

# วิศวกรรมดาวเทียม

## 1. บทนำ

มนุษย์มีความสนใจเรื่องของอวกาศมาเป็นเวลาหลายพันปี เริ่มตั้งแต่การศึกษาด้านอิทธิพลของดวงดาวที่มีต่อชีวิตมนุษย์ โดยศาสตร์ดังกล่าวถูกเรียกว่าโหราศาสตร์ (Astrology) [1] และในต่อมาก็ได้มีการศึกษาที่เป็นวิทยาศาสตร์มากขึ้น โดยเป็นการศึกษาเรื่องของดวงดาวในจักรวาล เช่น ตำแหน่งดวงดาวบนท้องฟ้า วงโคจรของวัตถุหรือดวงดาว เป็นต้น โดยศาสตร์ดังกล่าวถูกเรียกว่าดาราศาสตร์ (Astronomy) แม้ในระยะแรกจะมีอิทธิพลทางศาสนาเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความเข้าใจผิดพลาด ในกรณีของความเชื่อที่ว่าโลกเป็นจุดศูนย์กลางของจักรวาล แต่จากผลการศึกษาในช่วงเวลาต่อมาทำให้ความเข้าใจเรื่องของจักรวาลมีความถูกต้องขึ้น ในขณะที่เดียวกันมนุษย์ก็มีความใฝ่ฝันที่จะเดินทางขึ้นสู่อวกาศอยู่ตลอดเวลา และมีข้อจำกัดก็คือยานพาหนะที่จะสามารถพามนุษย์ขึ้นสู่อวกาศ จนกระทั่งนักคณิตศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ Konstantin Tsiolkovsky ได้ตีพิมพ์ผลงานการออกแบบจรวดในปี ค.ศ.1903 ว่าด้วยการเดินทางสู่อวกาศต้องใช้เชื้อจรวดเพลิงเหลวและได้มีการศึกษาเรื่องจรวดเชื้อเพลิงเหลวนี่จนสามารถเดินทางขึ้นสู่อวกาศได้เช่นในปัจจุบัน

ประวัติศาสตร์การเข้าสู่อวกาศของมนุษย์เริ่มต้นตั้งแต่การส่งดาวเทียมชื่อ Sputnik ของรัสเซียขึ้นไปโคจรรอบโลกได้เป็นดวงแรกเมื่อปี ค.ศ. 1957 แม้ดาวเทียมดวงแรกจะมีความสามารถไม่มากนักและมีเวลาโคจรรอบโลกเพียงสามเดือนก่อนตกลงมา แต่ก็ถือเป็นจุดเริ่มต้นของประวัติศาสตร์มนุษย์ในการเข้าสู่อวกาศ ดาวเทียมในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่สูงขึ้น และนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง

ประเทศไทยเริ่มต้นเข้าสู่กิจการด้านอวกาศในเรื่องการใช้ประโยชน์ [2] นับตั้งแต่ปี พ.ศ.2509 โดยเข้าเป็นสมาชิกขององค์การ Intelsat เพื่อใช้เป็นระบบโทรศัพท์และสื่อสารข้อมูลระหว่างประเทศ ต่อมาได้เข้าเป็นสมาชิกขององค์การ Inmarsat เพื่อให้บริการสื่อสารแบบเคลื่อนที่ผ่านดาวเทียมทั้งบนบก บนน้ำและบนอากาศ และต่อมาประเทศไทยโดยกระทรวงคมนาคมได้ให้สัมปทานบริษัทเอกชนเพื่อจัดหาดาวเทียมให้บริการด้านการสื่อสารในประเทศ และเมื่อมีช่องสัญญาณเหลือก็สามารถให้บริการแก่ประเทศอื่นได้ โดยรู้จักกันในชื่อของดาวเทียมไทยคม จนถึงปัจจุบันนี้มีการส่งดาวเทียมไปแล้ว 5 ดวง โดยยังให้บริการอยู่ 4 ดวง

