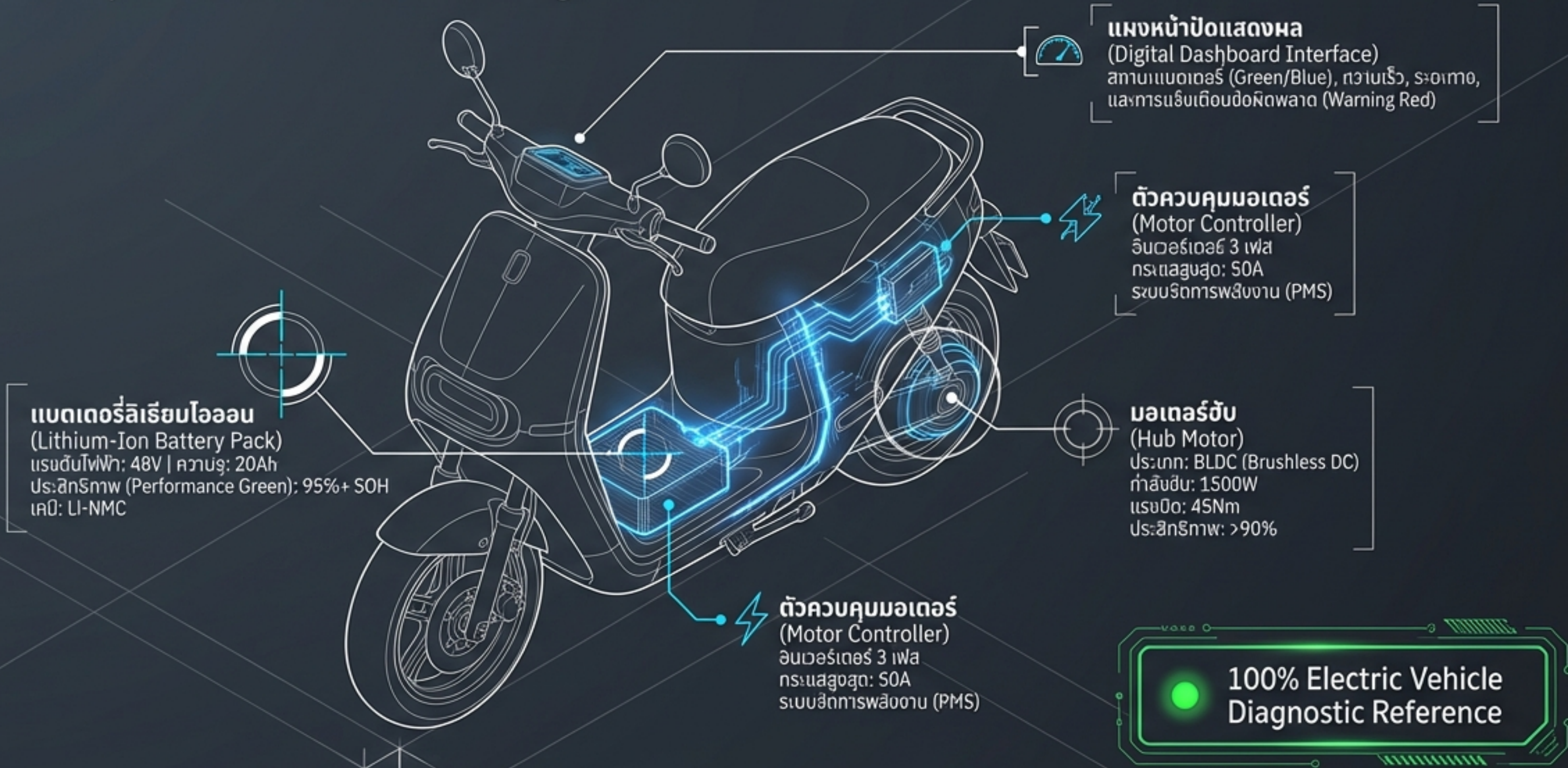


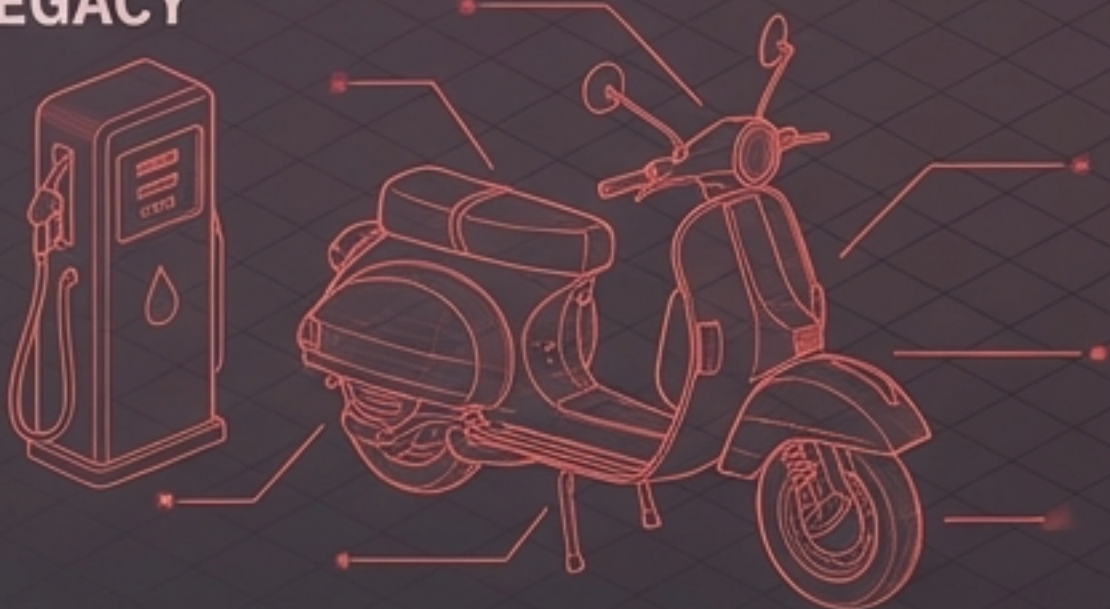
คู่มือวิศวกรรมและการซ่อมบำรุงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

