**รายงานฉบับสมบูรณ์**

**โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ**

# โปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล และค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ

**น.อ.รณชิต วิจิตร**

มีนาคม 2566

รายงานฉบับสมบูรณ์

ทุนส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา
สัญญารับทุนเลขที่ B63-4-(2)-013

# โปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล และค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ


(คณะ) นักวิจัย

| | | |
|---|---|---|
| 1. | น.อ.รณชิต วิจิตร | นักวิจัยหัวหน้าโครงการ |
| 2. | น.อ.สมเกียรติ จันทวงษ์ | นักวิจัยร่วม |
| 3. | น.อ.กฤษฎ์พิเดช สิริกาญจน์วรกุล | นักวิจัยร่วม |
| 4. | น.อ.หฤษฎ์ ลิมปศิริสุวรรณ | นักวิจัยร่วม |
| 5. | น.ท.ไอยรัฐ วิพุธานุพงษ์ | นักวิจัยร่วม |
| 6. | ร.อ.อภิวัฒน์ เดชธรรมนาถ | นักวิจัยร่วม |
| 7. | ร.ท.ฐิติพล ศรีลากุล | นักวิจัยร่วม |
| 8. | ร.อ.นิตินัย อุตสาหะ | นักวิจัยร่วม |
| 9. | ร.อ.หญิง อรนุช พงษา | นักวิจัยร่วม |
| 10. | ร.ท.กฤษดา กิจโสภี | นักวิจัยร่วม |
| 11. | ร.ท.ลักษมณ์ สวัสดิผล | นักวิจัยร่วม |
| 12. | ร.ต.สุวัฒน์ชัย มะลิซ้อน | นักวิจัยร่วม |
| 13. | พ.อ.อ.ศรายุทธ นาคมอญ | นักวิจัยร่วม |



ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

มีนาคม 2566

# บทสรุปผู้บริหาร

โปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล
และค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ
มีนาคม 2566

ปัจจุบันนานาชาติได้มีการส่งวัตถุอวกาศขึ้นสู่วงโคจรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อแสวงหาการใช้ประโยชน์จากกิจการอวกาศ ด้วยเทคโนโลยีอวกาศสามารถตอบสนองในการพัฒนาประเทศได้หลากหลายมิติ โดยเฉพาะการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร จึงก่อให้เกิดความหนาแน่นในการเคลื่อนที่ในชั้นวงโคจรตั้งแต่วงโคจรต่ำไปจนวงโคจรประจำที่ และในอนาคตยิ่งจะเพิ่มความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นเพิ่มมากยิ่งขึ้นไปด้วย เพื่อให้การรักษาความมั่นคง และผลประโยชน์ในห้วงอวกาศเป็นไปด้วยความเรียบร้อย จำเป็นต้องมีระบบตรวจสอบและติดตามดาวเทียมของไทย เพื่อติดตามเฝ้าระวังไม่ให้ดาวเทียมอื่นมาใช้ตำแหน่งวงโคจรไทย เฝ้าระวังวัตถุอวกาศที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุต่อดาวเทียมไทย และเฝ้าระวังภัยคุกคามรูปแบบต่าง ๆ ที่อาจจะส่งผลต่อผลประโยชน์ของชาติทางด้านอวกาศ

ตามรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พุทธศักราช 2560 มาตรา 60 กำหนดหน้าที่ของรัฐไว้ว่า “รัฐต้องรักษาไว้ซึ่งคลื่นความถี่และสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมอันเป็นสมบัติของชาติ เพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์แก่ประเทศชาติและประชาชน” ตลอดจนยุทธศาสตร์ชาติได้กำหนดประเด็นเกี่ยวกับความมั่นคงทางอวกาศเช่นกัน

คณะวิจัยโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิจัย ฯ นี้ จะเป็นส่วนหนึ่งในการเฝ้าระวัง และพิทักษ์รักษาผลประโยชน์ของชาติทางด้านอวกาศอันเป็นสมบัติของชาติไทยให้ดำรงต่อไป

**โปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล**
**และค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ**
**น.อ.รณชิต วิจิตร**
**มีนาคม 2566**

การจัดทำโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ มีจุดมุ่งหมายในการจัดทำโปรแกรมที่สามารถแสดงผลดาวเทียมในชั้นความสูงต่าง ๆ (LEO, MEO, GEO) รวมถึงขยะอวกาศ (Space Debris) โดยสามารถแสดงตำแหน่ง, ความสูง, วงโคจรในการเคลื่อนที่ของดาวเทียม และสามารถพยากรณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียม หรือสามารถตรวจสอบเส้นทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียมย้อนหลัง ตลอดจนสามารถจำลองวงโคจรได้เองจากการสร้าง Two Line Element (TLE) และสามารถเพิ่มเติมความสามารถอื่น ๆ อาทิเช่น การใส่ค่าความถี่ของดาวเทียม และทิศทางการแพร่คลื่นความถี่จากเสาอากาศ (Antenna Beam)

รูปแบบของการจัดทำโปรแกรมอาศัยหลักการ Technology Readiness Levels ซึ่งเป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการงานวิจัยและพัฒนา (R&D Tools) ตามมาตรฐานสากล นำมาซึ่งกระบวนการจัดทำโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ เพื่อให้กระบวนการจัดทำโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศมีการวางแผนการดำเนินการ และผลผลิตที่ได้รับมีมาตรฐานระดับสากล

คณะผู้จัดทำโครงการโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโปรแกรมประยุกต์ฯ จะเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชนได้ใช้ประโยชน์จากการจำลองวงโคจรเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งและพยากรณ์แนวทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียมในการศึกษาวงโคจรดาวเทียม, วางแผนการปฏิบัติภารกิจ, การใช้ประโยชน์จากห้วงอวกาศ ตลอดจนการพิทักษ์รักษาผลประโยชน์ของชาติทางด้านอวกาศ ให้สามารถดำรงขีดความสามารถในการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปลอดภัยจากภัยคุกคามรูปแบบใหม่ที่อาจจะมาจากอวกาศที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในอนาคต

**NBTC,Space Detect**

**Group Captain Ronnachit Wijit**

**March 2023**

Creating an application to analyze data and find the location of objects in space. The aim is to create a program that can display satellites in different altitudes (LEO, MEO, GEO) including space debris (Space Debris), which can display the position, altitude, orbit of the satellite movement. And can predict the path of the satellite. Or can check the trajectory of the satellite backwards. As well as being able to simulate the orbit itself by creating a Two Line Element (TLE) and can add other capabilities such as inputting satellite frequencies. and direction of frequency propagation from antenna (Antenna Beam)

The form of the program relies on the Technology Readiness Levels principle, which is a tool for managing research and development (R&D Tools) according to international standards. It leads to the process of creating an application to analyze data and find the location of objects in space. In order for the process of creating an application to analyze data and find the location of objects in space, the action is planned. And the products obtained are of international standards.

The team developed an application project for analyzing data and finding the location of objects in space. sincerely hope that the application It will be a part that will help government agencies, the private sector and the public sector to take advantage of orbital simulations to analyze the location and forecast the movement of satellites in the study of satellite orbits, mission planning, utilization from deep space as well as the protection of national interests in space to be able to maintain the ability to use effectively. And safe from new threats that may come from space that will increase dramatically in the future

# สารบัญ


บทสรุปผู้บริหาร ก
บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
สารบัญภาพ จ

**บทที่ 1 บทนำ** 1
- ที่มา และความสำคัญของโครงการ 1
- วัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ 2
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

**บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** 3
- ทฤษฎี และแนวความคิด 3
- ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

**บทที่ 3. ระเบียบวิธีวิจัย** 19
วิธีการ/ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและพัฒนา 19

**บทที่ 4. ผลการวิจัย และการวิจารณ์ผล** 21
ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล 21

**บทที่ 5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ** 27
สรุปผลการวิจัย 27
ข้อเสนอแนะ 27
บรรณานุกรม 29
**ภาคผนวก** 30
ประวัติผู้วิจัย 32

# สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 แสดงการเคลื่อนที่ของทรงกลมท้องฟ้า 4
ภาพที่ 2 แสดงทรงกลมท้องฟ้าและเส้นขอบฟ้า 4
ภาพที่ 3 แสดงระบบพิกัดขอบฟ้า 5
ภาพที่ 4 แสดงระบบพิกัดศูนย์สูตร 6
ภาพที่ 5 แสดงการจำแนกประเภทดาวเทียมตามวงโคจร 11
ภาพที่ 6 แสดงข้อมูลรายละเอียดค่า Two-Line Element (TLE) 12
ภาพที่ 7 แสดงข้อมูลองค์ประกอบวงโคจรของวัคถุอวกาศ 15
ภาพที่ 8 แสดงข้อมูตำแหน่งการโคจรของดางเทียมโดยทั่วไป 16
ภาพที่ 9 แสดงวงโคจรวัตถุอวกาศ 18
ภาพที่ 10 แสดงวงโคจรของวัตถุอวกาศ (2D) 18
ภาพที่ 11 แสดงการจำแนกสีของวัตถุอวกาศ 18
ภาพที่ 12 แสดง Technology Readiness Levels (TRLs) กับการบริหารงานวิจัยของ สวทช. 19
ภาพที่ 13 แสดงแผนการดำเนินการตามกระบวนการ TRL ทั้ง 9 กระบวนการ 20
ภาพที่ 14 แสดงแหล่งข้อมูล TLE จากเว็บไซต์ celestrak 21
ภาพที่ 15 แสดงตัวอย่างโค้ดนามสกุล .KML ที่ใช้ในการจัดทำ Footprint ดาวเทียม 22
ภาพที่ 16 แสดง Footprint ดาวเทียม THAICOM 6 23
ภาพที่ 17 แสดง Footprint ดาวเทียม THAICOM 6 จากโค้ดต้นแบบนามสกุล .KML 23
ภาพที่ 18 แสดงการเข้าสู่ระบบโปรแกรมต้นแบบ 24
ภาพที่ 19 แสดงรายละเอียด Catalog ดาวเทียมของโปรแกรมต้นแบบ 24
ภาพที่ 20 แสดงรายละเอียดการเลือกวันที่ในการทำนายตำแหน่งวงโคจร 25
ภาพที่ 21 แสดงตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมไทยคม 8 25
ภาพที่ 22 แสดงระบบเฝ้าระวังทางอวกาศของประเทศสหรัฐฯ 26

