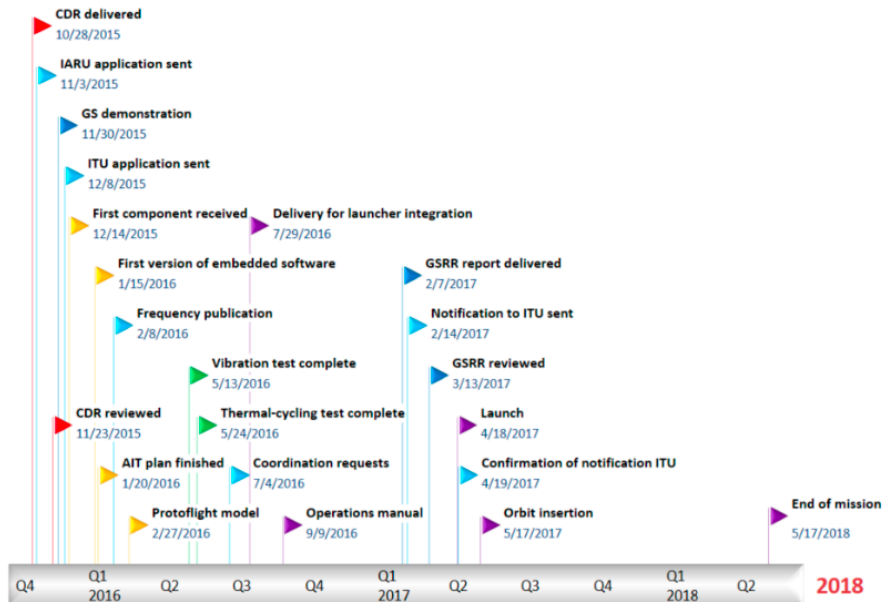


ภาพที่ 6 : รูปร่างของดาวเทียม CubeSat ชื่อ SE01 ซึ่งติดตั้งเครื่องมือวัดประเภท FIPEX

หมายเหตุ. จาก https://www.researchgate.net/publication/334852400_CubeSat_Mission_From_Design_to_Operation

หนึ่งในขั้นตอนสำคัญในการปล่อยดาวเทียม CubeSat คือการขอใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อสื่อสาร ภาพที่ 7 แสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการต่าง ๆ ก่อนที่จะสามารถส่ง SE01 ขึ้นสู่วงโคจรตั้งแต่เริ่มโครงการในไตรมาสที่ 4 ของ พ.ศ. 2558 จนถึงวันส่งดาวเทียมในวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2560 และสิ้นสุดภารกิจการทำงานของดาวเทียมในวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 การลงทะเบียนดาวเทียมและขอจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุเป็นความจำเป็นทางกฎหมายที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ในกรณีที่ CubeSat มีความจำเป็นต้องใช้คลื่นความถี่วิทยุในย่านพาณิชย์เพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างดาวเทียมกับพื้นโลก ผู้บริหารจัดการ CubeSat ต้องดำเนินการลงทะเบียนดาวเทียมและขอใช้คลื่นความถี่วิทยุกับหน่วยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union หรือ ITU) สำหรับ CubeSat ที่ได้รับการออกแบบให้ใช้งานคลื่นความถี่ในย่านสมัครเล่น ซึ่งเป็นย่านที่ได้รับการอนุญาตให้ใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ผู้บริหารจัดการ CubeSat ต้องติดต่อแจ้งการใช้งานความถี่ไปที่สหภาพความถี่วิทยุสมัครเล่นระหว่างประเทศ (International Amateur Radio Union หรือ IARU) แต่ยังคงต้องขอขึ้นทะเบียนดาวเทียมกับ ITU การขอกำหนดคลื่นความถี่วิทยุสำหรับ CubeSat ขึ้นอยู่กับประเภทของภารกิจ โดยทั่วไป CubeSat จะใช้คลื่นความถี่วิทยุในย่าน VHF, UHF หรือ S-Band ในกรณีที่ต้องการใช้งานคลื่นวิทยุสมัครเล่น ข้อมูลที่มีการสื่อสารระหว่าง CubeSat กับภาคพื้นจะสามารถตรวจจับ

