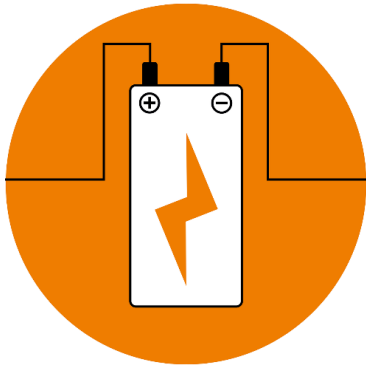
ความก้าวหน้าการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับด้านอวกาศ

การออกแบบระบบกักเก็บพลังงานในการใช้งานในดาวเทียม

30 กันยายน 2566



จิราวรรณ มงคลธนทรรศ

ทีมวิจัยเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงาน

กลุ่มวิจัยนวัตกรรมพลังงาน

ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ (ENTEC)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

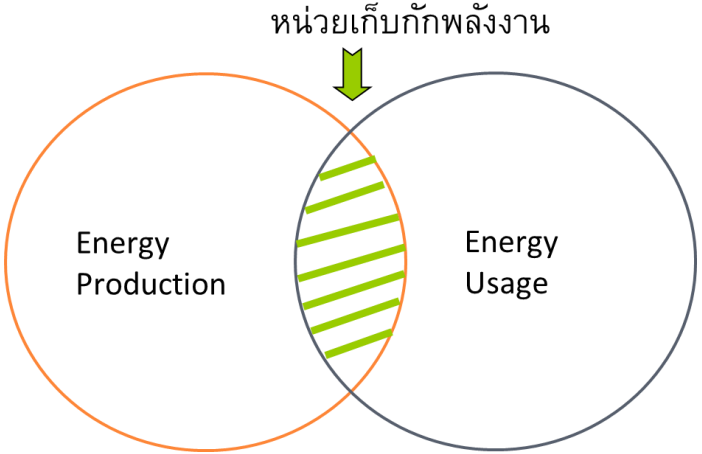
Outline

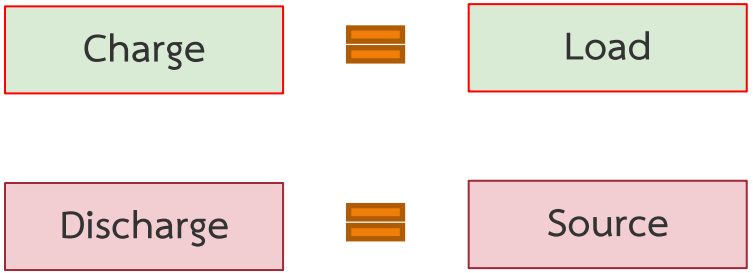
1. Introduction
2. การออกแบบระบบกักเก็บพลังงานสำหรับการใช้งานในดาวเทียม
    1. ขั้นตอนการออกแบบ
    2. ตัวอย่างการดำเนินการพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานสำหรับดาวเทียม

ระบบกักเก็บพลังงาน

Definition

- Energy storage System = แหล่งกักเก็บพลังงาน / แหล่งสะสมพลังงาน
- ระบบกักเก็บพลังงานหมายถึง ระบบที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานในรูปแบบอื่นเพื่อสะสมพลังงานไว้ และจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าได้เมื่อต้องการ

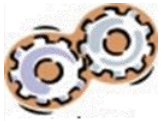
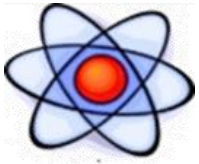
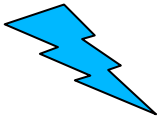




ระบบกักเก็บพลังงาน

By form of storage

Mechanical ES	Electrochemical ES	Electrical ES	Thermal ES
Pump Hydro	Battery	Supercapacitor	Superheated liquid
Compressed Air (CAES)	Electrochemical supercapacitor	Superconducting Magnet (SMES)	Phase changed mat.
Flywheel	Fuel Cell		Adiabatic CAES

All technologies have been around for ages. Some over 150 years!

Battery technologies

Overview & for space applications

1. Primary/ Non-rechargeable
   - zinc–carbon battery
   - alkaline battery
   - Lithium
   - Zinc-air

2. Secondary/ Rechargeable

Lead acid

Pb

Nickel Cadmium
Nickel Metal Hydride
} Ni-based

Ni-Cd Ni-MH

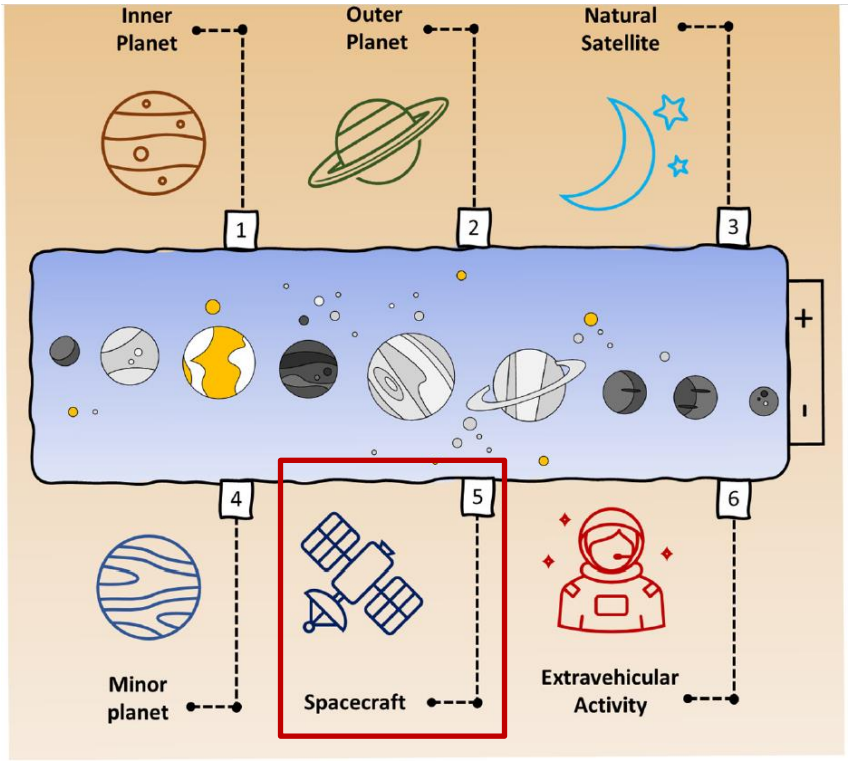
Sodium sulfur (NaS)
Sodium Nickel Chloride (NaNiCl)
} Na-based/ molten salt