# บทที่ 1
# บทนำ

**ที่มาและความสำคัญของโครงการ**

ปัจจุบันชาติมหาอำนาจได้ทำการส่งดาวเทียมเป็นจำนวนมากในแต่ละชั้นวงโคจร และจำนวนดาวเทียมก็เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ข้อมูลจาก Union of Concerned Scientists (UCS) พบว่าเมื่อวันที่ 1 ก.ย.65 มีดาวเทียมที่ยังคงปฏิบัติการอยู่มีจำนวนทั้งสิ้น 5,465 ดวง เคลื่อนที่รอบโลก ในขณะที่เมื่อวันที่ 1 ม.ค.65 ที่ผ่านมามีดาวเทียมที่ยังคงปฏิบัติการอยู่มีจำนวนทั้งสิ้น 4,852 ดวง ซึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก อีกทั้งข้อมูลจาก European Space Agency (ESA) พบว่า ณ วันที่ 1 ก.ย.65 เฉพาะขยะอวกาศที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ซม. จำนวนทั้งสิ้น 36,500 ชิ้น ในขณะเดียวกันขยะอวกาศที่มีขนาดระหว่าง 1 ซม. ถึง 10 ซม. มีจำนวนกว่า 1,000,000 ชิ้น และขยะอวกาศที่มีขนาดระหว่าง 1 มม. ถึง 1 ซม. มีจำนวนกว่า 130,000,000 ชิ้น นอกจากนี้ กองบัญชาการอวกาศสหรัฐฯ (USSPACECOM/SPACECOM) ระบุว่าจากการที่รัสเซียทดสอบปล่อยขีปนาวุธทำลายดาวเทียม (DA-ASAT missile) โดยใช้เป้าหมายเป็นดาวเทียมของรัสเซียเองส่งผลให้มีชิ้นส่วนกว่า 1,500 ชิ้น และพบว่า ณ วันที่ 15 ก.ย.65 มีจำนวนลดลงอยู่ที่ 554 ชิ้น แตกกระจายอยู่ในระดับวงโคจรของโลก การทดสอบของรัสเซียถูกกระทรวงการต่างประเทศสหรัฐฯ ประณามทันทีว่าเป็นการกระทำที่ประมาทและอันตรายอย่างยิ่งต่อสวัสดิภาพและความมั่นคงของประชาคมโลก โดยสหรัฐฯ จะปรึกษาหารือกับชาติพันธมิตรเพื่อใช้มาตรการตอบโต้ต่อรัสเซียเพื่อย้ำจุดยืนการไม่อดกลั้นต่อการกระทำข้างต้น ทางการสหรัฐฯ ยังระบุถึงอันตรายที่จะเกิดขึ้นตามมาในระยะยาวว่าเป็นความเสี่ยงของการพังทลายของเศรษฐกิจโลก เนื่องมาจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับดาวเทียมจำนวนมากบนวงโคจร ซึ่งให้บริการการสื่อสาร อาทิ โทรศัพท์ อินเทอร์เน็ต การพยากรณ์อากาศ ระบบเครือข่ายดาวเทียมนำทางซึ่งล้วนแล้วแต่มีความสำคัญยิ่งยวดต่อธุรกรรมของธนาคารและสถาบันการเงิน เศษขยะอวกาศที่เกิดขึ้นนั้นจะก่อให้เกิดภัยอันตรายในระดับวงโคจรไปอีกนานหลายปี ทำให้ภารกิจนักบินอวกาศและดาวเทียมมีความเสี่ยง รวมทั้งบีบบังคับให้หน่วยงานผู้รับผิดชอบต่าง ๆ ต้องปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของดาวเทียมของตนเพื่อหลบชิ้นส่วนเหล่านี้ในอนาคตดาวเทียมและขยะอวกาศนับวันจะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างมากถือเป็นภัยคุกคามต่อผลประโยชน์แห่งชาติด้านอวกาศทั้งสิ้น อีกทั้งดาวเทียมที่หมดอายุในแต่ละปีก็เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากขาดการบริหารที่มีประสิทธิภาพ สำหรับเส้นทางที่จรวดนำส่งดาวเทียมพาดผ่านน่านฟ้านั้น อาจจะมีชิ้นส่วนจรวดที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ร่วงหล่นลงมาทำให้ประเทศต่าง ๆ ที่อยู่โดยรอบหรือใกล้เคียง จะต้องระมัดระวังและเฝ้าระวังภัยจากวัตถุอวกาศเหล่านี้เป็นพิเศษ โดยจุดที่คาดว่าจะมีชิ้นส่วนตกยังไม่สามารถระบุได้แน่นอน แต่จะสามารถคาดการณ์พื้นที่และช่วงวัน เวลาที่จะเกิดเหตุการณ์ ตามเส้นทางที่จรวดพาดผ่านได้ดังนั้นเพื่อให้ทราบสถานะดาวเทียมตลอดจนสามารถวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียมในประเทศไทยจึงจำเป็นต้อง

จัดทำระบบในรูปแบบของการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการติดตามดาวเทียมและขยะอวกาศ พร้อมทั้งจำลองการเคลื่อนที่ของดาวเทียมไทยและดาวเทียมของชาติอื่น ตลอดจนจำลองการเคลื่อนที่ของขยะอวกาศ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่ง และแนวการเคลื่อนที่ของดาวเทียม เพื่อใช้เฝ้าระวังไม่ให้ดาวเทียมไทยได้รับอันตรายจากการพุ่งชนโดยดาวเทียมอื่น หรือขยะอวกาศที่จะเข้าชนดาวเทียมไทย นำไปสู่การแจ้งเตือนการปล่อยจรวดและการตรวจสอบความถี่ในการรับส่งสัญญาณจากดาวเทียมในอนาคต

**วัตถุประสงค์ของโครงการ**

1. เพื่อให้เกิดการดำเนินการร่วมกับหน่วยงานภายนอก ในการรวบรวมข้อมูลการใช้งานวัตถุอวกาศในชั้นวงโคจร สถานะดาวเทียมที่ปฏิบัติการ ทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียมและวัตถุอวกาศ
2. เพื่อจัดทำระบบสารสนเทศหรือโปรแกรมประยุกต์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ รวมทั้งขยะอวกาศ
3. เพื่อพัฒนาศักยภาพของระบบฐานข้อมูลดาวเทียมและวัตถุอวกาศ เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานสำหรับการบริหารจัดการคลื่นความถี่และวงโคจรดาวเทียม

**ขอบเขตของโครงการ**

โปรแกรมที่สามารถแสดงผลดาวเทียมในชั้นความสูงต่าง ๆ (LEO, MEO, GEO) รวมถึงขยะอวกาศ (Space Debris) โดยสามารถแสดงตำแหน่ง, ความสูง, วงโคจรในการเคลื่อนที่ของดาวเทียม และสามารถพยากรณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียมอย่างน้อย 30 วัน หรือสามารถตรวจสอบเส้นทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียมย้อนหลังอย่างน้อย 30 วัน ตลอดจนสามารถจำลองวงโคจรได้เองจากการสร้าง Two Line Element (TLE) และสามารถเพิ่มเติมความสามารถอื่น ๆ ในอนาคตที่อาทิ เช่น การใส่ค่าความถี่ของดาวเทียม, Antenna Beam Pattern และคุณสมบัติด้านความถี่ในการติดต่อสื่อสารอื่น

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

โปรแกรมที่สามารถทำการวิเคราะห์แนวการเคลื่อนที่ดาวเทียมของไทยและดาวเทียมของประเทศอื่น ๆ เพื่อตรวจสอบระยะเวลาที่ดาวเทียมในชั้น LEO, MEO ที่เคลื่อนที่ผ่านประเทศไทย ในการตรวจสอบความถี่ดาวเทียมที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานความถี่ของไทย ตลอดจนแสดงตำแหน่งดาวเทียมต่าง ๆ ในชั้น GEO ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

# บทที่ 2
# ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**ทฤษฎี และแนวความคิด**

ศึกษาหลักการติดตามดาวเทียมและวัตถุอวกาศ ด้วยระบบการติดตามต่าง ๆ ของชาติมหาอำนาจ รวมทั้งการผลิตชุดข้อมูลการติดตามดาวเทียมในรูปแบบของ two line element (TLE) เพื่อนำข้อมูลที่ได้เข้าสู่กระบวนการจัดทำโปรแกรมต่อไป

## ความรู้เรื่องดาราศาสตร์เบื้องต้น[1]

การสังเกตการณ์อวกาศเป็นเรื่องใหม่ที่ยังไม่มีการเรียนการสอนอย่างเป็นระบบแบบแผน ผู้ที่มีความรู้ความชำนาญมีอยู่อย่างจำกัดไม่แพร่หลาย ทำงานโดยอาศัยจากประสบการณ์ และความรู้จากการศึกษาจากดาราศาสตร์ของตนเองมาประยุกต์ใช้กับการทำงาน ดังนั้นความรู้พื้นฐานทางดาราศาสตร์จึงถือเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการเริ่มต้นศึกษาเรียนรู้การสังเกตการณ์อวกาศ

### 1. ทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere)

ดาวจำนวนมากมายบนท้องฟ้าที่เรามองเห็นในยามค่ำคืน แม้ว่าเราจะทราบดีว่าเป็นเพียงเปลวไฟที่ลุกโชนและลอยเคว้งอยู่ในอวกาศ แต่ในมุมมองของคนโบราณแล้วเพื่อเป็นการทำให้ง่าย คือการมองท้องฟ้าเหมือนกับทรงกลมขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมไปทั่วท้องฟ้า ประกอบด้วยดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ ทรงกลมนี้เรียกว่า ทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere)

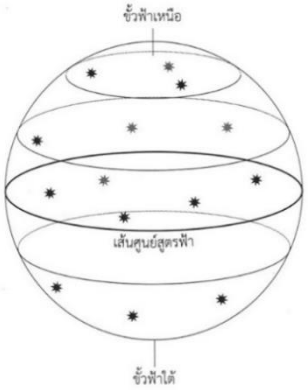
1.1 ทรงกลมท้องฟ้าแบบไม่มีเส้นขอบฟ้า

ในระบบทรงกลมท้องฟ้านี้ส่วนมากจะกำหนดพิกัดโดยเริ่มจากแกนขั้วสองด้านและวงกลมใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับโลก คือกำหนดพิกัดโดยมีขั้วโลกเหนือ ขั้วโลกใต้ และเส้นศูนย์สูตร

ทรงกลมท้องฟ้าแบบไม่มีเส้นขอบฟ้า มีการกำหนดดังนี้

- ขั้วฟ้าเหนือ (Celestial North Pole)
- ขั้วฟ้าใต้ (Celestial South Pole)
- เส้นศูนย์สูตรฟ้า (Celestial Equator)

การเคลื่อนที่ของทรงกลมท้องฟ้าระบบนี้จะมีการหมุนรอบขั้วฟ้าเหนือและใต้ ถ้าลากเส้นระหว่างขั้วฟ้าเหนือและขั้วฟ้าใต้ พบว่าการหมุนจะมีทิศทางตั้งฉากกับเส้นดังกล่าว



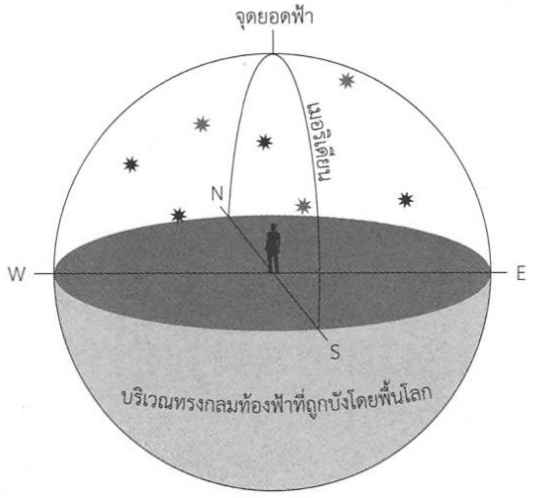

**ภาพที่ 1** แสดงการเคลื่อนที่ของทรงกลมท้องฟ้า

1.2 ทรงกลมท้องฟ้าและเส้นขอบฟ้า

ระบบทรงกลมท้องฟ้านี้เป็นระบบที่อ้างอิงกับความเป็นจริง กล่าวคือ ครึ่งหนึ่งของทรงกลมท้องฟ้าจะถูกบังด้วยพื้นดินที่เรายืนอยู่เสมอ ดังนั้นเราจะมองเห็นได้เพียงครึ่งหนึ่งของทรงกลมท้องฟ้าที่อยู่เหนือ “เส้นขอบฟ้า” ในระบบทรงกลมท้องฟ้าแบบนี้ มีการกำหนดนิยามดังนี้

- จุดยอดฟ้า (Zenith) คือ จุดเหนือศีรษะของผู้สังเกต

- เมอริเดียน (Meridian) คือ เส้นที่ลากจากขั้วฟ้าทางทิศเหนือผ่านจุดยอดฟ้าลงไปยังขอบฟ้าทางทิศใต้




**ภาพที่ 2** แสดงทรงกลมท้องฟ้าและเส้นขอบฟ้า

1.3 ดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้า

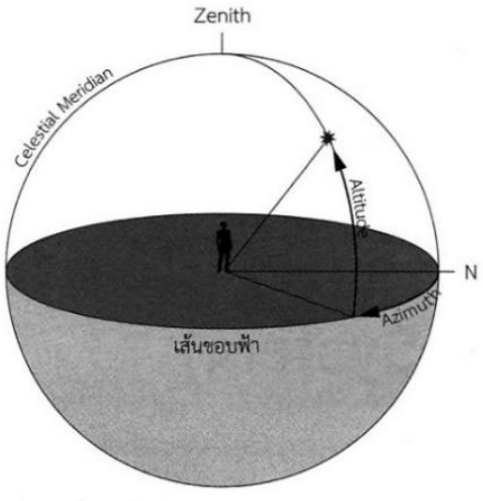
ดวงอาทิตย์ถือเป็นดาวฤกษ์ดวงหนึ่งบนทรงกลมท้องฟ้า แต่มีสิ่งที่แตกต่างจากวัตถุ หรือดาวอื่นๆ คือ บริเวณใดของทรงกลมท้องฟ้าเมื่อดวงอาทิตย์อยู่โผล่ขึ้นพ้นจากเส้นขอบฟ้า ณ บริเวณนั้นจะเป็นเวลากลางวัน เราจะไม่สามารถสังเกตเห็นดาวดวงอื่น ๆ ที่อยู่พ้นเส้นขอบฟ้าขึ้นมาได้ เพราะความสว่างของดวงอาทิตย์ที่มาบดบังนอกจากนั้น การที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์พบว่าทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้าจะเปลี่ยนตำแหน่งไปประมาณ 1 องศาในทุก ๆ วัน เมื่อลากเชื่อมจุดตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้าในแต่ละวันจะเกิดเป็นเส้นสมมติ เรียกว่า “สุริยวิถี” (Ecliptic) โดยเส้นสุริยวิถี จะเหลื่อมกับเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าอยู่ 23.5˚ เนื่องจากแกนโลกทำมุมเอียง 23.5˚ กับวงโคจร

