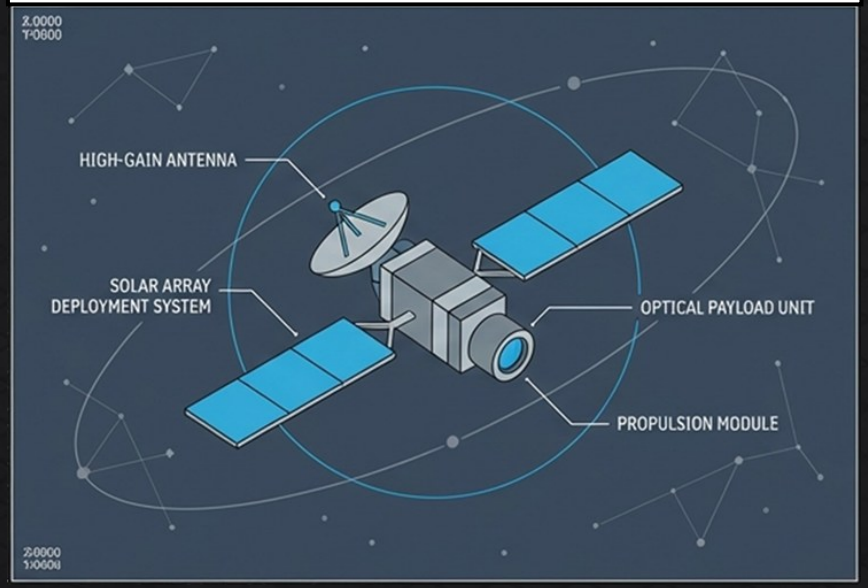
Spacecraft Vibration Testing Equipment

เครื่องมือทดสอบการสั่นสะเทือนก่อนทะยานสู่พรมแดนอวกาศ

ภารกิจในอวกาศนั้นเงียบสงบ แต่การเดินทางนั้นรุนแรง

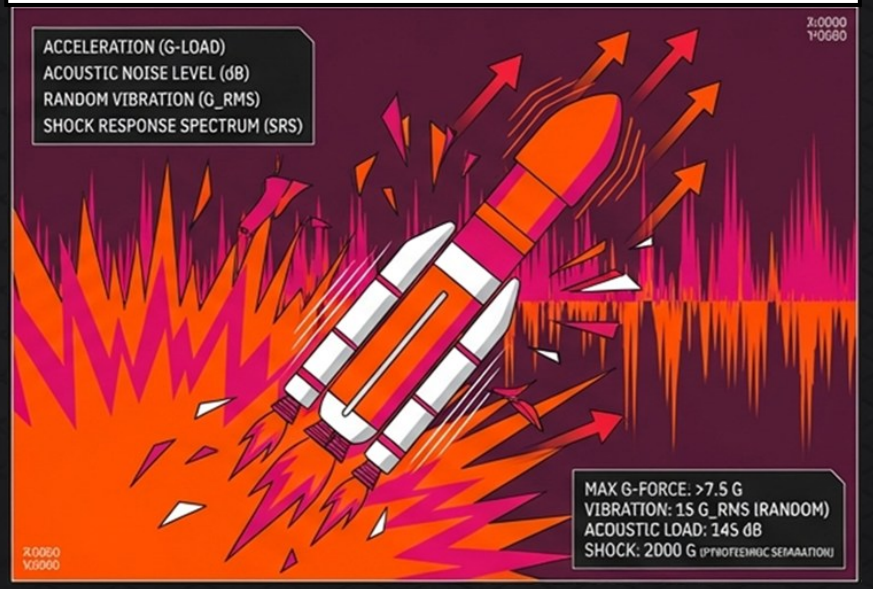
ยานอวกาศต้องเผชิญกับแรงสั่นสะเทือนมหาศาลระหว่างการปล่อยยานและทำภาระกิจ
การรอดพ้นจากสภาวะนี้ไม่ใช่เรื่องบังเอิญ แต่เกิดจากการทดสอบความทนทาน (Vibration Testing) ที่ชี้เป็นชี้ตาย

