ค่าสุดขีดต่ำสุด — อายุของจุดอ่อนที่สุด บนแกนข้อมูล

เมนู: ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ ค่าสุดขีดต่ำสุด...

---

# ภาค 1 — ฟังก์ชันนี้ทำอะไร

**คำนวณอะไร** แบบจำลองค่าสุดขีดต่ำสุด (SEV) หรือ Gumbel-min อธิบายอายุของจุดอ่อนที่สุดที่วัดบนแกนเวลาโดยตรง: F(t) = 1 − exp(−e^((t − μ)/σ)) อัตราเสี่ยงเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลตามอายุ - เร็วกว่าไวบูลล์ใด ๆ - จึงเหมาะกับหน่วยที่ใช้งานได้ดีแล้วล้มเหลวในช่วงสึกหรอสั้นและรุนแรง ReliaEn ฟิตตำแหน่ง μ (อายุที่หน่วย 63.2% ล้มเหลวแล้ว) และสเกล σ (การกระจาย ในหน่วยของข้อมูลเอง) ด้วยภาวะน่าจะเป็นสูงสุดพร้อมขอบเขต จากอายุที่ล้มเหลวแบบเวลาแน่นอน หรือจากจำนวนที่พบเมื่อตรวจ และให้ MTTF มัธยฐาน อายุ B พร้อมขอบเขต และกราฟสองรูป

| สิ่งที่ **ReliaEn พิมพ์** | **สิ่งที่บอก** |
|---|---|
| **μ̂** และ **σ̂** พร้อมขอบเขต | ความล้มเหลวรวมตัวที่ใด และกระจายกว้างเพียงใด เป็นชั่วโมง |
| **MTTF อายุมัธยฐาน** | ศูนย์กลางสองแบบ MTTF ต่ำกว่ามัธยฐานเพราะหางซ้ายยาว |
| **อายุ B** และ**ตารางเปอร์เซ็นไทล์**พร้อมขอบเขต | หน่วยส่วนหนึ่งล้มเหลวแล้วภายในอายุใด |
| **กราฟความน่าจะเป็น** | จุดเรียงบนเส้น SEV หรือไม่ |
| **R(t) และอัตราเสี่ยง** | ความเชื่อถือได้ลดลงอย่างไร และอัตราเสี่ยงขึ้นเร็วเพียงใด |

**จากข้อมูลใด** อายุที่ล้มเหลวแบบเวลาแน่นอนในคอลัมน์เดียว (อายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว ถ้ามี อยู่ในอีกคอลัมน์) หรือช่วงการตรวจ อย่างตัวอย่างของบทนี้: เวลาเริ่ม เวลาสิ้นสุด จำนวนที่ล้มเหลว และจำนวนที่ถูกถอดออกขณะยังทำงานอยู่ ต่อช่วง

**วิศวกรใช้เมื่อใด** เมื่อหน่วยสึกหรออย่างรวดเร็วในช่วงท้ายอายุ และอายุที่เกี่ยวข้องอยู่ห่างจากศูนย์มากพอ

**ไม่ควรใช้เมื่อ**

| **สถานการณ์** | **ใช้แทน** |
|---|---|
| อายุติดลบไม่ได้ แต่การฟิตให้หน่วยส่วนหนึ่งอยู่ต่ำกว่าอายุ 0 | ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)... (SEV บน ln t) |
| อายุที่ล้มเหลวกระจายเท่า ๆ กันทั้งสองข้างของศูนย์กลาง | ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงลอจิสติก... |
| อัตราความล้มเหลวไม่เปลี่ยนตามอายุ | ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงเอกซ์โพเนนเชียล... |