**2. ระบบพิกัดท้องฟ้า (Celestial Coordinate System)**

เมื่อเราอยู่บนพื้นผิวโลก การระบุพิกัดตำแหน่งที่ใช้กันทั่วไป คือระบบละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) สำหรับระบบทรงกลมท้องฟ้าแล้ว เราสามารถกำหนดตำแหน่งของวัตถุ หรือดวงดาวใด ๆ ได้หลายวิธี ดังนี้

2.1 ระบบพิกัดขอบฟ้า (Horizontal Coordinate System)

เป็นระบบพิกัดใช้ระบุตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้าโดยให้ผู้สังเกตเป็นศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้า ใช้มุมแนบราบ (Azimuth) และมุมเงย (Altitude) เป็นหน่วยในการระบุตำแหน่ง



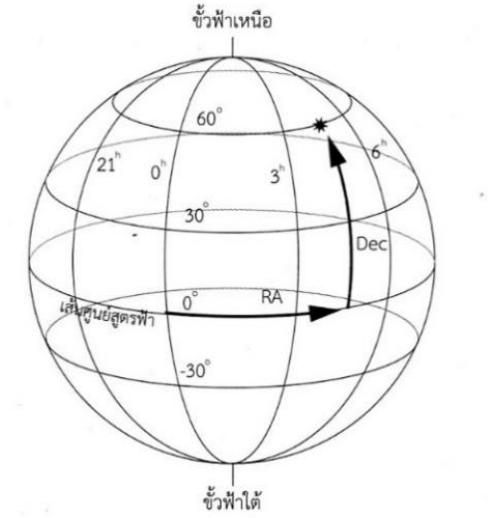

**ภาพที่ 3** แสดงระบบพิกัดขอบฟ้า

2.2 ระบบพิกัดศูนย์สูตร (Equatorial Coordinate System)

เป็นระบบพิกัดที่ใช้โลกเป็นศูนย์กลาง โดยใช้เส้นศูนย์สูตรฟ้าเป็นตัวอ้างอิง ไม่ขึ้นกับตำแหน่งของผู้สังเกต ดังนั้นไม่ว่าผู้สังเกต จะอยู่ตำแหน่งใด ๆ บนโลกจะมีพิกัดของวัตถุบนท้องฟ้าในระบบพิกัดเดียวกันเสมอ จึงเป็นพิกัดที่นิยมใช้กันมากที่สุดในทางดาราศาสตร์ การระบุตำแหน่งพิกัดในระบบนี้ ใช้ค่า Declination และ Right Ascension

- Declination (Dec) คือมุมที่ห่างออกจากเส้นศูนย์สูตรฟ้า คล้าย ๆ กับละติจูดบนโลก วัดมุมหน่วยเป็นองศา โดยนิยามให้มุมขึ้นมายังซีกฟ้าเหนือมีค่า Dec เป็นบวก และซีกฟ้าใต้มีค่า Dec เป็นลบ

- Right Ascension (RA) คือมุมที่ห่างจากเส้นที่ลากผ่านจุดวสันตวิษุวัต (Vernal Equinox) คล้ายกับเส้นลองจิจูดบนโลก มีหน่วยเป็น ชั่วโมง (h) นาที (m) และวินาที (s) โดยหนึ่งรอบเส้นศูนย์สูตรฟ้าจะมีทั้งหมด 24 ชั่วโมง




**ภาพที่ 4** แสดงระบบพิกัดศูนย์สูตร

**3. กฎของเคปเลอร์-นิวตัน**

การเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ ในอวกาศ ไม่ว่าจะเป็นดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ หรือดาวบริวาร สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของเคปเลอร์ และนิวตัน รวมไปถึงการโคจรรอบโลกของดาวเทียม และขยะอวกาศ ทำให้เราทราบสาเหตุ และความเชื่อมโยงของการเคลื่อนที่วัตถุในอวกาศได้

3.1 กฎของเคปเลอร์

โจฮานเนส เคปเลอร์ (Johannes Kepler) นักคณิตศาสตร์ชาวเยอรมันได้วิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งของดาวเคราะห์ ผลจากการตรวจวัดอย่างละเอียดโดย ไทโค บราเฮ

(Tycho Brahe) นักดาราศาสตร์ประจำราชสำนักเดนมาร์ก แล้วทำการทดลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงได้เสนอกฎของเคปเลอร์ทั้งหมด 3 ข้อ ดังนี้

ข้อ 1: ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่โฟกัสจุดหนึ่ง

ข้อ 2: เวลาที่ดาวเคราะห์ใช้โคจรรอบดวงอาทิตย์ คาบเวลาเท่ากันจะกวาดได้พื้นที่เท่ากัน

ข้อ 3: กำลังสองของคาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ แปรผันตามกำลังสามของระยะห่างจากดวงอาทิตย์

3.2 กฎของนิวตัน

เซอร์ ไอแซค นิวตัน (Sir Isaac Newton) นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษผู้ค้นพบกฎของแรงโน้มถ่วง 3 ข้อ

ข้อ 1 กฎของแรงเฉื่อย: “วัตถุที่หยุดนิ่งจะพยายามหยุดนิ่งอยู่กับที่ตราบที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ส่วนวัตถุที่เคลื่อนที่จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ตราบที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำเช่นกัน”

ข้อ 2 กฎของแรง: “ความเร่งของวัตถุแปรผันตามแรงที่กระทำต่อวัตถุ แต่แปรผกผันกับมวลของวัตถุ”

$$F = ma$$

ข้อ 3 กฎของแรงปฏิกิริยา: “แรงที่วัตถุที่หนึ่งกระทำต่อวัตถุที่สองย่อมเท่ากับแรงที่วัตถุที่สองกระทำต่อวัตถุที่หนึ่งในทิศทางตรงข้ามกัน”

$$\text{Action} = \text{Reaction}$$

นิวตันยังได้ค้นพบ “กฎแรงโน้มถ่วงแห่งเอกภพ” (Newton’s Law of Universal Gravitation) ดังสมการด้านล่าง

$$F = G\left(\frac{m_1 m_2}{r^2}\right)$$

**ความรู้เรื่องดาวเทียม**

ดาวเทียม (Satellite) คือ อุปกรณ์ที่มนุษย์สร้างขึ้นแล้วปล่อยไว้ในวงโคจรรอบโลกเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ถ่ายภาพ ตรวจอากาศ โทรคมนาคม และปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น ดาวเทียมถูกส่งขึ้นสู่อวกาศโดยติดตั้งบนจรวดหรือยานขนส่งอวกาศ ดาวเทียมดวงแรกของโลกเป็นของสหภาพโซเวียตชื่อ สปุตนิก 1 (Sputnik 1) ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศ

เมื่อวันที่ 4 ตุลาคม 2500 นับเป็นจุดเริ่มต้นของยุคอวกาศ หกสิบปีผ่านไปนับตั้งแต่สปุตนิก 1 ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศจนถึงปัจจุบัน ได้มีการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรรอบโลกมากกว่า 30,000 ดวง เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดาวเทียมทั้งหลายจึงมีขนาด รูปร่าง ลักษณะแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามดาวเทียมส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลักที่คล้ายคลึงกัน

- ระบบนำร่อง เป็นระบบคอมพิวเตอร์และไจโรสโคป ซึ่งมีหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของดาวเทียม โดยการเปรียบเทียบกับตำแหน่งของดาวฤกษ์ สัญญาณวิทยุจากสถานีบนโลกหรือสัญญาณจากดาวเทียม GPS

- ระบบควบคุมและสื่อสาร ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ที่เก็บรวมรวมข้อมูลและประมวลผลคำสั่งต่างๆ ที่ได้รับจากส่วนควบคุมบนโลก โดยมีอุปกรณ์วิทยุและเสาอากาศเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูล

- ระบบเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อื่น ๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของภารกิจ เช่น ดาวเทียมสำรวจโลกติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับช่วงคลื่นต่าง ๆ, ดาวเทียมปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ติดตั้งห้องทดลอง, ดาวเทียมทำแผนที่ติดตั้งเรดาร์และกล้องถ่ายภาพ ข้อมูลที่ได้จากระบบนี้จะถูกส่งกลับสู่โลกโดยใช้เสาอากาศส่งคลื่นวิทยุ

- ระบบพลังงาน ทำหน้าที่ผลิตพลังงานและกักเก็บไว้เพื่อแจกจ่ายไปยังระบบไฟฟ้าของดาวเทียม โดยมีแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cells) ไว้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า แต่ดาวเทียมขนาดใหญ่อาจมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

- ระบบเครื่องยนต์ ดาวเทียมขนาดใหญ่ที่มีอายุใช้งานยาว จะมีเครื่องยนต์ซึ่งทำงานคล้ายกับเครื่องอัดอากาศ และปล่อยออกทางปลายท่อ มีหน้าที่สร้างแรงขับดันเพื่อรักษาระดับความสูงของวงโคจร เนื่องจากที่ระดับวงโคจรในอวกาศยังคงมีโมเลกุลอยู่อย่างเบาบาง แต่ดาวเทียมโคจรด้วยความเร็วสูง โมเลกุลอากาศสามารถสร้างแรงเสียดทานให้ดาวเทียมเคลื่อนที่ช้าลงและเคลื่อนที่ต่ำลง หากไม่รักษาระยะสูงไว้ ในที่สุดดาวเทียมก็จะตกลงสู่พื้นโลก

**1. วงโคจรของดาวเทียม**

การออกแบบวงโคจรของดาวเทียมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานดาวเทียม ระดับความสูงของดาวเทียมมีความสัมพันธ์กับคาบเวลาในวงโคจรตามกฎของเคปเลอร์ข้อที่ 3 (กำลังสองของคาบวงโคจรของดาวเทียม แปรผันตาม กำลังสามของระยะห่างจากโลก) ดังนั้น ณ ระดับความสูงจากผิวโลกระดับหนึ่ง ดาวเทียมจะต้องมีความเร็วในวงโคจรค่าหนึ่ง มิฉะนั้นดาวเทียมอาจตกสู่โลกหรือหลุดจากวงโคจรรอบโลก ดาวเทียมวงโคจรต่ำเคลื่อนที่เร็ว ดาวเทียมวงโคจรสูงเคลื่อนที่ช้า

นักวิทยาศาสตร์คำนวณหาค่าความเร็วในวงโคจรได้โดยใช้ “กฎความโน้มถ่วงแห่งเอกภพของนิวตัน” (Newton's Law of Universal Gravitation) “วัตถุสองชิ้นดึงดูดกันด้วยแรงซึ่งแปรผันตามมวลของวัตถุ แต่แปรผกผันกับระยะทางระหว่างวัตถุยกกำลังสอง” ดังนี้

แรงสู่ศูนย์กลาง = แรงโน้มถ่วงของโลก

$$\frac{mv^2}{r} = G(\frac{Mm}{r^2})$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

โดยที่ v = ความเร็วของดาวเทียม

$M_e$ = มวลของโลก = $5.972 \times 10^{24}\ kg$

m = มวลของดาวเทียม

r = ระยะทางระหว่างศูนย์กลางของโลกกับดาวเทียม

G = ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง = $6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของดาวเทียมและความเร็วในวงโคจร กฎแปรผกผันยกกำลังสองของนิวตันกล่าวว่า ยิ่งใกล้ศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง (ศูนย์กลางของโลก) แรงโน้มถ่วงจะเพิ่มขึ้น ดังนั้น

- ถ้าต้องการให้ดาวเทียมมีวงโคจรต่ำ ดาวเทียมจะต้องเคลื่อนที่เร็วมากเพื่อเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลก ดาวเทียมวงโคจรต่ำจึงโคจรรอบโลกใช้เวลาน้อยที่สุด