และอ่านค่าได้จากสารถรรณะ ดาวเทียม SE01 ได้รับการติดตั้งระบบสายอากาศแบบ Canted Turnstile ตามภาพที่ 6 ซึ่งได้รับการออกแบบสำหรับรับส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่ UHF โดยกำหนดค่าไว้ที่ 435.8 เมกะเฮิรตซ์ สายอากาศที่ใช้เหมาะสำหรับการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบรอบทิศทาง (Omni-direction) ซึ่งทำให้น้ำหนักรวมของ SE01 มีค่าเท่ากับ 1.9 กิโลกรัม ตารางที่ 2 แสดงค่า Link Budget ของ SE01 ทั้งในทิศทางขาขึ้น (Uplink) จากพื้นโลกสู่ดาวเทียม และขาลง (Downlink) ในทิศทางกลับกัน



ภาพที่ 7 : ลำดับขั้นตอนการดำเนินโครงการปล่อยดาวเทียม SE01

หมายเหตุ. จาก https://www.researchgate.net/publication/334852400_CubeSat_Mission_From_Design_to_Operation

จากตารางที่ 2 สถานีภาคพื้นหรืออุปกรณ์รับสัญญาณบนพื้นโลกที่รับสัญญาณจาก CubeSat จำเป็นต้องใช้ระบบสายอากาศที่มีอัตราการขยายสัญญาณที่สูงมาก ๆ ในการคำนวณตามตารางเป็นการใช้สายอากาศที่มีกำลังขยายถึง 14 dB เพื่อให้สามารถรับสัญญาณจาก CubeSat ที่มีการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที ซึ่งมีความเสี่ยงมากหากต้องการเพิ่มอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลให้มากกว่านี้ เพราะสัดส่วนของสัญญาณข้อมูลเมื่อเทียบกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio หรือ SNR) ของการสื่อสารในทิศทางขาลงจาก CubeSat มาสู่พื้นโลกในกรณีนี้มีค่าต่ำเพียง 8.38 ต่างกับการส่งสัญญาณจากผิวโลกขึ้นไปยัง CubeSat ซึ่งแม้จะไม่มีการติดตั้งสายอากาศพิเศษที่มีกำลังขยายสูงบน CubeSat อันเนื่องมาจากขนาดและน้ำหนักที่ถูกจำกัดตามข้อกำหนดในการปล่อยดาวเทียม แต่ระดับ SNR ที่ CubeSat รับได้ที่อัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลเท่ากันนั้นยังมีค่าสูงถึง 28.21

ตารางที่ 2 ค่า Link Budget สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างดาวเทียม SE01 กับพื้นโลก

Parameter	Uplink	Downlink
Frequency [Mhz]	435.8	435.8
Wavelength [m]	0.6884	0.6884
Transmission power [W]	75	1
Transmission power [dBW]	18.75	0.00
Transmitter antenna gain [dBi]	14.00	0.00
Effective isotropic radiated power (EIRP) [dBW]	32.75	0.00
Orbit altitude [km]	350	350
Minimum elevation [deg]	1	1
Distance between antennas [km]	2140	2140
Free-space path loss [dB]	-151.84	-151.84
System losses [dB]	-7.00	-7.00
Receiver antenna gain [dBi]	0.00	14.00
Carrier reception power [dBW]	-126.10	-144.80
Noise temperature [K]	234	300
Bandwidth [kHz]	500	500
Carrier-to-noise ratio [dB]	21.83	2.00
Data rate [bps]	115,200	115,200
Signal-to-noise ratio per bit (Eb/N0) [dB]	28.21	8.38
Required Eb/N0 [dB]	7.80	7.80
Link budget margin [dB]	20.41	0.58

หมายเหตุ. จาก https://www.researchgate.net/publication/334852400_CubeSat_Mission_From_Design_to_Operation

ตารางที่ 3 เป็นการแสดงย่านความถี่ทั้งหมดที่มีการกำหนดใช้งานในกิจการดาวเทียม CubeSat การคำนวณค่า Link Budget สำหรับดาวเทียม CubeSat ในแต่ละโครงการก็จะมีการปรับเปลี่ยนไปตามย่านความถี่ที่ดาวเทียมดวงนั้น ๆ มีการนำไปใช้งานในการสื่อสารระหว่างตัวดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นและอุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ บนโลก โดยการคำนวณในตารางที่ 2 ข้างต้น ซึ่งเป็นของดาวเทียม SE01 เป็นการเลือกใช้ความถี่ในย่าน UHF ในการติดต่อสื่อสาร