ในการใช้ประโยชน์ดาวเทียมเพื่อการถ่ายภาพ ประเทศไทยเริ่มใช้ดาวเทียมในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติตั้งแต่ปี พ.ศ.2514 โดยร่วมมือกับองค์การ NASA ในโครงการ Earth Resource Technology Satellite (ERTS) ในการรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม และต่อมาได้ขยายการรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียมของประเทศต่างๆ เช่น อินเดีย ฝรั่งเศส เป็นต้น

ในด้านการพัฒนาเทคโนโลยีดาวเทียมของไทยนั้น [3] เริ่มต้นจากโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ด้วยการส่งอาจารย์ของมหาวิทยาลัยฯ 11 คน และวิศวกรของบริษัท ยูไนเต็ด คอมมิวนิเคชัน (UCOM) 1 คน รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยเรียนรู้พื้นฐานการออกแบบดาวเทียม การสร้างและการ ทดสอบดาวเทียม จากมหาวิทยาลัยเซอร์เรย์ ประเทศอังกฤษ เมื่อเดือนเมษายน 2539 และได้ทำการสร้างดาวเทียมเพื่อใช้งานจริงชื่อ TMSAT (Thai Micro-Satellite) เสร็จสิ้นเมื่อเดือนเมษายน 2540 นับเป็นดาวเทียมดวงแรกที่ออกแบบและสร้างโดยคนไทย

ดาวเทียม TMSAT ที่สร้างขึ้นถูกปล่อยเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ.2541 ด้วยจรวด Zenith-II จากฐานยิงเมือง Baikonur ประเทศ Kazakhstan และดาวเทียมดวงนี้ได้รับพระราชทานชื่อจากสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ.2541 ว่า “ไทพัฒ” ประโยชน์ของดาวเทียมดวงนี้เพื่อการถ่ายภาพและการสื่อสารแบบ Store and Forward ในปี พ.ศ.2546 กระทรวงวิทยาศาสตร์ได้ดำเนินโครงการดาวเทียมขนาดเล็ก Thailand Earth Observation System (THEOS) เพื่อซื้อดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติจากประเทศฝรั่งเศส มีกำหนดส่งเข้าสู่วงโคจรในปลายปี พ.ศ.2550

นอกจากโครงการข้างต้นแล้ว กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารได้เข้าร่วมกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีนวิจัยระบบสื่อสารย่าน Ka-Band ในโครงการ Small Multi-Mission Satellite (SMMS) ซึ่งคาดว่าจะส่งเข้าสู่วงโคจรในราวปี พ.ศ.2551

การที่ประเทศต่างๆ พยายามพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศก็เนื่องมาจากสามารถใช้ประโยชน์จากอวกาศในด้านต่างๆ และในอวกาศมีทรัพยากรอยู่มาก แต่ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่า ในระยะยาวแล้วหากพึ่งพาการซื้อเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียวก็จะทำให้ไม่สามารถแข่งขันในการเข้าสู่อวกาศได้เนื่องจากทุกระบบที่เกี่ยวข้องจะมีราคาแพงมาก อีกทั้งต้องจัดซื้อจัดหาตลอดเวลา ดังนั้นจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นเองเพื่อทำให้ต้นทุนลดลงเหลือเพียงหนึ่งในสาม ดังที่หลายประเทศ อาทิเช่น จีน และ เกาหลีใต้ ที่ได้ดำเนินการพัฒนาเทคโนโลยีด้านอวกาศขึ้นเองในห้วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา และ นำเทคโนโลยีดังกล่าวสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมากในการส่งดาวเทียม (จีน) และสร้างดาวเทียม(เกาหลีใต้) ให้กับประเทศต่างๆ

## 2. ระบบดาวเทียม (Satellite Systems)

ระบบดาวเทียม [4] ประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ (Segment) สองส่วน คือ