- ดาวเทียมวงโคจรสูงมีความเร็วในวงโคจรช้ากว่าวงโคจรต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสูงขึ้นไปยิ่งอยู่ห่างจากศูนย์กลางแรงโน้มถ่วง ดาวเทียมวงโคจรสูงจึงโคจรรอบโลกใช้เวลามากกว่าดาวเทียมวงโคจรต่ำ

- ถ้าต้องการให้ดาวเทียมโคจรไปพร้อมๆ กับที่โลกหมุนรอบตัวเอง ดาวเทียมจะลอยค้างอยู่เหนือพิกัดภูมิศาสตร์ที่ระบุบนพื้นผิวโลกตลอดเวลา จะต้องส่งดาวเทียมให้อยู่ที่ความสูง 35,786 กิโลเมตร เหนือพื้นผิวโลก วงโคจรระดับนี้เรียกว่า "วงโคจรค้างฟ้า" (Geo-

Stationary orbit) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการสะท้อนสัญญาณโทรคมนาคม และการถ่ายภาพที่ครอบคลุมบริเวณกว้าง

ในการออกแบบวงโคจรของดาวเทียม นอกจากความสูงของวงโคจรแล้ว ยังต้องคำนึงถึงทิศทางของวงโคจร เนื่องโลกหมุนรอบตัวเอง นักวิทยาศาสตร์จะต้องคำนึงถึงพื้นที่บนพื้นผิวโลกที่ต้องการให้ดาวเทียมเคลื่อนทีผ่าน เราสามารถจำแนกประเภทของวงโคจร ตามระยะสูงของวงโคจรได้ดังนี้

**การแบ่งวงโคจรตามความสูงและลักษณะทางกายภาพของดาวเทียมและวัตถุในอวกาศ**

วงโคจรของดาวเทียมสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทวงโคจร ได้แก่

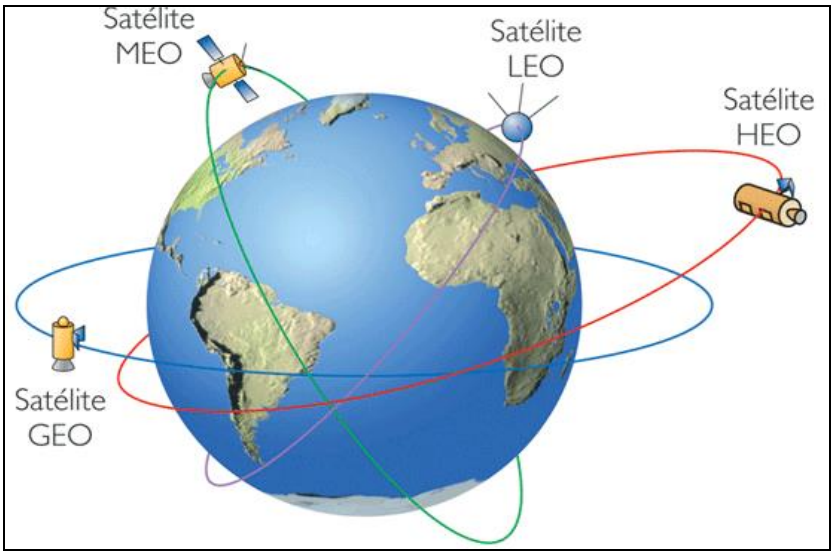
**วงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit : LEO)** มีความสูงจากพื้นโลกไม่เกิน 1,000 กิโลเมตร เหมาะสำหรับการถ่ายภาพรายละเอียดสูง และติดตามสังเกตการณ์จากอวกาศอย่างใกล้ชิด แต่เนื่องจากวงโคจรประเภทนี้อยู่ใกล้พื้นผิวโลกมาก ภาพถ่ายที่ได้จึงครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณแคบ และไม่สามารถครอบคลุมบริเวณใดบริเวณหนึ่งได้นาน เนื่องจากดาวเทียมต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมากจึงนิยมใช้วงโคจรขั้วโลก (Polar Orbit) หรือใกล้ขั้วโลก (Near Polar Orbit) โดยดาวเทียมจะโคจรในแนวเหนือถึงใต้ ขณะที่โลกหมุนรอบตัวเอง ดาวเทียมจึงเคลื่อนที่ผ่านเกือบทุกส่วนของพื้นผิวโลก

**วงโคจรปานกลาง (Medium Earth Orbit : MEO)** มีความสูงจากพื้นโลกระหว่าง 1,000 ถึง 35,000 กิโลเมตร สามารถถ่ายภาพและส่งสัญญาณวิทยุได้ครอบคลุมพื้นที่ได้เป็นบริเวณกว้างกว่าวงโคจรต่ำ หากต้องการให้สัญญาณครอบคลุมทั้งโลกจะต้องใช้ดาวเทียมหลายดวงทำงานร่วมกันเป็นเครือข่าย และมีทิศทางของวงโคจรรอบโลกทำมุมเฉียงหลายทิศทาง ดาวเทียมวงโคจรปานกลางส่วนมากเป็นดาวเทียมนำร่อง เช่น เครือข่ายดาวเทียม GPS ที่ประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง โคจรรอบโลกและทำงานร่วมกัน โดยส่งสัญญาณวิทยุออกมาพร้อมๆ กัน ให้เครื่องรับที่อยู่บนพื้นผิวโลกเปรียบเทียบสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวงเพื่อคำนวณหาตำแหน่งพิกัดที่ตั้งของเครื่องรับ

**วงโคจรสถิตย์ (Geostationary Earth Orbit : GEO) และวงโคจรพ้องคาบโลก (Geosynchronous Orbit : GSO)** มีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 35,786 กิโลเมตร มีเส้นทางโคจรอยู่ในแนวเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Orbit) ดาวเทียมจะหมุนรอบโลกด้วยความเร็วเชิงมุมเท่ากับโลกหมุนรอบตัวเองเสมือนลอยนิ่งอยู่เหนือพื้นผิวโลกตำแหน่งเดิมอยู่ตลอดเวลาจึงถูกเรียกว่า "ดาวเทียมวงโคจรสถิต หรือวงโคจรค้างฟ้า" เนื่องจากดาวเทียมวงโคจรชนิดนี้อยู่ห่างไกลจากโลกและสามารถลอยอยู่เหนือพื้นโลกตลอดเวลา จึงนิยมใช้สำหรับการ

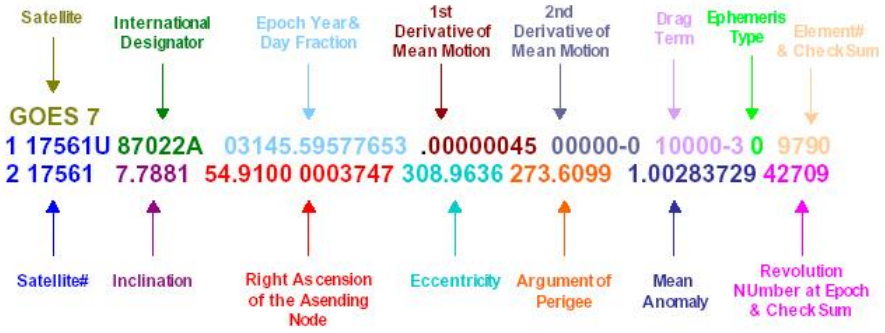
ถ่ายภาพโลกทั้งดวง เฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศโลก และใช้ในการโทรคมนาคมข้ามทวีป อย่างไรก็ตามดาวเทียมวงโคจรสถิตจะต้องโคจรที่ระดับสูง 35,786 กิโลเมตรเท่านั้น วงโคจรประเภทนี้จึงมีจำนวนดาวเทียมอยู่อย่างหนาแน่น และมีปัญหาในการแย่งพื้นที่ในอวกาศ

**วงโคจรวงรีมาก (Highly Elliptical Orbit : HEO)** เป็นวงโคจรที่ออกแบบสำหรับดาวเทียมที่ปฏิบัติภารกิจพิเศษเฉพาะกิจ เนื่องจากดาวเทียมมีความเร็วในวงโคจรไม่คงที่ เมื่ออยู่ใกล้โลกดาวเทียมจะเคลื่อนที่เร็วมาก และจะเคลื่อนที่ช้าลงเมื่อออกห่างจากโลก ดาวเทียมวงโคจรวงรีมากส่วนมากเป็นดาวเทียมที่ปฏิบัติงานด้านวิทยาศาสตร์ เช่น ศึกษาสนามแม่เหล็กโลก เนื่องจากสามารถมีระยะห่างจากโลกได้หลายระยะ หรือเป็นดาวเทียมจารกรรมซึ่งสามารถโคจรเข้ามาถ่ายภาพพื้นผิวโลกด้วยระยะต่ำมากและปรับวงโคจรหนีไปที่ระยะสูงได้




**ภาพที่ 5** แสดงการจำแนกประเภทดาวเทียมตามวงโคจร

## Two-Line Element (TLE)




**ภาพที่ 6** แสดงข้อมูลรายละเอียดค่า Two-Line Element (TLE)**[2]**

**ข้อมูลหลัก ๆ ของ TLE ที่ควรทราบมีดังนี้**

1. ลำดับของดาวเทียมในฐานข้อมูล NOARD (Satellite #) เป็นชุดตัวเลขกลุ่มแรก และปรากฏอยู่ทั้งบรรทัดที่ 1 และ # ซึ่งบอกถึง ลำดับของดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นไปในวงโคจรตามระบบฐานข้อมูล NOARD โดยเริ่มนับจากดาวเทียมสปุกนิกเป็นดาวเทียมดวงแรก ในที่นี้ดาวเทียม GOES 7 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเป็นดวงที่ 17,561

2. ชื่อสากลของดาวเทียม (International Designator) เป็นกลุ่มตัวเลขชุดที่สองในบรรทัดที่ 1 โดยเป็นรหัสชื่อสากลของดาวเทียม ที่บอกถึงปี ค.ศ. ที่ส่งดาวเทียม (ตัวเลขสองหลักแรก) และลำดับของดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรภายในปีนั้น (ตัวเลขสามหลักต่อมา) สำหรับดาวเทียม GOES 7 เป็นดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นไปในปี 1987 และเป็นดาวเทียบดวงที่ 22 ที่ถูกส่งขึ้นไปในปีนั้น

3. ช่วงเวลาที่ใช้อ้างอิงวงโคจร (Epoch Year & Day Fraction) เนื่องจากข้อมูลองค์ประกอบวงโคจรของดาวเทียมจำเป็นต้องมีการปรับแก้ให้เป็นปัจจุบันตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีการกำหนดช่วงเวลาอ้างอิงของวงโคจรที่มีการปรับแก้ล่าสุด โดยตัวเลขสองหลักแรกจะระบุปี ค.ศ. และตัวเลขที่เหลือจะเป็นจำนวนวันที่นับจากวันที่ 1 มกราคมของปีนั้น ๆ ซึ่งในที่นี้ เป็นชุดข้อมูล TLE ของดาวเทียม GOES 7 ที่มีการปรับแก้ข้อมูลล่าสุดในปี 2003

4. ข้อมูลองค์ประกอบวงโคจร จะเป็นกลุ่มตัวเลขที่เรียกกันในบรรทัดที่ 2 ต่อจากตัวเลขลำดับ NOARD ของดาวเทียม โดยจะเริ่มจาก ค่าความเอียง (i) ค่าไรต์แอสเซนชันของแอสเซนดิงโหนด ($\Omega$) ค่าความรี (e) ค่าระยะเชิงมุมของจุดใกล้โลก ($\boldsymbol{\omega}$) และค่ามุมกวาดจริงของดาวเทียม (v) ตามลำดับ

**ค่าความเอียงของวงโคจร (Inclination: i)** คือค่ามุมระหว่างระนาบวงโคจรกับระนาบเส้นศูนย์สูตรโลก ดาวเทียมที่โคจรไปตามเส้นศูนย์สูตรโลกจะมีค่า i = 0 องศา ในขณะที่ดาวเทียมที่โคจร

ผ่านขั้วโลกจะมีค่า i = 90 องศา ดาวเทียมที่มีความเอียงระหว่าง 0 - 90 องศา จะถือว่าเดินทางไปในทิศทางเดียวกับการหมุนของโลก (Prograde)