กายวิภาคของระบบขับเคลื่อน แบตเตอรี่ และการคำนวณทางไฟฟ้า
(EV Anatomy, Battery Chemistries & Electrical Diagnostics)



การเปลี่ยนแปลงทางสถาปัตยกรรม: ยุคแห่งยานยนต์ไฟฟ้า (The EV Architecture Shift)

ICE - LEGACY



แหล่งพลังงาน (Power Source): สันดาปภายใน (น้ำมัน)

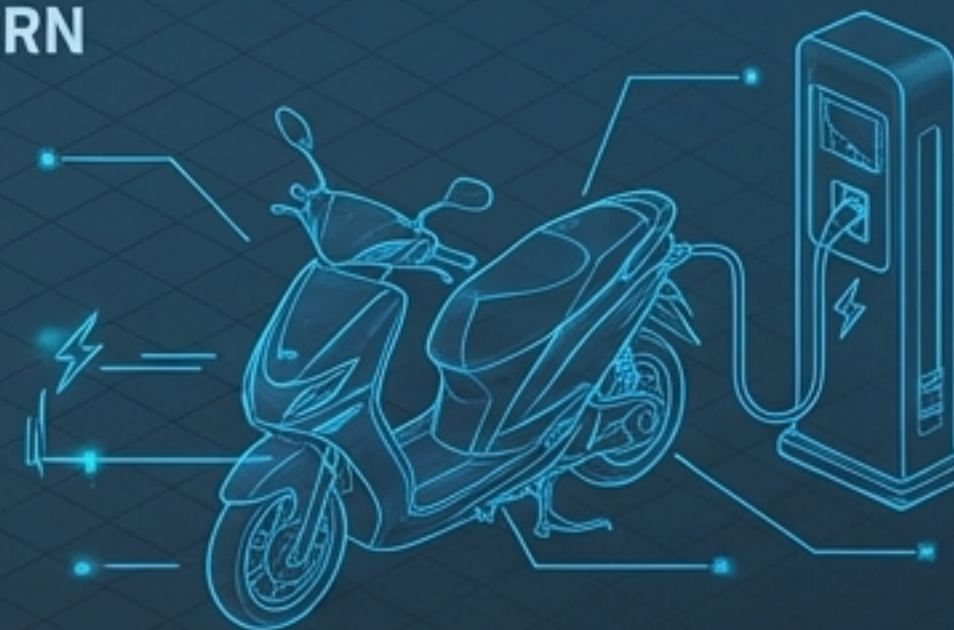
มลภาวะทางเสียง (Noise Pollution): สูง

ความร้อนสะสม (Heat Generation): มีชิ้นส่วนที่เกิดความร้อนสูง

การซ่อมบำรุง (Maintenance): ชิ้นส่วนกลไกเยอะ ค่าใช้จ่ายสูง

ต้นทุนพลังงาน (Energy Cost): ผันผวนตามราคาน้ำมัน

EV - MODERN



แหล่งพลังงาน (Power Source): มอเตอร์ไฟฟ้า (แบตเตอรี่)

มลภาวะทางเสียง (Noise Pollution): เจียบสนิท ปราศจากเสียงรบกวน

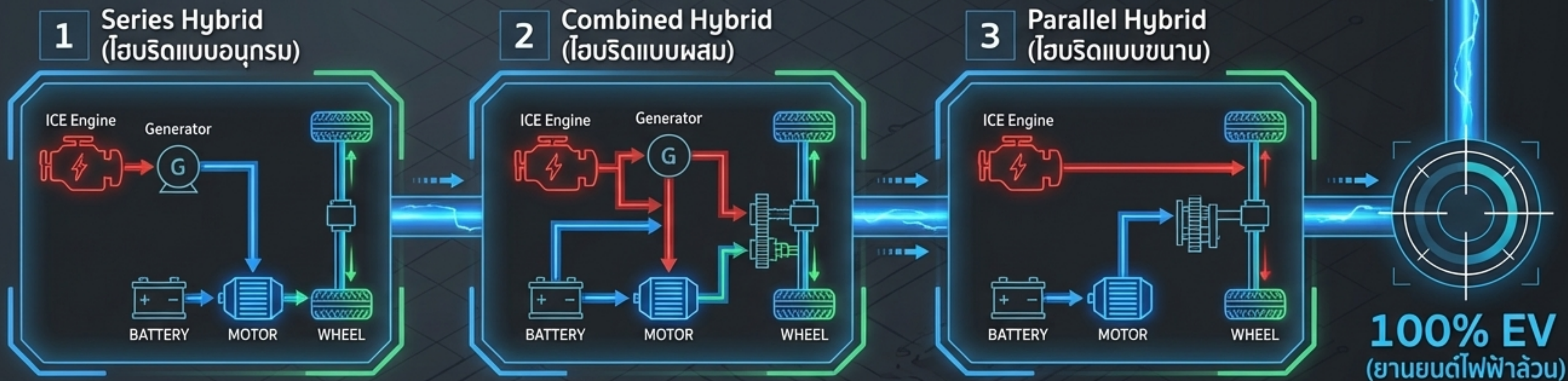
ความร้อนสะสม (Heat Generation): ไม่มีชิ้นส่วนที่ร้อนจัด

การซ่อมบำรุง (Maintenance): ชิ้นส่วนน้อยชิ้น ทนทาน ดูแลรักษาง่าย

ต้นทุนพลังงาน (Energy Cost): ประหยัดกว่า ชาร์จไฟบ้านได้

การขับเคลื่อนที่สมบูรณ์แบบ 100% ไร้มลพิษ ตอบสนองอัตราเร่งทันทีด้วยแรงบิดจากมอเตอร์ไฟฟ้า

