การทดสอบอายุแบบเร่ง — ความล้มเหลวที่ความเครียดสูง นำลงมาสู่สภาพใช้งาน

เมนู: ข้อมูลอายุ ▸ การทดสอบอายุแบบเร่ง...

---

# ภาค 1 — ฟังก์ชันนี้ทำอะไร

**คำนวณอะไร** ชิ้นส่วนบางชนิดอยู่ได้นานเกินกว่าจะทดสอบที่สภาพปกติ การทดสอบอายุแบบเร่งเดินหน่วยที่ความเครียดสูงกว่า - อุณหภูมิ แรงดัน หรือภาระที่สูงกว่า - เพื่อให้ล้มเหลวภายในไม่กี่สัปดาห์ ReliaEn ฟิตแบบจำลองอายุ–ความเครียด (Arrhenius (อุณหภูมิ) กำลังผกผัน (ภาระ แรงดัน ความเร็ว) Eyring หรือ เชิงเส้น (ไม่แปลง)) กับการแจกแจงอายุหนึ่งแบบที่ทุกระดับใช้รูปร่างร่วมกัน ด้วยการฟิตภาวะน่าจะเป็นสูงสุดครั้งเดียวข้ามทุกระดับ แล้วนำอายุลงมาสู่สภาพใช้งาน

| สิ่งที่ ReliaEn พิมพ์ | สิ่งที่บอก |
|---|---|
| **η ระดับใช้งาน** **B10 ระดับใช้งาน** พร้อมขอบเขต **B50 / MTTF ระดับใช้งาน** และ R(t) ที่ใช้งาน | อายุที่สภาพใช้งาน และความเชื่อถือได้ตลอดภารกิจ |
| ตัวประกอบการเร่ง | แต่ละระดับที่ทดสอบทำให้หน่วยเสื่อมเร็วขึ้นเท่าใด |
| การทดสอบรูปร่างและการทดสอบความเป็นเส้นตรง | มีโหมดความล้มเหลวเดียวที่ถูกเร่งหรือไม่ และเส้นอายุ–ความเครียดมีรูปแบบที่ถูกต้องหรือไม่ |
| **พลังงานกระตุ้น Ea** และการ์ดการประมาณนอกช่วง | คำตอบถูกประมาณออกไปไกลเพียงใด และฟิสิกส์สมเหตุสมผลหรือไม่ (0.3–1.2 eV) |
| การตรวจสอบความน่าเชื่อถือ | การทดสอบซ้ำจำลอง 50 ครั้งของแบบการทดสอบเดียวกันสอดคล้องกับคำตอบเชิงวิเคราะห์หรือไม่ |
| ตารางเปอร์เซ็นไทล์ที่ใช้งาน พร้อมขอบเขต | หน่วยส่วนหนึ่งล้มเหลวแล้วภายในอายุใดที่สภาพใช้งาน |

**จากข้อมูลใด** เวลาล้มเหลวของทุกหน่วยที่ล้มเหลวพร้อมความเครียดที่หน่วยนั้นเดิน ในสองคอลัมน์ของแผ่นงาน เวลาเดินเครื่องและความเครียดของทุกหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว (ถ้ามี) ในอีกสองคอลัมน์ ความเครียดอย่างน้อยสองระดับที่ต่างกัน

**วิศวกรใช้เมื่อใด** เมื่อชิ้นส่วนต้องผ่านการรับรองอายุใช้งานหลายปีด้วยการทดสอบไม่กี่สัปดาห์ และคำถามคืออายุที่สภาพใช้งานจริง และคำตอบนั้นขึ้นกับแบบจำลองเพียงใด

**ไม่ควรใช้เมื่อ**

| สถานการณ์ | ใช้แทน |
|---|---|
| ทุกหน่วยเดินที่ความเครียดระดับเดียว | ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)... (แบบฟอร์มนี้ปฏิเสธระดับเดียว) |
| ต้องการกำหนดขนาดการทดสอบสาธิตก่อนมีข้อมูล | ข้อมูลอายุ ▸ แผนการทดสอบ... |
| ความเครียดเป็นหนึ่งในตัวแปรร่วมหลายตัว ไม่ใช่ระดับการทดสอบ | ข้อมูลอายุ ▸ การถดถอยกับข้อมูลอายุ... |

---

# ภาค 2 — ข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง

*สถานการณ์.* โมดูลกำลังผ่านการรับรองที่ 85, 105 และ 125 °C ในภาคสนามเดินที่ 40 °C และภารกิจคือ 10,000 ชั่วโมง โมดูลยี่สิบสามชิ้นล้มเหลวในการทดสอบ หนึ่งชิ้นเดิน 6,000 ชั่วโมงที่ 85 °C โดยไม่ล้มเหลว วิศวกรความเชื่อถือได้ต้องการอายุของโมดูลที่ 40 °C และความเชื่อถือได้ตลอดภารกิจ

| ข้อมูลนำเข้า | ค่า |
|---|---|
| เวลาล้มเหลวที่ 85 °C เป็นชั่วโมง (7) | 1582.9, 3248.4, 1277.8, 4719.0, 5811.1, 3102.1, 1510.7 |