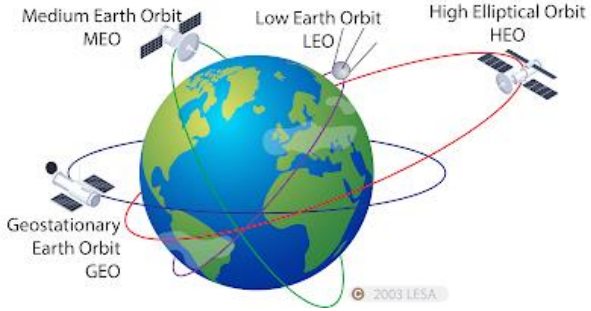
Li-ion

Li-ion

Vanadium redox Flow
Flow - Zn-Br
} Redox flow

Battery <-> Space applications





Battery parameters require for the LEO, GEO, and MEO missions [83].

Requirement	LEO	MEO	GEO
Lifetime (years)	2–15	Up to 18	Up to
Cycle per year	5500	90	180
Charge current (C-Rate)	0.33	0.07–0.1	0.05–0.1
Cycle depth-of-discharge (DOD)	10–40	60–80	60–80
Discharge current linked to cycle DOD (C-rate)	0.5–0.7	0.5–0.7	0.5–0.7
Temperature (°C)	0–40	10–30 eclipse season	10–30 eclipse season
		0–30 solstice periods	0–30 solstice periods
Resistance to radiation	Low	High (crossing/ proximity of Van Allen Belt)	High (crossing Van Allen belt)
Gravimetric energy density	Low	High	High

Anil D. Pathak, Shalakha Saha, Vikram Kishore Bharti, Mayur M. Gaikwad, Chandra Shekhar Sharma, A review on battery technology for space application, Journal of Energy Storage, Volume 61, 2023

http://www.lesa.biz/space-technology/satellite/orbits

Battery technologies

Overview & for space applications

1. Primary/ Non-rechargeable
   - zinc–carbon battery
   - alkaline battery
   - Lithium
   - Zinc-air

2. Secondary/ Rechargeable

Lead acid — Pb

- Nickel Cadmium
- Nickel Metal Hydride

→ Ni-based

Ni-Cd Ni-MH

- Sodium sulfur (NaS)
- Sodium Nickel Chloride (NaNiCl)

→ Na-based/ molten salt

- Li-ion

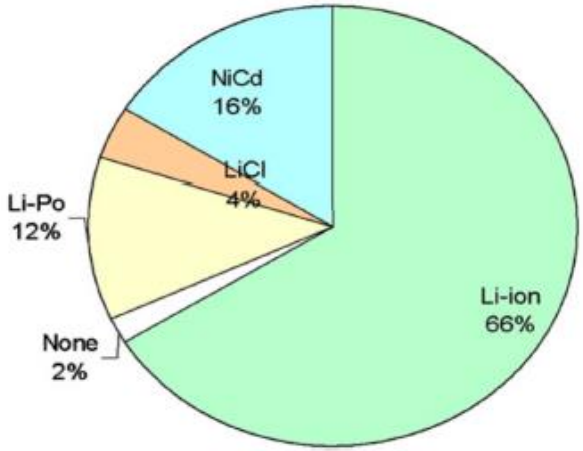
Li-ion

- Vanadium redox Flow
- Flow - Zn-Br

→ Redox flow

Battery technologies

for space applications



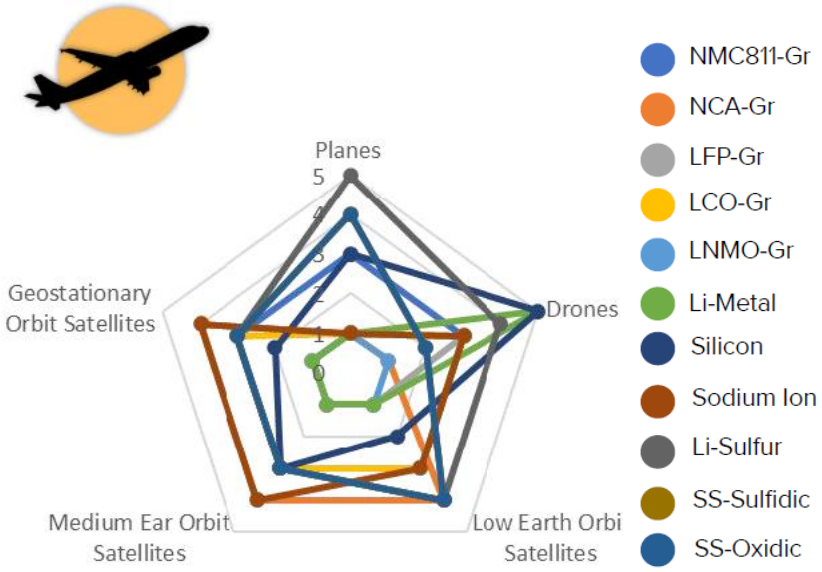
Planes
Wh/Kg > Rate > Safety/Reliability