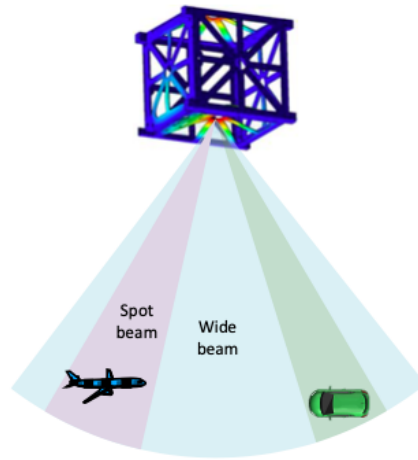
ตารางที่ 3 ย่านความถี่ต่าง ๆ ที่ใช้ในกิจการดาวเทียม CubeSat

ชื่อย่านความถี่	ย่านความถี่
HF	20-30 เมกะเฮิรตซ์
VHF	145-148 เมกะเฮิรตซ์
UHF	400-402, 425, 435-438, 450-468, 900-915, 980 เมกะเฮิรตซ์
L-Band	1-2 กิกะเฮิรตซ์
S-Band	2.2-2.4 กิกะเฮิรตซ์
C-Band	5.8 กิกะเฮิรตซ์
X-Band	8.2-10.5 กิกะเฮิรตซ์
KU-Band	13-14 กิกะเฮิรตซ์
K-Band	18 กิกะเฮิรตซ์
Ka-Band	26.6 กิกะเฮิรตซ์
W-Band	75 กิกะเฮิรตซ์
Optical	400-700 เทราเฮิรตซ์

หมายเหตุ. จาก https://www.researchgate.net/publication/334852400_CubeSat_Mission_From_Design_to_Operation

ลักษณะการโคจรและการติดต่อสื่อสารของ CubeSat

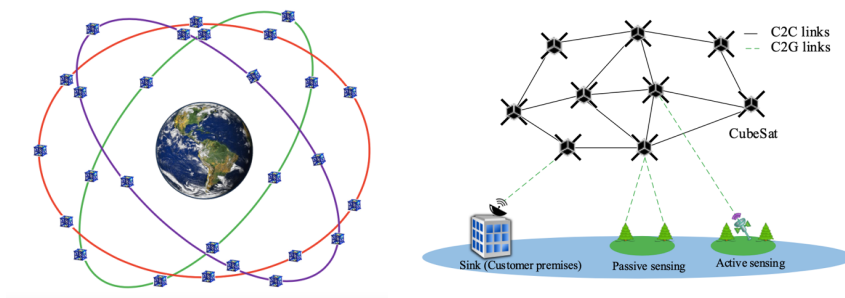
พื้นที่ครอบคลุมในการติดต่อสื่อสารระหว่าง CubeSat กับผิวโลกมีขนาดที่แตกต่างกันไปตามภารกิจ และการออกแบบดาวเทียมแต่ละดวง รวมถึงหลักการทำงานว่าเป็นเพียง CubeSat ดวงเดียวที่ทำงานเป็นเอกเทศ หรือเป็นกลุ่ม CubeSat ที่มีการเชื่อมต่อสื่อสารถึงกันโดยตรง (Constellation) ไปจนถึงเส้นทางการโคจรซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งการทำงานของดาวเทียมดวงนั้น ๆ หากต้องการให้ CubeSat ที่มีการสื่อสารถึงกันโดยตรงร่วมกันทำงานเพื่อสร้างพื้นที่ครอบคลุมการให้บริการทั่วทั้งโลกจะต้องใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 100 ดวง การติดต่อสื่อสารระหว่าง CubeSat กับสถานีภาคพื้นบางประเภทก็ต้องการอัตราเร็วในการสื่อสารที่สูงมากกว่าปกติ ทำให้ต้องใช้ระบบสายอากาศชนิดพิเศษที่บีบความกว้างลำสัญญาณคลื่นวิทยุจากดาวเทียมไปยังพื้นโลกให้แคบลง (Spot beamwidth) ในขณะที่การสื่อสารข้อมูลกับสถานีภาคพื้นบางกลุ่มกลับต้องการสายอากาศที่ขยายความกว้างลำสัญญาณคลื่นวิทยุให้มากขึ้น จึงมีการคิดค้นระบบสายอากาศภาคส่งภายใน CubeSat ที่ผสมผสานการบริหารจัดการความกว้างของลำสัญญาณได้ (Hybrid beam) โดยการส่งสัญญาณที่คลื่นวิทยุความถี่ต่ำจะมีความกว้างลำสัญญาณมาก ในขณะที่การส่งสัญญาณที่คลื่นวิทยุความถี่สูงซึ่งมักใช้ในการสื่อสารที่ต้องการอัตราเร็วในการสื่อสารที่สูงมาก จะถูกบีบความกว้างลำสัญญาณให้แคบลง ทำให้ CubeSat สามารถตอบสนองความต้องการใช้งานได้ครอบคลุมหลากหลายการใช้งาน