### 2.1 ส่วนภาคพื้นดิน (Ground Segment)

ส่วนนี้ทำงานอยู่บนพื้นโลก หรือในชั้นบรรยากาศโลก มีหน้าที่หลักในการสื่อสารและควบคุมการทำงานของดาวเทียม ส่วนภาคพื้นดินนี้อาจจะเป็นสถานีขนาดใหญ่แบบอยู่กับที่ หรือสถานีขนาดเล็กที่เคลื่อนที่ได้ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้งานติดต่อกับดาวเทียม เช่น เครื่องรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านดาวเทียม หรือรถถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังรวมถึงฐานส่งจรวดปล่อยดาวเทียม

## 2.2 ส่วนอวกาศ (Space Segment)

ส่วนนี้คือดาวเทียมที่ทำงานอยู่ในอวกาศ ดาวเทียมจะถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์การใช้งานที่ต่างกันไป เช่น ใช้เพื่อการสื่อสาร หรือเพื่อถ่ายภาพทรัพยากรธรรมชาติ หรือเพื่อการนำร่อง (Navigation) เป็นต้น แม้ว่าดาวเทียมแต่ละดวงที่ถูกสร้างขึ้นจะมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไป แต่เราสามารถแบ่งระบบออกได้เป็นสององค์ประกอบ (Element) ได้แก่

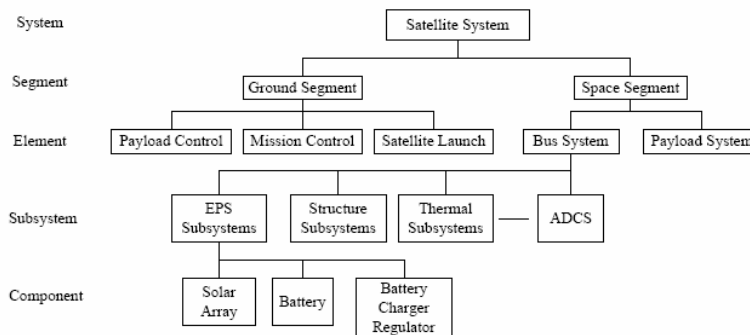
### 2.2.1 ระบบบัส (Bus Systems)

ระบบบัสเป็นระบบที่จำเป็นสำหรับการทำงานของดาวเทียมที่ดาวเทียมทุกดวงจะต้องมี เพื่อให้ดาวเทียมสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันพื้นฐาน อาทิเช่น การสื่อสารติดต่อกับสถานีภาคพื้นดิน การควบคุมการทรงตัวและวงโคจรของดาวเทียม การควบคุมอุณหภูมิภายในดาวเทียม การจัดการข้อมูลที่ได้รับส่งเชื่อมโยกับระบบย่อยต่างๆ ภายในดาวเทียม เป็นต้น โดยที่ดาวเทียมแต่ละดวงอาจจะมีระบบย่อยไม่ครบทั้งหมด หรือเทคโนโลยีที่ใช้อาจจะแตกต่างกันก็ตาม นอกจากนี้ บัสจะต้องสนับสนุนการทำงานให้กับอุปกรณ์หรือระบบที่เป็นเพย์โหลดหรือระบบน้ำหนักบรรทุก

ระบบย่อย (Subsystem) ของระบบบัสได้แก่ ระบบพลังงาน (Power system) ระบบคอมพิวเตอร์ (Computer system) ระบบ TT&C (Telemetry & Telecommand) ระบบ ADCS (Attitude Determination and Control System) ระบบสื่อสาร (Communication System) เป็นต้น

### 2.2.2 ระบบน้ำหนักบรรทุก (Payload System)

ระบบน้ำหนักบรรทุกเป็นระบบที่มีการทำงานเฉพาะตามวัตถุประสงค์ที่ดาวเทียมได้ถูกออกแบบมา เช่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ จะมีระบบกล้องถ่ายภาพ (Camera System) ดาวเทียมสื่อสารจะมีระบบสื่อสาร (Communication System) หรือดาวเทียมนำร่องจะต้องมีระบบนาฬิกาอะตอมซีเซียม (Cesium Atomic Clock) เป็นต้น