---

# ภาค 2 — ข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง

*สถานการณ์.* แท่นทดสอบเดินซีลยาง 14 ชิ้นและตรวจที่ 100, 150, 200 และ 300 ชั่วโมง ในการตรวจแต่ละครั้ง ช่างเทคนิคนับซีลที่พบว่าล้มเหลวนับตั้งแต่การตรวจครั้งก่อน ระหว่างทางมีซีลสองชิ้นถูกถอดออกขณะยังทำงานอยู่ ที่ 100 และที่ 200 ชั่วโมง และอีกสองชิ้นยังทำงานอยู่เมื่อหยุดการทดสอบที่ 300 ชั่วโมง วิศวกรความเชื่อถือได้ต้องการรู้อายุของซีล และตัวเลขความล้มเหลวช่วงแรกไว้วางแผน

| ข้อมูลนำเข้า | ค่า |
|---|---|
| ช่วงการตรวจ (4) | 0–100, 100–150, 150–200, 200–300 ชั่วโมง |
| หน่วยที่ล้มเหลวต่อช่วง | 3, 2, 2, 3 (รวม 10) |
| หน่วยตัดปลายต่อช่วง | 1, 0, 1, 2 (รวม 4) แต่ละชิ้นถูกถอดออกเมื่อสิ้นสุดช่วง |
| ไฟล์ในไฟล์ zip ของตัวอย่างพร้อมวิธีทำ | 2-Smallest-Extreme-Value/Example-1.csv — สี่คอลัมน์ หัวคอลัมน์ Start time, End time, Failed units, Censored units 4 แถว |
| ความเชื่อมั่น % / ระดับอายุ B % | 95 / 10 — ค่าที่แบบฟอร์มมีอยู่เมื่อเปิด |

| | P | Q | R | S | T | 1 U | 2 V | 3 W | 4 X | Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | 0 | 100 | 3 | 1 | |
| 2 | | | | | | 100 | 150 | 2 | 0 | |
| 3 | | | | | | 150 | 200 | 2 | 1 | |
| 4 | | | | | | 200 | 300 | 3 | 2 | |
| 5 | | | | | | | | | | |

ข้อมูลตัวอย่างในแผ่นงาน

- ① คอลัมน์ U: เวลาเริ่มของแต่ละช่วงการตรวจ ตั้งแต่ 0 ถึง 200
- ② คอลัมน์ V: เวลาสิ้นสุดของแต่ละช่วง ตั้งแต่ 100 ถึง 300
- ③ คอลัมน์ W: ซีลที่พบว่าล้มเหลวในแต่ละช่วง
- ④ คอลัมน์ X: ซีลที่ถูกถอดออกขณะยังทำงานอยู่เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วง

---

# ภาค 3 — วิธีใช้ ทีละขั้นตอน

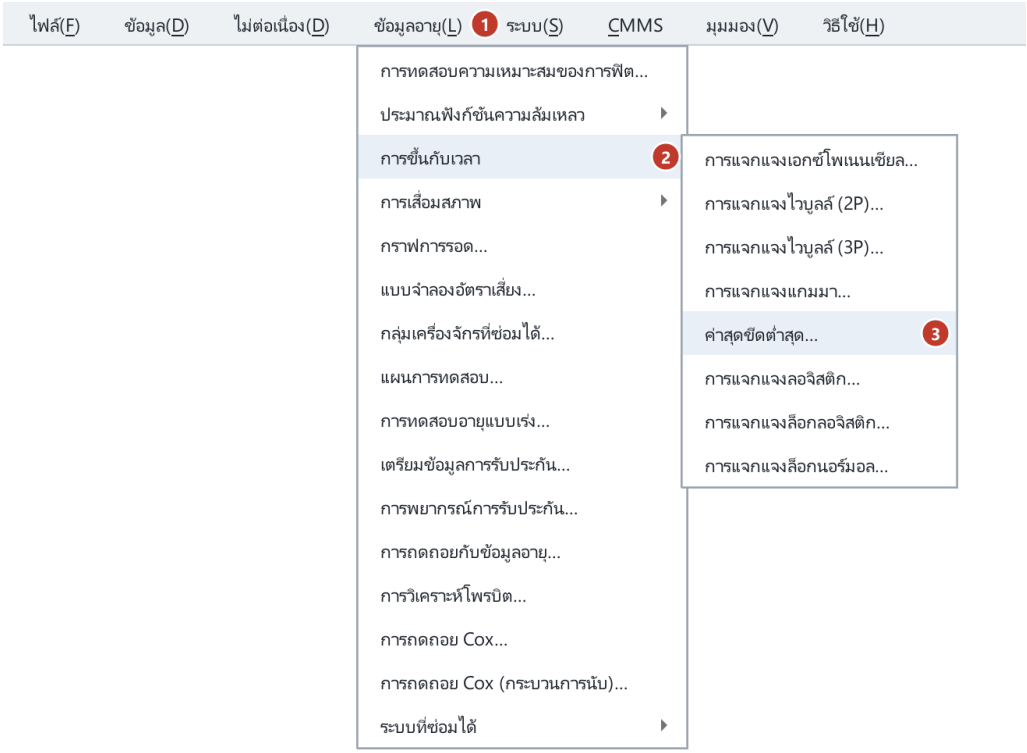
1. **ใส่สี่คอลัมน์ลงใน U ถึง X** คัดลอก 4 แถวของ Example-1.csv ที่อยู่ใต้หัวคอลัมน์ Start time, End time, Failed units และ Censored units ลงในคอลัมน์ U ถึง X ของแผ่นงาน เริ่มที่แถว 1 ใช้สี่คอลัมน์ใดก็ได้ ตัวอย่างนี้ใช้ U ถึง X