ภาพที่ 8 เทคนิคการสร้างพื้นที่ครอบคลุมบนผิวโลกแบบ Hybrid beam

หมายเหตุ. จาก <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019arXiv1908095015>

สำหรับกลุ่มของ CubeSat ที่มีการสื่อสารถึงกันโดยตรง การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงในกลุ่มการทำงานกลายเป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะเป็นพื้นฐานในการคำนวณตัวแปรที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างดาวเทียม ภาพที่ 9 ด้านซ้ายเป็นหนึ่งในรูปแบบการจัดความสัมพันธ์ระหว่างวงโคจรที่มีชื่อเรียกว่า Walker constellation โดยวงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดจะมีรูปแบบที่สมมาตรกัน การติดต่อสื่อสารของ CubeSat แบบที่มีการสื่อสารถึงกันโดยตรงประกอบไปด้วยการสื่อสารระหว่างดาวเทียมด้วยกัน (CubeSat-to-CubeSat หรือ C2C) และการสื่อสารระหว่างดาวเทียมแต่ละดวงกับภาคพื้นผิว (CubeSat-to-Ground (C2G) ซึ่งภาคพื้นดินประกอบไปด้วยสถานีรับส่งสัญญาณ (Sink หรือ Customer premises) กับอุปกรณ์เซนเซอร์ภาคพื้นดิน ซึ่งมีทั้งที่เป็นแบบ Passive remote sensing อันเป็นระบบที่ใช้กันกว้างขวางตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงปัจจุบัน โดยมีแหล่งพลังงานที่เกิดตามธรรมชาติ คือดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ส่วนใหญ่ระบบนี้จะรับและบันทึกข้อมูลได้ในเวลากลางวัน และมีข้อจำกัดด้านภาวะอากาศ ไม่สามารถรับข้อมูลได้ในฤดูฝน หรือเมื่อมีเมฆ หมอก ฝน กับแบบ Active remote sensing ซึ่งเป็นระบบที่แหล่งพลังงานถูกสร้างขึ้นในตัวเครื่องมือสำรวจ เช่น ช่วงคลื่นไมโครเวฟที่สร้างในระบบเรดาร์ แล้วส่งพลังงานนั้นไปยังพื้นที่เป้าหมาย ระบบนี้สามารถทำการรับและบันทึกข้อมูลได้โดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา หรือ ด้านสภาวะภูมิอากาศ คือสามารถรับส่งสัญญาณได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อีกทั้งยังสามารถทะลุผ่านกลุ่มเมฆ หมอก ฝนได้ในทุกฤดูกาล ในช่วงแรกระบบ Passive remote sensing ได้รับการพัฒนามาก่อน และยังคงใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ส่วนระบบ Active remote sensing มีการพัฒนาจากภายในวงการทหาร แล้วจึงเผยแพร่เทคโนโลยีนี้ต่อกิจการพลเรือน ในช่วงหลังการสำรวจในด้านนี้ได้รับความสนใจมากขึ้นโดยเฉพาะกับประเทศในเขตร้อนที่มีปัญหาเมฆ หมอกปกคลุมอยู่เป็นประจำ



ภาพที่ 9 รูปแบบความสัมพันธ์ของวงโคจรดาวเทียม CubeSat ที่มีการสื่อสารกันโดยตรง ในรูปแบบ Walker constellation และการสื่อสารระหว่าง CubeSat ด้วยกัน (C2C) กับการสื่อสารระหว่าง CubeSat กับภาคพื้นดิน (C2G)

หมายเหตุ. จาก <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019arXiv190809501S>