Drones
Wh/Kg > Rate > Cost

Low Earth Orbit Satellites
Wh/kg > Cycle Life > Safety/ Reliability

Medium Earth Orbit Satellites
Cycle Life > Wh/kg > Safety / Reliability

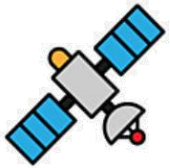
Geostationary Orbit Satellites
Cycle Life > Wh/kg > Safety / Reliability



Knap, V.; Vestergaard, L.K.; Stroe, D.-I. A Review of Battery Technology in CubeSats and Small Satellite Solutions. Energies 2020, 13, 4097. https://doi.org/10.3390/en13164097
Battery report 2020

ความท้าทายของการพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับดาวเทียม

1. ทนทานต่อการใช้งาน - การปล่อย



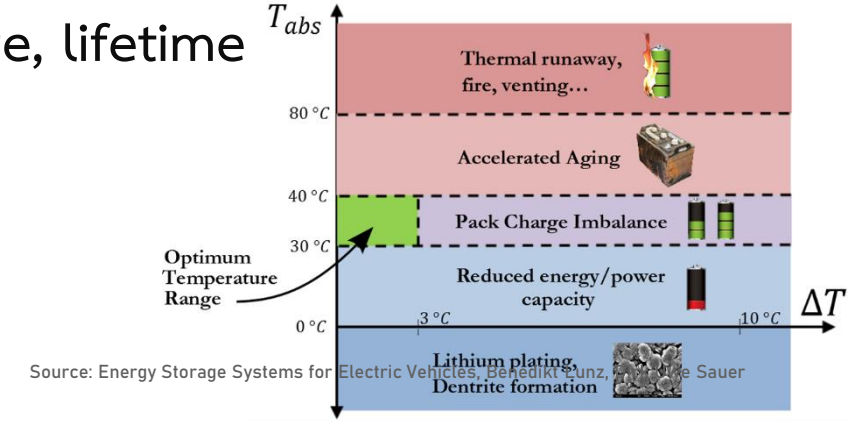
2. ทนทานต่อการใช้งาน - space environment

   extreme conditions of heat and cold (ex. อุณหภูมิระหว่าง -20°C ถึง 60 °C) and solar radiation

   สภาวะสุญญากาศ -> Thermal management & work without leaking or exploding

3. ลักษณะการใช้งาน: load, charge, lifetime

4. ความปลอดภัย
5. ความเชื่อถือได้ของระบบสูง
6. การจัดการหลังสิ้นอายุขัย



Source: Energy Storage Systems for Electric Vehicles, Benedikt Lunz, [illegible] Sauer

ระบบกักเก็บพลังงาน

หลักการออกแบบ

Charge = Load

Discharge = Source

PV

Wind

Diesel

Grid

etc.

Charge Energy ⇔ Discharge Energy

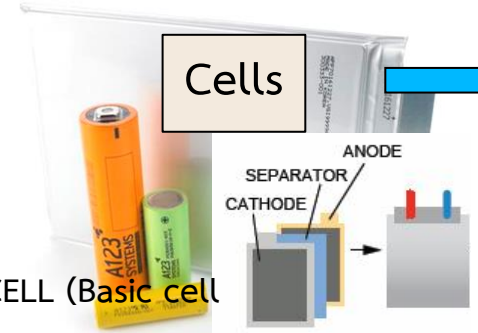
Charge Power ⇔ Discharge Power

Load

Grid

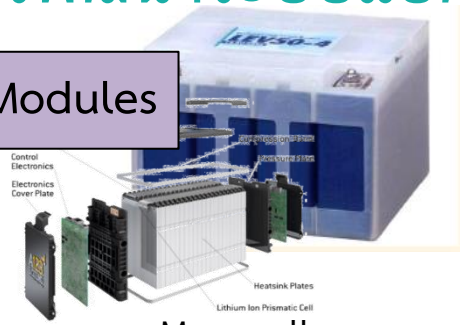
การพัฒนาระบบแบตเตอรี่

Cells



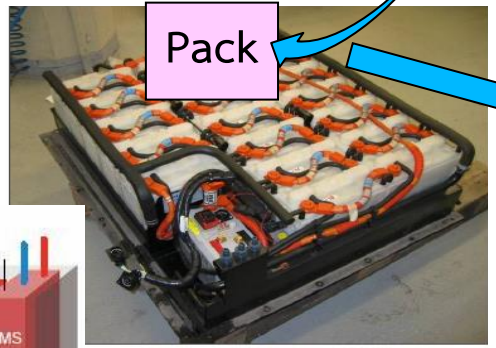
- MONO-CELL (Basic cell chemistry, Basic voltage level) OR
- CELL (Stack of (e.g.,20) mono cells connected in parallel)

Modules



Many cells
in series and/or parallel
with/without electronics devices

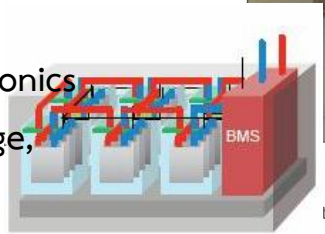
Pack



Battery system

Several battery packs in parallel => high energy

- Several modules OR
- Many cells with electronics devices => High voltage, High energy



http://energyskeptic.com/2015/electric-vehicle-overview/, Linden's handbook, Anderman 2011 batterytechnology, te, Energy storage system for electric vehicles: Battery types, System sizing, Design of battery systems, Benedikt Lunz, Dirk Uwe Sauer

ขั้นตอนการพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

1.) การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการใช้งาน

2.) การคัดเลือกเซลล์แบตเตอรี่

3.) การออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ ให้สามารถทำงานในสภาวะอวกาศได้ & Modelling

4.) การประกอบแพ็กแบตเตอรี่

5.) การทดสอบ performance and safety test

Battery parameters require for the LEO, GEO, and MEO missions [83].