| | |
|---|---|
| เวลาล้มเหลวที่ 105 °C เป็นชั่วโมง (8) | 1681.0, 1049.1, 530.5, 1023.5, 816.0, 564.6, 1332.0, 614.0 |
| เวลาล้มเหลวที่ 125 °C เป็นชั่วโมง (8) | 189.9, 366.2, 249.4, 347.4, 326.5, 431.6, 6.7, 245.3 |
| หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว | 6000 ชั่วโมงที่ 85 °C |
| แบบจำลองอายุ–ความเครียด / การแจกแจงอายุ | Arrhenius (อุณหภูมิ) / ไวบูลล์ |
| อุณหภูมิเป็น °C (แปลงเป็น K) | ทำเครื่องหมาย |
| ความเครียดใช้งาน / เวลาภารกิจ t / ความเชื่อมั่น % | 40 / 10000 / 95 |
| ไฟล์ในไฟล์ zip ของตัวอย่างพร้อมวิธีทำ | 2-Accelerated-Life-Testing/Example-1.csv — คอลัมน์ Failure time Failure stress (23) Censored time Censored stress (1) |

| | ① A | ② B | ③ C | ④ D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1582.9 | 85 | 6000 | 85 | |
| 2 | 3248.4 | 85 | | | |
| 3 | 1277.8 | 85 | | | |
| 4 | 4719.0 | 85 | | | |
| 5 | 5811.1 | 85 | | | |
| 6 | 3102.1 | 85 | | | |
| 7 | 1510.7 | 85 | | | |
| 8 | 1681.0 | 105 | | | |
| 9 | 1049.1 | 105 | | | |
| 10 | 530.5 | 105 | | | |
| 11 | 1023.5 | 105 | | | |
| 12 | 816.0 | 105 | | | |
| 13 | 564.6 | 105 | | | |
| 14 | 1332.0 | 105 | | | |
| 15 | 614.0 | 105 | | | |
| 16 | 189.9 | 125 | | | |
| 17 | 366.2 | 125 | | | |
| 18 | 249.4 | 125 | | | |
| 19 | 347.4 | 125 | | | |
| 20 | 326.5 | 125 | | | |
| 21 | 431.6 | 125 | | | |
| 22 | 6.7 | 125 | | | |
| 23 | 245.3 | 125 | | | |
| 24 | | | | | |

ข้อมูลตัวอย่างในแผ่นงาน

- ① คอลัมน์ A: เวลาล้มเหลว 23 ค่า เป็นชั่วโมง
- ② คอลัมน์ B: อุณหภูมิที่โมดูลที่ล้มเหลวแต่ละชิ้นเดิน เป็น °C
- ③ คอลัมน์ C: เวลาเดินเครื่องของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว
- ④ คอลัมน์ D: อุณหภูมิของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว

---

# ภาค 3 — วิธีใช้ ทีละขั้นตอน

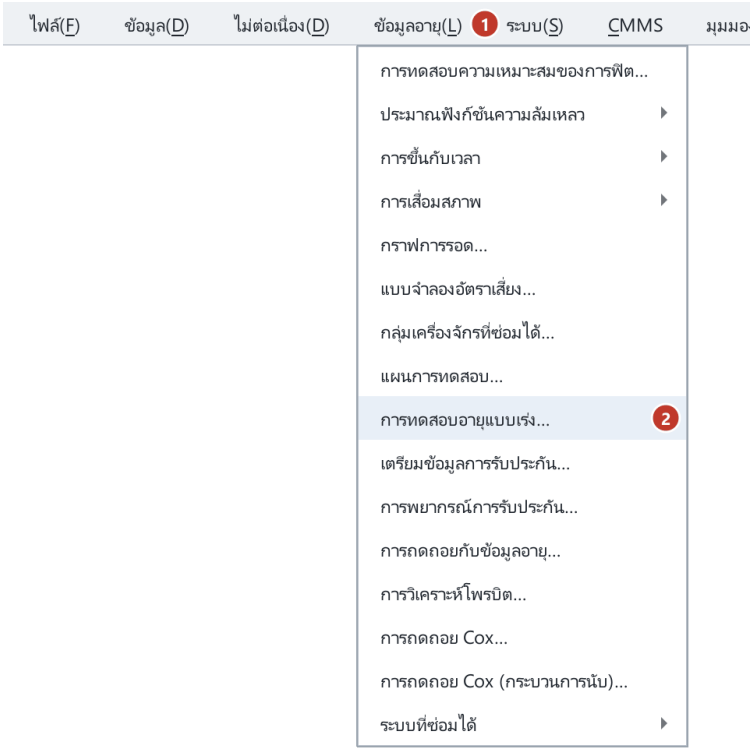
1. **ใส่ผลการทดสอบในคอลัมน์ A ถึง D** คัดลอกค่าของ Example-1.csv ลงในแผ่นงาน เริ่มที่แถว 1: คอลัมน์ Failure time และ Failure stress (23 แถว) ลงในคอลัมน์ A และ B และ Censored time และ Censored stress (1 แถว) ลงในคอลัมน์ C และ D

| | ① A | ② B | ③ C | ④ D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1582.9 | 85 | 6000 | 85 | |
| 2 | 3248.4 | 85 | | | |
| 3 | 1277.8 | 85 | | | |
| 4 | 4719.0 | 85 | | | |
| 5 | 5811.1 | 85 | | | |
| 6 | 3102.1 | 85 | | | |
| 7 | 1510.7 | 85 | | | |
| 8 | 1681.0 | 105 | | | |
| 9 | 1049.1 | 105 | | | |
| 10 | 530.5 | 105 | | | |
| 11 | 1023.5 | 105 | | | |
| 12 | 816.0 | 105 | | | |
| 13 | 564.6 | 105 | | | |
| 14 | 1332.0 | 105 | | | |
| 15 | 614.0 | 105 | | | |
| 16 | 189.9 | 125 | | | |
| 17 | 366.2 | 125 | | | |
| 18 | 249.4 | 125 | | | |
| 19 | 347.4 | 125 | | | |
| 20 | 326.5 | 125 | | | |
| 21 | 431.6 | 125 | | | |
| 22 | 6.7 | 125 | | | |
| 23 | 245.3 | 125 | | | |
| 24 | | | | | |