THE GOAL : SILENT ORBITAL DEPLOYMENT



STATUS : STABLE / QUIET / OPERATIONAL

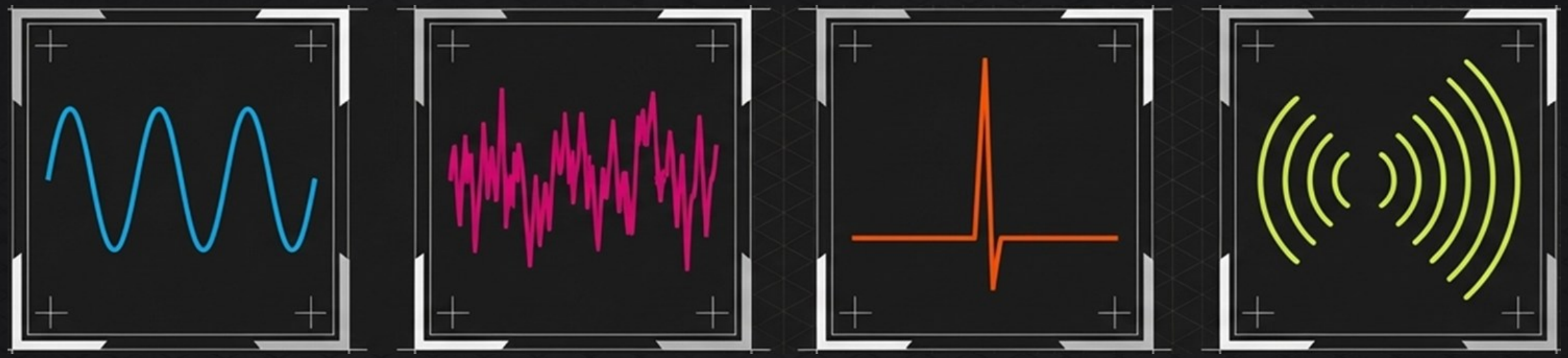
THE REALITY : LAUNCH ENVIRONMENT VIBRATION



STATUS : CRITICAL / EXTREME / DESTRUCTIVE FORCES

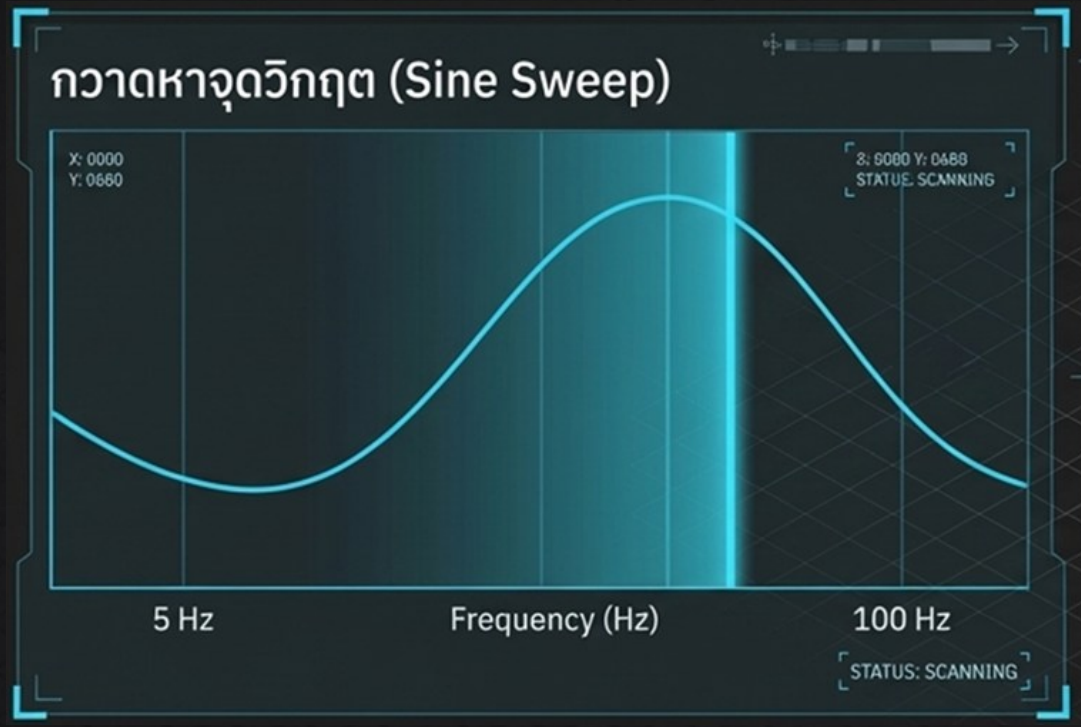
การรับประกันความสำเร็จเริ่มต้นในห้องทดสอบ
โดยแบ่งการจำลองความรุนแรงออกเป็น 4 บททดสอบหลัก
[1] Sine Vibration [2] Random Vibration [3] Acoustic Testing
[4] Shock Testing (Pyrotechnic Simulation)

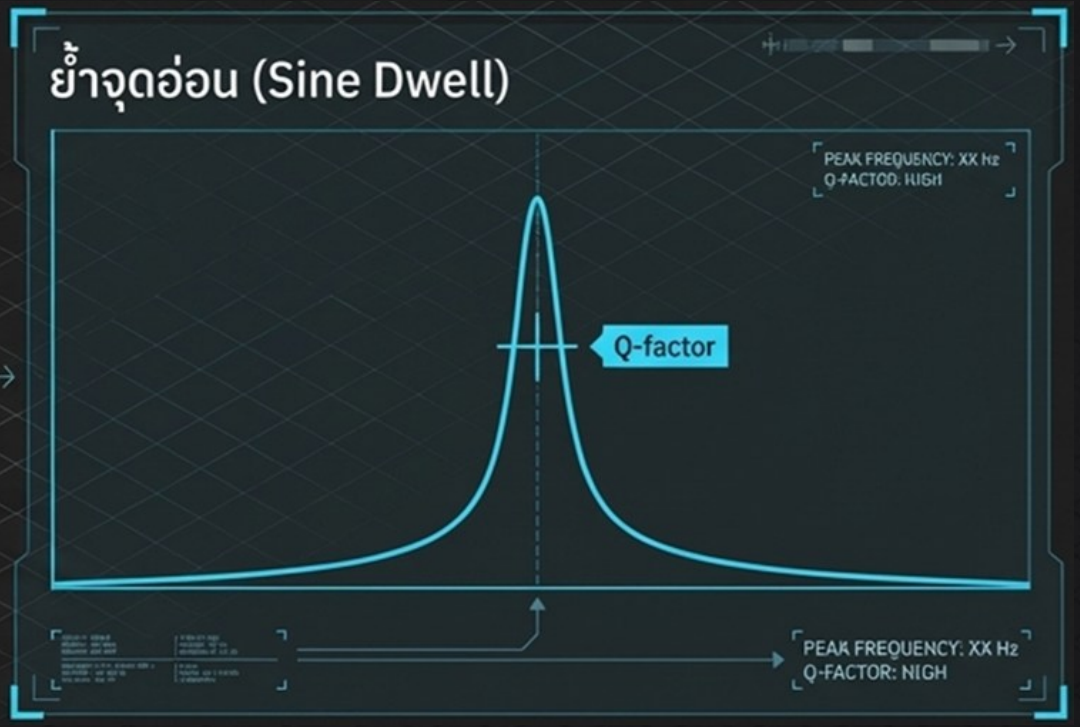
4 เสาหลักของการจำลองสภาวะการปล่อยยาน



Sine Vibration	Random Vibration	Shock Testing	Acoustic Testing
ค้นหาจุดอ่อนเฉพาะความถี่	จำลองแรงสั่นสะเทือนแบบสุ่ม	จำลองการกระแทกแบบฉับพลัน	จำลองความดันเสียงมหาศาล

[1] Sine Vibration Testing การทดสอบด้วยการสั่นที่ “ความถี่เดียวในเวลาหนึ่ง”

