ไวบูลล์ (2P) — รูปร่างบอกว่าสึกหรอหรือล้มเหลวแบบสุ่ม

เมนู: ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)...

ภาค 1 — ฟังก์ชันนี้ทำอะไร

คำนวณอะไร แบบจำลองไวบูลล์ให้สัดส่วนของหน่วยที่ล้มเหลวภายในอายุ t เป็น F(t) = 1 − e^(−(t/η)^β) รูปร่าง β บอกว่าความเสี่ยงของความล้มเหลวเปลี่ยนตามอายุอย่างไร: ต่ำกว่า 1 ความเสี่ยงลดลง (ความล้มเหลวช่วงแรก) เท่ากับ 1 คงที่ (ความล้มเหลวแบบสุ่ม) สูงกว่า 1 เพิ่มขึ้น (การสึกหรอ) สเกล η คืออายุลักษณะเฉพาะ คืออายุที่หน่วย 63.2 % ล้มเหลวแล้ว ReliaEn ฟิต β และ η ด้วย ภาวะน่าจะเป็นสูงสุด โดยใช้อายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวร่วมกับความล้มเหลว พร้อมขอบเขต และให้อายุต่าง ๆ การตรวจสอบการฟิต ช่วงบำรุงรักษา และกราฟสองรูป

สิ่งที่ **ReliaEn พิมพ์**	สิ่งที่บอก
β — รูปร่าง พร้อมขอบเขต และประโยคหนึ่งประโยค	ความเสี่ยงลดลง คงที่ หรือเพิ่มขึ้นตามอายุ
η — สเกล (อายุลักษณะเฉพาะ) พร้อมขอบเขต	อายุที่หน่วย 63.2 % ล้มเหลวแล้ว
MTTF อายุ B10 อายุ B50 (มัธยฐาน) λ	อายุเฉลี่ย อายุที่หน่วยหนึ่งในสิบและครึ่งหนึ่งล้มเหลวแล้ว และอัตราความล้มเหลวเฉลี่ย
การตรวจสอบการฟิต **PPCC**	แบบจำลองไวบูลล์ถูกปฏิเสธที่ระดับ 5 % หรือไม่
ช่วงบำรุงรักษา	ระยะเดินเครื่องนานสุดก่อนบำรุงรักษาที่ยังคงความเชื่อถือได้ไว้ที่ 95 %, 90 %, ...
ตารางเปอร์เซ็นไทล์ พร้อมขอบเขต	หน่วยส่วนหนึ่งล้มเหลวแล้วภายในอายุใด
การหาค่าเหมาะสมของการเปลี่ยนตามอายุ (เมื่อใส่ต้นทุนทั้งสอง)	อายุการเปลี่ยนที่ถูกที่สุด และการประหยัดเมื่อเทียบกับการใช้จนล้มเหลว

จากข้อมูลใด อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์เดียวของแผ่นงาน หนึ่งแถวต่อหนึ่งหน่วยที่ล้มเหลว อายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว (ถ้ามี) อยู่ในอีกคอลัมน์หนึ่ง แบบฟอร์มนี้ยังอ่านจำนวนความล้มเหลวต่อช่วงการตรวจได้ด้วย

วิศวกรใช้เมื่อใด เมื่อชิ้นส่วนที่เปลี่ยนใหม่ ไม่ได้ซ่อม ล้มเหลวที่อายุต่างกัน และคำถามคือชิ้นส่วนสึกหรอหรือไม่ หนึ่งในสิบล้มเหลวภายในอายุใด และการเปลี่ยนตามอายุที่วางแผนไว้คุ้มค่าหรือไม่

ไม่ควรใช้เมื่อ

สถานการณ์	ใช้แทน
ระบบที่ซ่อมได้ระบบหนึ่งล้มเหลวซ้ำ ๆ และมีบันทึกเหตุการณ์ของระบบนั้น	ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ▸ ข้อมูลหน่วยที่ซ่อมได้...
ชิ้นส่วนล้มเหลวก่อนอายุหนึ่งไม่ได้ (มีช่วงที่ไม่ล้มเหลว)	ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (3P)...
ต้องการรู้เพียงว่าอัตราความล้มเหลวคงที่เพียงพอหรือไม่	ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงเอกซ์โพเนนเชียล...