Requirement	LEO	MEO	GEO
Lifetime (years)	2–15	Up to 18	Up to
Cycle per year	5500	90	180
Charge current (C-Rate)	0.33	0.07–0.1	0.05–0.1
Cycle depth-of-discharge (DOD)	10–40	60–80	60–80
Discharge current linked to cycle DOD (C-rate)	0.5–0.7	0.5–0.7	0.5–0.7
Temperature (°C)	0–40	10–30 eclipse season	10–30 eclipse season
		0–30 solstice periods	0–30 solstice periods
Resistance to radiation	Low	High (crossing/ proximity of Van Allen Belt)	High (crossing Van Allen belt)
Gravimetric energy density	Low	High	High

Anil D. Pathak, Shalakha Saha, Vikram Kishore Bharti, Mayur M. Gaikwad, Chandra Shekhar Sharma, A review on battery technology for space application, Journal of Energy Storage, Volume 61, 2023

การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

1.) การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการใช้งาน

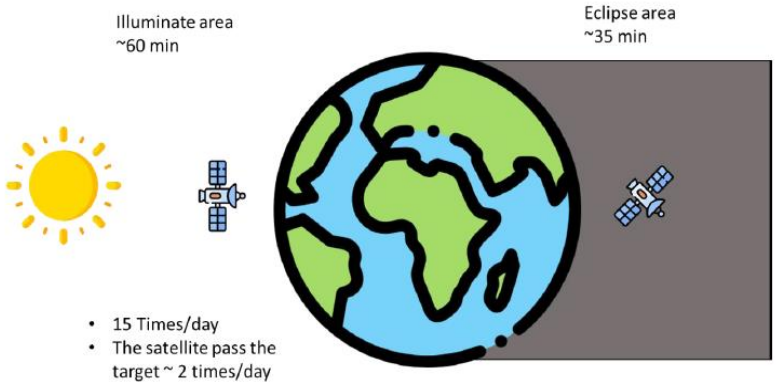


Figure 2. Periods of energy of the satellite orbit

- PV + Battery Li-ion -> แหล่งพลังงานหลัก ดาวเทียม

  Mode:

  1. Detumbling state (1 time only)
  2. Normal mission state
  3. No mission state

การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

1.) การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการใช้งาน

คุณสมบัติ	คุณสมบัติของแบตเตอรี่
1. คุณสมบัติทางกายภาพ	
1.1 ขนาดพื้นที่สูงสุดที่เป็นไปได้ของแพ็คแบตเตอรี่	250 x 200 x 80 cm3
1.2 น้ำหนักสูงสุดที่เป็นไปได้ของแพ็คแบตเตอรี่	ไม่เกิน 5 กิโลกรัม
2. คุณสมบัติทางไฟฟ้า	
2.1 ความจุของแพ็คแบตเตอรี่	อย่างน้อย 9 Ah
2.2 Nominal voltage	29.6 V
2.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะทำงาน (Operating Voltage)	แบตเตอรี่เป็นตัวกำหนดแรงดัน 29.6-32.9V
2.4 ความสามารถในการจ่ายกระแสปกติ	อย่างน้อย 1.68 A (หันเข้าสู่ดวงอาทิตย์ (ด้านมืด) 49.62W/29.6V เวลา 35 นาที)
2.5 ความสามารถในการจ่ายกระแสสูงสุด	อย่างน้อย 3.91 A (Mission ส่งข้อมูล 115.75W/29.6V เวลา 5 นาที)
2.6 คุณสมบัติในการชาร์จ	Charger cc 3A to 32.9V (ต่อ 3 module 8S1P) and CV จนกว่ากระแสที่ใช้ 0.3A

การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

1.) การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการใช้งาน

คุณสมบัติ	คุณสมบัติของแบตเตอรี่
3. คุณสมบัติ BMS และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง	
3.1 BMS target	To monitor battery parameters balance and protect the battery
3.2 BMS function	Monitor Balancing (Passive balancing), Protection (Overcharge, Underdischarge, Overcurrent, Over&Under Temperature), Communication (Data, Battery status, etc.)
3.3 การสื่อสาร	BMS slave(AFE) – BMS Master: I2C BMS Master – PMU: CAN
3.4 อื่นๆ	
4. คุณสมบัติ ทางกล และการระบายความร้อน	
4.1 Case	
4.2 การควบคุม	Heater, การวางตำแหน่ง, การควบคุม

การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

1.) การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการใช้งาน

คุณสมบัติ	คุณสมบัติของแบตเตอรี่
5. อื่น	
5.1 อายุการใช้งาน	อย่างน้อย 2-3 ปี
5.2 DoD	อย่างน้อย 20%
5.3 Redundant	Redundant 1 module
5.4 มาตรฐานการทดสอบเซลล์	Vacuum test, Random vibration, shock, tolerance (ไม่ได้ทดสอบใหม่ อ้างอิงผลการทดสอบเซลล์ตาม list NASA)
5.5 มาตรฐานการทดสอบแพ็ก	EMC, Vibration, Vacuum

การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

2.) การคัดเลือกเซลล์แบตเตอรี่

National Aeronautics and Space Administration

Table 3-3: Battery Product Table

Company	Product	Volumetric Energy Density [Wh L⁻¹]	Specific Energy [Wh kg⁻¹]	Typical Capacity [Ah]	Max Discharge Rate [A]	Cells Used	TRL	Citation
EaglePicher Technologies	NPD-002271	271	153.5	14.5	15	EaglePicher Li-ion	7-9	(39)
GomSpace	Nanopower BPX (4S-2P)	228.7	150	5.2	2.5	GomSpace NanoPower Li-ion	7-9	(42)
GomSpace	Nanopower BP4 (2S-2P)	211.9	149.2	5.2	2.5	GomSpace NanoPower Li-ion	7-9	(43)
AAC Clyde Space	Optimus-40	169.5	119	4.84	2.6	Clyde Space Li-Polymer	7-9	(44)
Ibeos	28V Modular Battery	151.1	109.8	9.82	20	*	N/A	(45)
Saft	VES16 4S1P	109.2	91	4.5	4.5 – Cont. 9 - Pulse	SAFT Li-ion	7-9	(46)
Vectronic Aerospace GmbH	VLB-X	101.96	74.6	12	10 – Cont. 20 - Pulse	SAFT Li-Ion	7-9	(47)
Berlin Space Technologies	BAT-110 Modular Battery (Nominal 3 strings)	69.73	57.75	7.5	3	Li-Fe	7-9	(48)

* Available with Inquiry to Manufacturer

No authorization supplier in Thailand

National Aeronautics and Space Administration

Table 3-4: Battery Cell Product Table

Company	Product	Volumetric Energy Density [Wh L⁻¹]	Specific Energy [Wh kg⁻¹]	Typical Capacity [Ah]	Max Discharge Rate [A]	Voltage Range [V]	Citation
Samsung	INR18650-35E	733	276	3.4	8	2.65 – 4.2	(49)
Sony/Murata	US18650VC7	735	269	3.5	8	2 – 4.2	(50)
Panasonic	NCR18650A	620	266	3.1	3.9	2.5 – 4.2	(51)
	NCR18650B	730	265	3.35	6.4	2.5 – 4.2	(52)
LG Chem	INR18650MJ1	720	266	3.5	10	2.5 – 4.2	(53)
	ICR18650M	631	222	2.8	2.5	3 – 4.2	(54)
E-one Moli	INR18650A	520	205	2.5	20	2 – 4.2	(60)
	ICP103450DA	478	193	2.15	2.5	3 – 4.2	(58)
	ICR18650J	517	187	2.37	5	2.5 – 4.2	(57)
	ICR18650H	496	182	2.2	5	3 – 4.2	(56)
	IHR18650C	425	160	2.05	20	2 – 4.2	(55)
EaglePicher Technologies	LP32975	285	114	12	96	3 – 4.1	(41)
	LP33330	263	105	6	24	3 – 4.1	(40)
	LP34100	165	70	5	500 – Cont. 2000 - Pulse	3 – 4.1	(38)

* Available with Inquiry to Manufacturer

Discontinued

Too low energy

No authorization supplier in Thailand

National Aeronautics and Space Administration

18650 Cells

18650 cylindrical cells (18 x 65 mm) have been an industry standard for lithium ion battery cells. Many manufacturers have staple high-performance 18650 cells, some of which have flown on multiple spacecraft and are documented in table 3-5 below.

Table 3-5: 18650 Cylindrical Cells

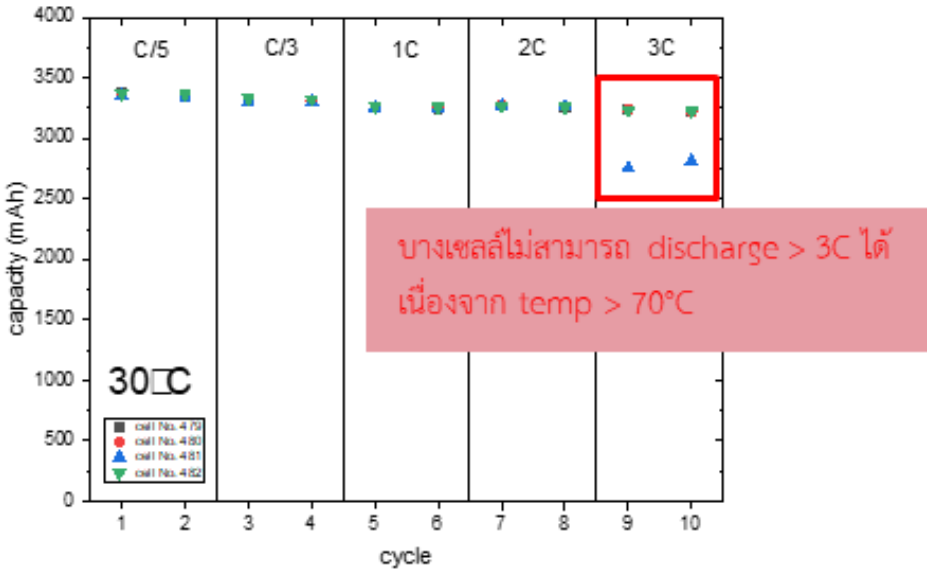
Cell	Specific Energy (Wh kg⁻¹)	Flight Heritage
LG ICR18650 B3 (2600 mAh)	191	NASA's PhoneSat spacecraft
Panasonic NCR18650B (3350 mAh)	243	N/A
Molicel ICR18650H (2200 mAh)	182	NASA's EDSN mission
Canon BP-930s (3000 mAh)	112	NASA's TechEdSat missions
Panasonic NCR18650GA (3450 mAh)	258	N/A
LG MJ1 (3500 mAh)	260	N/A