ข้อสรุปและการกิจในอวกาศของ CubeSat

ปัจจุบันทั่วโลกมีความสนใจออกแบบ พัฒนา และส่งดาวเทียม CubeSat ขึ้นสู่วงโคจรมากขึ้นเรื่อย ๆ เฉพาะในปี พ.ศ. 2561 เพียงปีเดียวมีการส่งดาวเทียมประเภทนี้ขึ้นสู่วงโคจรมากถึงเกือบ 300 ดวง โดยมี CubeSat ที่มีการติดต่อสื่อสารร่วมกันเองเป็นสัดส่วนการใช้งานมากที่สุด ดาวเทียมกลุ่มนี้มีการกิจเกี่ยวกับการสำรวจทางภูมิศาสตร์ สำรวจชั้นบรรยากาศ และอื่น ๆ ข้อมูลจากเอกสารเรื่อง “The CubeSat revolution” สรุปไว้ว่านับตั้งแต่เริ่มมีการปล่อยดาวเทียมประเภทนี้เป็นครั้งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 จนถึงปี พ.ศ. 2561 ดาวเทียมเหล่านี้มีสัดส่วนความสำเร็จในการปฏิบัติหน้าที่ตามภารกิจร้อยละ 39.5 ล้มเหลวกับการปฏิบัติการกิจร้อยละ 54.5 ที่เหลือไม่ทราบสถานภาพ ซึ่งสัดส่วนความสำเร็จในการปฏิบัติการกิจของ CubeSat รุ่นใหม่ ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการส่งสมองค์ความรู้ รวมถึงการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ การวิจัยและพัฒนาาร่วมกันของหน่วยงานต่าง ๆ โดยมีสมาคมตัวแทนด้านอวกาศต่าง ๆ เป็นองค์กรกลางในการประสานความร่วมมือต่าง ๆ เหล่านี้ ข้อมูลในเอกสารเรื่องเดียวกันยังจำแนกประเทศและกลุ่มประเทศที่ทำการสร้าง CubeSat ซึ่งนำโดยสหรัฐอเมริกา ร้อยละ 53.7 ตามมาด้วยกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป ร้อยละ 20.3 ญี่ปุ่น ร้อยละ 7.3 สาธารณรัฐประชาชนจีน ร้อยละ 4 ที่เหลือคือ กลุ่มประเทศในทวีปเอเชีย ร้อยละ 6.9 ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยก็มีการสร้าง CubeSat ไปแล้วอย่างน้อย 2 ดวง ดังได้กล่าวในตอนต้นของบทความ

สำหรับบทบาทหน้าที่ในการส่ง CubeSat ให้ไปโคจรในห้วงอวกาศในระดับความสูง LEO โดยส่วนใหญ่จะเป็นการบรรจุ CubeSat ลงไปในอุปกรณ์ P-POD และใช้จรวดส่งขึ้นสู่ท้องฟ้าเพื่อปล่อยในชั้นบรรยากาศโดยตรง แต่ในบางกรณีก็จะเป็นการฝาก CubeSat ไปกับกระสวยอวกาศที่เดินทางไปยังสถานีอวกาศนานาชาติ International Space Station หรือ ISS ประเทศที่เป็นผู้นำในการให้บริการจรวดนำส่ง CubeSat ก็คือสหรัฐอเมริกา ร้อยละ 41.4 ตามมาด้วยการฝากส่งผ่านทาง ISS ร้อยละ 18.1 สหพันธรัฐรัสเซียร้อยละ 17



ภาพที่ 10 : การปล่อย CubeSat จากสถานีอวกาศนานาชาติ (ISS)

หมายเหตุ. จาก https://www.cosmos.esa.int/documents/13611/1603502/20181220_cubesats.pdf/ef892af4-2b19-fdfe-fc5b-0d82c3cf8f91.