| | P | Q | R | S | T | 1 U | 2 V | 3 W | 4 X | Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | 0 | 100 | 3 | 1 | |
| 2 | | | | | | 100 | 150 | 2 | 0 | |
| 3 | | | | | | 150 | 200 | 2 | 1 | |
| 4 | | | | | | 200 | 300 | 3 | 2 | |
| 5 | | | | | | | | | | |

ขั้นตอนที่ 1 — ช่วงการตรวจในคอลัมน์ U ถึง X

- ① คอลัมน์ U: เวลาเริ่มของช่วง
- ② คอลัมน์ V: เวลาสิ้นสุดของช่วง
- ③ คอลัมน์ W: จำนวนที่ล้มเหลว
- ④ คอลัมน์ X: จำนวนที่ตัดปลาย

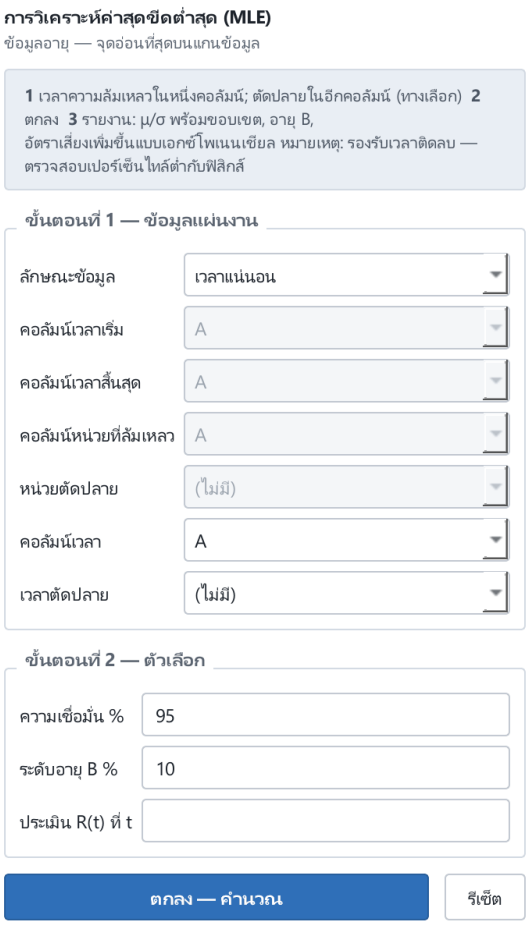
2. **เลือก** ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ ค่าสุดขีดต่ำสุด... ในแถบเมนู แบบฟอร์ม การวิเคราะห์ค่าสุดขีดต่ำสุด (MLE) เปิดขึ้นในแผงด้านซ้าย