ดาวเทียมที่มีความเอียงระหว่าง 90 - 180 องศา จะถือว่าเดินทางไปในทิศทางตรงข้ามกับการหมุนของโลก (Retrograde) ดาวเทียมที่มีความเอียงวงโคจรไม่เท่ากับ 0 องศา จะตัดกับระนาบเส้นศูนย์สูตรโลกสองครั้งที่แอสเซนดิงโหนด (Ascending Node) และเดสเซนดิงโหนด (Descending Node) โดยดาวเทียมจะเคลื่อนที่ไปทางเหนือของระนาบเส้นศูนย์สูตรโลกที่แอสเซนดิงโหนด และไปทางใต้ของระนาบเส้นศูนย์สูตรที่เดสเซนดิงโหนด

**ค่าไรต์แอสเซนชันของแอสเซนดิงโหนด (Right Ascension of Ascending Node หรือ RAAN: Ω)** ค่าไรต์แอสเซนชัน หมายถึง ค่าพิกัดลองกิจูดของทรงกลมท้องฟ้า (Longitude in Celestial Sphere) โดยเส้นลองจิจูดหรือไรต์แอสเซนชันแรกของทรงกรมท้องฟ้าเริ่มวัดจากจุดเริ่มของราศีเมษ (Vernal Equinox) ซึ่งเป็นจุดตัดของระนาบศูนย์สูตรโลกกับระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ จากจุดอ้างอิงนี้วัดเป็นมุมกวาดไปยังจุดตัดของระนาบการโคจรของดาวเทียมกับระนาบศูนย์สูตรโลก ซึ่งเรียกว่า จุดแอสเซนดิงโหนด (Ascending Node) มุมที่ได้ก็คือค่าไรต์แอสเซนชันของแอสเซนดิงโหนด

**ค่าความรีของวงโคจร (Eccentricity: e)** คือค่าที่ใช้สำหรับอธิบายรูปร่างของวงโคจรซึ่งสามารถบอกได้ว่า วงโคจรของดาวเทียม เป็นรูปวงกลม (e = 0) วงรี (0 < e < 1) พาลาโบลา (e = 1) หรือไฮเปอร์โบลา (e > 1) โดยปกติแล้วดาวเทียมทั่วไปมีวงโคจรเป็นวงรี วงรีมีจุดโฟกัส (focus) สองจุด ซึ่งเปรียบเทียบได้กับจุดศูนย์กลางของวงกลม

**ค่าระยะเชิงมุมของจุดใกล้โลก (Argument of perigee: ω)** คือค่ามุมที่วัดจากจุดแอสเซนดิงโหนดไปยังตำแหน่งที่ใกล้โลกมากสุด (Perigee) ตามวงโคจรของดาวเทียม

**ค่ากึ่งแกนเอกของวงโคจร (Semi-major axis: a)** คือค่าความยาวครึ่งหนึ่งของแกนเอกของดาวเทียมที่มีวงโคจรเป็นวงรี และสำหรับดาวเทียมที่มีวงโคจรเป็นวงกลม ค่านี้จะหมายถึงค่ารัศมีวงโคจรของดาวเทียม

**ค่ามุมกวาดจริงของดาวเทียม (True Anomaly: v)** คือค่ามุมที่วัดจากจุดใกล้โลกมากที่สุดไปยังตำแหน่งของดาวเทียมบนวงโคจร

**Example :** ดาวเทียม THEOS

```
❶     ❷          ❸          ❹       ❺       ❻     ❼ ❽
1 33396U 08049A   20029.81418358  .00000112  00000-0  73195-4 0  9999
2 33396  98.7555  98.5262 0000917 116.1647 353.6448 14.20013098587247
```

**Line 1 :**

❶ 33396 : Satellite catalog number (NOARD) คือ 33396

❷ 08049A : International Designator สำหรับดาวเทียม THEOS เป็นดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นไปในปี 2008 และเป็นดาวเทียมดวงที่ 49 ที่ถูกส่งขึ้นไปในปีนั้น

❸ 20029.81418358 : Epoch Year & Day Fraction คือ ปี 2020 วันที่ 029.81418358

❹ .00000112 : First Derivative of Mean Motion คือ .00000112

❺ 00000-0 : Second Derivative of Mean Motion คือ 00000-0

❻ 73195-4 : Drag Term คือ 73195-4

❼ 0 : Ephemeris type คือ 0

❽ 9999 : Element set number คือ 999 และ Checksum คือ 9

```
1 33396U 08049A   20029.81418358  .00000112  00000-0  73195-4 0  9999
2 33396  98.7555  98.5262 0000917 116.1647 353.6448 14.20013098587247
  ❶     ❷       ❸       ❹       ❺       ❻          ❼
```

**Line 2 :**

❶ 33396 : Satellite catalog number (NOARD) คือ 33396

❷ 98.7555 : Inclination คือ 98.7555 องศา

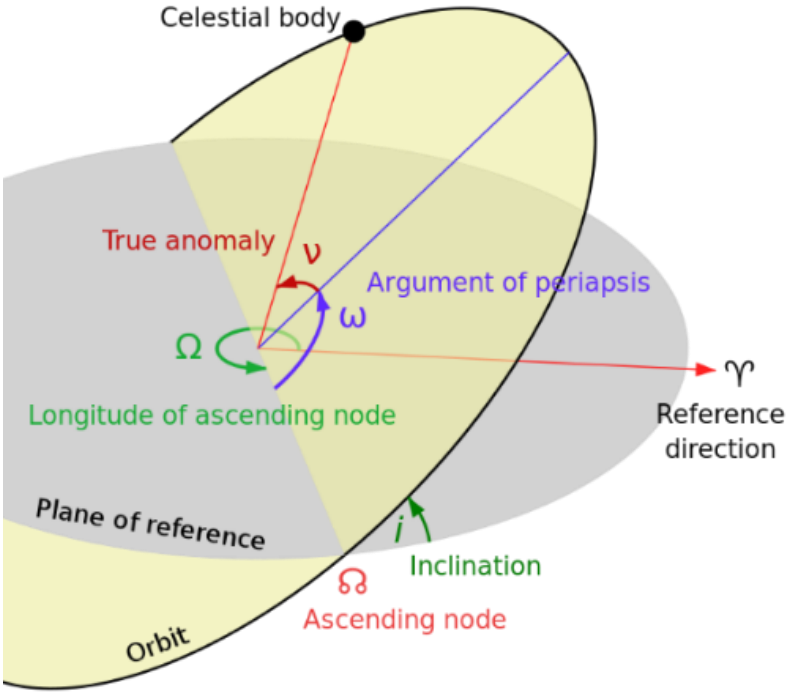
❸ 98.5262 : Right Ascension of the Ascending Node คือ 98.5262 องศา

❹ 0000917 : Eccentricity คือ 0.000917

❺ 116.1647 : Argument of Perigee คือ 116.1647 องศา

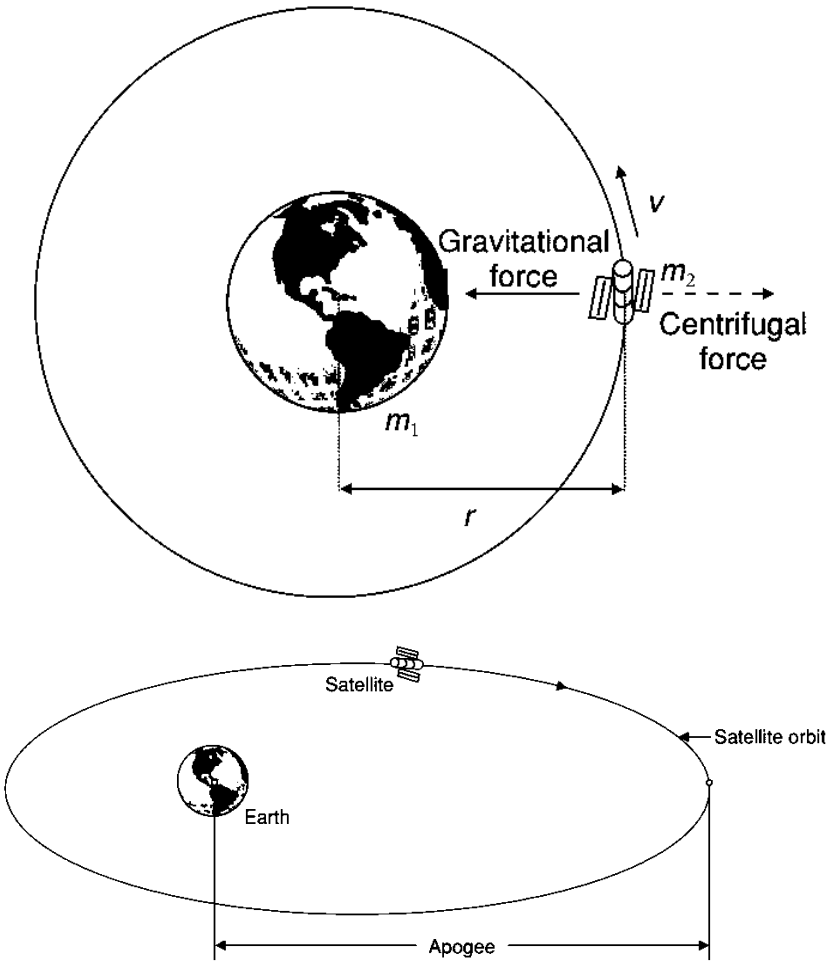
❻ 353.6448 : Mean Anomaly คือ 353.6448 องศา

❼ 14.20013098587247 : Mean Motion คือ 14.20013098 รอบต่อวัน และ 5 ตัวต่อมา
เป็น Revolution number at epoch คือ 58724 และตัวสุดท้ายคือ Checksum คือ 7




**ภาพที่ 7** แสดงข้อมูลองค์ประกอบวงโคจรของวัคถุอวกาศ

## สมการที่เกี่ยวข้อง[3]




**ภาพที่ 8** แสดงข้อมูตำแหน่งการโคจรของดาวเทียมโดยทั่วไป

$$T = \left[\frac{2\pi}{\sqrt{\mu}}\right] a^{3/2} \qquad \text{--1--}$$

$$A = a(1+e) \qquad \text{--2--}$$

$$P = a(1-e) \qquad \text{--3--}$$

$T$ = *Period*

$\mu$ = $GM_{earth}$

$a$ = *Semi-major axis*

$A$ = *Apogee*

## ความรู้เรื่อง The Cesium Platform

Cesium เริ่มต้นในปี 2011 โดยทีมนักพัฒนาซอฟต์แวร์ของบริษัทซอฟต์แวร์ด้านการบินและอวกาศ Analytical Graphics, Inc. มุ่งมั่นที่จะสร้างแอปพลิเคชันเพื่อแสดงภาพวัตถุในอวกาศ โปรเจกต์นี้นำโดยแพทริค คอซซี่ ผู้เชี่ยวชาญด้านกราฟิกคอมพิวเตอร์ โปรเจกต์นี้ได้สร้างโลกเสมือนจริงที่มีความแม่นยำของประสิทธิภาพและไดนามิกของเวลามากที่สุดในโลก ถูกขนานนามว่า "ซีเซียม" ตามองค์ประกอบที่ทำให้นาฬิกาอะตอมมีความแม่นยำ สำหรับ Cesium ถูกปล่อยออกมาเป็น Open Source ในปี 2012

ในขณะเดียวกันการรวบรวมข้อมูล 3D ก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลก ทำให้เกิดความต้องการทางด้านซอฟต์แวร์ ได้สามารถแสดงศักยภาพออกมาได้ เมื่ออุตสาหกรรมต่าง ๆ เริ่มรวบรวมข้อมูลตำแหน่ง 3 มิติสำหรับกรณีการใช้งานจำนวนมาก คอซซี่และทีมงานเห็นโอกาสในการขยาย Cesium ให้ครอบคลุมมากกว่าด้านอวกาศ

Cesium ได้แยกตัวออกมาเป็นบริษัทอิสระในปี 2019 และปัจจุบันได้ให้บริการแพลตฟอร์มเปิดพื้นฐานสำหรับระบบนิเวศเชิงพื้นที่ที่ทำงานร่วมกันได้

ด้วยการผสมผสานระหว่าง Open Source และซอฟต์แวร์ที่มีจำหน่ายทั่วไป แพลตฟอร์ม Cesium เป็นชุดเครื่องมือที่สมบูรณ์สำหรับการสร้างแอปพลิเคชันภูมิสารสนเทศ 3 มิติทุกประเภท