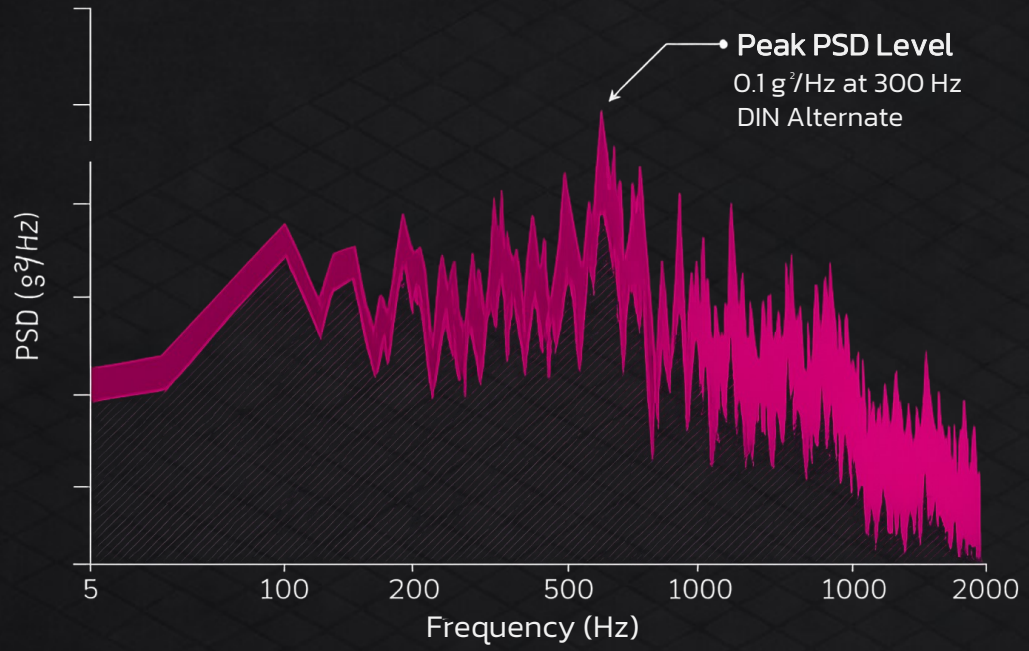


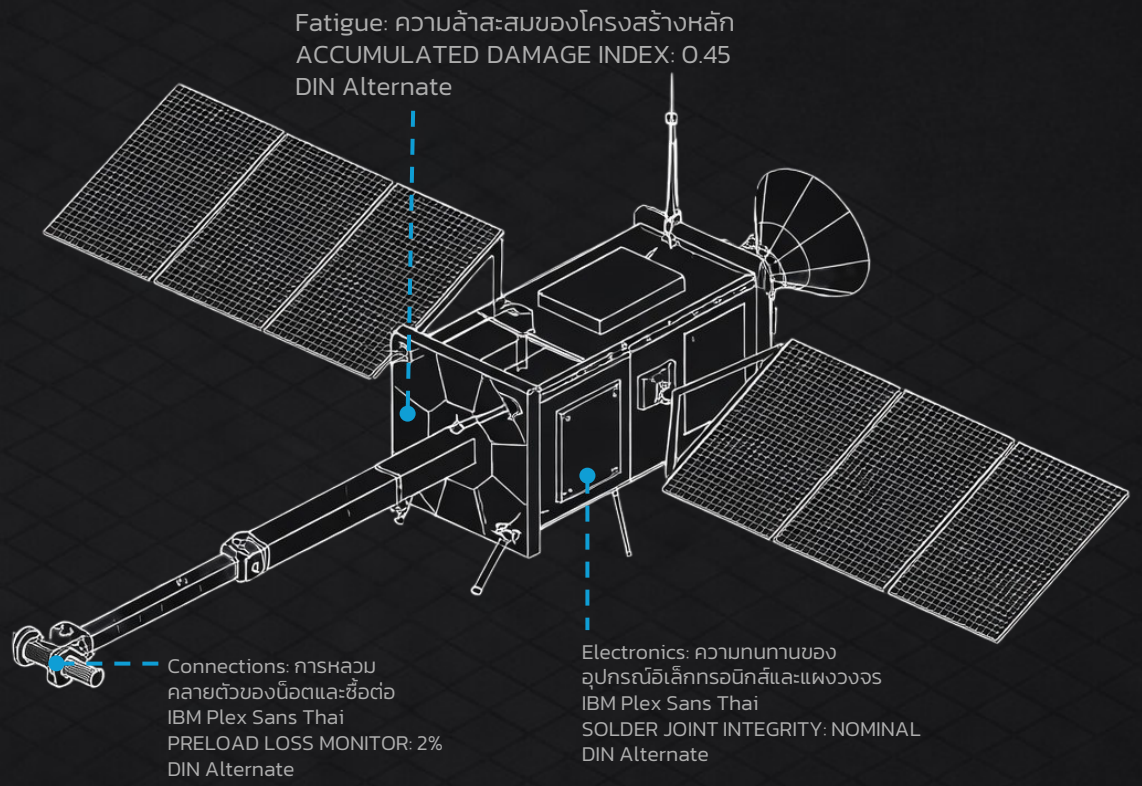


- กวาดความถี่ช้าๆ จาก 5 Hz ถึง 100 Hz (อัตรา 2-4 oct/min)
- เป้าหมาย: ค้นหาความถี่พ้อง (Resonance) ของโครงสร้างและตรวจดูค่า Q-factor ว่ามีการขยายแรงสั่นสะเทือนสูงเกินไปหรือไม่

- หยุดค้างการทดสอบที่ความถี่วิกฤตอย่างต่อเนื่อง
- เป้าหมาย: ประเมินว่าชิ้นส่วนจะสามารถทนรับแรงสั่นขยายซ้ำๆจนเกิดความล้าได้หรือไม่

[2] Random Vibration Testing จำลองสภาพจริงของการสั่นสะเทือนแบบไร้รูปแบบ



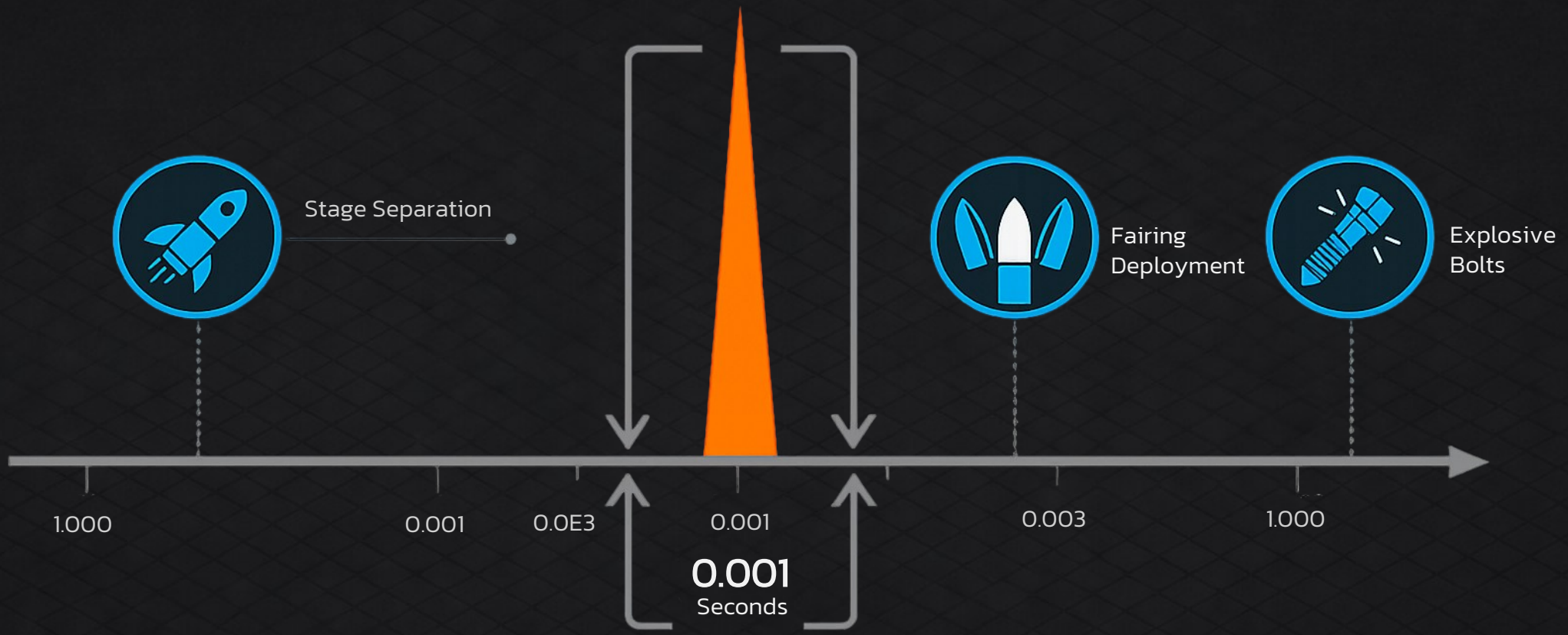


ป้อนการสั่น "หลายความถี่พร้อมกัน" แบบสุ่ม โดยอ้างอิงตามโปรไฟล์ Power Spectral Density (PSD) ที่ได้จากการวัดค่าการสั่นของจรวดจริง

VIBRATION AKIS: Z-AKIS // TEST DURATION: 180 SEC // STATUS: RUNNING// DATA STREAM: ACTIVE

[3] Shock Testing แรงกระแทกฉับพลันระดับเสี้ยววินาที (Pyrotechnic Shocks)

จำลองแรงกระแทกความถี่สูงที่เกิดจากระบบจุดระเบิดเพื่อสลัดชิ้นส่วนเกิดขึ้นและจบลงในระยะเวลาเพียง 0.001 วินาที



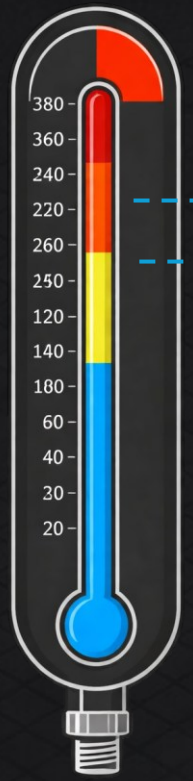
Measurement: วัดผลด้วยShock Response Spectrum (SRS)