ขั้นตอนที่ 1 — ผลการทดสอบในคอลัมน์ A ถึง D

- ① คอลัมน์ A: เวลาความล้มเหลว 23 ค่า ตั้งแต่ 6.7 ถึง 5811.1 ชั่วโมง
- ② คอลัมน์ B: อุณหภูมิที่โมดูลที่ล้มเหลวแต่ละตัวทำงาน - 85, 105 หรือ 125 °C
- ③ คอลัมน์ C: 6000 ชั่วโมงของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว
- ④ คอลัมน์ D: 85 °C ของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว

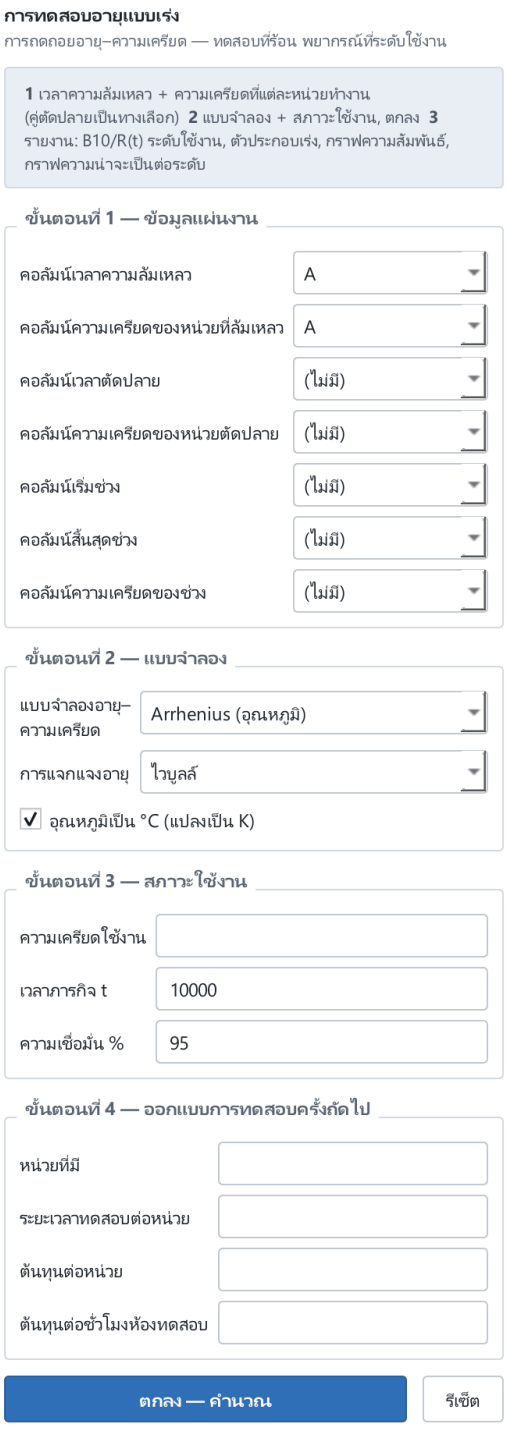
2. **เลือก ข้อมูลอายุ ▸ การทดสอบอายุแบบเร่ง...** ในแถบเมนู แบบฟอร์ม การทดสอบอายุแบบเร่ง เปิดขึ้นในแผงด้านซ้าย




ขั้นตอนที่ 2 — เส้นทางเมนู

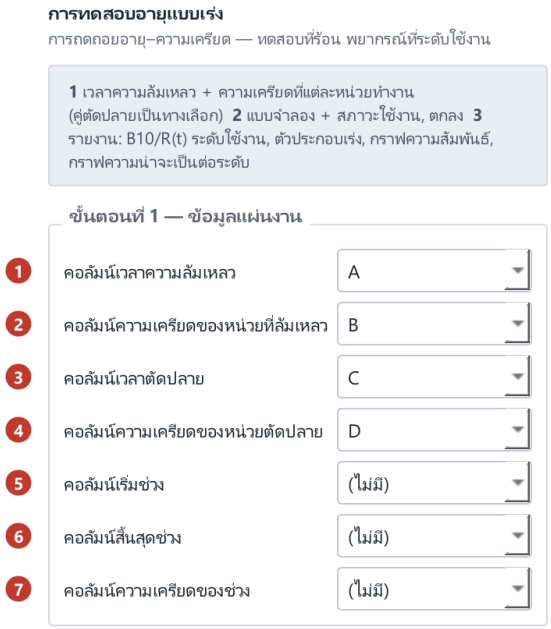
- ① ข้อมูลอายุ: เมนู
- ② การทดสอบอายุแบบเร่ง...: รายการที่ต้องคลิก

แบบฟอร์มเมื่อเปิด ก่อนตั้งค่าช่องใด:

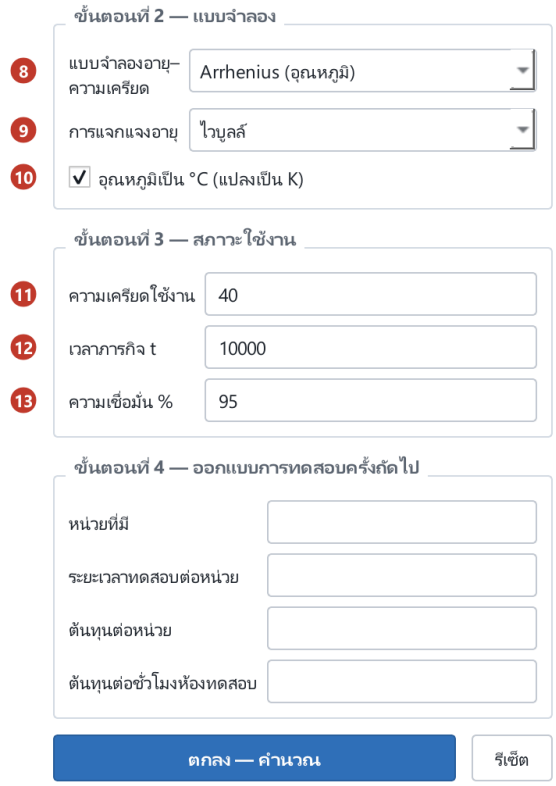



ขั้นตอนที่ 2 — แบบฟอร์มเมื่อเปิด

ขั้นตอนที่ 3 ถึง 15 ตั้งหรือตรวจสิบสามช่องของแบบฟอร์ม แสดงในสองภาพ - ขั้นตอนที่ 1 — ข้อมูลแผ่นงาน กับ ① ถึง ⑦ แล้ว ขั้นตอนที่ 2 — แบบจำลอง และ ขั้นตอนที่ 3 — สภาวะใช้งาน กับ ⑧ ถึง ⑬:



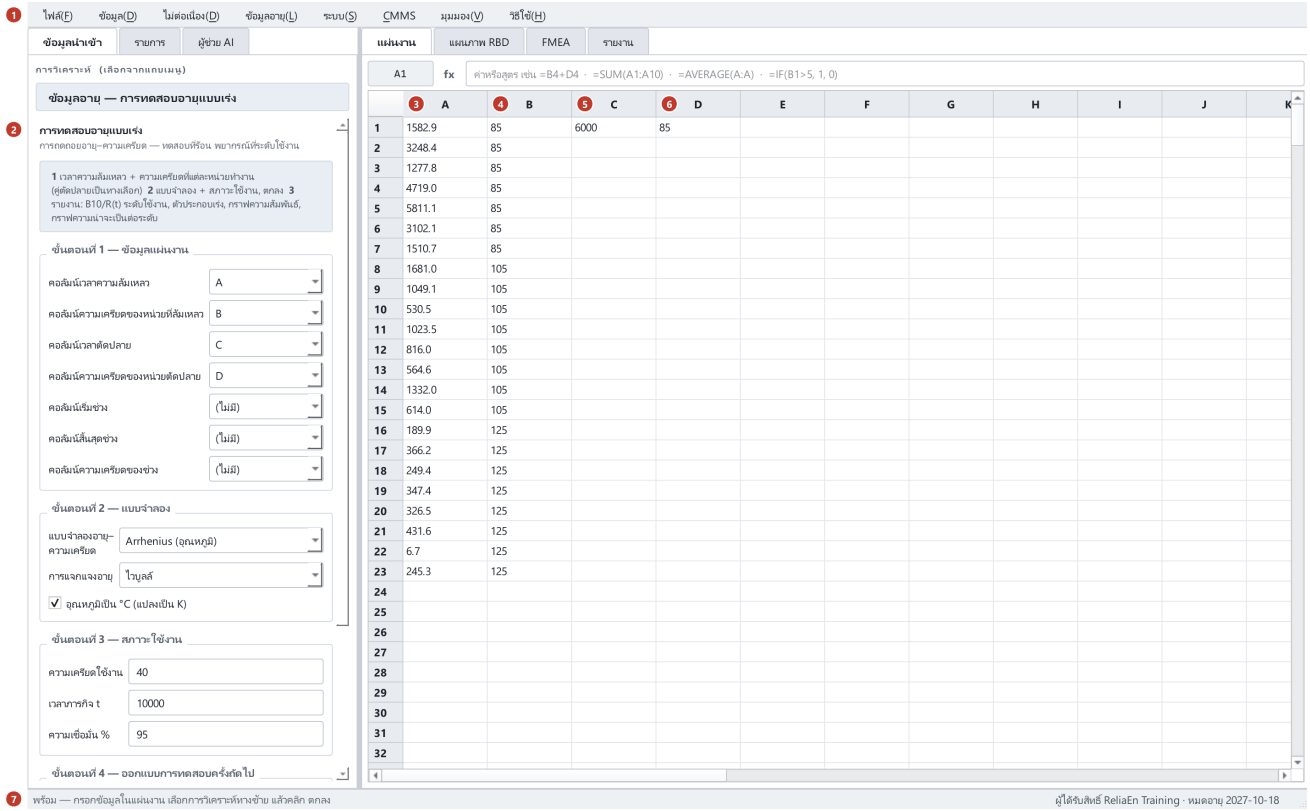

ขั้นตอนที่ 3 ถึง 9 — ช่องข้อมูลแผ่นงานที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้




ขั้นตอนที่ 10 ถึง 15 — ช่องแบบจำลองและสภาวะใช้งานที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้