ระบบไฮบริด: รอยต่อแห่งวิวัฒนาการขับเคลื่อน (The Hybrid Evolutionary Bridge)



● มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนหลัก 100% เครื่องยนต์ทำหน้าที่เพียง "ปั่นไฟ" (Generator) เข้าแบตเตอรี่

● ความเร็วต่ำใช้มอเตอร์เพียงอย่างเดียว ความเร็วสูงเครื่องยนต์และมอเตอร์ทำงานประสานกัน

● เครื่องยนต์เป็นกำลังหลักในการขับเคลื่อน และมีมอเตอร์เข้ามา "ช่วยเพิ่มกำลัง" (Motor Assist) ในขณะเร่งเครื่อง

กายวิภาคของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (Anatomy of an EV Motorcycle)

กล่องควบคุม (Controller)

สมองกลสั่งการ ควบคุมทิศทาง ความเร็ว แลแรงบิดไปยังมอเตอร์

เรือนไมล์ดิจิทัล (Digital Display)

แสดงความเร็ว ระดับแบตเตอรี่ และระยะทาง

แบตเตอรี่ (Lithium Battery)

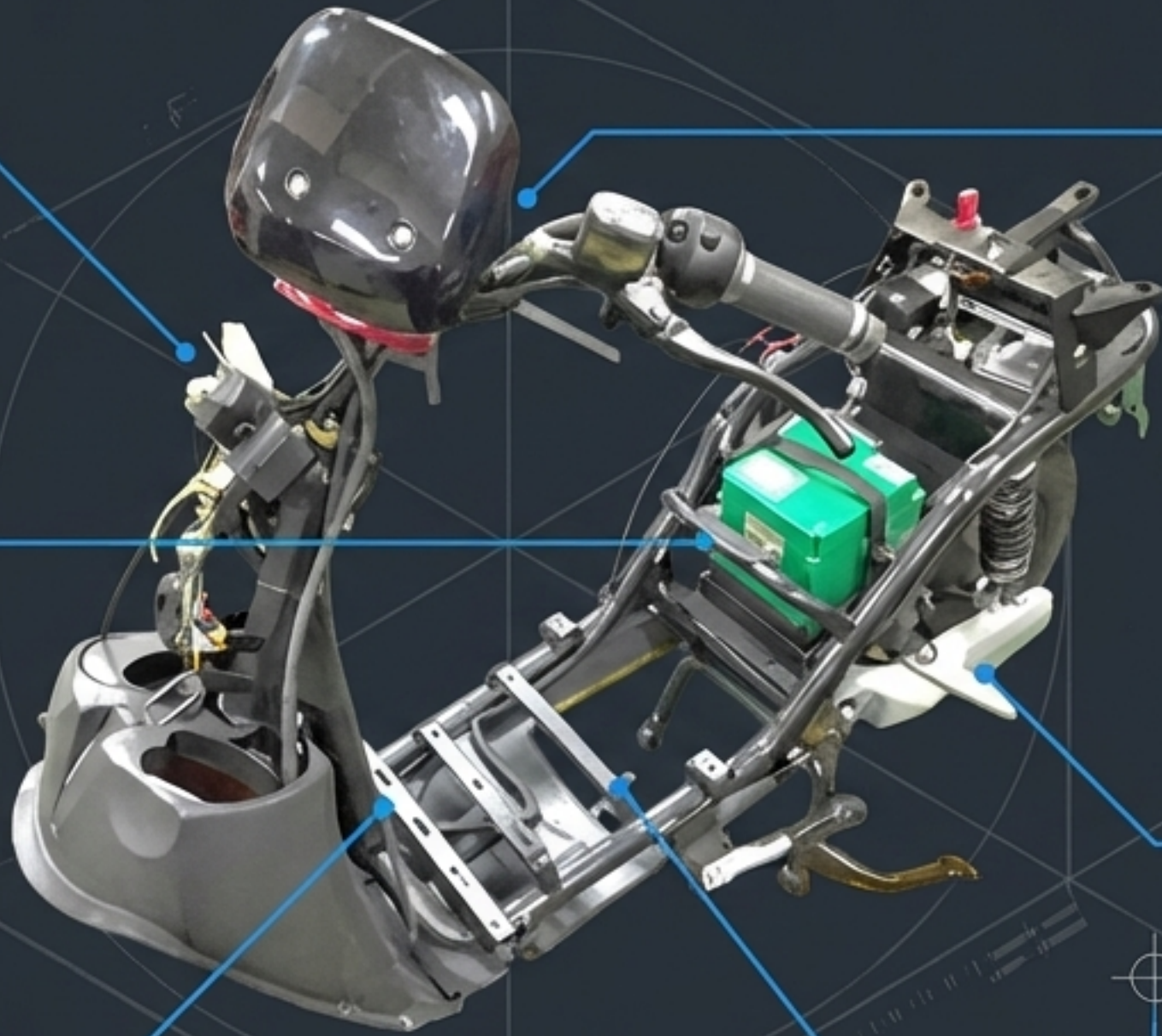
แหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จ่ายกระแสไฟฟ้าหลัก

ฮับมอเตอร์ (Hub Motor / Brushless DC)

มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ฝังอยู่ในดุมล้อ ทำงานด้วยขดลวด 3 เฟส และ Hall Sensor

กล่องลดแรงดัน (DC to DC Converter)

แปลงไฟแรงดันสูงจากแบตเตอรี่ให้เหลือ 12V สำหรับระบบไฟส่องสว่างและหน้าปัด



วิวัฒนาการแหล่งเก็บพลังงาน (The Battery Evolution)



1. แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-Acid):
เทคโนโลยีเก่า น้ำหนักมาก
ความหนาแน่นพลังงานต่ำ
ต้องดูแลรักษาบ่อยครั้ง