### แพลตฟอร์มสำหรับภูมิสารสนเทศสามมิติ

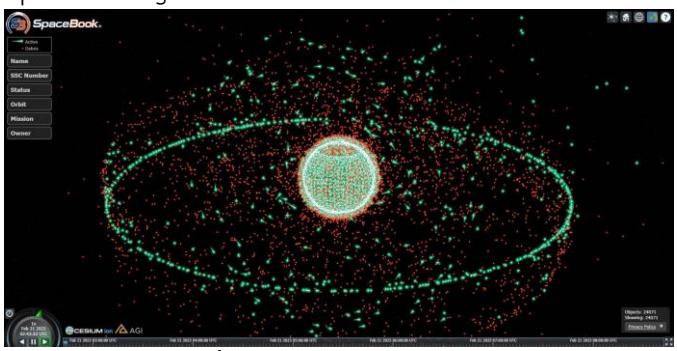
Cesium เป็นแพลตฟอร์ม Open Source พื้นฐานสำหรับการสร้างแอปพลิเคชันภูมิสารสนเทศ สามมิติที่มีประสิทธิภาพ

Cesium ได้รวมเนื้อหา 3D ทั่วโลกที่ได้รับการดูแลจัดการของ Cesium ion เข้ากับ point cloud, photogrammetry, BIM หรือข้อมูล 3D อื่น ๆ เพื่อเริ่มต้นการพัฒนาแอพอย่างรวดเร็ว

CesiumJS เป็นไลบรารี Javascript โอเพ่นซอร์สที่ทันสมัยสำหรับการสร้างภาพ 3 มิติที่สวยงามและแม่นยำบนเว็บ เพิ่ม Cesium ion SDK เพื่อสร้างการวิเคราะห์ขั้นสูงในแอป CesiumJS ที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดเอง

**ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

1. SpaceBook : https://saas.agi.com/SatelliteViewer/

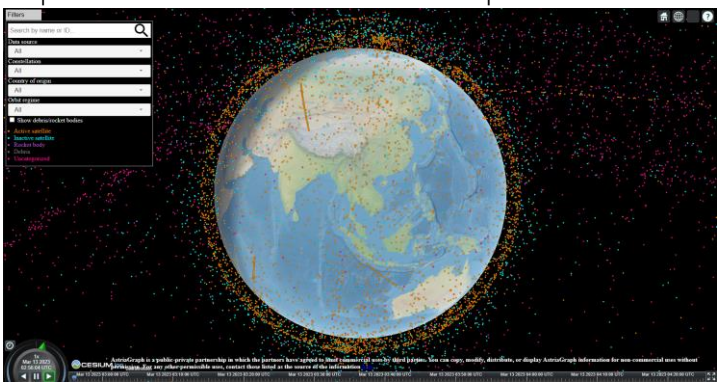



**ภาพที่ 9** แสดงวงโคจรวัตถุอวกาศ

2. Satellite and Coverage Map:::https://www.orbtrack.org/#/?satName=ISS%20(ZARYA)

**ภาพที่ 10** แสดงวงโคจรของวัตถุอวกาศ (2D)

3. AstriaGraph:::http://astria.tacc.utexas.edu/AstriaGraph/



**ภาพที่ 11** แสดงการจำแนกสีของวัตถุอวกาศ

# บทที่ 3
# ระเบียบวิธีวิจัย

**วิธีการ/ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและพัฒนาที่มาและความสำคัญของโครงการ**

TRL นั้นเริ่มพัฒนามาจากองค์กรนาซ่า (NASA) ของสหรัฐอเมริกา และหน่วยงานอื่นที่นำมาใช้อีก คือ Sandia National Laboratories ซึ่งทั้งสองหน่วยงานเกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมเป็นหลัก ทำหน้าที่ทดสอบ (Test) ต้นแบบ เพื่อให้งานไม่เกิดข้อผิดพลาด เป็นงานทดสอบแบบซ้ำๆ กัน เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น การยิงจรวด ต้องมีการตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งสรุปจากทั้ง 9 Levels ได้ ดังนี้

**ภาพที่ 12** แสดง Technology Readiness Levels (TRLs) กับการบริหารงานวิจัยของ สวทช.

โดยหน่วยงาน สวทช.ได้นำกระบวนการ TRL ทั้ง 9 ระดับมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่ สวทช.รับผิดชอบ นำมาซึ่งกระบวนการจัดทำโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ เพื่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานที่ สวทช.ได้พัฒนาคำจำกัดความ TRL 9 ระดับของ สวทช. โดยประยุกต์ใช้คำจำกัดความ TRL ของศูนย์ทดลองแห่งชาติซานเดีย (Sandia National Laboratories) สหรัฐอเมริกา เพื่อให้กระบวนการจัดทำโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศมีการวางแผนการดำเนินการ และผลผลิตที่ได้รับมีมาตรฐานระดับสากล

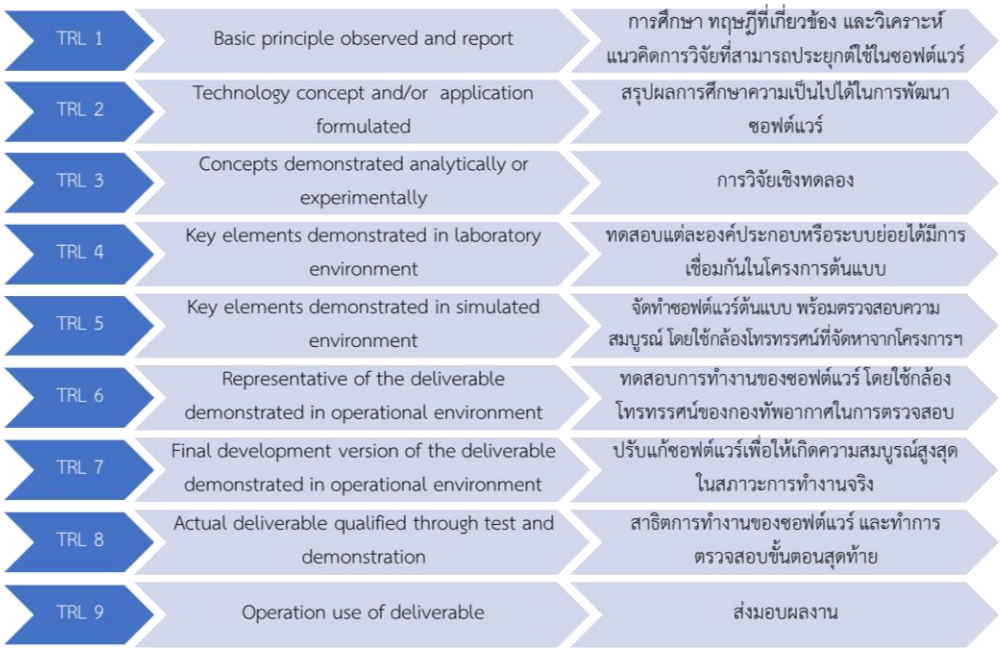
จากกระบวนการ TRL ทั้ง 9 ระดับสามารถวางแผนการดำเนินงานได้เป็น 4 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 ช่วง TRL 1-3 ในระดับองค์ความรู้และงานวิจัยพื้นฐาน

ระยะที่ 2 ช่วง TRL 4-5 จัดทำโปรแกรมต้นแบบในห้องปฏิบัติการ

ระยะที่ 3 ช่วง TRL 6-7 จัดทำโปรแกรมสมบูรณ์ใช้ร่วมกับการปฏิบัติการจริง

ระยะที่ 4 ช่วง TRL 8-9 สาธิตการทำงาน และส่งมอบผลงาน



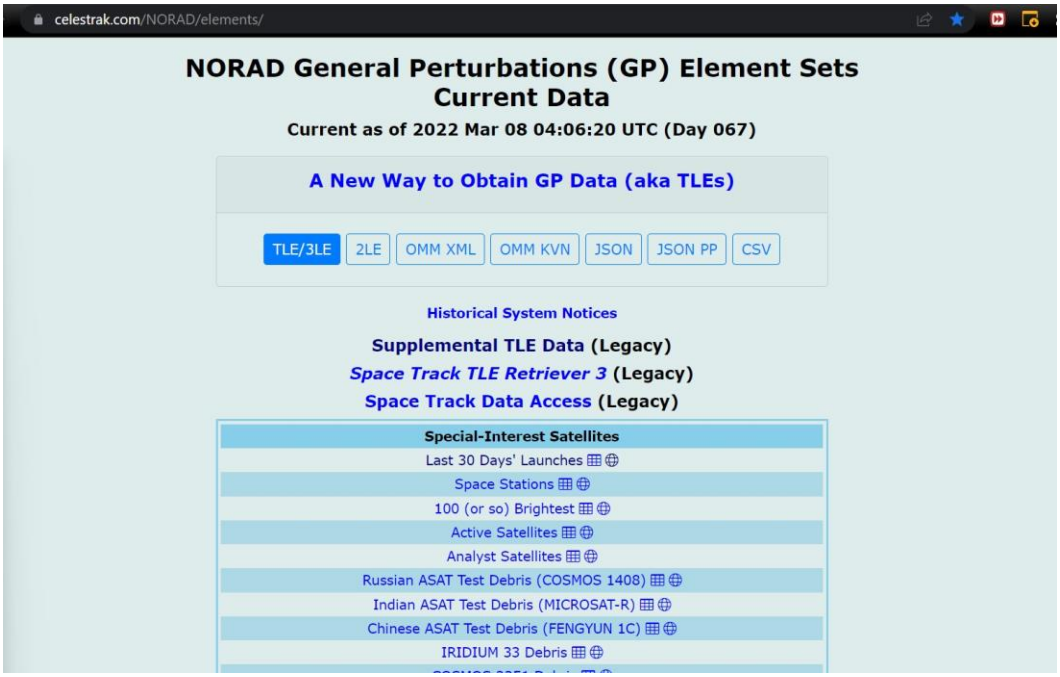

**ภาพที่ 13** แสดงแผนการดำเนินการตามกระบวนการ TRL ทั้ง 9 กระบวนการ

ซึ่งภายหลังจากที่ได้ผ่านการดำเนินการในระยะที่ 2-3 เข้าสู่ระยะที่ 4 จะเป็นส่วนของการสาธิตการทำงานของซอฟต์แวร์ และทำการตรวจสอบขั้นตอนสุดท้าย โดยในระยะนี้ผู้รับทุนวางแผนพัฒนาบุคลากรให้บุคลากรในภาคทุกส่วนมีองค์ความรู้เท่าเทียมกัน เป็นการเตรียมองค์ความรู้ใน 3 ส่วนงาน ซึ่งประกอบด้วยความรู้ในด้านการเขียนภาษา Cesium, องค์ความรู้ด้านดาวเทียม, องค์ความรู้ด้านระบบกล้องโทรทรรศน์ ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการสาธิตการทำงานของซอฟต์แวร์ และทำการตรวจสอบขั้นตอนสุดท้าย เพื่อให้ผู้แทน กสทช.มีองค์ความรู้และสามารถตรวจสอบระบบในขั้นตอนสุดท้าย และรับมอบผลงานต่อไป

# บทที่ 4
# ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

## ผลการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในครั้งนี้ได้นำแพลตฟอร์ม Open Source ที่ชื่อว่า Cesium ใช้ในการแสดงผลภาพในลักษณะ 2D และ 3D ทั้งนี้เว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการทางอวกาศหลาย ๆ เว็บไซต์ได้นำ Cesium มาประยุกต์ใช้ในการแสดงผลเช่นกัน อาทิ https://celestrak.com/ ถือเป็นต้นแบบในการพัฒนาวิจัยเชิงทดลองของโครงการโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศนี้