Intensity: ทดสอบที่ระดับความรุนแรงมหาศาล 1,000-10,000 g

Quality Product by Quality Service

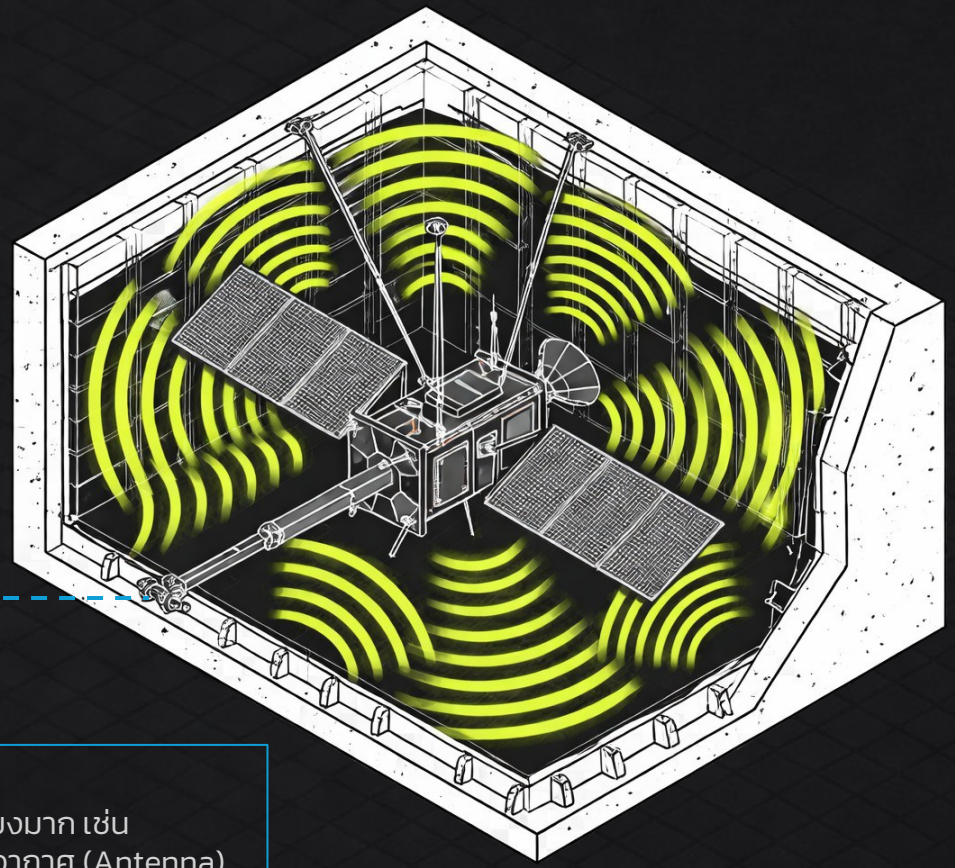
[4] Acoustic Testing พลังทำลายล้างจากคลื่นเสียงของเครื่องยนต์

ใช้คลื่นเสียงจำลองเสียงคำรามของเครื่องยนต์จรวดขณะปล่อยยานโดยปล่อยเสียง
ก้องสะท้อนภายในห้อง Reverberant Acoustic Chamber



PEAK: 160 dB SPL

DIN Alternate



- **key Specs:**
  Intensity: ระดับความดันเสียง
  140–160 dB SPL

- **Primary Targets:**
  ใช้ทับโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่รับเสียงมาก เช่น
  แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Panel),จานสายอากาศ (Antenna)
  หรือตัวยานอวกาศทั้งลำ

VIBRATION AKIS. 2-AKTS // TEST DURATION/ 180 SEC // STKTUS: RUNNING // DATA STREAM, ACTIVE

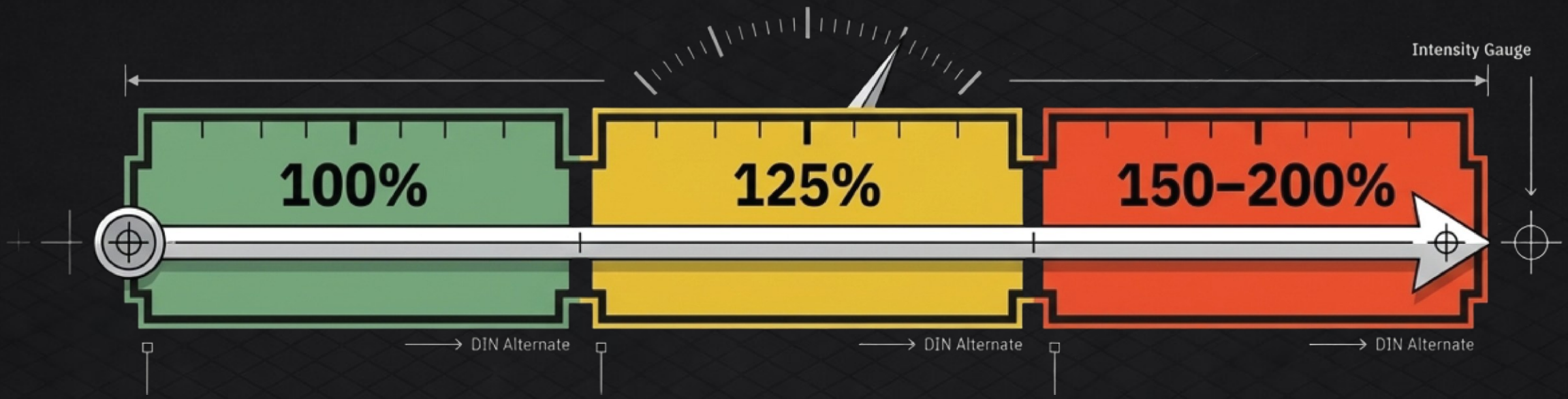
Testing Matrix

สรุปประเภทการจำลองสองสภาวะ

ประเภททดสอบ	รูปแบบพลังงาน	สถานการณ์จำลอง	เป้าหมายหลักในการค้นหาความเสียหาย
Sine DIN Alternate	กวาดและแช่ความถี่เฉพาะเจาะจง	ค้นหา Resonance	โครงสร้างหลักและจุดวิกฤตของวัสดุ
Random DIN Alternate	สุ่มหลายความถี่พร้อมกัน (PSD)	สภาพสั่นสะเทือนรวมของจรวดขณะบิน	น็อตหลวม, แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์, ความล้าสะสม
Shock DIN Alternate	กระแทกฉับพลันระดับเสี้ยววินาที	การระเบิดสลัดชิ้นส่วน (1k-10k g)	อุปกรณ์ที่เปราะบางและไวต่อแรงกระแทกความถี่สูง
Acoustic DIN Alternate	คลื่นเสียงความดันสูง (140-160 dB)	เสียงคำรามของเครื่องยนต์	โครงสร้างแผ่นกว้าง (เช่น Solar panel)

ระดับความรุนแรงของการทดสอบ(Testing Levels)

ปรัชญาการทดสอบ: เราควรเขย่ายานอวกาศแรงแค่ไหน?