2. แบตเตอรี่นิกเกิล (Ni-Cd, Ni-MH, Ni-Zn):
เบากว่าตะกั่วกรด
นิยมในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
บางชนิดมีพิษ (แคดเมียม)
หรือมีปัญหา Memory Effect

3. แบตเตอรี่ลิเทียม (Lithium-ion):
[มาตรฐานปัจจุบัน]
น้ำหนักเบาที่สุด ความหนาแน่นพลังงาน
(Energy Density) สูงสุด
ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ จ่ายไฟแรง ชาร์จไว
และไม่ต้องบำรุงรักษา

พลังงาน ↑
ทนทาน ↑
อายุใช้งาน ↑

ลิเทียมไอออนให้ พลังงานมากกว่า
ทนทานกว่า อายุใช้งานยาวนานกว่า
ในน้ำหนักที่เบากว่าตะกั่วกรดหลายเท่า

รหัสลับทางเคมี: ประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียม (Decoding Lithium Chemistries)

NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt)



- จุดเด่น: ความจุพลังงานสูงมาก (High Energy Density)
- แรงดันเฉลี่ย: 3.6 - 3.7V
- การใช้งาน: ระบบขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้ากำลังสูง (Tesla, ไฮบริด)

LFP (Lithium Iron Phosphate – LiFePO₄)



- จุดเด่น: ความปลอดภัยสูงสุด ไม่ติดไฟ ทนความร้อนรอบการใช้งานสูง (1000+ รอบ)
- แรงดันเฉลี่ย: 3.2 - 3.3V
- การใช้งาน: นิยมมากในจักรยานยนต์ไฟฟ้าและ EV ทั่วไป

LCO (Lithium Cobalt Oxide)

- พลังงานสูงแต่ความปลอดภัยต่ำ (มือถือ, แล็ปท็อป)

LTO (Lithium Titanate)

- ชาร์จไวมาก ทนทานสูง แต่ความจุต่ำมาก แรงดันเพียง 2.3V

กลไกภายในเซลล์: Lithium Intercalation (Inside the Cell: The Ion Flow)

โครงสร้างหลัก (Core Structure):

- ขั้วลบ (Anode): คาร์บอน/แกรไฟต์เคลือบบนแผ่นทองแดง
- ขั้วบวก (Cathode): ลิเทียมเมทัลออกไซด์เคลือบบนแผ่นอลูมิเนียม
- เยื่อเลือกผ่าน (Separator): แผ่นฟิล์ม PP/PE คั่นกลาง ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร
- สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte): ของเหลวน้ำประจุ (LiPF_6)

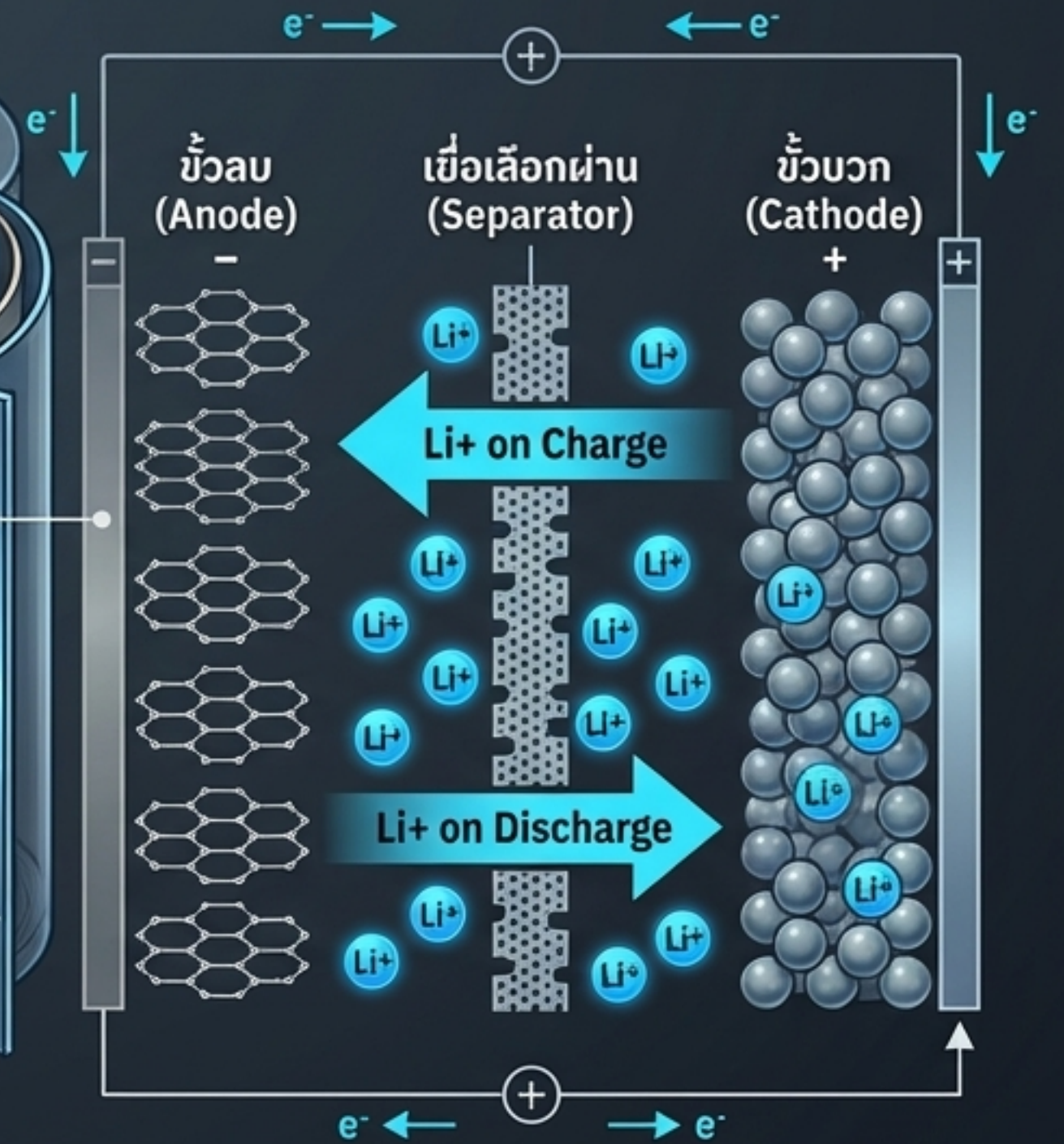


กระบวนการชาร์จ (Charge):