รูปที่ 1 ลำดับชั้นของระบบดาวเทียม

การออกแบบแต่ละระบบย่อยของส่วนอวกาศจำเป็นต้องมีความเข้าใจสภาพแวดล้อมของการทำงานในอวกาศ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีอากาศ และไม่มีสนามแม่เหล็กของโลกคอยป้องกันอนุภาคที่วิ่งด้วยความเร็วสูงมากระทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ ดังนั้นการออกแบบนี้จึงเป็นการออกแบบในระดับอุปกรณ์ (Component) ลำดับชั้นของระบบดาวเทียมแสดงในรูปที่ 1

## 3. วงโคจร (Orbit)

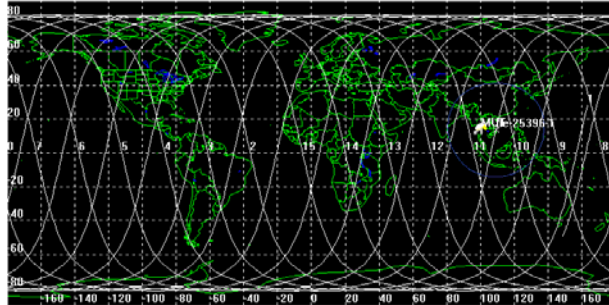
ในปัจจุบันนี้จุดแบ่งระหว่างชั้นบรรยากาศกับอวกาศไม่มีการกำหนดไว้อย่างชัดเจน แม้ United Nations Office for Outer Space Affairs ได้จัดให้มีการลงนามในสนธิสัญญา (Treaty) ระหว่างประเทศที่ระบุถึงสิทธิและหน้าที่ของการดำเนินกิจกรรมในอวกาศก็ไม่ได้มีการกำหนดบริเวณอวกาศไว้ให้ชัดเจน [5][6] ดาวเทียมโคจรอยู่ที่ความสูงต่างๆ กัน ขึ้นกับวัตถุประสงค์การใช้งาน และการที่ดาวเทียมอยู่ที่ความสูงต่างกันนี้ยังทำให้สภาพแวดล้อมแตกต่างกันทำให้การออกแบบดาวเทียมมีข้อที่ต้องนำมาพิจารณาแตกต่างกัน โคจรดาวเทียมซึ่งแบ่งตามความสูงได้เป็น 3 แบบ มีดังนี้

### 3.1 วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit, LEO)

วงโคจรแบบนี้จะอยู่ระหว่างชั้นบรรยากาศกับ Van Allen radiation ซึ่งไม่มีการกำหนดความสูงที่แน่นอน แต่ดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรนี้จะอยู่สูงจากผิวโลกต่ำกว่า 2,000 กิโลเมตร ดาวเทียมในวงโคจรระดับต่ำที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันยังแบ่งออกเป็นแบบเฉพาะดังนี้

### 3.1.1 วงโคจรผ่านขั้วโลก (Polar Orbit)

ดาวเทียมในวงโคจรนี้จะมีการโคจรในระนาบที่ผ่านขั้วโลกเหนือและใต้ ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับการถ่ายภาพด้วยดาวเทียม เนื่องจากขณะที่ดาวเทียมโคจรจากขั้วโลกหนึ่งไปยังอีกขั้วโลกหนึ่งนั้น โลกก็จะหมุนรอบตัวเองด้วย ทำให้ดาวเทียมสามารถโคจรผ่านทุกพื้นที่ของโลกจึงมักใช้เป็นวงโคจรสำหรับดาวเทียมถ่ายภาพ



รูปที่ 2 แสดงเส้นทางโคจรใน 1 วันของดาวเทียมไทฟัลที่มีวงโคจรแบบสัมพันธ์กับดาวอาทิตย์