ขั้นตอนที่ 2 — เส้นทางเมนู

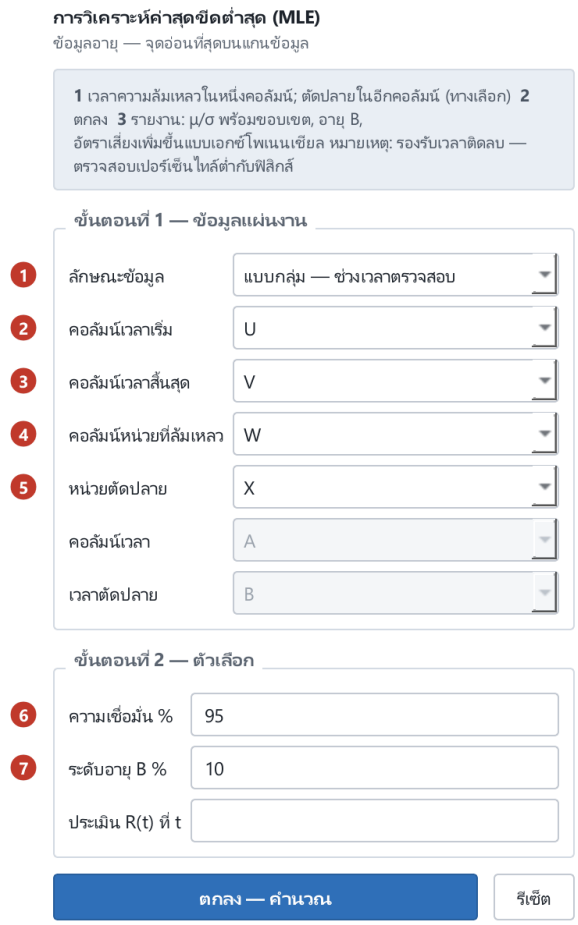
- ① ข้อมูลอายุ: เมนู
- ② การขึ้นกับเวลา: เมนูย่อย
- ③ ค่าสุดขีดต่ำสุด...: รายการที่ต้องคลิก

แบบฟอร์มเมื่อเปิด ก่อนตั้งค่าช่องใด:




ขั้นตอนที่ 2 — แบบฟอร์มเมื่อเปิด

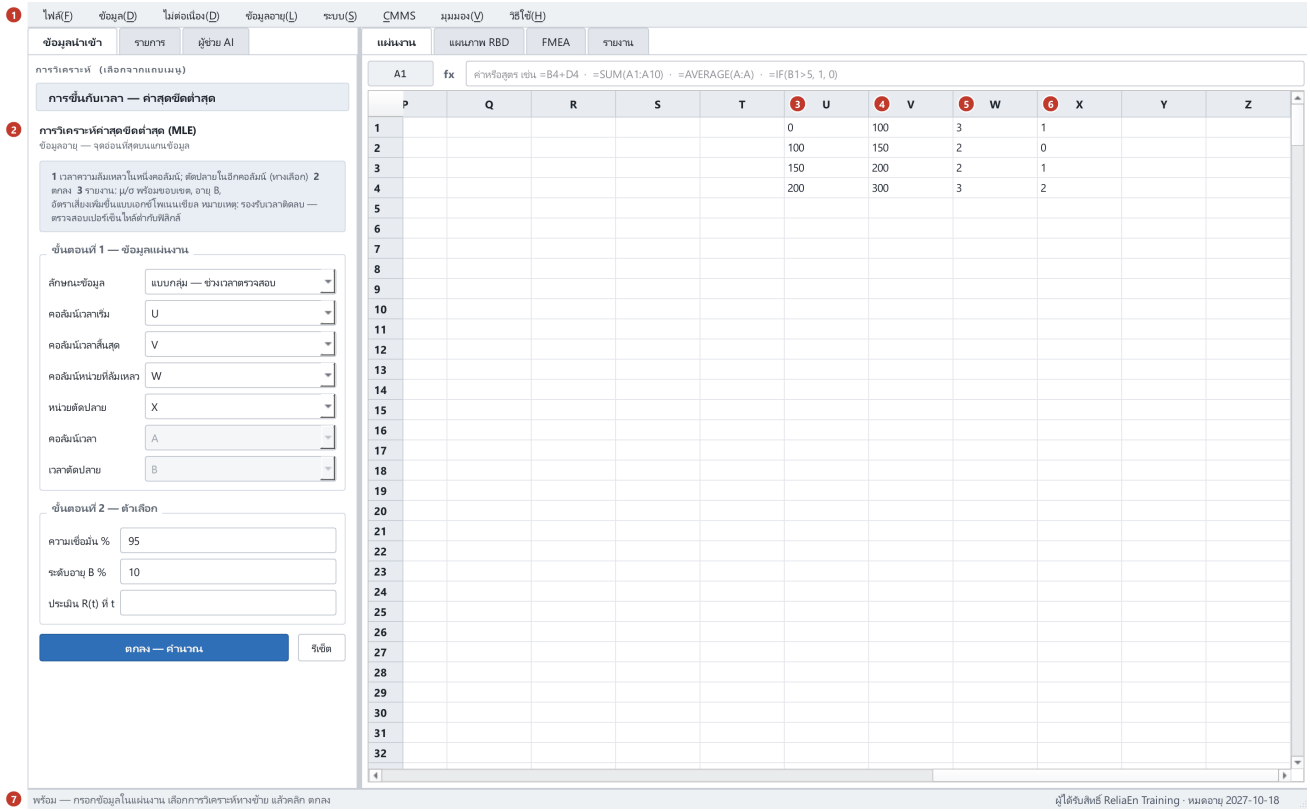
ขั้นตอนที่ 3 ถึง 9 ตั้งหรือตรวจเจ็ดช่องของแบบฟอร์ม ซึ่งมีเครื่องหมาย ① ถึง ⑦ ในภาพ:



ขั้นตอนที่ 3 ถึง 9 — แบบฟอร์มที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้

3. ① **ใน ลักษณะข้อมูล เลือก แบบกลุ่ม — ช่วงเวลาตรวจสอบ** ช่องของช่วงทั้งสี่เปิดใช้ และ คอลัมน์เวลา กับ เวลาตัดปลาย เป็นสีเทา
4. ② **ใน คอลัมน์เวลาเริ่ม เลือก U**
5. ③ **ใน คอลัมน์เวลาสิ้นสุด เลือก V**
6. ④ **ใน คอลัมน์หน่วยที่ล้มเหลว เลือก W**
7. ⑤ **ใน หน่วยตัดปลาย เลือก X** คอลัมน์ X เก็บซีลที่ถูกถอดออกขณะยังทำงานอยู่
8. ⑥ **ตรวจว่า ความเชื่อมั่น % เป็น 95**
9. ⑦ **ตรวจว่า ระดับอายุ B % เป็น 10** ค่านี้กำหนดอายุ B ในผลลัพธ์ ประเมิน R(t) ที่ t เว้นว่างไว้

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



ขั้นตอนที่ 10 — หน้าต่างก่อนกดตกลง

- ① แถบเมนู: ไฟล์, ข้อมูล, ไม่ต่อเนื่อง, ข้อมูลอายุ, ระบบ, CMMS, มุมมอง, วิธีใช้
- ② แบบฟอร์มที่ตั้งค่าตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 9 มี ตกลง — คำนวณ อยู่ที่ท้าย
- ③ ถึง ⑥ คอลัมน์ U ถึง X: สี่คอลัมน์ของตัวอย่าง
- ⑦ แถบสถานะ: พร้อม — กรอกข้อมูลในแผ่นงาน เลือกการวิเคราะห์ทางซ้าย แล้วคลิก ตกลง และ ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · หมดอายุ 2027-10-18

---

# ภาค 4 — รายงาน ทีละการ์ด

**ข้อมูลอายุ — การวิเคราะห์ค่าสุดขีดต่ำสุด (MLE)**

2026-11-02 20:29:56

F(t) = 1 − exp(−e^{(t−μ)/σ})

ส่วนหัวของรายงาน

- ชื่อเรื่อง ข้อมูลอายุ — การวิเคราะห์ค่าสุดขีดต่ำสุด (MLE) วันที่และเวลาที่คำนวณ และแบบจำลองในหนึ่งบรรทัด: F(t) = 1 − exp(−e^{(t−μ)/σ})