Acceptance Level (100% ของแรงจริง)
ตรวจสอบคุณภาพการประกอบชิ้นงานแต่ละชิ้น ก่อนที่จะอนุญาตให้ส่งขึ้นบินจริง

Protoflight Level (125% ของแรงจริง)
ทดสอบ "ตัวต้นแบบที่จะบินจริง"เพื่อรับประกันความมั่นใจ โดยไม่สร้างความเสียหายสะสมหรือความล้าให้ชิ้นงานมากเกินไป

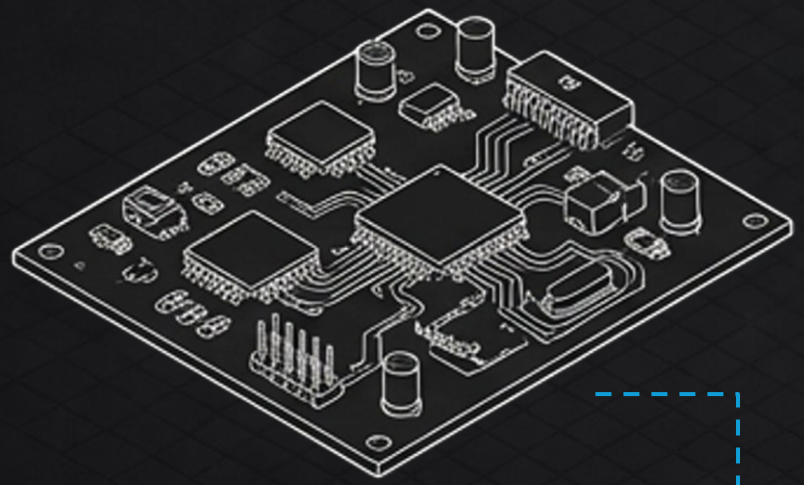
Qualification Level(150–200% ของแรงจริง)
พิสูจน์ว่า "การออกแบบ" ได้มาตรฐานและมี Margin เผื่อไว้ (มักทำกับตัวต้นแบบทดสอบเพื่อดูขีดจำกัด)

TESTING PHASE: MISSION ASSURANCE // DATE:2024.10.27 // STATUS: CONFIDENTIAL // DATA STREAM: ACTIVE

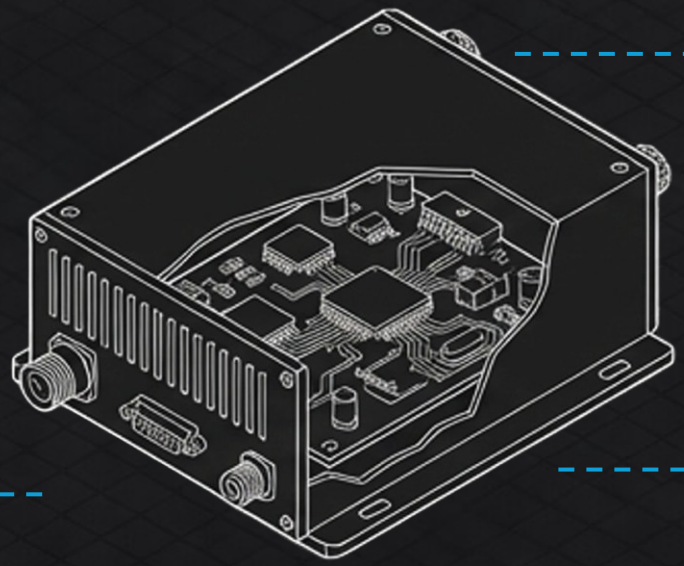
Quality Product by Quality Service

ลำดับขั้นการประกอบและการทดสอบ (Testing Hierarchy)

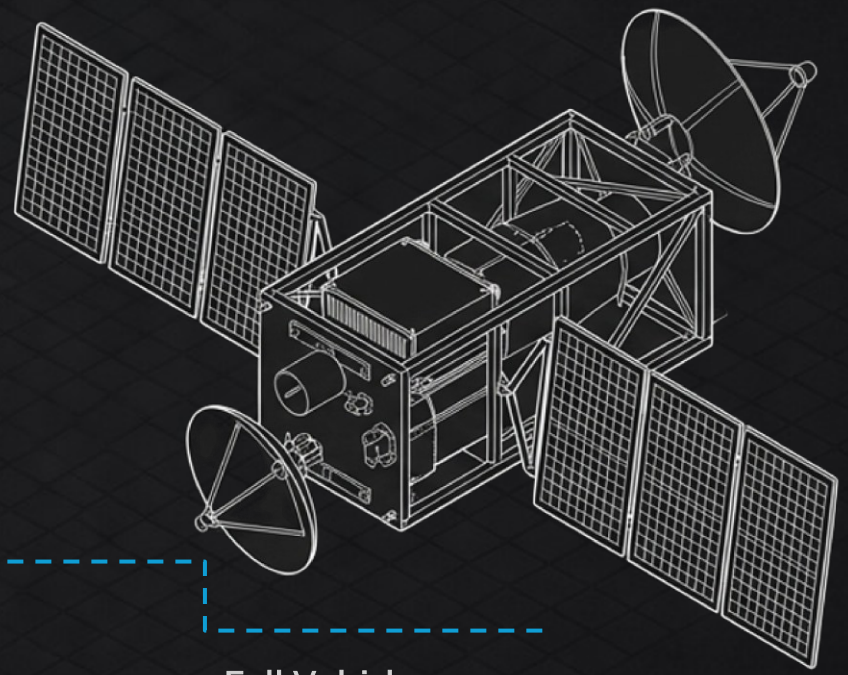
การทดสอบต้องทำแบบแยกส่วนในทุกระดับเพื่อกักกันข้อผิดพลาดและรับประกันความสมบูรณ์ก่อนการประกอบขั้นสุดท้าย



Component Level
ชิ้นส่วนย่อย หรือ แผงวงจรเดี่ยว



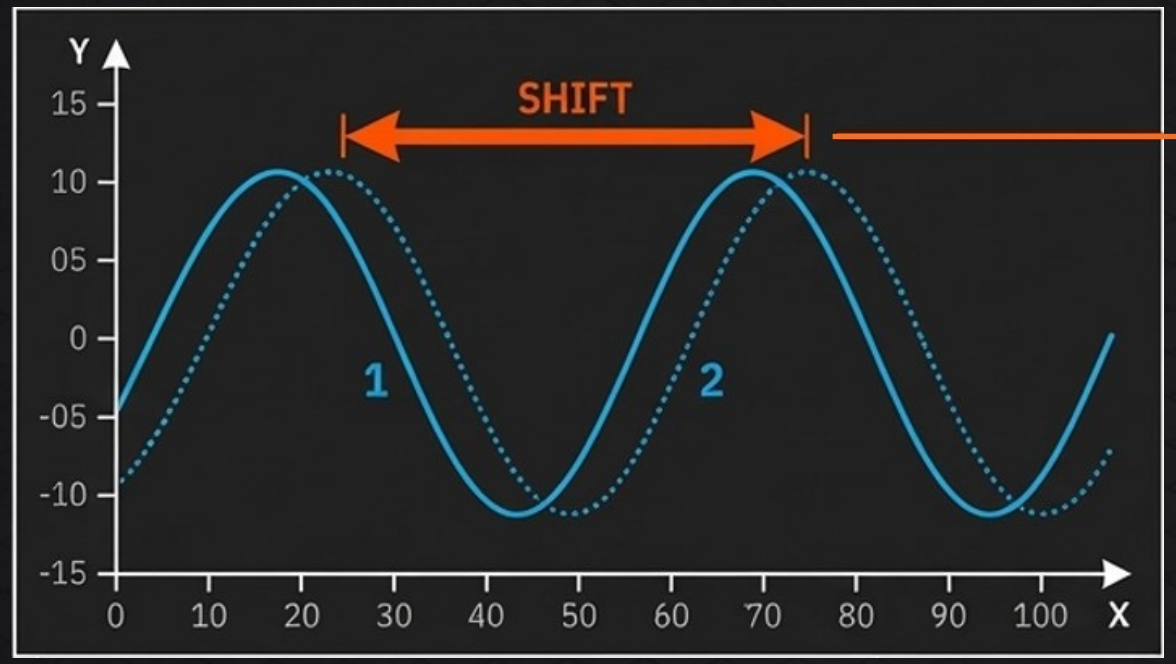
Subsystem Level
ระบบย่อยที่ประกอบโบดูลเข้าด้วยกัน