ไอออนลิเทียม (Li^+) เคลื่อนที่จาก ขั้วบวก \rightarrow ขั้วลบ
เข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างแกรไฟต์

กระบวนการคายประจุ (Discharge):

ไอออนลิเทียม
เคลื่อนที่กลับจาก ขั้วลบ \rightarrow ขั้วบวก เกิดการไหลของ
อิเล็กตรอนในวงจรภายนอก สร้างพลังงานขับเคลื่อนมอเตอร์



การทำลายความเชื่อผิดๆ: การนับจำนวนรอบ (Cycle Life Myth-Buster)



0.5 100%

0.5 Cycle

+



0.2 100%

0.2 Cycle

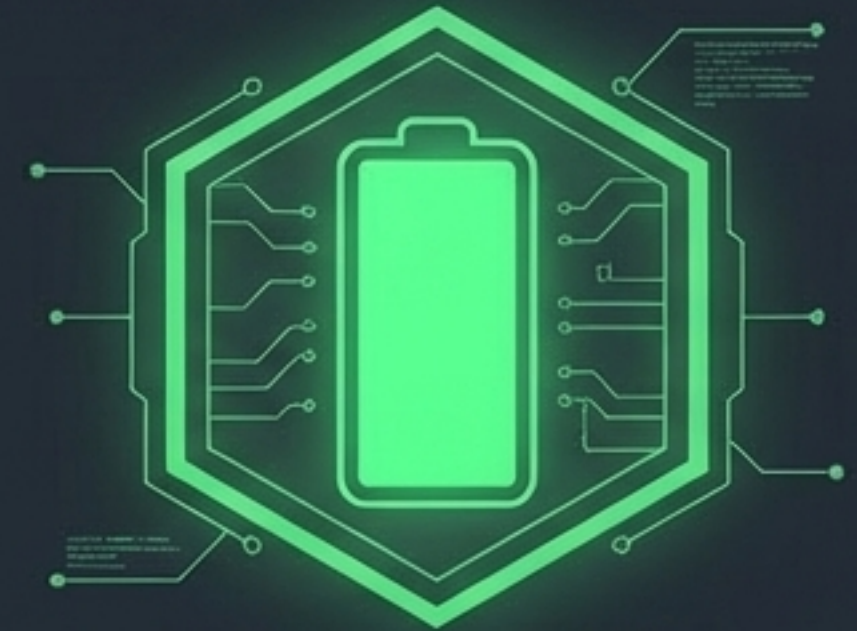
+



0.3 100%

0.3 Cycle

=



1 Cycle

คำจำกัดความ

- 1 Cycle ไม่เท่ากับ การเสียบสายชาร์จ 1 ครั้ง
- การนับที่ถูกต้อง: 1 Cycle = การชาร์จพลังงานรวมกันจนครบ 100% ของความจุ

ตัวอย่างทางวิศวกรรม

- ชาร์จจาก 50% → 100% = 0.5 Cycle
- ชาร์จจาก 50% → 100% = 0.5 Cycle
- ใช้งานไป 20% แล้วชาร์จกลับเต็ม 100% = 0.2 Cycle
- ใช้งานไป 30% แล้วชาร์จกลับเต็ม 100% = 0.3 Cycle
- รวมการชาร์จ 3 ครั้งนี้ (0.5 + 0.2 + 0.3) = 1 Cycle พอดี

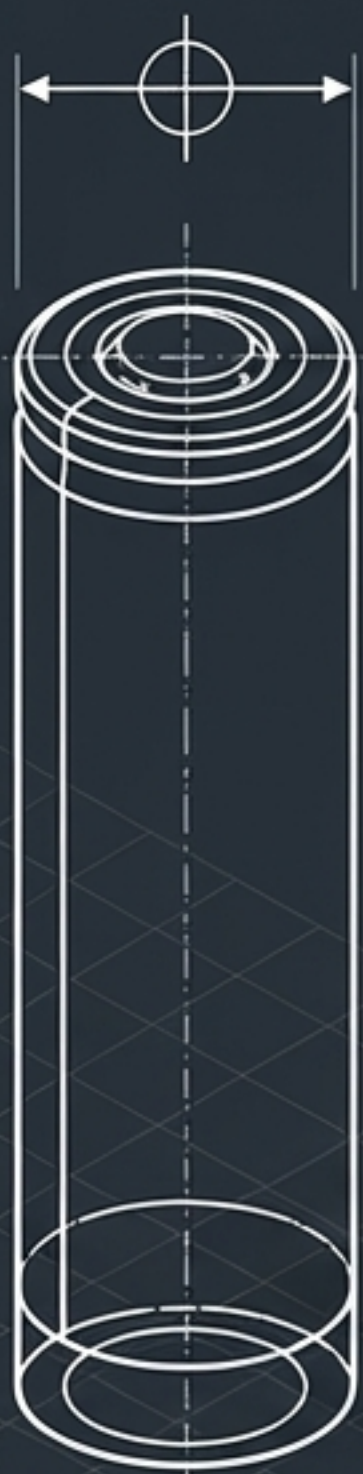
Diagnostic Tip: แบตเตอรี่ลิเทียมสามารถชาร์จเมื่อไหร่ก็ได้ ไม่มี Memory Effect ความร้อนและอายุปีที่ผลิตต่างหากที่เป็นปัจจัยหลักในการเสื่อมสภาพ