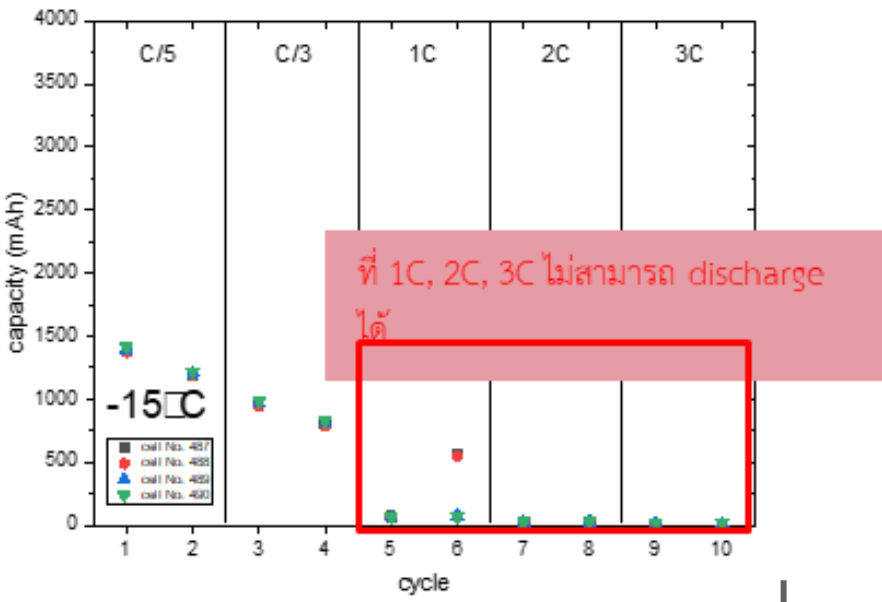
No authorization supplier in Thailand

Too low energy

การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

2.) การคัดเลือกเซลล์แบตเตอรี่





การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

3.) การออกแบบแพ็กแบตเตอรี่

3.)การออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ ให้สามารถทำงานในสภาวะอวกาศได้ & Modelling

Input1: กำหนด แรงดัน พลังงาน กำลังไฟฟ้า ที่ต้องการ

Input2: ระบุข้อกำหนด/ข้อจำกัด เช่น ขนาดพื้นที่, จำนวนพื้นที่, ฯลฯ

→ **Battery pack design**

Battery cell design

- Cell chemistry
- Cell type => Round cell, Pouch-bag cell, Prismatic cell

Mechanical architecture design

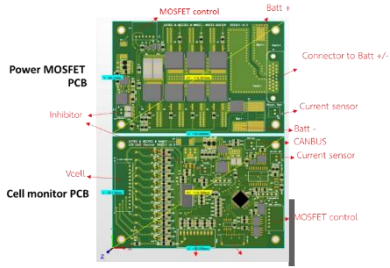
- Cell arrangement scheme: พื้นที่, ระยะห่าง การจัดวาง
- Cooling & heating
- Packing materials: สภาวะการใช้งาน (แรงกระแทก, ความชื้น และอื่นๆ), วัสดุ

Electronic architecture design

- Topology: Cell/Module/Pack connection schematic
- Battery management systems
- Cell connectors/connections: Bus-bar
- Protection: Switches, precharge and fuses

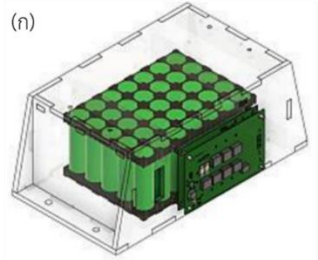
✓ ออกแบบการเชื่อมต่อแพ็กแบตเตอรี่ให้มีแรงดัน และความจุ เหมาะสม ครอบคลุมการทำงานในทุก mode

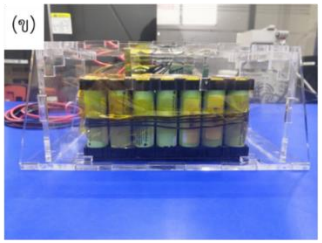
✓ BMS: hardware, software คำนึงถึงสภาวะการใช้งานในอวกาศ -> ระบบควบคุมบรรยากาศภายในดาวเทียมขัดข้อง -> อยู่ในภาวะสุญญากาศ -> BMS จะต้องทำงานโดยตลอด แม้ว่าอยู่ในสภาวะสุญญากาศก็ตาม

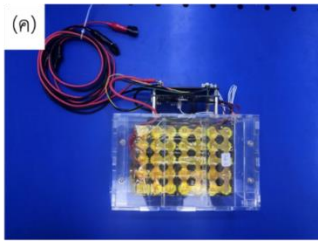


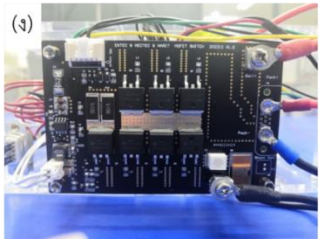
การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