3. ① **ตรวจว่า** **คอลัมน์เวลาความล้มเหลว** **เป็น** **A**
4. ② **ใน** **คอลัมน์ความเครียดของหน่วยที่ล้มเหลว** **เลือก** **B**
5. ③ **ใน** **คอลัมน์เวลาตัดปลาย** **เลือก** **C**
6. ④ **ใน** **คอลัมน์ความเครียดของหน่วยตัดปลาย** **เลือก** **D**
7. ⑤ **ตรวจว่า** **คอลัมน์เริ่มช่วง** **เป็น** **(ไม่มี)** ช่องของช่วงทั้งสามใช้กับหน่วยที่พบว่าล้มเหลวเมื่อตรวจ
8. ⑥ **ตรวจว่า** **คอลัมน์สิ้นสุดช่วง** **เป็น** **(ไม่มี)**
9. ⑦ **ตรวจว่า** **คอลัมน์ความเครียดของช่วง** **เป็น** **(ไม่มี)**
10. ⑧ **ตรวจว่า** **แบบจำลองอายุ–ความเครียด** **เป็น** **Arrhenius (อุณหภูมิ)**
11. ⑨ **ตรวจว่า** **การแจกแจงอายุ** **เป็น** **ไวบูลล์**
12. ⑩ **ตรวจว่า** **อุณหภูมิเป็น °C (แปลงเป็น K)** **มีเครื่องหมายถูก** ReliaEn บวก 273.15 กับทุกอุณหภูมิ เพราะแบบจำลอง Arrhenius ใช้หน่วยเคลวิน
13. ⑪ **ใน** **ความเครียดใช้งาน** **พิมพ์** **40**
14. ⑫ **ตรวจว่า** **เวลาภารกิจ t** **เป็น** **10000**
15. ⑬ **ตรวจว่า** **ความเชื่อมั่น %** **เป็น** **95** ช่องของ ขั้นตอนที่ 4 — ออกแบบการทดสอบครั้งถัดไป เว้นว่างไว้ในตัวอย่างนี้

16. **คลิก ตกลง — คำนวณ** ที่ท้ายแบบฟอร์ม (② ในภาพด้านล่าง) ReliaEn คำนวณและแสดงรายงาน



ขั้นตอนที่ 16 — หน้าต่างก่อนกดตกลง

- ① แถบเมนู: ไฟล์, ข้อมูล, ไม่ต่อเนื่อง, ข้อมูลอายุ, ระบบ, CMMS, มุมมอง, วิธีใช้
- ② แบบฟอร์มที่ตั้งค่าตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 15 มี ตกลง — คำนวณ อยู่ที่ท้าย
- ③ คอลัมน์ A: เวลาความล้มเหลว
- ④ คอลัมน์ B: อุณหภูมิของหน่วยที่ล้มเหลว
- ⑤ คอลัมน์ C: เวลาของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว
- ⑥ คอลัมน์ D: อุณหภูมิของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว
- ⑦ แถบสถานะ: พร้อม — กรอกข้อมูลในแผ่นงาน เลือกการวิเคราะห์ทางซ้าย แล้วคลิก ตกลง และ ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · หมดอายุ 2027-10-18

---

# ภาค 4 — รายงาน ทีละการ์ด

**ข้อมูลอายุ — การทดสอบอายุแบบเร่ง**

```
2026-11-04 07:19:00
Arrhenius: ln η = a + b/T ; MLE ตัดปลายรวม, ร่วม β
```

ส่วนหัวของรายงาน

- ชื่อเรื่อง ข้อมูลอายุ — การทดสอบอายุแบบเร่ง วันที่และเวลาที่คำนวณ และแบบจำลองในหนึ่งบรรทัด: Arrhenius: ln η = a + b/T; MLE ตัดปลายรวม, ร่วม β

**ข้อมูลนำเข้า**

| | |
|---|---|
| ข้อมูล | แผ่นงานนี้ — 23 ความล้มเหลว / 1 ตัดปลาย, 3 ระดับความเครียด |
| แบบจำลองอายุ–ความเครียด | Arrhenius: ln η = a + b/T |
| การแจกแจงอายุ | weibull |
| การจัดการความเครียด | °C แปลงเป็น K (+273.15) |
| สภาวะใช้งาน | ความเครียด 40, ภารกิจ 10000 |

ข้อมูลนำเข้า

- ① ข้อมูล แผ่นงานนี้ — 23 ความล้มเหลว / 1 ตัดปลาย, 3 ระดับความเครียด
- ② แบบจำลองอายุ–ความเครียด Arrhenius: ln η = a + b/T
- ③ การแจกแจงอายุ weibull
- ④ การจัดการความเครียด °C แปลงเป็น K (+273.15)
- ⑤ สภาวะใช้งาน ความเครียด 40, ภารกิจ 10000

**ผลลัพธ์**

| | |
|---|---|
| a ที่ฟิต | -17.8451 (SE 2.3940) |
| b ที่ฟิต | 9371.9891 (SE 904.9640) |
| รูปร่างร่วม β | 2.0337 (SE 0.3575) |
| พลังงานกระตุ้น Ea | 0.808 eV |
| η ระดับใช้งาน | 176,835.9 |
| B10 ระดับใช้งาน | 58,479.9 [19,687.9, 173,706.1] |
| B50 / MTTF ระดับใช้งาน | 147,673.3 / 156,674.4 |
| R(10000) ที่ระดับใช้งาน | 0.9971 |