รหัสลับทางวิศวกรรม: สถาปัตยกรรมเซลล์ 18650 (The 18650 Standard)

18 = เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง (Diameter) 18.0 มิลลิเมตร

65.0

= ความยาว
(Length)
65.0
มิลลิเมตร



หัวแบน (Flat Top) [65.0 mm]:
หน้าสัมผัสเรียบ เหมาะสำหรับนำไป Spot Welding
เชื่อมต่อเป็นวงจรขนาน/อนุกรมในแพ็คเกจเตอร์ EV

หัวนูน (Button Top) [67.0 mm]: มีตังนูนขึ้นมา
เหมาะสำหรับใส่อุปกรณ์ทั่วไป เช่น ไฟฉาย

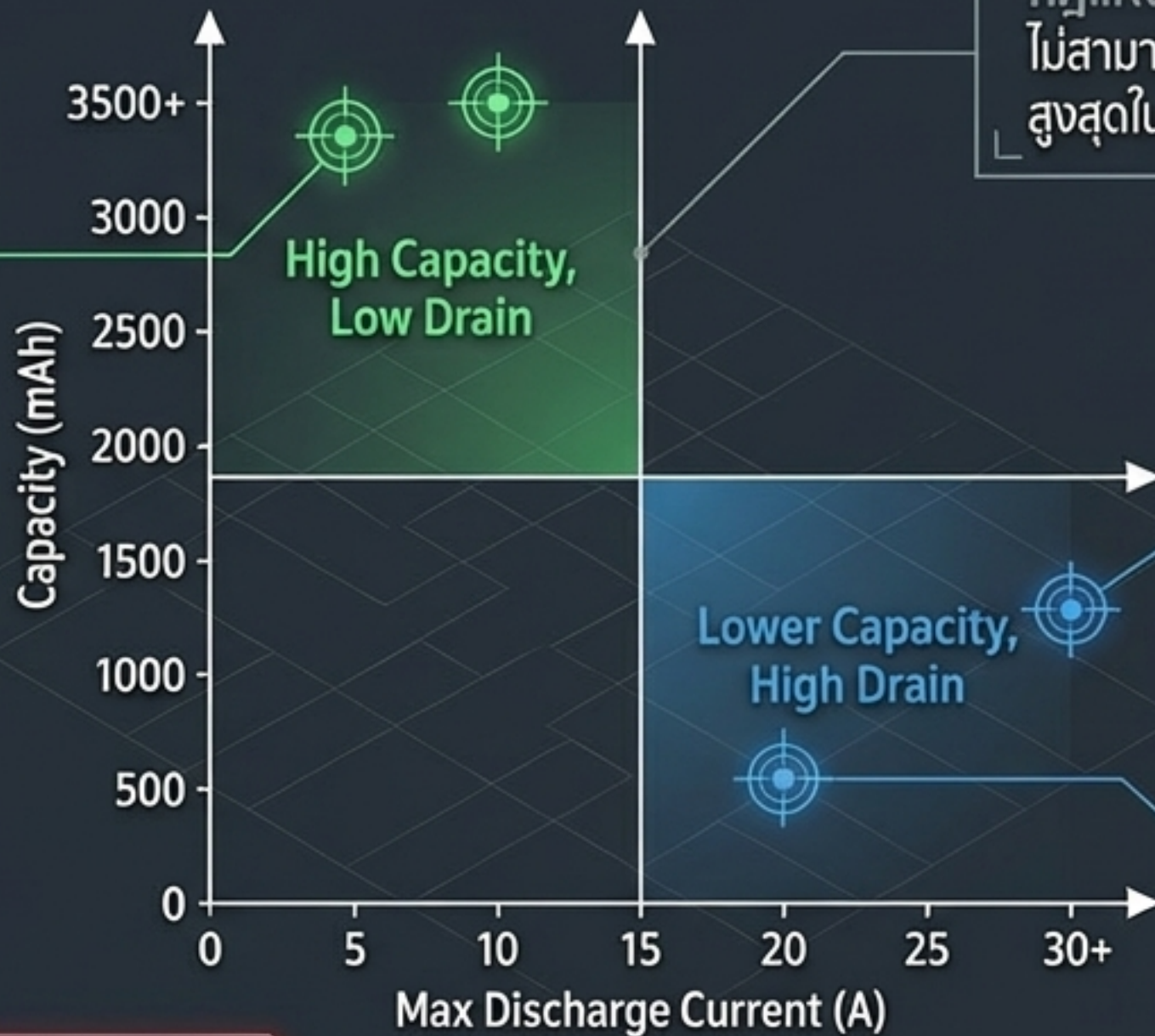
หัวนูนมีวงจรป้องกัน (Protected) [69.5 mm]:
ยาวที่สุด เพราะฝังแผงวงจรตัดไฟ (BMS จีว) ไว้ที่กัน
ต้องระวังเรื่องความยาวเมื่อประกอบลงกล่อง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเซลล์ (Cell Performance Matrix: Capacity vs. Drain)

สายความจุสูง
(High Capacity - เน้นวิ่งไกล):

- Panasonic NCR18650B: 3400 mAh / จ่ายกระแส 4.75A

• Sanyo NCR18650GA: 3500 mAh / จ่ายกระแส 10A



กฎแห่งการสมดุ (The Trade-Off):
ไม่สามารถมีทั้งความจุสูงสุดและอัตราการจ่ายกระแสสูงสุดในเซลล์เดียวกันได้ ต้องเลือกให้ตรงสเปคการใช้งาน