**ภาพที่ 14** แสดงแหล่งข้อมูล TLE จากเว็บไซต์ Celestrak [4]

**การจัดทำไฟล์นามสกุล .KML**

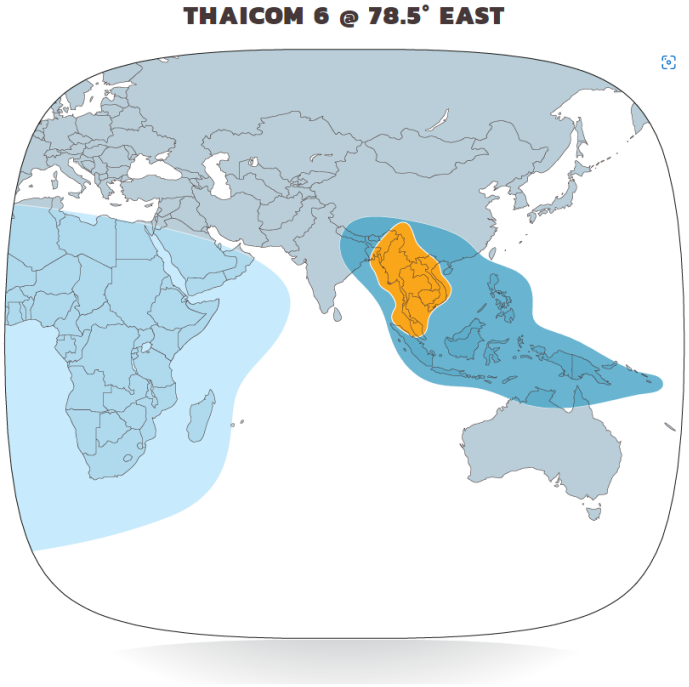
ทำการเขียนโค้ดไฟล์ที่มีนามสกุลไฟล์ .KML เป็นไฟล์ Keyhole Markup Language ไฟล์ KML ใช้ XML เพื่อแสดงคำอธิบายประกอบทางภูมิศาสตร์และการแสดงภาพโดยการจัดเก็บตำแหน่ง การวางซ้อนภาพลิงก์วิดีโอและข้อมูลการสร้างแบบจำลองเช่นเส้นรูปร่างภาพ 3 มิติและจุด โปรแกรมซอฟต์แวร์ภูมิสารสนเทศต่าง ๆ ใช้ไฟล์ KML เนื่องจากมีจุดประสงค์เพื่อทำให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่โปรแกรมและบริการเว็บอื่น ๆ สามารถใช้ได้อย่างง่ายดาย สิ่งนี้รวมถึง Keyhole Earth Viewer จาก Keyhole, Inc. ก่อนที่ Google จะซื้อ บริษัท ในปี 2004 และเริ่มใช้รูปแบบนี้กับ Google Earth

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:gx="http://www.google.com/kml/ext/2.2"
xmlns:kml="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:atom="http://www.w3.org/2005/Atom">
<Document>
      <name>thaicom6-1.kml</name>
      <Style id="sn_ylw-pushpin">
            <IconStyle>
                  <scale>1.1</scale>
                  <Icon>
                        <href>
http://maps.google.com/mapfiles/kml/pushpin/ylw-
pushpin.png</href>
                  </Icon>
                  <hotSpot x="20" y="2" xunits="pixels"
yunits="pixels"/>
            </IconStyle>
            <BalloonStyle>
            </BalloonStyle>
            <LineStyle>
                  <color>ff0000ff</color>
            </LineStyle>
            <PolyStyle>
                  <color>8f0000ff</color>
            </PolyStyle>
      </Style>
      <Style id="sh_ylw-pushpin">
            <IconStyle>
                  <scale>1.3</scale>
                  <Icon>
                        <href>
http://maps.google.com/mapfiles/kml/pushpin/ylw-
pushpin.png</href>
                  </Icon>
                  <hotSpot x="20" y="2" xunits="pixels"
yunits="pixels"/>
            </IconStyle>
            <BalloonStyle>
            </BalloonStyle>
            <LineStyle>
                  <color>ff0000ff</color>
            </LineStyle>
            <PolyStyle>
                  <color>8f0000ff</color>
            </PolyStyle>
      </Style>
      <StyleMap id="msn_ylw-pushpin">
            <Pair>
                  <key>normal</key>
                  <styleUrl>#sn_ylw-pushpin</styleUrl>
            </Pair>
            <Pair>
                  <key>highlight</key>
                  <styleUrl>#sh_ylw-pushpin</styleUrl>
            </Pair>
      </StyleMap>
      <Placemark>
                                    1
```

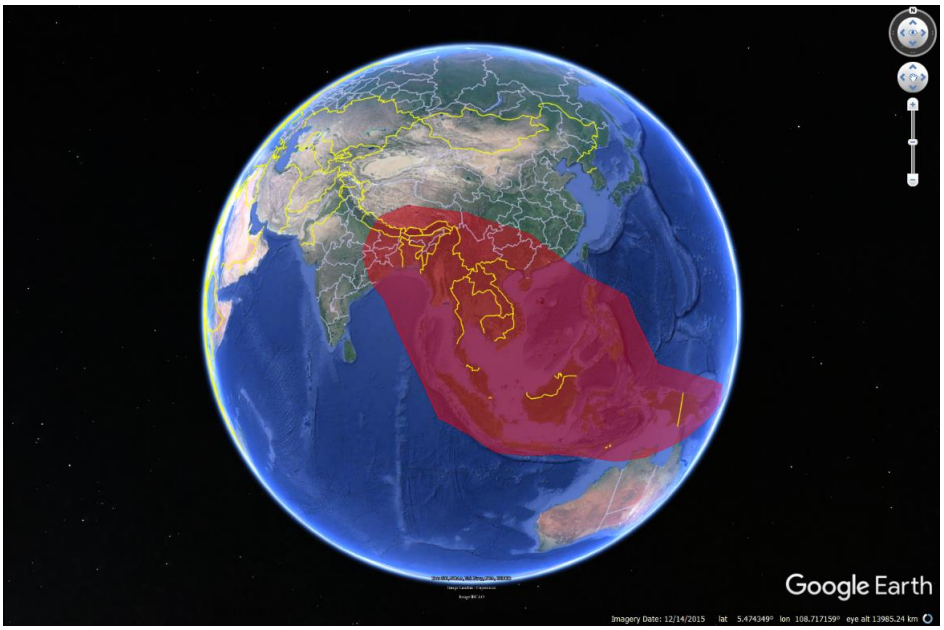
```
            <name>thaicom6-1</name>
            <LookAt>
                  <longitude>119.6300037567031</longitude>
                  <latitude>11.01641983703994</latitude>
                  <altitude>0</altitude>
                  <heading>2.542009251783365</heading>
                  <tilt>0</tilt>
                  <range>7683002.296817446</range>
                  <gx:altitudeMode>
relativeToSeaFloor</gx:altitudeMode>
            </LookAt>
            <styleUrl>#msn_ylw-pushpin</styleUrl>
            <Polygon>
                  <tessellate>1</tessellate>
                  <outerBoundaryIs>
                        <LinearRing>
                              <coordinates>