ผลลัพธ์

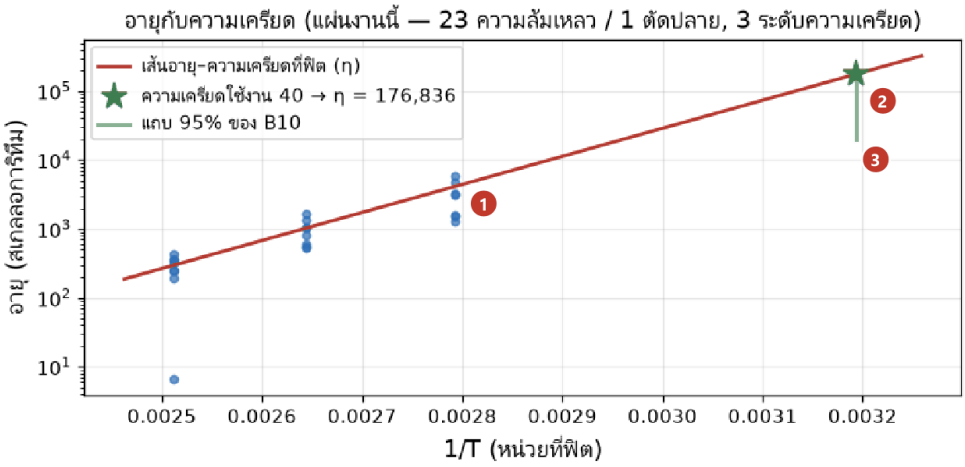
- ① a ที่ฟิต -17.8451 (SE 2.3940)
- ② b ที่ฟิต 9371.9891 (SE 904.9640): ความชันของ ln η เทียบกับ 1/T
- ③ รูปร่างร่วม β 2.0337 (SE 0.3575): รูปร่างเดียวสำหรับทั้งสามระดับ
- ④ พลังงานกระตุ้น Ea 0.808 eV: b คูณค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์
- ⑤ η ระดับใช้งาน 176,835.9
- ⑥ B10 ระดับใช้งาน 58,479.9 [19,687.9, 173,706.1]
- ⑦ B50 / MTTF ระดับใช้งาน 147,673.3 / 156,674.4
- ⑧ R(10000) ที่ระดับใช้งาน 0.9971: ความเชื่อถือได้ตลอดภารกิจที่ 40 °C

**การตีความ**

| | |
|---|---|
| 1 | หน่วยที่ทดสอบที่ความเครียดสูงล้มเหลวเร็วกว่า; เส้นอายุ–ความเครียดนำความล้มเหลวเหล่านั้นลงมาสู่สภาวะใช้งาน ทุกอย่างต่ำกว่าความเครียดที่ทดสอบต่ำสุดพึ่งพาข้อสมมติของแบบจำลอง (ระบุด้านบน) — ตารางการเร่งแสดงว่าแต่ละระดับถูกยืดไปไกลเพียงใด |

การตีความ

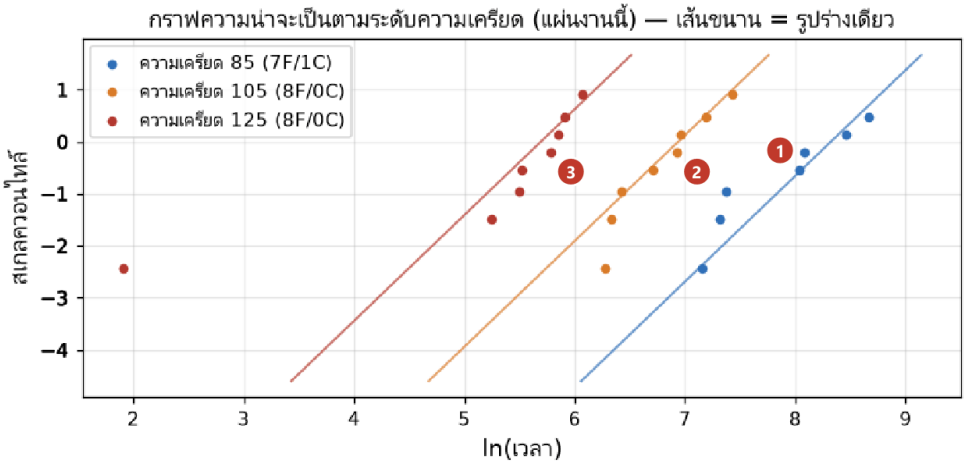
- ① การอ่านของ ReliaEn: หน่วยที่ทดสอบที่ความเครียดสูงล้มเหลวเร็วกว่า; เส้นอายุ–ความเครียดนำความล้มเหลวเหล่านั้นลงมาสู่สภาวะใช้งาน ทุกอย่างต่ำกว่าความเครียดที่ทดสอบต่ำสุดพึ่งพาข้อสมมติของแบบจำลอง (ระบุด้านบน) — ตารางการเร่งแสดงว่าแต่ละระดับถูกยืดไปไกลเพียงใด




กราฟแบบโต้ตอบ

อายุกับความเครียด (แผ่นงานนี้ — 23 ความล้มเหลว / 1 ตัดปลาย, 3 ระดับความเครียด)

- ① เส้นอายุ–ความเครียดที่ฟิต (η): เป็นเส้นตรงบนแกนนี้ อายุบนสเกลลอการิทึมเทียบกับ 1/T
- ② ความเครียดใช้งาน 40 → η = 176,836: ดาว ซึ่งอยู่ไกลไปทางขวาของระดับที่ทดสอบ
- ③ แถบ 95% ของ B10: แท่งใต้ดาว




กราฟแบบโต้ตอบ

กราฟความน่าจะเป็นตามระดับความเครียด (แผ่นงานนี้) — เส้นขนาน = รูปร่างเดียว

- ① ความเครียด 85 (7F/1C): ล้มเหลว 7 และยังไม่ล้มเหลว 1
- ② ความเครียด 105 (8F/0C)
- ③ ความเครียด 125 (8F/0C): ความล้มเหลวที่ 6.7 ชั่วโมงอยู่แยกออกไปทางซ้ายสุด

เส้นทั้งสามขนานกัน: รูปร่างเดียวฟิตได้ทุกระดับ

**ตัวประกอบเร่ง — แต่ละระดับที่ทดสอบ → ระดับใช้งาน (แผ่นงานนี้ — 23 ความล้มเหลว / 1 ตัดปลาย, 3 ระดับความเครียด)**

1 AF = อายุที่ระดับใช้งาน / อายุที่ระดับนั้น จากแบบจำลองที่ฟิตแล้ว ตัวประกอบที่ใหญ่หมายถึงการต่อขยายที่หนัก — การเลือกแบบจำลองเป็นตัวกำหนดคำตอบ

| ความเครียดที่ทดสอบ | AF ไปยังระดับใช้งาน |
|---|---|
| 85 | 42.96 |
| 105 | 171.46 |
| 125 | 595.42 |