### 3.1.2 วงโคจรระนาบเอียง (Inclined Orbit)

ดาวเทียมในวงโคจรนี้จะมีการโคจรในระนาบที่ทำมุมกับระนาบของเส้นศูนย์สูตรมากกว่า 0 องศาไปจนถึง 180 องศา แต่ไม่รวมวงโคจรผ่านขั้วโลก ซึ่งจะทำให้สามารถโคจรผ่านพื้นที่ต่างๆ ได้เกือบครอบคลุมทั่วโลกเช่นเดียวกับวงโคจรผ่านขั้วโลก ถ้าระนาบการโคจรทำมุมกับระนาบเส้นศูนย์สูตรและสัมพันธ์กับความสูงแล้วทำให้ดาวเทียมผ่านบริเวณที่กำหนดเป็นเวลาดำเนินการทุกครั้งจะเรียกว่าวงโคจรสัมพันธ์กับดาวอาทิตย์ (Sun Synchronous Orbit) ดังแสดงในรูปที่ 2

### 3.2 วงโคจรระดับกลาง (Medium Earth Orbit, MEO)

วงโคจรระดับกลางเป็นวงโคจรของดาวเทียมที่มีความสูงอยู่ระหว่างวงโคจรระดับต่ำ (LEO) และ วงโคจรค้างฟ้า (GEO) โดยวงโคจรของดาวเทียมในระดับนี้จะมีย่านวงโคจรที่เอียงทำมุมกับระนาบเส้นผ่านศูนย์กลางโลก ดาวเทียมในวงโคจรนี้ได้แก่ ดาวเทียมสื่อสาร ดาวเทียมระบบนำร่อง เป็นต้น

### 3.3 วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit, GEO)

วงโคจรค้างฟ้าเป็นวงโคจรเหนือเส้นศูนย์สูตร มีความสูง 35786.034 กิโลเมตรเหนือผิวโลก ได้แก่ดาวเทียมเพื่อการสื่อสาร และอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากดาวเทียมในวงโคจรนี้มีประโยชน์ทางด้านธุรกิจมาก แต่มีตำแหน่งที่จำกัด ดังนั้นเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วจะต้องถูกขับดันให้ไปอยู่ที่ความสูงขึ้นไปอีก 300-400 กิโลเมตร เรียกบริเวณนี้ว่าวงโคจรสุสานดาวเทียม (Graveyard Orbit)

ดาวเทียมที่โคจรอยู่รอบโลกจะมีตำแหน่งที่อ้างอิงกับโลกเปลี่ยนไปตลอดเวลา ดังนั้นสถานีภาคพื้นดินจำเป็นต้องทราบตำแหน่งของดาวเทียมเพื่อที่สามารถสื่อสารกับดาวเทียม จึงมีการวิจัยเพื่อสร้างแบบจำลองที่ใช้คำนวณหาตำแหน่งดาวเทียม โดยแบ่งดาวเทียมออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่มีคาบเวลาโคจรรอบโลกน้อยกว่า 225 นาทีเรียกว่ากลุ่มดาวเทียมใกล้โลก (Near-Earth Satellite) ใช้แบบจำลอง SGP (Simplified General Perturbations), SGP4 หรือ SGP8 และกลุ่มดาวเทียมที่มีคาบเวลาโคจรมากกว่า 225 นาที เรียกว่ากลุ่มดาวเทียมอวกาศส่วนนอก (Deep Space Satellite) ใช้แบบจำลอง SDP4 (Simplified Deep Perturbations 4) และ SDP8 โดยในปัจจุบัน NORAD North American Aerospace Defense Command (NORAD) ได้ติดตามวัตถุที่มนุษย์ส่งขึ้นสู่อวกาศและประกาศพารามิเตอร์ (Parameter) สำหรับแบบจำลอง SPG4 และ SDP4 เป็นข้อมูลสองบรรทัดในรูปแบบเรียกว่า Two Line Element (TLE) Format ความหมายของข้อมูลแต่ละคอลัมน์อธิบายไว้ใน [7] ตัวอย่างในรูปที่ 3 เป็นข้อมูลของดาวเทียมไทฟัล TMSAT

```
1 25396U 98043C 07225.74731988 +.00000122 +00000-0 +71717-4 0 08858
2 25396 098.4223 274.6600 0003507 051.3198 308.8309 14.23737884472474
```