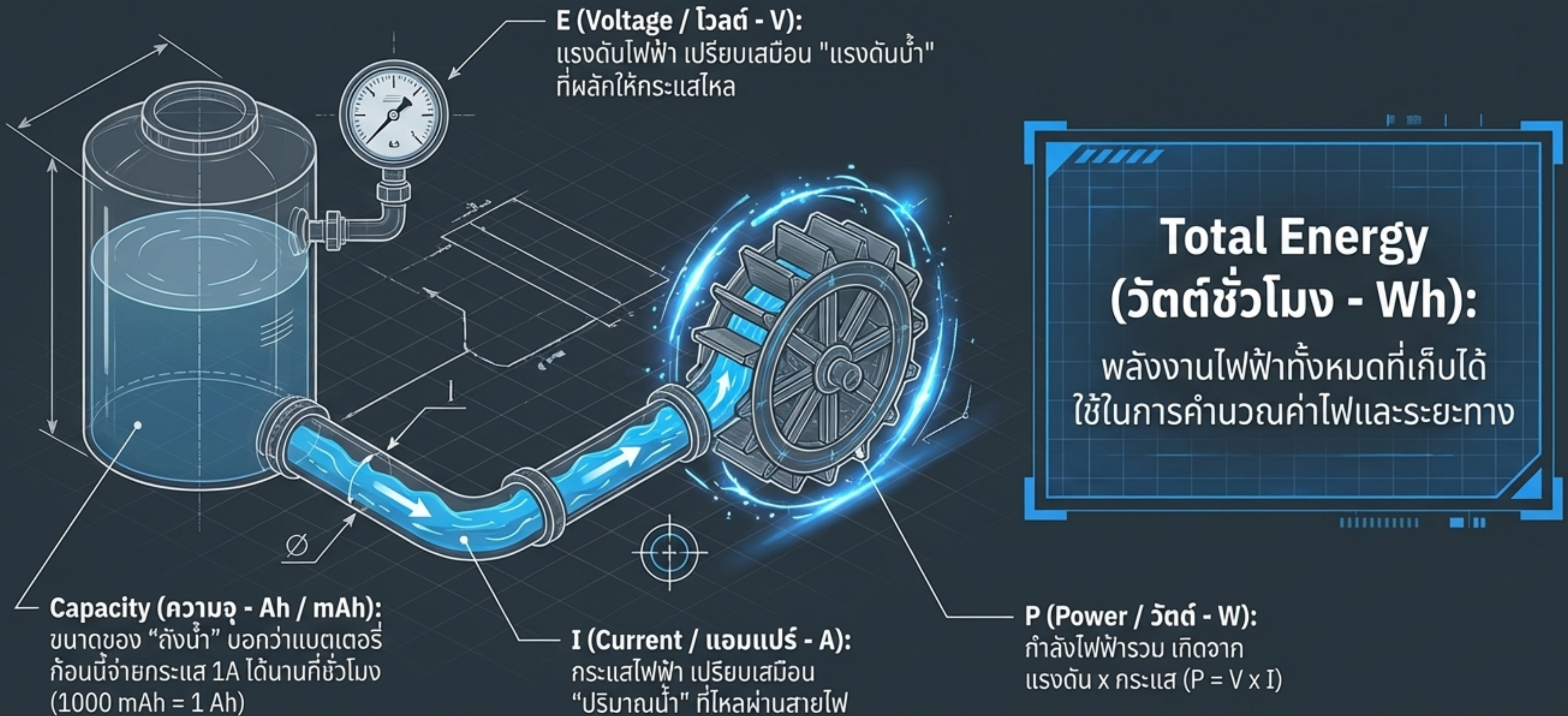
สายจ่ายกระแสสูง
(High Drain - เน้นความแรง/แรงบิด):

- Sony VTC6: 3000 mAh / จ่ายกระแส 15A - 30A
- LG HG2: 3000 mAh / จ่ายกระแส 20A

• LG HG2: 3000 mAh / จ่ายกระแส 20A

⚠ การนำแบตเตอรี่จ่ายกระแสต่ำ (Low Drain) ไปขับมอเตอร์กำลังสูง จะทำให้เซลล์ร้อนจัดและอายุการใช้งานสั้นลงอย่างรวดเร็ว

พื้นฐานวิศวกรรมไฟฟ้า: ถอดรหัสพลังงานที่มองไม่เห็น (Electrical Foundations)



การประเมินพลังงานและต้นทุน (Energy Calculation & Charging Cost)



กรณีศึกษา (Case Study): แบตเตอรี่ลิเทียมขนาด 60V 20Ah



Step 1: คำนวณกำลังไฟฟ้าทั้งหมด (Total Power)

สูตร: $P = V \times I$

$60V \times 20Ah = 1,200 \text{ Wh}$
(หรือ $1.2 \text{ kWh} / \text{ยูนิต}$)



Step 2: คำนวณต้นทุนการชาร์จ (Cost per Charge)

อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย:
4 บาท / 1 หน่วย (ยูนิต)

$1.20 \text{ kWh} \times 4 \text{ บาท} = 4.80 \text{ บาท}$
ต่อการชาร์จเต็ม 1 ครั้ง



Diagnostic Tip: หากชาร์จด้วยเครื่องชาร์จ (P2) สเปค 67.2V 8Ah (537.6W) จะใช้เวลาชาร์จจนเต็มประมาณ 2.23 ชั่วโมง ($1200 / 537.6$)

การคำนวณสมรรถนะ จากรอบมอเตอร์สู่ความเร็วจริง (Performance Calc: RPM to Km/h)

กรณีศึกษา (Case Study): ฮับมอเตอร์ 60V 1000W ความเร็ว 750 รอบ/นาที (RPM) กับล้อขนาด 10 นิ้ว (ยางซีรีส์ 6)



Step 1: หาเส้นรอบวงล้อ (Wheel Circumference)

เส้นรอบวง = $2\pi r$

ล้อมยางมีรัศมี 8 นิ้ว $\rightarrow (2 \times 3.142 \times 8) = 50.27$ นิ้ว

แปลงเป็นเมตร: $50.27 / 39.37 = 1.277$ เมตรต่อรอบ

Step 2: แปลงรอบมอเตอร์เป็นระยะทาง (Speed Calculation)

มอเตอร์หมุน 750 รอบ/นาที $\times 1.277$ เมตร = 957.68 เมตร/นาที

คูณ 60 นาที (1 ชั่วโมง): $957.68 \times 60 = 57,460$ เมตร

ความเร็วสูงสุดเชิงทฤษฎี: 57.46 Km/h

57.46

km/h

สังเคราะห์สถาปัตยกรรม: การประกอบแพ็คแบตเตอรี่ (Pack Architecture Synthesis)



โจทย์วิศวกรรม: ต้องการสร้างแบตเตอรี่ระบบ 60V 20Ah ต้องใช้เซลล์ต่ออนุกรม (Series - S) ที่ชุด?