2 3 4

ตัวประกอบเร่ง — แต่ละระดับที่ทดสอบ → ระดับใช้งาน (แผ่นงานนี้ — 23 ความล้มเหลว / 1 ตัดปลาย, 3 ระดับความเครียด)

- ① AF = อายุที่ระดับใช้งาน / อายุที่ระดับนั้น จากแบบจำลองที่ฟิตแล้ว ตัวประกอบที่ใหญ่หมายถึงการต่อขยายที่หนัก — การเลือกแบบจำลองเป็นตัวกำหนดคำตอบ
- ② 85: 42.96
- ③ 105: 171.46
- ④ 125: 595.42

**ระดับความเครียด (แผ่นงานนี้ — 23 ความล้มเหลว / 1 ตัดปลาย, 3 ระดับความเครียด)**

1 η ของแบบจำลองที่แต่ละระดับ — เทียบกับจุดต่อระดับของกราฟความน่าจะเป็นเพื่อตัดสินการฟิตด้วยสายตา

| ความเค้น | ความล้มเหลว | ตัดปลาย | η ของแบบจำลอง |
|---|---|---|---|
| 85 | 7 | 1 | 4,116.0 |
| 105 | 8 | 0 | 1,031.4 |
| 125 | 8 | 0 | 297.0 |

2 3 4 5

6 7 8

ระดับความเครียด (แผ่นงานนี้ — 23 ความล้มเหลว / 1 ตัดปลาย, 3 ระดับความเครียด)

- ① η ของแบบจำลองที่แต่ละระดับ — เทียบกับจุดต่อระดับของกราฟความน่าจะเป็นเพื่อตัดสินการฟิตด้วยสายตา
- ② ถึง ⑤ คอลัมน์ ความเค้น, ความล้มเหลว, ตัดปลาย, η ของแบบจำลอง
- ⑥ 85: ล้มเหลว 7 ตัดปลาย 1 η 4,116.0
- ⑦ 105: 8, 0, η 1,031.4
- ⑧ 125: 8, 0, η 297.0

**รูปร่างเดียวอธิบายได้ทุกระดับหรือไม่ (แผ่นงานนี้ — 23 ความล้มเหลว / 1 ตัดปลาย, 3 ระดับความเครียด)**

1 การทดสอบรูปร่าง: LR = 1.452, p = 0.484 — β เดียวอธิบายได้ทุกระดับ; การเร่งกำลังขนส่งโหมดความล้มเหลวเดียว ความเป็นเชิงเส้น: LR = 0.001, p = 0.974 — เส้นอายุ–ความเครียดฟิตกับอายุของระดับต่าง ๆ

| ความเค้น | β (ฟิตของตนเอง) | ล็อกภาวะน่าจะเป็น |
|---|---|---|
| 85 | 1.7840 | -63.504 |
| 105 | 2.7102 | -58.570 |
| 125 | 1.7217 | -51.669 |
| COMMON | 2.0337 | -174.469 |

2 3 4

5 6 7 8

รูปร่างเดียวอธิบายได้ทุกระดับหรือไม่ (แผ่นงานนี้ — 23 ความล้มเหลว / 1 ตัดปลาย, 3 ระดับความเครียด)

- ① การทดสอบรูปร่าง: LR = 1.452, p = 0.484 — β เดียวอธิบายได้ทุกระดับ; การเร่งกำลังขนส่งโหมดความล้มเหลวเดียว ความเป็นเชิงเส้น: LR = 0.001, p = 0.974 — เส้นอายุ–ความเครียดฟิตกับอายุของระดับต่าง ๆ
- ② ถึง ④ คอลัมน์ ความเค้น, β (ฟิตของตนเอง), ล็อกภาวะน่าจะเป็น
- ⑤ 85: β 1.7840, -63.504
- ⑥ 105: β 2.7102, -58.570
- ⑦ 125: β 1.7217, -51.669
- ⑧ COMMON: β 2.0337, -174.469

**การต่อขยายนี้ไกลเพียงใด (ฟิตกลุ่มเครื่องจักร)**

1 สภาวะใช้งานอยู่ไกล 42.96 เท่าจากระดับที่ทดสอบอ่อนที่สุด (ต่อขยาย 1.63 ช่วงสิบเท่าบนสเกลลอการิทึม) — ทุกอย่างเลยข้อมูลพึ่งพาข้อสมมติของแบบจำลอง Ea ที่ฟิต = 0.81 eV อยู่ในช่วงปกติ 0.3–1.2 eV สำหรับกลไกทางความร้อน — ฟิสิกส์สมเหตุสมผล

การต่อขยายนี้ไกลเพียงใด (ฟิตกลุ่มเครื่องจักร)

- ① สภาวะใช้งานอยู่ไกล 42.96 เท่าจากระดับที่ทดสอบอ่อนที่สุด (ต่อขยาย 1.63 ช่วงสิบเท่าบนสเกลลอการิทึม) — ทุกอย่างเลยข้อมูลพึ่งพาข้อสมมติของแบบจำลอง Ea ที่ฟิต = 0.81 eV อยู่ในช่วงปกติ 0.3–1.2 eV สำหรับกลไกทางความร้อน — ฟิสิกส์สมเหตุสมผล