รูปที่ 3 พารามิเตอร์ในรูปแบบ Two Line Element สำหรับแบบจำลอง SPG4 ของดาวเทียมไทฟัล

## 4. การออกแบบดาวเทียม

ขั้นตอนการออกแบบดาวเทียมมีลำดับดังนี้

### 4.1 กำหนดความต้องการของระบบ (System Requirements)

ในการออกแบบดาวเทียมสำหรับโครงการต่างๆ จำเป็นต้องเริ่มต้นด้วยการกำหนดความต้องการเฉพาะของดาวเทียมดวงนั้นๆ เช่นความต้องการในการครอบคลุมพื้นที่ใด ความต้องการด้านคุณภาพของระบบถ่ายภาพ เป็นต้น นอกจากนี้จะต้องระบุเงื่อนไขบังคับ (Constraint) เช่นงบประมาณ ระยะเวลาการสร้างและใช้งาน หรือปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบทางด้านสังคม เป็นต้น

**4.2 ออกแบบเชิงแนวคิด (Conceptual Design)**

การออกแบบเชิงแนวคิดเป็นการนำเอาผลจากการกำหนดความต้องการของระบบในข้อ 4.1 มาทำการออกแบบดาวเทียมในเชิงแนวคิดว่าจะประกอบด้วยส่วนใดบ้าง การออกแบบจะมีทั้งที่เป็นระดับบน (Top Level) และระดับส่วนย่อย (Segment) โดยจะต้องพิจารณาภาวะถ่วงดุล (Tradeoff) ที่เกิดขึ้นระหว่างส่วนต่างๆ รวมถึงจรวดที่จะใช้ส่งดาวเทียม

**4.3 ออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design)**

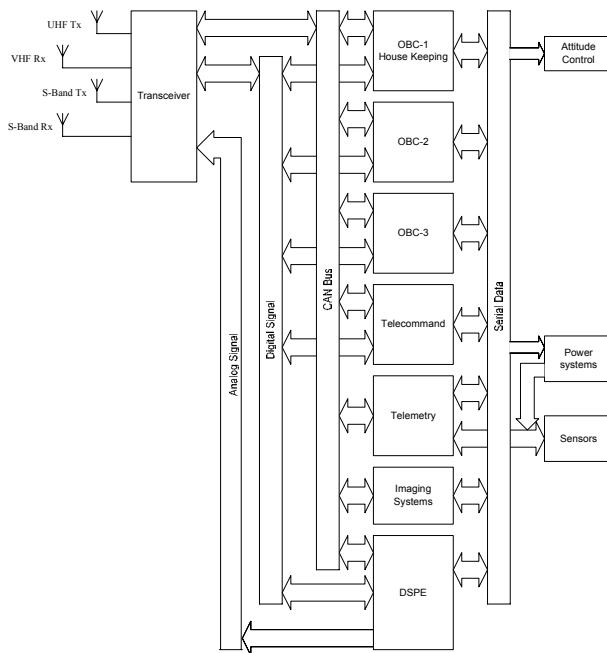
เมื่อได้ผลการออกแบบเชิงแนวคิดแล้วจะทำการออกแบบแต่ละระบบย่อยในเบื้องต้นทุกระบบ โดยเริ่มจากการกำหนดแผนภาพการเชื่อมโยงฟังก์ชันต่างๆ ในดาวเทียม กำหนดและแปลงความต้องการแต่ละส่วนให้เป็นข้อกำหนดเฉพาะทางฮาร์ดแวร์ และทำการศึกษาและปรับทางเทคนิคให้ทุกส่วนเข้ากันได้ สังเคราะห์การออกแบบขั้นต้นที่ออกแบบมาแล้วกำหนดการเชื่อมต่อระหว่างส่วนที่เหมาะสม เตรียมการจัดหาอุปกรณ์ วัสดุ และแผนการทำงาน

**4.4 ออกแบบรายละเอียด (Detailed Design)**

การออกแบบรายละเอียดเป็นขั้นตอนการออกแบบที่สมบูรณ์ตามที่กำหนด แผนการวิเคราะห์ทางโครงสร้างและอุณหภูมิ การสร้างและการประกอบ การทดสอบดาวเทียม รวมถึงแผนการควบคุมดาวเทียมเมื่อเข้าสู่วงโคจรแล้ว