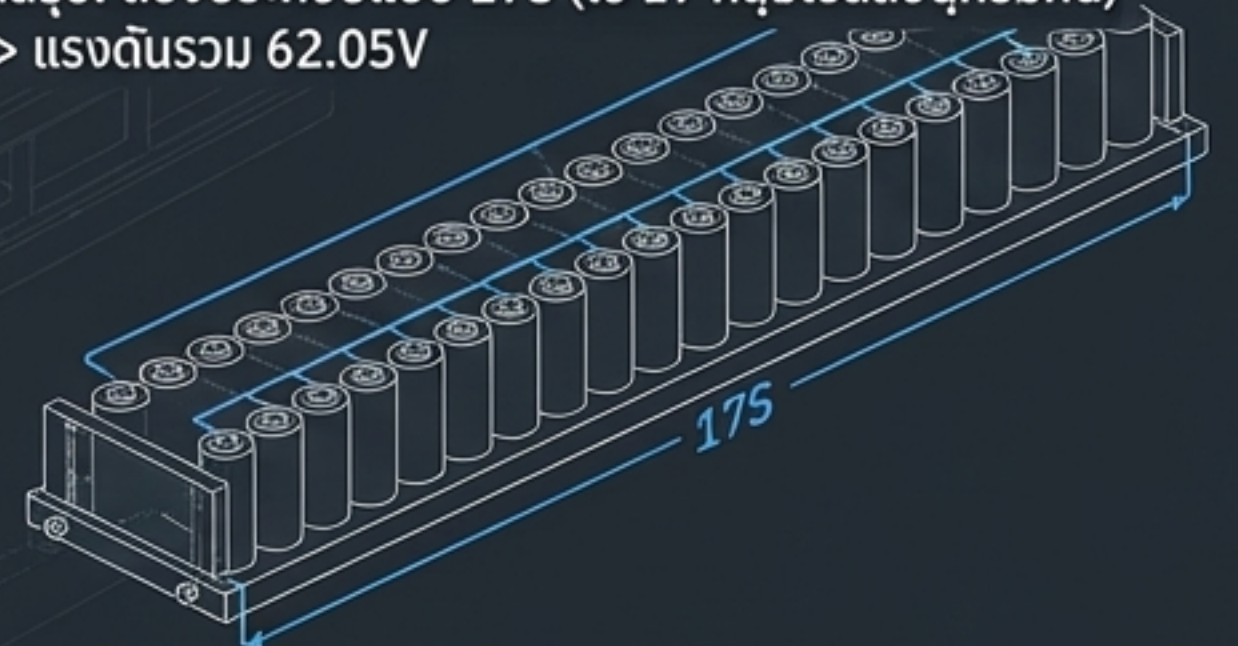
เส้นทางที่ 1: ใช้เซลล์ LFP (LiFePO4)

- แรงดันเฉลี่ยเซลล์ละ: 3.2V
- สมการ: $60V / 3.2V = 18.75$
- บทสรุป: ต้องประกอบแบบ 19S (ใช้ 19 กลุ่มเซลล์อนุกรมกัน)
-> แรงดันรวม 60.8V



เส้นทางที่ 2: ใช้การคำนวณแรงดันสูงสุด (Max Voltage / NMC)

- แรงดันเต็มประจุเซลล์ละ: 3.65V
- สมการ: $60V / 3.65V = 16.44$
- บทสรุป: ต้องประกอบแบบ 17S (ใช้ 17 กลุ่มเซลล์อนุกรมกัน)
-> แรงดันรวม 62.05V



Takeaway: ชนิดของเคมีในเซลล์ (Macro) กำหนดรูปแบบการต่อวงจรและการคำนวณแพ็ค (Math) เพื่อให้ได้ระบบไฟฟ้าขับเคลื่อนที่ถูกต้อง

โครงข่ายระบบสั่งการ: วงจรกล่องควบคุม (The Smart Workbench: Controller Schematic)

(The Smart Workbench: Controller Schematic)



Input Power (แหล่งจ่ายไฟเข้า):
รับไฟ DC แรงดันสูงจากแบตเตอรี่ (60V/72V)
สายไฟเส้นใหญ่ (แดง +, ดำ -)

Output to Motor (วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์):
สายเฟสหลัก 3 เส้น (เหลือง, เขียว, น้ำเงิน)
จ่ายไฟ 3 Phase ขับเคลื่อนขดลวดสเตเตอร์



Signal Network (วงจรเซ็นเซอร์และคันเร่ง):

- **Hall Sensor:** สายชุด 5 เส้นเล็ก รับสัญญาณตำแหน่งแม่เหล็กจากมอเตอร์ ส่งกลับมาประมวลผลการหมุน
- **Throttle (คันเร่ง):** ส่งสัญญาณแรงดัน (1-4V) สั่งการเร่งความเร็ว
- **Brake Cut-off (เบรก):** ตัดการทำงานของมอเตอร์ทันทีเมื่อกำเบรก



Callout: การตรวจเช็คอาการเสีย (Diagnostic)
มักเริ่มต้นที่การไล่สัญญาณในโครงข่ายนี้เสมอ