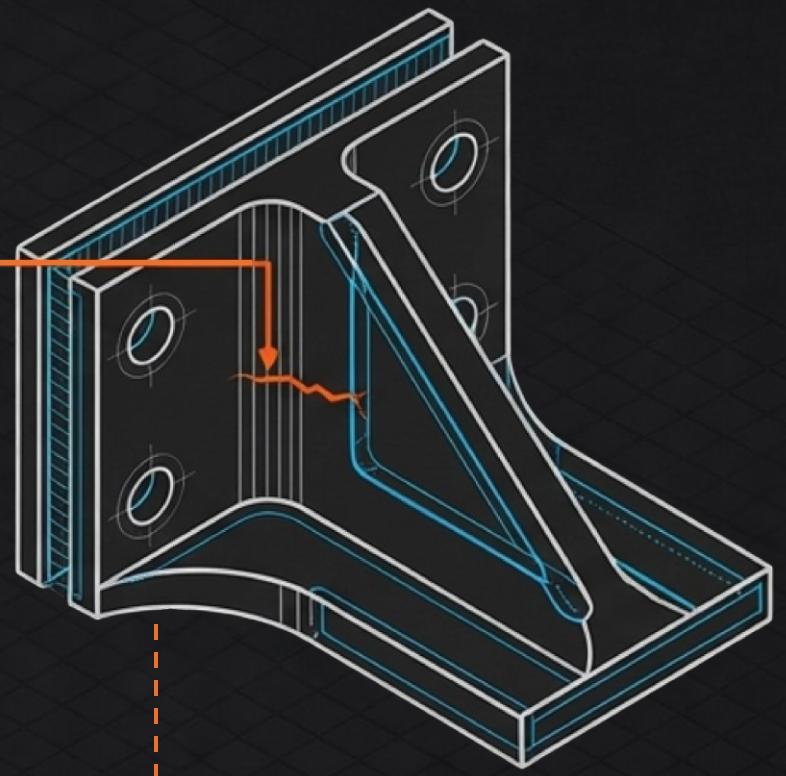


Full Vehicle
ยานอวกาศหรือดาวเทียมทั้งลำที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

การตรวจสอบหลังการทดสอบ (Post-Test Diagnostics)

มากกว่าคำว่า "แตก หรือ ไม่แตก"





Resonance Frequency Check
ความถี่พ้องต้อง ไม่เปลี่ยนแปลง หากกราฟเลื่อน(Shift) เป็นสัญญาณเตือนว่ามีรอยร้าวแอบแฝงอยู่ภายในโครงสร้าง (Hidden Cracks)

Functional Check
อุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบควบคุมต้องทำงานได้ปกติตามสเปกเดิม 100%

Physical Inspection
ตรวจสอบการขันแน่นต้องไม่มีชิ้นส่วนหรือน็อตหลุดหลวม

TESTING PHASE: MISSION ASSURANCE // DATE: 2024.10.27 // STATUS: CONFIDENTIAL // DATA STREAM: ACTIVE

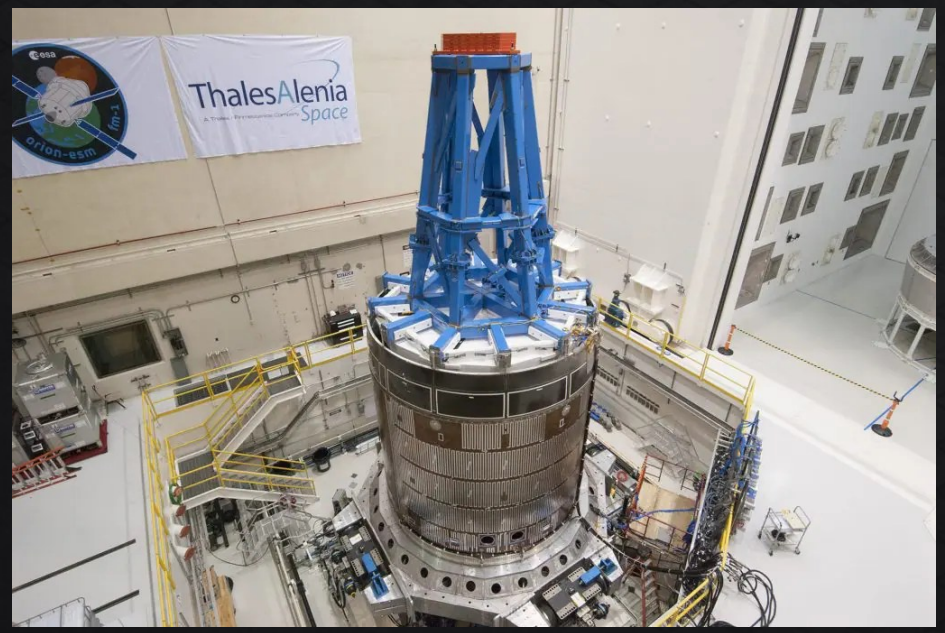
Quality Product by Quality Service

ทดสอบให้ถึงขีดสุด เพื่อความสำเร็จ ที่แน่นอนในอวกาศ

การทดสอบ Sine, Random, Shock และ Acousticในระดับความรุนแรงที่คำนวณมาอย่างแม่นยำ คือหลักประกันเดียวที่ทำให้มั่นใจว่า ยานอวกาศจะรอดพ้นจากสภาวะสุดขั้วของการปล่อยยานและปฏิบัติภารกิจได้อย่างสมบูรณ์แบบ