สาธารณรัฐอินเดีย ร้อยละ 13.9 สาธารณรัฐประชาชนจีน ร้อยละ 4.6 ญี่ปุ่น ร้อยละ 2.6 และการส่งผ่านจรวดของกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป ร้อยละ 2.4 ภาพที่ 10 แสดงภาพการปล่อย CubeSat ออกจากสถานี ISS

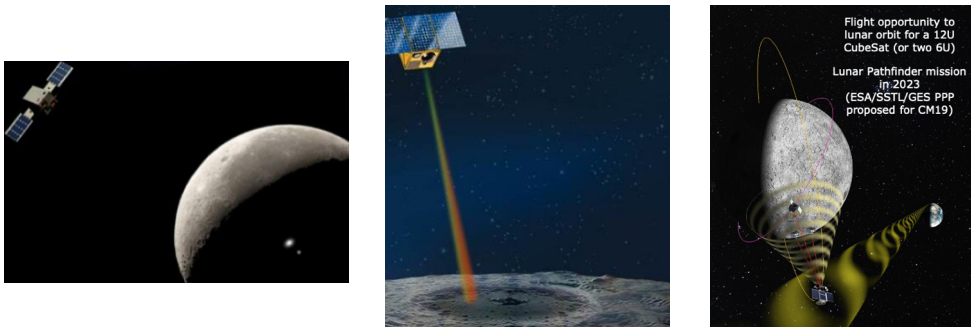
CubeSat ในอนาคตจะมีบทบาทการทำงานที่สำคัญในภารกิจด้านอวกาศมากขึ้น ตัวอย่างของ CubeSat ที่สำคัญซึ่งมีแผนการส่งเข้าสู่วงโคจรในอนาคตอันใกล้ ได้แก่ M-ARGO (Miniature Asteroid Remote Geographical Observer) ซึ่งโครงการนี้ใช้ดาวเทียมขนาด 12U ดาวเทียมได้รับการติดตั้งท่อไอพ่นขนาดเล็กสำหรับปรับระยะและมุมการโคจร มีอายุการใช้งานประมาณ 2 ปี มีกล้องสำรวจและเซนเซอร์ขนาดจิ๋ว (Nano-probe) สำหรับศึกษาสภาพอวกาศในระยะใกล้ รวมถึงตรวจจับและศึกษาสภาพของอุกกาบาตที่โคจรเข้ามาในระยะใกล้ สามารถตรวจสอบอุกกาบาตหรือวัตถุในห้วงอวกาศที่แตกต่างกันได้ถึง 83 ประเภท ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนในการสร้างดาวเทียมสำรวจอวกาศลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับดาวเทียมขนาดใหญ่ที่มีการผลิตใช้งานแต่เดิม มีกำหนดส่งขึ้นสู่วงโคจรในปี พ.ศ. 2565 ภาพที่ 11 แสดงถึงรูปร่างของดาวเทียม M-ARGO ซึ่งมีแผงรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และอุปกรณ์เซนเซอร์ที่สามารถกางออกได้ ซึ่งเป็นเหตุที่ทำให้ต้องออกแบบดาวเทียมดวงนี้ให้มีขนาดใหญ่ถึง 12U



ภาพที่ 11 : ภารกิจสำรวจอุกกาบาตของดาวเทียม M-ARGO ซึ่งจะได้รับการปล่อยเข้าวงโคจร ในปี พ.ศ. 2565

หมายเหตุ. จาก https://www.cosmos.esa.int/documents/13627/1820136/1520_CubeSats+ESA+SCI+Workshop+Nov+2018.pdf/a78870f2-837c-5fb9-289a-b9378fa9609f.