ข้อมูลนำเข้า

| | | |
|---|---|---|
| 1 | n — หน่วยที่ทดสอบ | 14 |
| 2 | r — ความล้มเหลว | 10 |
| 3 | ตัดปลาย (หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว) | 4 |
| 4 | ลักษณะข้อมูล | แบบกลุ่ม — ช่วงเวลาตรวจสอบ (D78) |
| 5 | การประมาณค่า | MLE (ตำแหน่ง-สเกลแบบตัดปลาย) |

ข้อมูลนำเข้า

- ① n — หน่วยที่ทดสอบ 14
- ② r — ความล้มเหลว 10: ซีลที่พบว่าล้มเหลวในการตรวจทั้งสี่ครั้ง
- ③ ตัดปลาย (หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว) 4: ซีลที่ถูกถอดออกหรือยังทำงานอยู่
- ④ ลักษณะข้อมูล แบบกลุ่ม — ช่วงเวลาตรวจสอบ (D78): รู้เพียงว่าความล้มเหลวแต่ละครั้งอยู่ภายในช่วงของมัน
- ⑤ การประมาณค่า MLE (ตำแหน่ง-สเกลแบบตัดปลาย)

ผลลัพธ์

| | | |
|---|---|---|
| 1 | μ̂ — ตำแหน่ง | 241.8675 (SE 29.3568) [184.3292, 299.4057] |
| 2 | σ̂ — สเกล | 90.9999 (SE 23.4436) [54.9227, 150.7751] (CI สเกลลอการิทึม) |
| 3 | MTTF | 189.34 |
| 4 | อายุมัธยฐาน | 208.51 |
| 5 | อายุ B10 | 37.08 [-81.92, 156.09] |

ผลลัพธ์

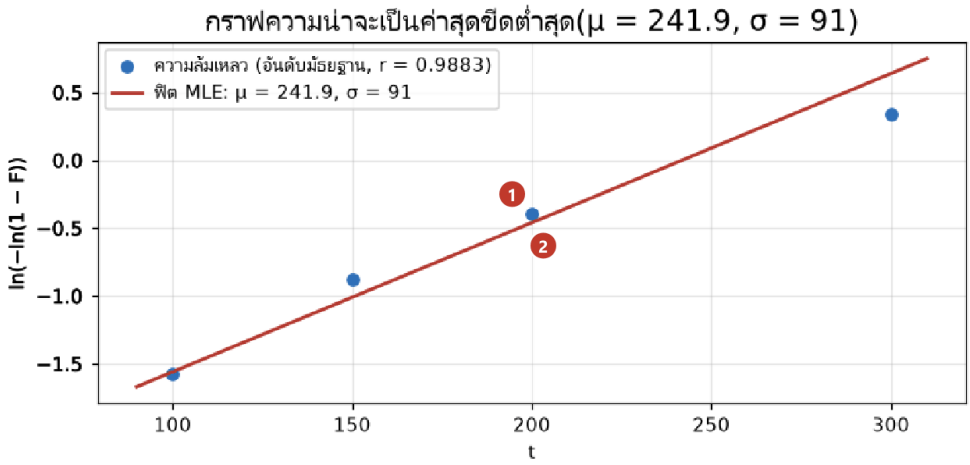
- ① μ̂ — ตำแหน่ง 241.8675 (SE 29.3568) [184.3292, 299.4057]: ภายใน 241.9 ชั่วโมง ซีล 63.2% ล้มเหลวแล้ว
- ② σ̂ — สเกล 90.9999 (SE 23.4436) [54.9227, 150.7751] (CI สเกลลอการิทึม): การกระจาย เป็นชั่วโมง ขอบเขตคิดบนสเกลลอการิทึม ขอบล่างจึงยังมากกว่าศูนย์
- ③ MTTF 189.34: อายุเฉลี่ย μ − 0.5772·σ
- ④ อายุมัธยฐาน 208.51: ซีลครึ่งหนึ่งล้มเหลวภายในอายุนี้
- ⑤ อายุ B10 37.08 [-81.92, 156.09]: ซีลหนึ่งในสิบล้มเหลวภายใน 37 ชั่วโมง - และขอบล่างต่ำกว่าศูนย์