MISSION STATUS: ORBITAL INSERTION CONFIRMED // SYSTEM STATE: NOMINAL // DATE: 2024.10.27

Quality Product by Quality Service



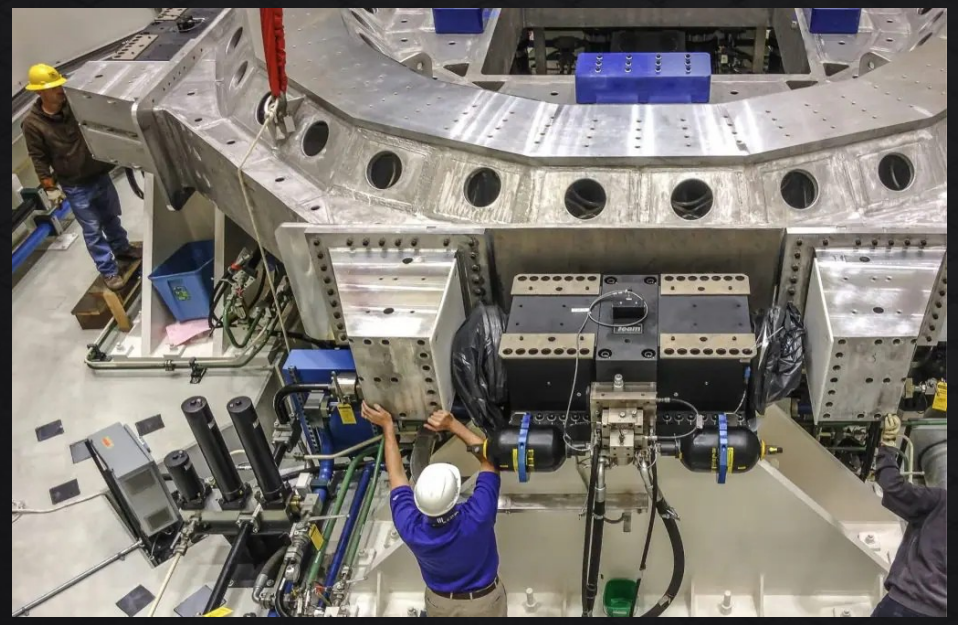
Applications

ระบบวิเคราะห์สำหรับการรับรองคุณภาพดาวเทียม (Analysis System for Satellite Qualification)

ตรวจสอบช่องสัญญาณการวัดหลายร้อยหรือหลายพันช่องระหว่างการทดสอบการสั่นสะเทือนด้วยเครื่องเขย่า – ด้วยคุณสมบัติพิเศษที่ปรับแต่งมาสำหรับการตรวจสอบการทดสอบดาวเทียม

คุณสมบัติดังกล่าวรวมถึงความสามารถในการกำหนดโปรไฟล์ความคลาดเคลื่อนสำหรับแต่ละช่องสัญญาณ ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน และส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมเพื่อลดการทดสอบลงหากตรวจพบความผิดปกติใดๆ

จังหวะเวลาเป็นสิ่งสำคัญ – และ SignalCalc 900 ได้รับการปรับให้เหมาะสมเพื่อสั่งการให้ตัวควบคุมปิดระบบอย่างรวดเร็วเมื่อตรวจพบความผิดปกติใดๆ



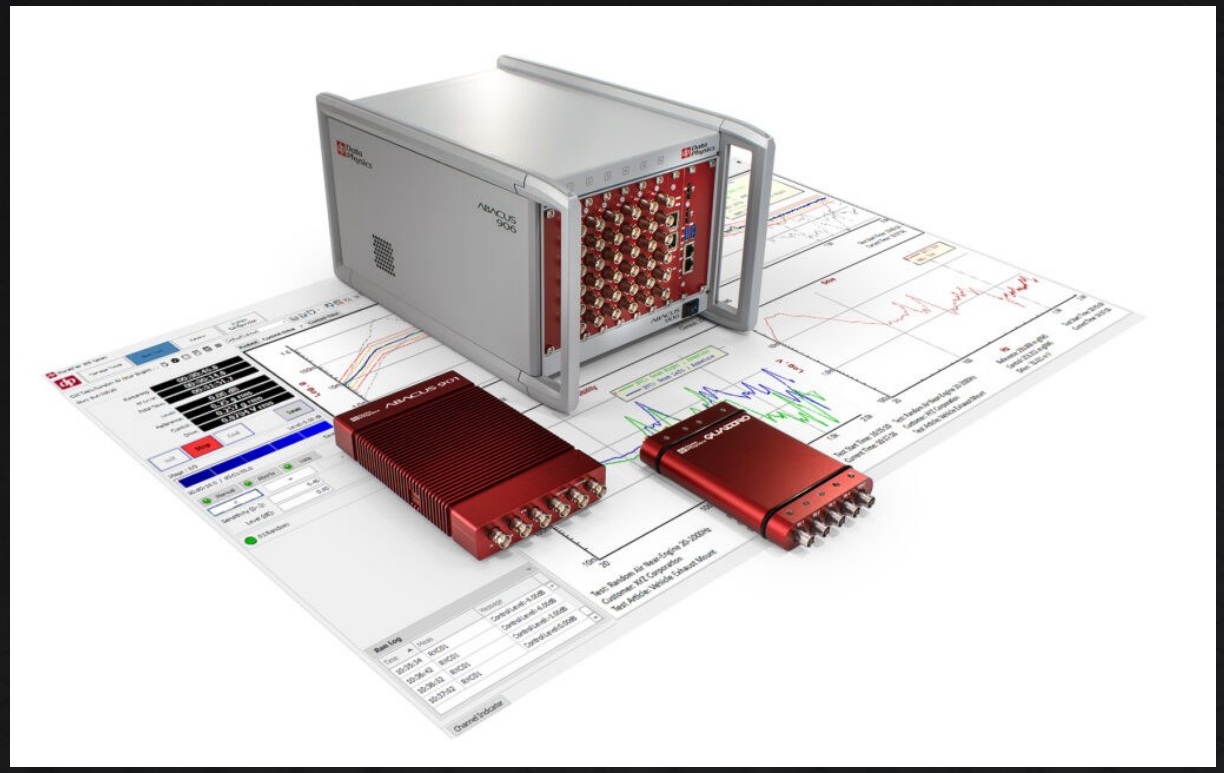
ปี 2024 ยานอวกาศ Sierra Space Dream Chaser ได้รับการทดสอบบนแท่นสั่นสะเทือนแบบ 6 Degree of Freedom ที่ใหญ่ที่สุดในโลก — Mechanical Vibration Facility (MVF) — ซึ่งได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นสำหรับศูนย์วิจัยการบินอาร์มสตรองของ NASA โดย Team Corporation และควบคุมโดยตัวควบคุมแบบหลายตัวสั่นของ Data Physics

การทดสอบแบบไซน์ดำเนินการในแต่ละแกนเชิงเส้นตามลำดับ โดยไม่จำเป็นต้องปรับทิศทางยานอวกาศใหม่ ซอฟต์แวร์ควบคุม MIMO ของ Data Physics สามารถขับเคลื่อนตัวสั่นแนวนอนสี่ตัวและตัวสั่นแนวตั้งสิบหกตัวในแต่ละควอดแรนต์ได้อย่างอิสระ ทำให้วิศวกรทดสอบสามารถลดการเคลื่อนที่และการหมุนนอกแกนให้น้อยที่สุด

นี่ไม่ใช่เรื่องเล็กน้อยเลยในระหว่างการทดสอบแนวนอน เมื่อจุดศูนย์ถ่วงของชิ้นงานทดสอบอาจสูงถึง 23 ฟุตเหนือ MVF และแรงสั่นนอกแกนเพื่อต้านทานโมเมนต์นั้นมากกว่าแรงสั่นในแกน

Data Physics ผลิตตัวควบคุมเพียงรายเดียวที่สามารถขับเคลื่อน MVF ด้วยความแม่นยำระดับนี้ ช่วยให้วิศวกรการบินและอวกาศสามารถฝันให้ใหญ่ขึ้นและไปได้ไกลกว่าเดิม

Products



เครื่องวิเคราะห์เสียงและความสั่นสะเทือน (900 Series Dynamic Signal Analyzers) สูงสุดถึง 1,000 ช่องสัญญาณ

Applications

- General FFT Analysis
- Throughput Recording & Playback Analysis
- Structural and Modal Analysis
- Rotating Machinery Analysis