การประยุกต์ใช้งาน CubeSat จะไม่จำกัดอยู่เพียงในระดับวงโคจร LEO รอบโลกเท่านั้น ยังมีโครงการ CubeSat อื่น ๆ ที่ได้รับการออกแบบและภารกิจในการโคจรรอบดาวดวงอื่น ๆ ในระดับวงโคจรต่ำ และทำหน้าที่ในการสำรวจและตรวจสอบต่าง ๆ ภาพที่ 12 แสดงถึงภารกิจสำรวจพื้นผิวและข้อมูลทางทรัพยากรธรณีบนดวงจันทร์โดยโครงการ LUCE (Lunar CubeSats for Exploration) ปัจจุบันวิศวกรกำลังอยู่ในช่วงออกแบบว่าจะสร้าง CubeSat ขนาด 12U ดวงเดียวหรือขนาด 6U จำนวน 2 ดวงแล้วทำงานร่วมกัน โดยใช้จรวดส่งดาวเทียมนี้ไปให้ใกล้ดวงจันทร์ที่สุด แล้วส่งดาวเทียมทวนสัญญาณซึ่งมีขนาดใหญ่โคจรรอบดวงจันทร์ในระดับวงโคจรที่สูง เรียกว่า LUMIO (Lunar Meteoroid Impact Observer) ติดตั้งกล้องถ่ายภาพความละเอียดสูงมากเพื่อเก็บภาพการตกกระทบของอุกกาบาตบนพื้นผิวดวงจันทร์ และทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณกลับมายังโลก โดยเชื่อมต่อการสื่อสารกับดาวเทียม CubeSat (ซึ่งอาจจะเป็น 1 หรือ 2 ดวง ขณะนี้กำลังอยู่ในช่วงการศึกษาทางเทคนิค) ที่โคจรรอบดวงจันทร์ในระดับวงโคจรต่ำ เรียกชื่อว่า VMMO (Volatile and Mineralogy Mapping Orbiter) ติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์แบบ Fiber laser เพื่อเก็บภาพสำหรับสร้างแผนผังธารน้ำแข็งบนพื้นผิวดวงจันทร์ด้านที่หันหน้าตรงข้ามกับโลก โดยส่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ไปยัง LUMIO เพื่อส่งกลับมายังพื้นผิวโลก



ภาพที่ 12 : ภารกิจสำรวจดวงจันทร์ของโครงการ LUCE

หมายเหตุ. จาก https://www.cosmos.esa.int/documents/13627/1820136/1520_CubeSats+ESA+SCI+Workshop+Nov+2018.pdf/a78870f2-837c-5fb9-289a-b9378fa9609f

ข้อคิดเห็นและแนวทางสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรม CubeSat ของประเทศไทย

เทคโนโลยี CubeSat จึงเป็นแนวทางใหม่ของการสร้างดาวเทียมขนาดเล็กที่มีราคาประหยัด สามารถใช้งานได้หลากหลายภารกิจ ในประเทศไทยเองหน่วยงานทางทหารก็เริ่มให้ความสนใจในการสร้างดาวเทียมประเภทนี้เพื่อใช้ในปฏิบัติการด้านความมั่นคงมากขึ้น มีความเป็นไปได้มากกว่าองค์กรเอกชน สถาบันการศึกษา และหน่วยราชการอื่น ๆ ในประเทศจะเริ่มให้ความสนใจในการสร้าง CubeSat ขึ้นใช้งานโดยมีทางเลือกหลากหลายในการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร นอกจากนั้นในปัจจุบันหน่วยงาน INSTED ก็มีการประสานความร่วมมือทั้งใน

กลุ่มสถาบันการศึกษา กับภาคการผลิต และหน่วยงานราชการ เพื่อผลักดันให้ประเทศไทยสามารถสร้าง CubeSat ขึ้นสำหรับใช้ในการกิจการต่าง ๆ มากขึ้น สาระสำคัญมีได้อยู่เพียงการสร้างดาวเทียมเพื่อใช้งาน หากแต่ยังเป็นช่องทางให้ภาคการผลิต เช่น โรงงานผลิตเหล็กและอุปกรณ์อื่น ๆ สามารถยกระดับการผลิตวัสดุที่ใช้ในการสร้าง CubeSat ซึ่งโดยแท้จริงแล้วโครงสร้างพื้นฐานของวัสดุก็ไม่ได้แตกต่างจากการผลิตเพื่อใช้งานในชีวิตประจำวัน หากแต่มีเทคนิคในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้มูลค่าของวัสดุเหล่านี้ยกระดับจากการใช้งานในเชิงพาณิชย์ โดยทั่วไปกลายเป็นวัสดุเฉพาะด้านในวงการอุตสาหกรรมอวกาศ เพิ่มรายได้ให้กับผู้ประกอบการอย่างมหาศาล นอกจากนี้การยกระดับการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์และสถานีภาคพื้นเพื่อสื่อสารทั้งการรับและส่งข้อมูลกับดาวเทียม CubeSat ตามประเภทของภารกิจ ไม่ว่าจะเป็น เกษตรกรรม การวางผังเมือง การระบุตำแหน่ง ยานพาหนะ การตรวจสอบยืนยันตัวตนของเรือในน่านน้ำ และอื่น ๆ ยังเป็นการเตรียมความพร้อมให้ครบทั้งห่วงโซ่อุปทาน นอกเหนือจากการมุ่งสร้างดาวเทียมแต่เพียงอย่างเดียว โดยนับต่อเนื่องไปถึงพัฒนาซอฟต์แวร์ แอปพลิเคชัน และระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence หรือ AI) เพื่อรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรมอวกาศ โดยหน่วยงานภาครัฐทั้งกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ สภาวิจัยแห่งชาติ จะร่วมมือกันศึกษาว่ามีอุตสาหกรรมพื้นฐานใดบ้างที่สามารถทำการยกระดับตนเองเพื่อรองรับกิจการดาวเทียมที่มีเทคโนโลยี CubeSat เป็นแกนนำสำคัญซึ่งกำลังอยู่ในช่วงเติบโตทั่วโลก