การตีความ

| | |
|---|---|
| 1 | ค่าสุดขีดต่ำสุด (Gumbel-min): อายุของโซ่จุดอ่อนที่สุดวัดบนแกนข้อมูล — อัตราเสี่ยงเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลตามอายุ เร็วกว่ากฎกำลังไวบูลล์ใด ๆ หมายเหตุ: แบบจำลองรองรับเวลาติดลบ; เปอร์เซ็นไทล์ต่ำ (และขอบเขต) อาจต่ำกว่าศูนย์ — หากไร้ความหมายทางกายภาพที่นี่ ไวบูลล์ (= SEV บน ln t) เป็นกรอบที่ดีกว่า |

การตีความ

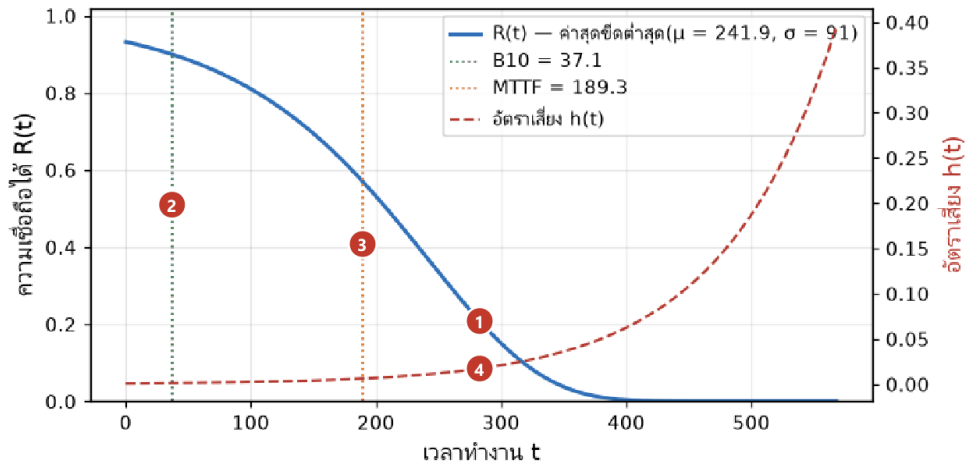
- ① การอ่านของ ReliaEn: ค่าสุดขีดต่ำสุด (Gumbel-min): อายุของโซ่จุดอ่อนที่สุดวัดบนแกนข้อมูล — อัตราเสี่ยงเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลตามอายุ เร็วกว่ากฎกำลังไวบูลล์ใด ๆ หมายเหตุ: แบบจำลองรองรับเวลาติดลบ; เปอร์เซ็นไทล์ต่ำ (และขอบเขต) อาจต่ำกว่าศูนย์ — หากไร้ความหมายทางกายภาพที่นี่ ไวบูลล์ (= SEV บน ln t) เป็นกรอบที่ดีกว่า




กราฟแบบโต้ตอบ

กราฟความน่าจะเป็นค่าสุดขีดต่ำสุด(μ = 241.9, σ = 91)

- ① ความล้มเหลว (อันดับมัธยฐาน, r = 0.9883): สัดส่วนที่ล้มเหลวแล้วเมื่อตรวจแต่ละครั้ง - ที่ 100, 150, 200 และ 300 ชั่วโมง - บนกระดาษ SEV
- ② ฟิต MLE: μ = 241.9, σ = 91: เส้นที่ฟิต




กราฟแบบโต้ตอบ

ความเชื่อถือได้และอัตราเสี่ยง

- ① R(t) — ค่าสุดขีดต่ำสุด(μ = 241.9, σ = 91): สัดส่วนของซีลที่ยังทำงานอยู่ ณ แต่ละอายุ เริ่มที่ประมาณ 0.93 ที่อายุ 0 ไม่ใช่ 1
- ② B10 = 37.1: จุดที่ R ตัด 90%
- ③ MTTF = 189.3: อายุเฉลี่ย R ณ จุดนั้นประมาณ 0.57
- ④ อัตราเสี่ยง h(t): เกือบราบในช่วง 200 ชั่วโมงแรก แล้วไต่ขึ้นอย่างชัน - ลักษณะเฉพาะของ SEV