**5. ดาวเทียมไทฟูน-2**

โครงการดาวเทียมไทฟูน-2 เป็นโครงการต่อเนื่องจากโครงการไทฟูน-1 วัตถุประสงค์ของโครงการก็เพื่อให้ประเทศไทยมีดาวเทียมที่สร้างขึ้นในประเทศไทยโดยคนไทย ดาวเทียมนี้จะมีเพย์โหลด ที่สำคัญคือ เพย์โหลดสำหรับการสื่อสารในย่าน S-Band เพื่อทดสอบการสื่อสารแบบ Wideband CDMA ด้วยความเร็ว 8 เมกะบิตต่อวินาที สำหรับใช้เป็นต้นแบบสำหรับโครงการ Third Generation Mobile Satellite ความรู้ที่ได้จากโครงการนี้จะมีประโยชน์ในการสร้างอุตสาหกรรมสำหรับอุปกรณ์ Ground Segment ของการสื่อสารดาวเทียมในอนาคต เพย์โหลดอีกระบบหนึ่งคือระบบถ่ายภาพแบบ Array CCD ความละเอียด 30 เมตร ในย่านแสงสี แดง เขียว และไกลอินฟราเรด ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับภาพจากดาวเทียมไทฟูน-1 อย่างมาก แผนภาพดาวเทียมไทฟูน-2 แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพดาวเทียมไทฟูน-2

ถ่ายภาพ เพื่อช่วยในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ แม้ว่าจะสามารถซื้อภาพจากดาวเทียมที่ให้บริการเชิงธุรกิจ แต่ก็จะถูกจำกัดในการจัดหาภาพถ่ายเมื่อเกิดความจำเป็น นอกจากนี้อวกาศยังเป็นบริเวณที่มนุษยชาติสามารถแสวงหาประโยชน์ได้ร่วมกันจึงจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นเองเพื่อให้ราคาถูกลง ต้นทุนในการพัฒนาดาวเทียมจะน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของดาวเทียมที่จัดซื้อ นอกจากนี้ยังสามารถนำเอาเทคโนโลยีที่พัฒนาสำหรับดาวเทียมมาผลิตเป็นอุตสาหกรรมที่มีประโยชน์บนโลกได้ ประเทศไทยเองมีบุคลากรที่มีความสามารถสร้างดาวเทียมขึ้นในประเทศเองแต่ยังขาดการจัดการ และการสนับสนุนให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นในประเทศ ซึ่งงบประมาณนี้ไม่สูงมาก อาจเริ่มต้นจากการสร้างดาวเทียมแบบ Engineering Model ซึ่งใช้อุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง จากนั้นก็สร้างดาวเทียมแบบ Qualification Model และ Flight Model ตามลำดับ โดยอาจเป็นความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยที่สนใจและมีความชำนาญในสาขาต่างๆ กัน เพื่อเสริมความสำเร็จของโครงการ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Jerry Jon Sellers, Understanding Space an Introduction to Astronautics, McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [2] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนากิจการอวกาศของประเทศ (พ.ศ. 2547 - 2557), กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2548.
- [3] S.Jantarang, "Thai-Putt : Thai Micro-Satellite for Engineering Education," Proc. AESEAP midterm conference 1999, Thailand.
- [4] B.Pattan, Satellite Systems Principles and Technologies, Van Nostrand Reinhold, Newyork, 1993.
- [5] A.S.Piradov, International Space Law, University Press of the Pacific, Honolulu, Hawaii, 2000.
- [6] B.Cheng, Studies in International Space Law, Clarendon Press, Oxford, 1997.
- [7] F.R. Hoots and R.L. Roehrich, "SPACETRACK REPORT NO. 3 Models for Propagation of NORAD Element Sets," <http://www.celestrak.com/>, Dec. 1980.