แม้การบริหารจัดการคลื่นความถี่วิทยุในการติดต่อสื่อสารระหว่าง CubeSat กับสถานีภาคพื้นหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ บนพื้นโลกจะเป็นหน้าที่ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ แต่สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ก็ยังมีบทบาทหน้าที่สำคัญในการพิจารณาส่งเสริมและจัดสรรคลื่นความถี่ของประเทศไทยให้สอดคล้องกับมาตรฐานความถี่ที่ CubeSat แต่ละดวงจะต้องใช้ให้เป็นไปตามแนวทางของอุตสาหกรรม อันเป็นการเสริมกำลังของทุกภาคส่วนเพื่อยกระดับความสามารถของประเทศไทยให้จับกระแสการพัฒนาในทุกห่วงโซ่ของภาคธุรกิจอวกาศ ทำให้เกิดรายได้ใหม่ ๆ ให้กับประเทศโดยเร็วและมีความยั่งยืน จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ กสทช. จะทำการศึกษาและเตรียมการบริหารจัดการย่านความถี่วิทยุเพื่อสนับสนุนทั้งในแง่ของกิจการ CubeSat ที่เป็นการปล่อยดาวเทียมขนาดเล็กของประเทศไทยในอนาคต กับทั้งรองรับการสื่อสารระหว่างสถานีและอุปกรณ์ภาคพื้นกับดาวเทียม CubeSat ของต่างชาติที่มีการใช้งานในห้วงอวกาศในปัจจุบัน เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันกับนานาชาติ

บรรณานุกรม

- พงศธร สายสุจริต. (2563). *เอกสารแนะนำสถาบันเทคโนโลยีอวกาศนานาชาติเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ*. (อัดสำเนา)
- Kretschmar P., Kuppers M., (2018). The CubeSat Revolution, European Space Agency. Retrieved August 1, 2020 from https://www.cosmos.esa.int/documents/13611/1603502/20181220_cubesats.pdf/ef892af4-2b19-fdfe-fc5b-0d82c3cf8f91.
- NASA CubeSat Launch Initiative. (2017). CubeSat101: Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSats Developers, National Aeronautics and Space Administration. Retrieve August 1, 2020 from https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_cli_cubesat_101_508.pdf.
- Nanosats Database. (2020). Nanosatellite launches with forecast. Retrieved August 1, 2020 from <https://www.nanosats.eu>.
- Nieto, C., & Emami, R. (2019). CubeSat Mission: From Design to Operation. Retrieved August 1, 2020 from https://www.researchgate.net/publication/334852400_CubeSat_Mission_From_Design_to_Operation
- Pressman A. (2019) Why Facebook, SpaceX and dozens of others are battling over Internet access from space. Retrieved August 15, 2020 from <http://www.fortune.com/2019/01/25/facebook-spacex-internet-access-space>.
- Saeed, N., Elzanaty, A., Almorad, H., Dahrouj, H., Al-Naffouri, T. Y., & Alouini, M.-S. (2019). CubeSat Communications: Recent Advances and Future Challenges. arXiv:1908.09501. Retrieved April 1, 2020 from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019arXiv190809501S>
- Swartwout M. (2013). The First One Hundred CubeSats: A Statistic Look. *Journal of Small Satellites*. 2(2), 213-233.
- Walker R. (2018). CubeSats: State-of-the-art and future potential for small low-cost science missions, European Space Agency. Retrieve August 15, 2020 from https://www.cosmos.esa.int/documents/13627/1820136/1520_CubeSats+ESA+SCI+Workshop+Nov+2018.pdf/a78870f2-837c-5fb9-289a-b9378fa9609f.