**ตารางเปอร์เซ็นไทล์ — อายุ B พร้อมขอบเขต**

1 B_p = อายุที่ p% ของหน่วยล้มเหลวแล้ว ขอบเขตโดยกลไกช่วงของแต่ละตระกูลเอง; ช่องที่เป็น — หมายความว่าตระกูลนั้นไม่มีกลไกขอบเขต — แสดงเฉพาะค่าประมาณจุด

| เปอร์เซ็นไทล์ (2) | อายุ B (3) | ขอบเขต 95% (4) |
|---|---|---|
| 1% | -176.7 | [-396.5, 43.06] |
| 5% | -28.42 | [-177.2, 120.4] |
| 10% (5) | 37.08 | [-81.92, 156.1] |
| 25% | 128.5 | [46.78, 210.2] |
| 50% | 208.5 | [148.3, 268.7] |
| 75% | 271.6 | [212.3, 330.9] |
| 90% | 317.8 | [249.1, 386.5] |
| 95% | 341.7 | [265.7, 417.7] |
| 99% | 380.8 | [290.7, 471] |

ตารางเปอร์เซ็นไทล์ — อายุ B พร้อมขอบเขต

- ① B_p = อายุที่ p% ของหน่วยล้มเหลวแล้ว ขอบเขตโดยกลไกช่วงของแต่ละตระกูลเอง; ช่องที่เป็น — หมายความว่าตระกูลนั้นไม่มีกลไกขอบเขต — แสดงเฉพาะค่าประมาณจุด
- ② ถึง ④ คอลัมน์ เปอร์เซ็นไทล์, อายุ B, ขอบเขต 95%
- ⑤ แถว 10%: 37.08 [-81.92, 156.1] - อายุ B10 ของการ์ดผลลัพธ์ แถว 1% และ 5% ที่อยู่เหนือขึ้นไปต่ำกว่าศูนย์: -176.7 และ -28.42

1 ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · RL-2026-0017

ท้ายรายงาน

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

---

# ภาค 5 — วิธีตีความผลลัพธ์

**ซีลล้มเหลวเมื่อใด** ซีลครึ่งหนึ่งล้มเหลวภายใน 208.51 ชั่วโมง (มัธยฐาน) และ 63.2% ภายใน 241.8675 (μ̂) การกระจาย σ̂ คือ 90.9999 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ย 189.34 อยู่ต่ำกว่ามัธยฐาน: หางยาวของ SEV อยู่ด้านซ้าย ไปทางความล้มเหลวช่วงแรก จุดการตรวจทั้งสี่อยู่ใกล้เส้นที่ฟิต (r = 0.9883) รูปทรงจึงเข้ากับช่วงกลางและช่วงท้ายอายุได้ดี

**แบบจำลองเลิกสมเหตุสมผลตรงไหน** เปอร์เซ็นไทล์ต้น ๆ ต่ำกว่าศูนย์ - B1 คือ -176.7 และ B5 คือ -28.42 - และเส้นโค้ง R(t) เริ่มที่ประมาณ 0.93: แบบจำลองที่ฟิตนับว่าซีลประมาณ 7% ล้มเหลวก่อนเริ่มทดสอบ B10 คือ 37.08 แต่ขอบล่าง -81.92 แปลว่าข้อมูลยืนยัน B10 ที่เป็นบวกไม่ได้ ซีล 14 ชิ้นที่นับในการตรวจ 4 ครั้งบอกเรื่องหางช่วงต้นได้น้อย - รู้เพียงว่าความล้มเหลวสามครั้งแรกเกิดขึ้นที่ใดที่หนึ่งก่อน 100 ชั่วโมง

**ทำอย่างไรกับผลนี้** ใช้การฟิต SEV สำหรับมัธยฐานและช่วงท้ายอายุ ถ้าต้องการตัวเลขความล้มเหลวช่วงแรกไว้วางแผน ให้ฟิตช่วงการตรวจชุดเดียวกันด้วยการแจกแจงไวบูลล์ (2P) ซึ่งต่ำกว่าศูนย์ไม่ได้ - ตามที่การอ่านของ ReliaEn เองแนะนำ