- SRS Analysis
- Sine Data Reduction
- Time History Editor

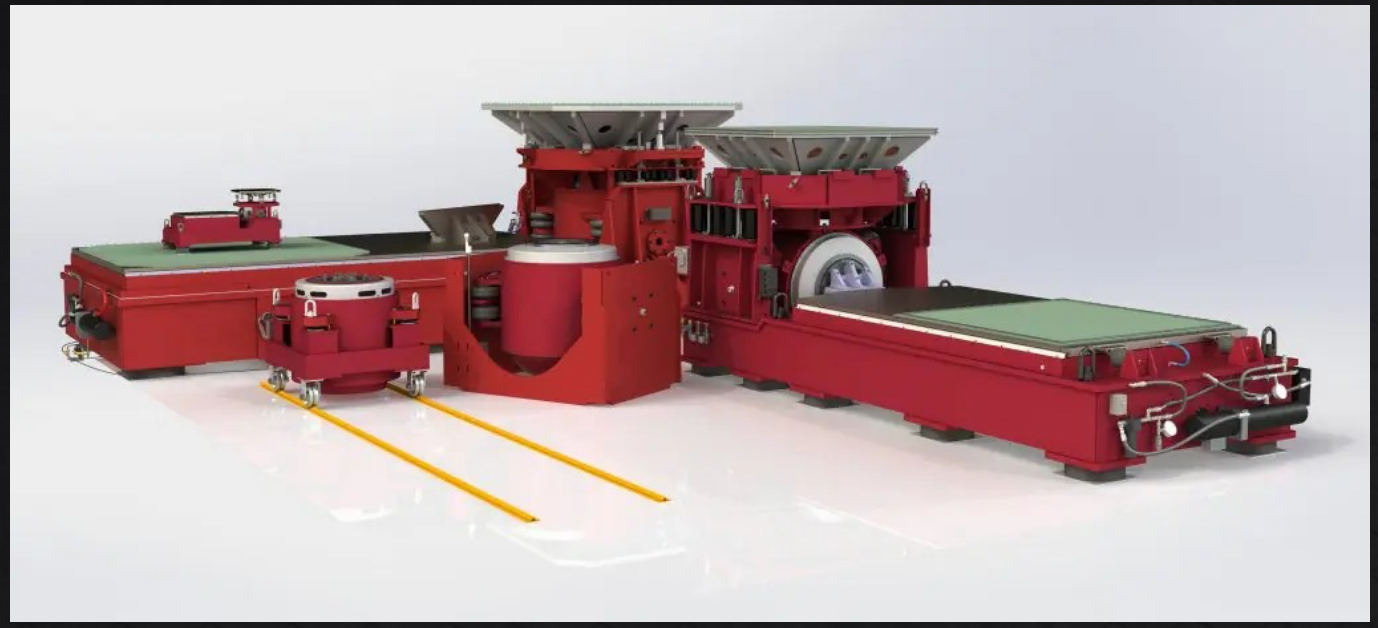
เครื่องควบคุมการสั่นสะเทือน (900 Series Vibration Controllers)

Control Applications

- Random Vibration Control
- Sine Vibration Control
- Shock Vibration Control
- SRS Synthesis Control
- Mixed Mode Control (Sine on Random, Random on Random)
- Sine Resonance Search and Dwell Control
- Time History Replication
- Multi-Shaker (MIMO) Vibration Control

Quality Product by Quality Service

Products



เครื่องทดสอบความสั่นสะเทือน หรือเครื่องสั่นแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electrodynamic Shakers)

คือ อุปกรณ์ที่ใช้สร้างการสั่นสะเทือน (vibration) แบบควบคุมได้ โดยอาศัยหลักการทางแม่เหล็กไฟฟ้า

SHAKER TYPE	FORCE RANGE
AIR COOLED	2 to 15,000 lbf (9 N to 66.7 kN)
WATER COOLED	16,000 to 50,000 lbf (71 to 222 kN)
INERTIAL	7 to 56 lbf (30 to 250 N)
MODAL	18 to 475 lbf (80 N to 2.1 kN)

Air Cooled Shakers

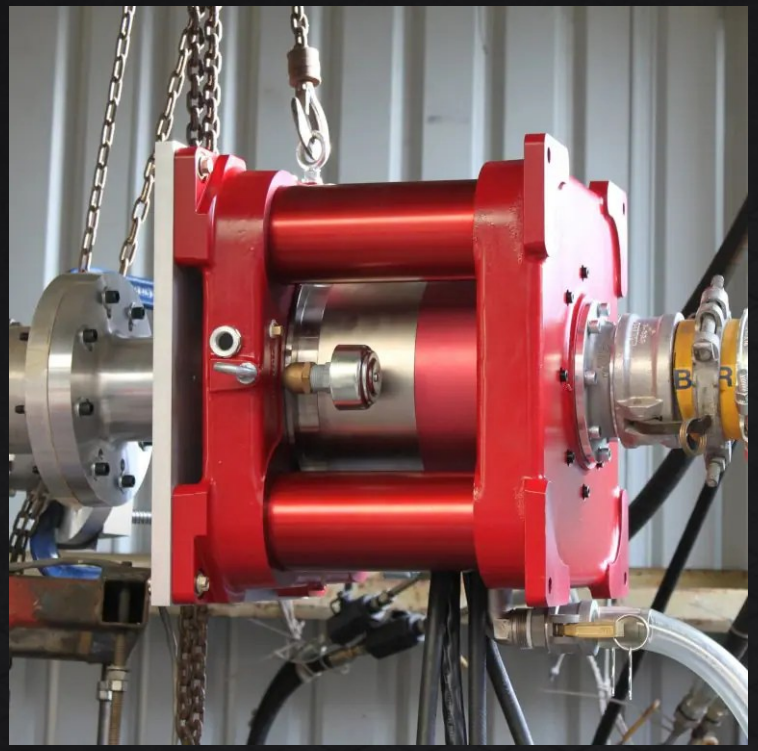
Water Cooled Shakers

Inertial Shakers

Modal Shakers

Quality Product by Quality Service

Products



การทดสอบเสียงความเข้มสูง (High Intensity Acoustic Testing)

การทดสอบเสียงความเข้มสูงมักดำเนินการในห้องทดสอบเสียงสะท้อน (RATF) หรือท่อคลื่นแบบก้าวหน้า (PWT) ห้องทดสอบเหล่านี้ใช้เพื่อสร้างระดับความดันเสียงสูงมากสำหรับการทดสอบชิ้นส่วนอากาศยาน

เสียงจากจรวดและเครื่องบินอาจสร้างความเสียหายให้กับโครงสร้างและชิ้นส่วนอากาศยาน การกระตุ้นด้วยเสียงโดยทั่วไปไม่สามารถจำลองได้โดยใช้เครื่องเขย่าแบบไฟฟ้าหรือไฮดรอลิก ดังนั้นวิศวกรจึงต้องพึ่งพา RATF และ PWT เพื่อสร้างการกระตุ้นด้วยเสียงที่เหมาะสม

การทดสอบเสียงใต้น้ำ (Underwater Acoustic Testing)

ระบบทดสอบเสียงใต้น้ำของ SignalSound มุ่งเน้นไปที่การใช้งานใต้น้ำหลากหลายประเภท รวมถึงการสอบเทียบระยะโซนาร์ การสร้างสัญญาณเสียงของเรือ และการระเบิดของทุ่นระเบิด แหล่งกำเนิดเสียงใต้น้ำสามารถสร้างสัญญาณเสียงที่มักพบในเรือดำน้ำหรือเป้าหมายบนผิวน้ำได้

Quality Product by Quality Service