**การตรวจสอบความเชื่อถือ — การจำลองแบบมีค่าเริ่มต้นสุ่ม (ฟิต ALT)**

1 การทดสอบซ้ำจำลอง 50 ครั้งของแบบนี้วาง B10 ระดับใช้งานไว้ระหว่าง 23,106 และ 147,382 (5–95%) คำตอบเชิงวิเคราะห์ 58,480 อยู่ภายในช่วงนั้น — ทั้งสองเส้นทางสอดคล้องกัน

การตรวจสอบความเชื่อถือ — การจำลองแบบมีค่าเริ่มต้นสุ่ม (ฟิต ALT)

- ① การทดสอบซ้ำจำลอง 50 ครั้งของแบบนี้วาง B10 ระดับใช้งานไว้ระหว่าง 23,106 และ 147,382 (5–95%) คำตอบเชิงวิเคราะห์ 58,480 อยู่ภายในช่วงนั้น — ทั้งสองเส้นทางสอดคล้องกัน

**ตารางเปอร์เซ็นไทล์ที่ความเครียดใช้งาน 40 — อายุ B พร้อมขอบเขต**

1 ขอบเขตวิธีเดลตาบน ln B_p ที่ระดับใช้งาน — กลไกเดียวกับแถบ B10 ระดับใช้งาน; แถวนั้นปรากฏที่นี่เป็นเส้น 10%

| 2 เปอร์เซ็นไทล์ | 3 อายุ B | 4 ขอบเขต 95% |
|---|---|---|
| 1% | 18,416.8 | [5,013.0, 67,659.4] |
| 5% | 41,047.6 | [13,084.4, 128,772.5] |
| 5 10% | 58,479.9 | [19,687.9, 173,706.1] |
| 25% | 95,831.9 | [34,148.5, 268,935.6] |
| 50% | 147,673.3 | [54,140.5, 402,792.9] |
| 75% | 207,645.7 | [76,677.0, 562,316.7] |
| 90% | 266,487.8 | [98,063.0, 724,185.0] |
| 95% | 303,301.2 | [111,085.9, 828,112.4] |
| 99% | 374,712.6 | [135,623.2, 1,035,291.0] |

ตารางเปอร์เซ็นไทล์ที่ความเครียดใช้งาน 40 — อายุ B พร้อมขอบเขต

- ① ขอบเขตวิธีเดลตาบน ln B_p ที่ระดับใช้งาน — กลไกเดียวกับแถบ B10 ระดับใช้งาน; แถวนั้นปรากฏที่นี่เป็นเส้น 10%
- ② ถึง ④ คอลัมน์ เปอร์เซ็นไทล์, อายุ B, ขอบเขต 95%
- ⑤ แถว 10%: 58,479.9 [19,687.9, 173,706.1] - อายุ B10 ของการ์ดผลลัพธ์

1 ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · RL-2026-0017

ท้ายรายงาน

- ① บรรทัดสิทธิ์การใช้งาน ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · RL-2026-0017: สิทธิ์การใช้งานที่ใช้สร้างรายงานนี้

---

# ภาค 5 — วิธีตีความผลลัพธ์

**อายุที่ 40 °C** อายุลักษณะเฉพาะที่ใช้งานคือ 176,835.9 ชั่วโมง โมดูลหนึ่งในสิบล้มเหลวภายใน 58,479.9 ชั่วโมง (B10) ครึ่งหนึ่งภายใน 147,673.3 ชั่วโมง และอายุเฉลี่ยคือ 156,674.4 ชั่วโมง ตลอดภารกิจ 10,000 ชั่วโมง ความเชื่อถือได้คือ 0.9971 เมื่อความล้มเหลวช่วงแรกมีราคาสูง ให้วางแผนด้วยขอบล่างของ B10 คือ 19,687.9 ชั่วโมง ไม่ใช่ค่าประมาณ

**โหมดความล้มเหลวเดียว เส้นตรงเส้นเดียว** รูปร่างของแต่ละระดับคือ 1.7840, 2.7102 และ 1.7217 เทียบกับรูปร่างร่วม 2.0337 การทดสอบรูปร่างให้ p = 0.484 และการทดสอบความเป็นเส้นตรงให้ p = 0.974 ไม่มีการทดสอบใดปฏิเสธ: ความเครียดเร่งโหมดความล้มเหลวเดียวโดยไม่เปลี่ยนมัน และเส้น Arrhenius ฟิตกับอายุของแต่ละระดับ รูปร่างร่วมที่สูงกว่า 1 บอกว่าโมดูลสึกหรอ

**คำตอบถูกยืดออกไปไกลเพียงใด** ตัวประกอบการเร่งคือ 42.96 ที่ 85 °C, 171.46 ที่ 105 °C และ 595.42 ที่ 125 °C: จุดใช้งานอยู่ห่างจากระดับทดสอบที่อ่อนที่สุด 1.63 ทศวรรษ และทุกอย่างที่เกินข้อมูลขึ้นกับแบบจำลอง พลังงานกระตุ้น 0.808 eV อยู่ในช่วงปกติ 0.3–1.2 eV ของความล้มเหลวจากความร้อน ฟิสิกส์จึงสมเหตุสมผล ระดับทดสอบที่ต่ำกว่าจะลดการยืดนี้ลงถ้าคำตอบต้องหนักแน่นกว่านี้

**การทดสอบซ้ำจะสอดคล้องหรือไม่** การทดสอบซ้ำจำลองห้าสิบครั้งของแบบการทดสอบนี้ให้ B10 ที่ใช้งานระหว่าง 23,106 ถึง 147,382 ชั่วโมง ค่าเชิงวิเคราะห์ 58,480 อยู่ภายในช่วงนั้น ขอบเขตบนการ์ดผลลัพธ์จึงใช้ได้