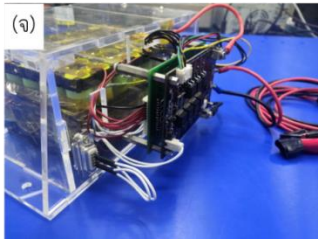
4.) การประกอบแพ็กแบตเตอรี่









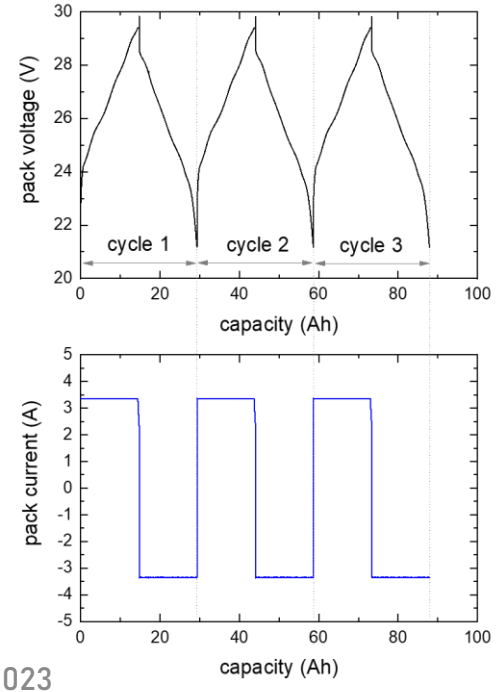


- ✓ BOM
- ✓ คู่มือการประกอบ

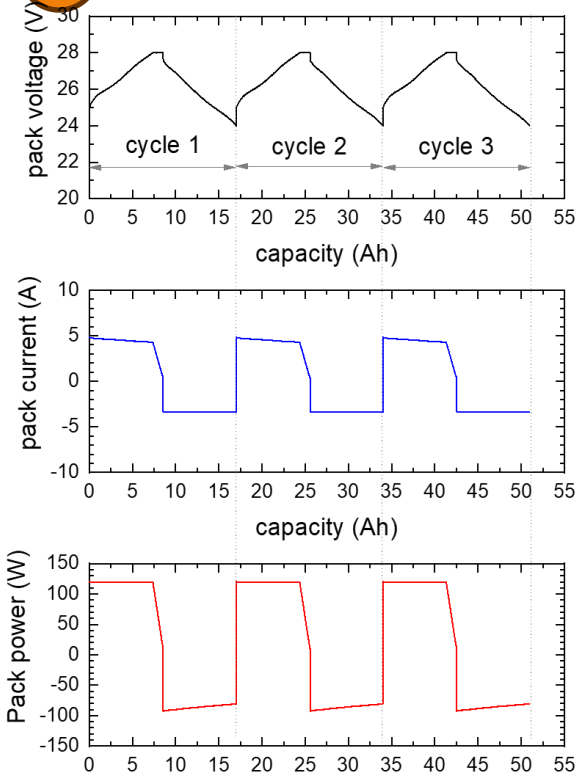
การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

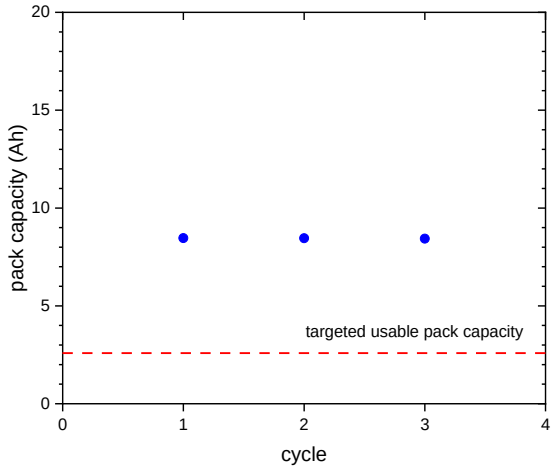
5.) การทดสอบ performance and safety test