      88.61749012836283,31.88159802277619,0
83.74999065728332,29.84547692991161,0
82.17694133799439,26.78019594135139,0
81.47781304989248,23.74545823051756,0
83.62766338040642,19.22647928383861,0
86.49788387153126,16.3137007483398,0
88.89612576504634,11.89091771793644,0
92.94717565337892,4.203370028328556,0
95.76772505060876,-2.197922812826426,0
100.5763667428605,-4.956971226016874,0
105.016429845741,-8.323460181934474,0
109.9832320211262,-9.046452286731501,0
115.0281953644748,-9.326248218261908,0
120.6061673354805,-10.5465045508914,0
127.2821259035888,-12.82366446107019,0
134.2320810431133,-13.55323022887287,0
139.9794254259284,-13.21204853717133,0
146.0892514297313,-12.75993146765942,0
153.2159392776987,-11.29181357054707,0
163.0902721881614,-10.64689137396681,0
160.7686584031204,-6.706825182851889,0
133.9106711662381,3.985680592246027,0
129.440735801812,12.19595376671702,0
128.0736670355078,16.19411575038,0
119.1771322626393,20.84958212648752,0
111.1213904004826,27.19045194179399,0
99.64080999660851,30.7725107001619,0
88.61749012836283,31.88159802277619,0
                              </coordinates>
                        </LinearRing>
                  </outerBoundaryIs>
            </Polygon>
      </Placemark>
</Document>
</kml>
```

2

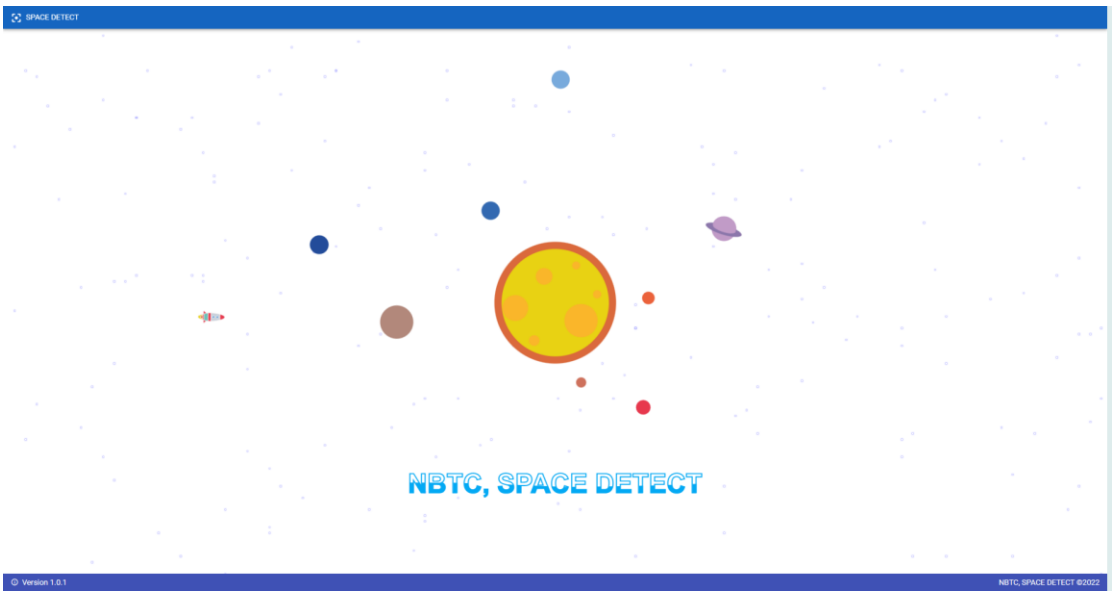
**ภาพที่ 15** แสดงตัวอย่างโค้ดนามสกุล .KML ที่ใช้ในการจัดทำ Footprint ดาวเทียม THAICOM 6 (C-band Southeast Asia Beam)



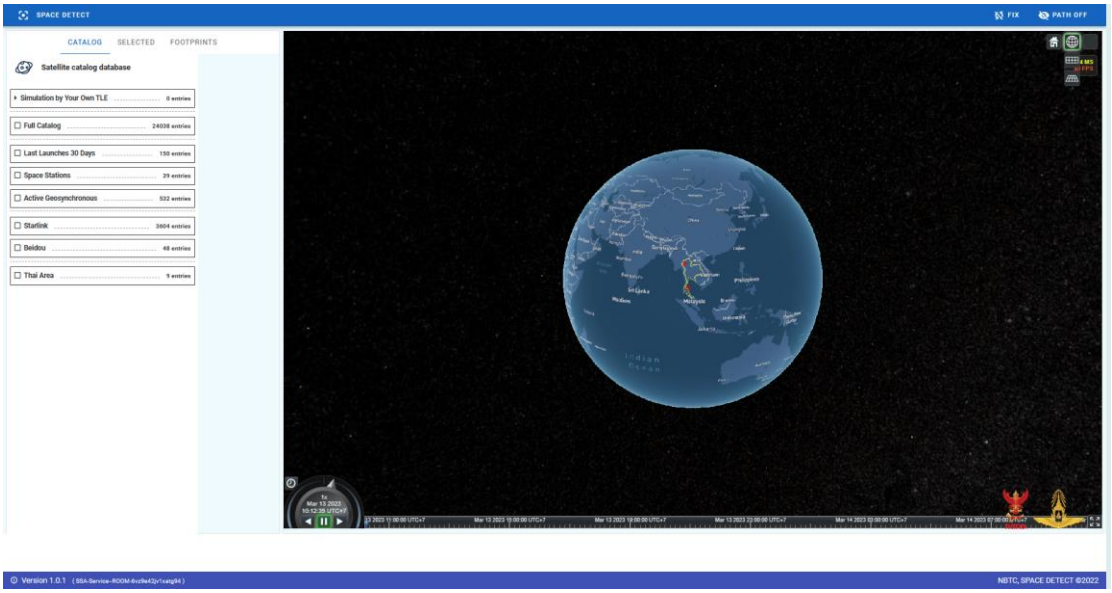

**ภาพที่ 16** แสดง Footprint ดาวเทียม THAICOM 6 (C-band Southeast Asia Beam)



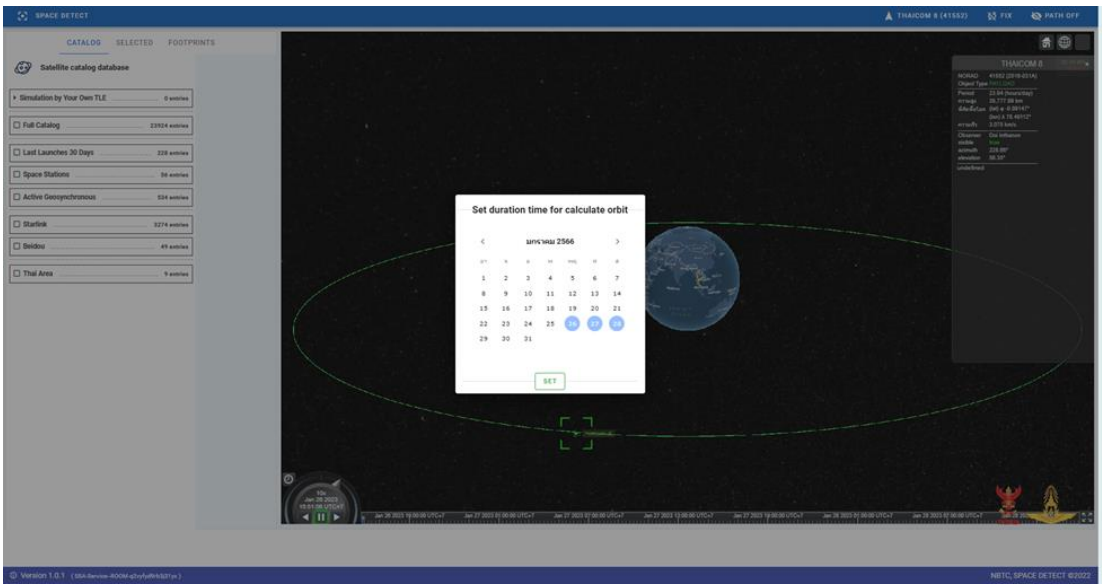

**ภาพที่ 17** แสดง Footprint ดาวเทียม THAICOM 6 จากโค้ดต้นแบบนามสกุล .KML



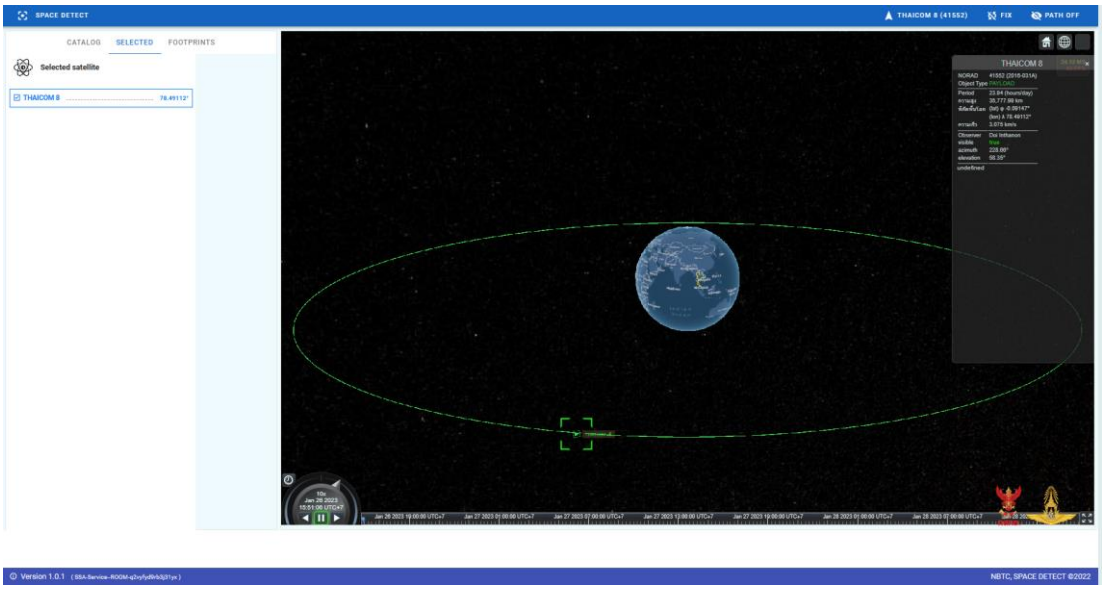

**ภาพที่ 18** แสดงการเข้าสู่ระบบโปรแกรมต้นแบบ




**ภาพที่ 19** แสดงรายละเอียด Catalog ดาวเทียมของโปรแกรมต้นแบบ




**ภาพที่ 20** แสดงรายละเอียดการเลือกวันที่ในการทำนายตำแหน่งวงโคจร

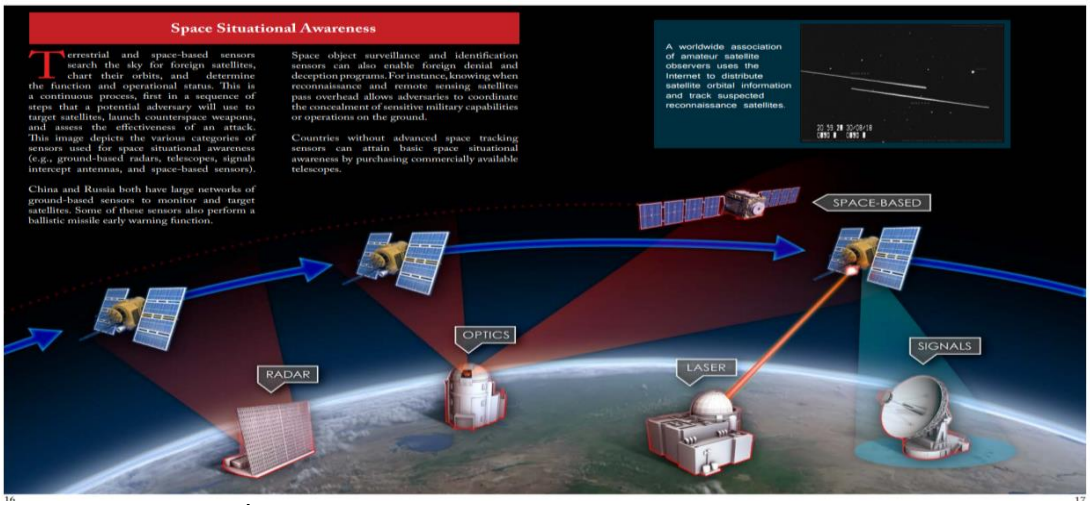



**ภาพที่ 21** แสดงตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมไทยคม 8

**การวิจารณ์ผล**

ส่วนสำคัญในการจำลองวงโคจรวัตถุอวกาศในโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ (NBTC,SPACE DETECT) เกิดจากการนำข้อมูล TLE ที่ได้จากระบบติดตามวัตถุอวกาศจากทั่วโลกของประเทศสหรัฐฯ ซึ่งความแม่นยำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบตรวจจับวัตถุอวกาศ เช่น กล้องโทรทรรศน์, เรดาร์, ระบบติดตามสัญญาณ

(Signal Sensor), เลเซอร์, ดาวเทียมติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ (Space-Base) ซึ่งโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ (NBTC,SPACE DETECT) จะไม่สามารถจำลองวงโคจรได้เลยถ้าขาดข้อมูล TLE หรือการจำลองวงโคจรเพื่อพยากรณ์วงโคจรวัตถุอวกาศที่อาจจะผิดพลาดหรือไม่แม่นยำ ก็สามารถเกิดขึ้นได้จากข้อมูล TLE ที่ได้จากระบบตรวจจับวัตถุอวกาศของประเทศสหรัฐฯ การที่จะทำให้การพยากรณ์วงโคจรที่จะเกิดความแม่นยำได้นั้นต้องอาศัยข้อมูล TLE ที่ถูกต้องและทันสมัยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้




**ภาพที่ 2**2 แสดงระบบเฝ้าระวังทางอวกาศของประเทศสหรัฐฯ [5]

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

## สรุปผลการวิจัย

โครงการโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ (NBTC,SPACE DETECT) เป็นการศึกษากระบวนการทางดาราศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ในการศึกษาทรงกลมท้องฟ้า, การหาทิศในอวกาศตามตำแหน่งดวงดาว, วงโคจรดาวเทียมที่เคลื่อนที่อยู่รอบโลกตามหลักแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน และกฎของเคปเลอร์ในเรื่องความเร็วในวงโคจรของดาวเคราะห์มิใช่ค่าคงที่ ดาวเคราะห์เคลื่อนที่เร็วขึ้นเมื่อเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ และเคลื่อนที่ช้าลงเมื่อออกห่างจากดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการอธิบายวงโคจรแบบ HEO โดยหลักวิชาการเหล่านี้จะสามารถใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุอวกาศต่าง ๆ ร่วมกับการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการแสดงผลด้วยการนำแพลตฟอร์ม Open Source ที่ชื่อว่า Cesium ใช้ในการแสดงผลภาพในลักษณะ 2D และ 3D ทั้งนี้เว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการทางอวกาศหลาย ๆ เว็บไซต์ได้นำ Cesium มาประยุกต์ใช้ในการแสดงผลเช่นกัน อาทิ https://celestrak.com/ และการดึงข้อมูล Two Line Element (TLE) ซึ่งข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานเฝ้าระวังทางอวกาศของประเทศสหรัฐฯ ผ่านระบบติดตามวัตถุอวกาศในแบบต่าง ๆ เช่น กล้องโทรทรรศน์, เรดาร์, ระบบติดตามสัญญาณดาวเทียม, ระบบติดตามวัตถุอวกาศด้วยเลเซอร์ และกล้องโทรทรรศน์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม ซึ่งประเทศไทยเรามีเพียงกล้องโทรทรรศน์ ใช้ในการติดตามดาวเทียมเพียงชนิดเดียว ทำให้เกิดข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองวงโคจรดาวเทียม(TLE) ที่แม่นยำ ทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองวงโคจรดาวเทียมในโครงการโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศ (NBTC,SPACE DETECT) มีเพียงข้อมูลที่ได้รับจากระบบเฝ้าระวังทางอวกาศของประเทศสหรัฐฯ เพื่อนำมาเป็นแบบจำลองวงโคจรของวัตถุอวกาศ ถือเป็นต้นแบบในการพัฒนาวิจัยเชิงทดลองของโครงการโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งของวัตถุในอวกาศนี้

## ข้อเสนอแนะ

ข้อมูล TLE ถือเป็นหัวใจสำคัญในการการวิเคราะห์ และพยากรณ์วงโคจรวัตถุอวกาศ ในกรณีที่ประเทศสหรัฐฯ ไม่ติดตามหรือสร้างแบบจำลอง TLE ให้กับประเทศไทยอาจจะเกิดปัญหาในการใช้งานโปรแกรมนี้ ดังนั้นเพื่อให้ประเทศไทยมีขีดความสามารถในการเฝ้าระวังทางอวกาศบนพื้นฐานของการพึ่งพาตนเอง ควรจัดให้มีระบบเฝ้าระวังทางอวกาศของประเทศไทยเองให้เพียงพอต่อการรองรับ Space Economy ตามนโยบายของภาครัฐ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถระบบเฝ้าระวังของไทยให้มีความพร้อมในการรับมือกับภัยคุกคามรูปแบบใหม่ที่อาจจะมาจากอวกาศได้อย่างทันท่วงที ตลอดจน

การหาพันธมิตรจากฝั่งประเทศจีน เพื่อเป็นการสร้างสมดุลในเวทีโลกและเป็นการตรวจสอบข้อมูลให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องครบถ้วนต่อไป

## บรรณานุกรม

[1] กองกิจการอวกาศ ศวอ.ทอ.. (2562). โครงการความมั่นคงร่วมด้านกิจการอวกาศระหว่างประเทศในกลุ่มอาเซียน สำนักงานอาเซียนกองทัพอากาศ ปี 2562(เอกสารรายงานผลการติดตาม). ม.ป.ท.

[2] ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, from http://www.lesa.biz/space-technology/satellite/tle/

[3] Anil K. Maini and Varsha Agrawal (2010). Satellite Communications.[Kindle iPad]. Retrieved from http://www.amazon.com

[4] CelesTrak, from https://celestrak.org/

[5] Competing in Space, from https://media.defense.gov/2019/Jan/16/2002080386/-1/-1/1/190115-FNV711-0002.PDF

# ภาคผนวก ก
# [คู่มือการใช้งานระบบ (User Manual สำหรับผู้ใช้งานโปรแกรมประยุกต์ SPACE DETECT)]

(เนื้อหาภาคผนวก)

คู่มือการใช้งานระบบ (User Manual)

สำหรับผู้ใช้งาน

โปรแกรมประยุกต์ SPACE DETECT

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)