1 Capacity test



2 Capacity test – limit DoD (Voltage)

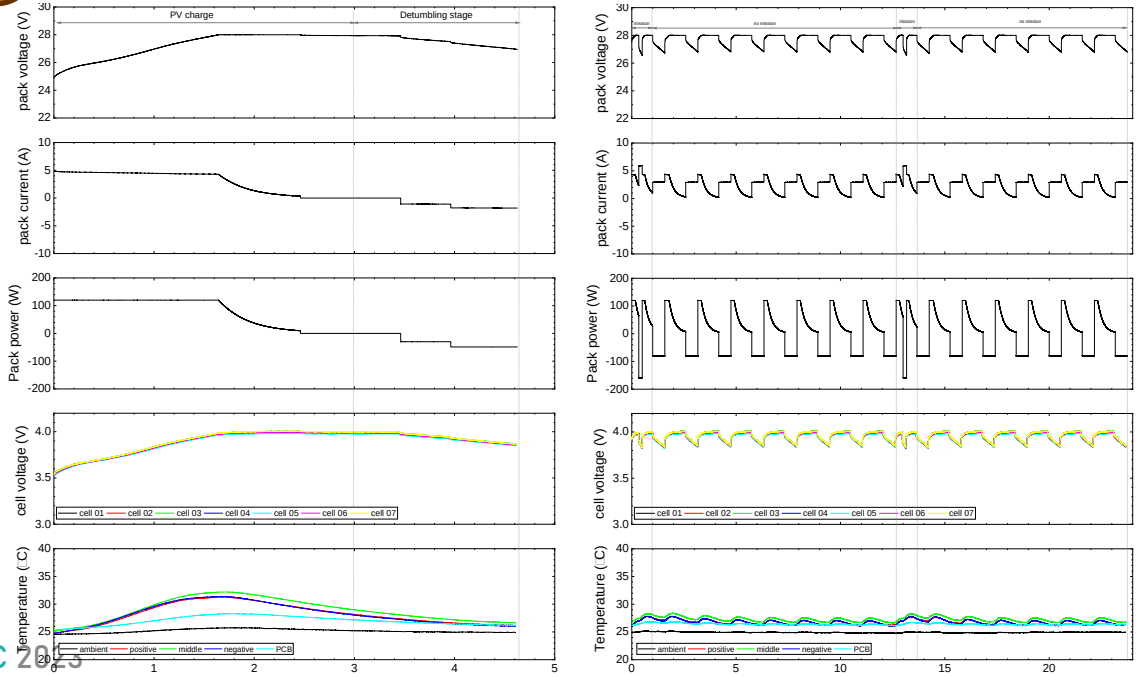




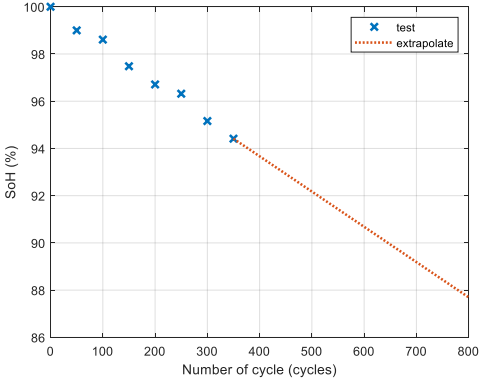
การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

5.) การทดสอบ performance and safety test

3 Capacity test – ตามจริง



4 Cycle life



การพัฒนาระบบแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในดาวเทียม

5.) การทดสอบ performance and safety test

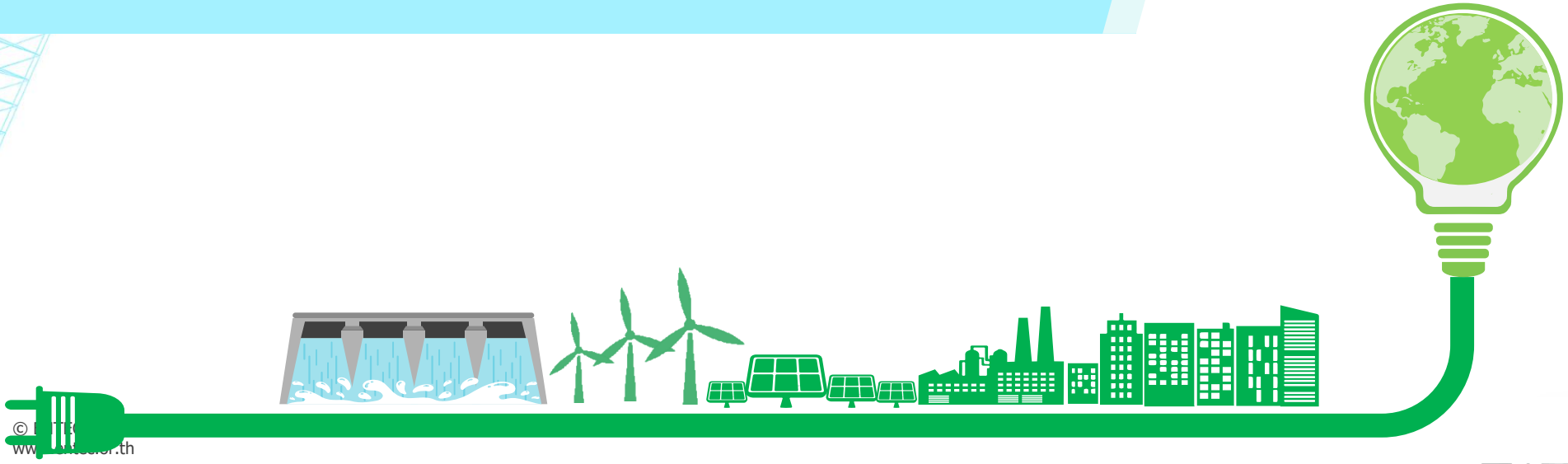
Test	Cell Level			Pack Level	
	Qualification	LAT	FAT	Qualification	FAT
Standard capacity and/or energy measurements	X	X	X	X	X
Internal resistance measurement	X	X	X	X	X
AC impedance measurement	X	X		X	
Self-discharge test	X	X		X	
Charge retention test				X	X
Cell rate capability	X	X			
Cell EMF measurement	X	X			
Battery magnetic moment measurement				X	
Battery corona test				X	
Low level sine vibration	X	X		X	X
High level sine vibration	X			X	
Random vibration	X	X		X	X
Shock	X	X		X	
Thermal vacuum	X	X		X	X
Leak	X	X		X	X
Hermeticity	X	X		X	X
Radiation	X				
Calendar	X				
Real time cycling	X			X	
Accelerated cycling	X			X	
Wear-out	X	X			
Overcharge	X	X		X	
Overdischarge	X	X		X	
Short-circuit	X	X		X	
Vent	X	X			
Burst	X	X			
Protective devices	X	X		X	
Balancing system	X		X	X	X

Knap, V.; Vestergaard, L.K.; Stroe, D.-I. A Review of Battery Technology in CubeSats and Small Satellite Solutions. Energies 2020, 13, 4097.

Conclusion

- เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานที่ใช้งานในดาวเทียม: แบตเตอรี่, Supercapacitor
- การออกแบบ ขึ้นกับ ลักษณะการใช้งาน
- ความท้าทาย
  - ทนทานต่อการใช้งาน – การปล่อย และ การใช้งาน - space environment
  - ลักษณะการใช้งาน: load, charge, lifetime
  - ความปลอดภัย
  - ความเชื่อถือได้ของระบบสูง
  - การจัดการหลังสิ้นอายุขัย

Thank You



© [illegible]
www.[illegible].or.th