ภาค 2 — ข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง

สถานการณ์. แท่นทดสอบซีลปั๊มเดินซีล 14 ชิ้น: 10 ชิ้นล้มเหลวระหว่างการทดสอบ 4 ชิ้นยังกันรั่วได้เมื่อการทดสอบจบ วิศวกรความเชื่อถือได้ต้องการรู้ว่าซีลสึกหรอหรือไม่ ซีลหนึ่งในสิบล้มเหลวภายในอายุใด และซีลเดินเครื่องได้นานเท่าใดโดยยังมั่นใจ 90 % ว่าจะไม่รั่ว

ข้อมูลนำเข้า	ค่า
อายุที่ล้มเหลว เป็นชั่วโมง (10)	42, 66, 87, 112, 128, 155, 176, 210, 240, 280
อายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว เป็นชั่วโมง (4)	50, 200, 300, 300
ไฟล์ในไฟล์ zip ของตัวอย่างพร้อมวิธีทำ	2-Weibull-2P/Example-1.csv — คอลัมน์ Failure times (10) และ Censored times (4)
ความเชื่อมั่น %	95 — ค่าที่แบบฟอร์มมีอยู่เมื่อเปิด

	① A	② B	C
1	42	50	
2	66	200	
3	87	300	
4	112	300	
5	128		
6	155		
7	176		
8	210		
9	240		
10	280		
11			

ข้อมูลตัวอย่างในแผ่นงาน

- ① คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 10 ค่า หนึ่งค่าต่อแถว เป็นชั่วโมง
- ② คอลัมน์ B: อายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว 4 ค่า

ภาค 3 — วิธีใช้ ทีละขั้นตอน

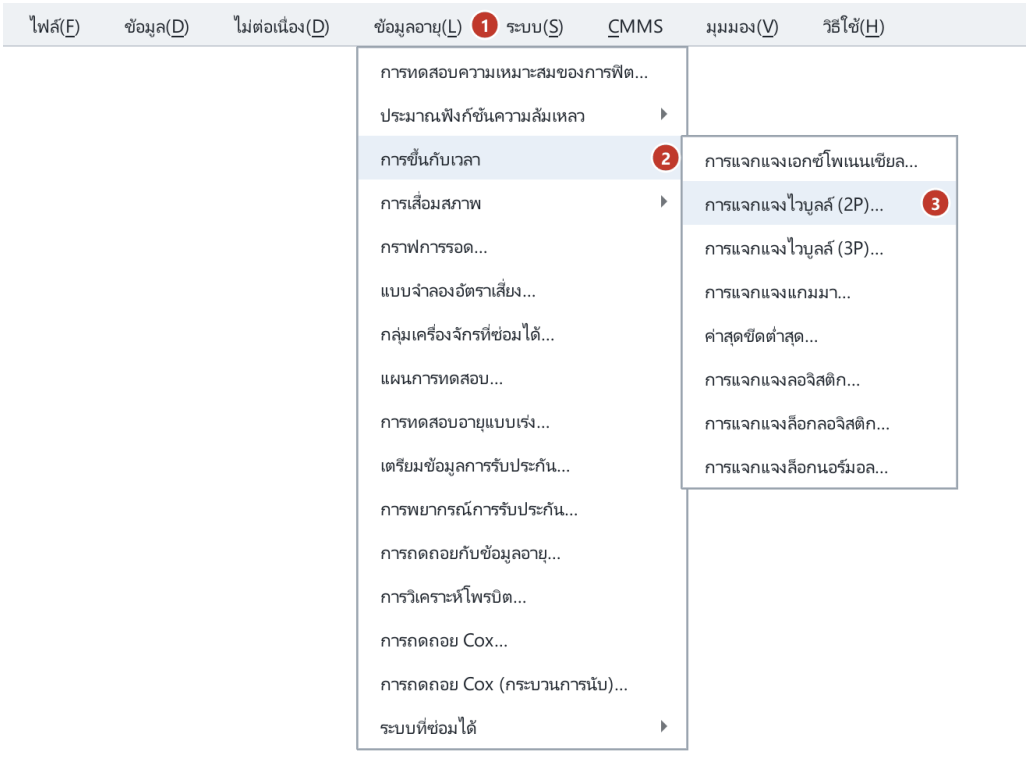
1. **ใส่อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์ A และอายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวในคอลัมน์ B** คัดลอกค่าของ Example-1.csv ที่อยู่ใต้หัวคอลัมน์ Failure times และ Censored times ลงในคอลัมน์ A และ B ของแผ่นงาน เริ่มที่แถว 1

	① A	② B	C
1	42	50	
2	66	200	
3	87	300	
4	112	300	
5	128		
6	155		
7	176		
8	210		
9	240		
10	280		
11			

ขั้นตอนที่ 1 — อายุที่ล้มเหลวและอายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวในคอลัมน์ A และ B

- ① คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 10 ค่า ตั้งแต่ 42 ถึง 280
- ② คอลัมน์ B: อายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว 4 ค่า ตั้งแต่ 50 ถึง 300

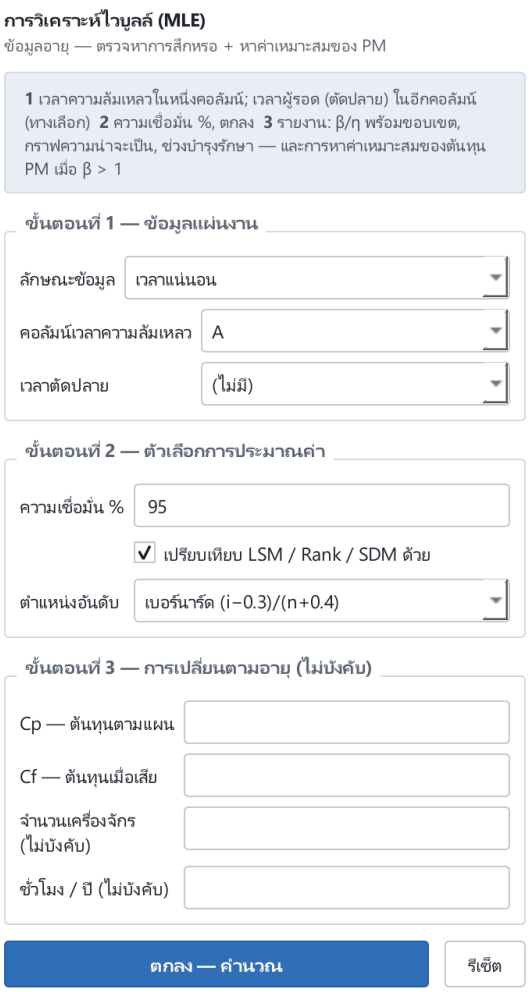
2. **เลือก ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)...** ในแถบเมนู แบบฟอร์ม การวิเคราะห์ไวบูลล์ (MLE) เปิดขึ้นในแผงด้านซ้าย



ขั้นตอนที่ 2 — เส้นทางเมนู

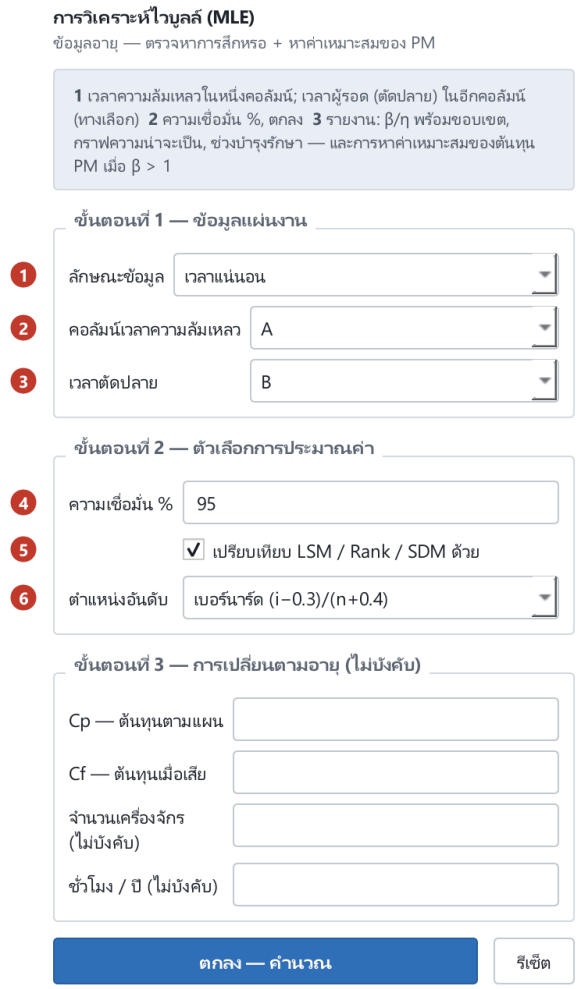
- ① ข้อมูลอายุ: เมนู
- ② การขึ้นกับเวลา: เมนูย่อย
- ③ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)...: รายการที่ต้องคลิก

แบบฟอร์มเมื่อเปิด ก่อนตั้งค่าช่องใด:



ขั้นตอนที่ 2 — แบบฟอร์มเมื่อเปิด

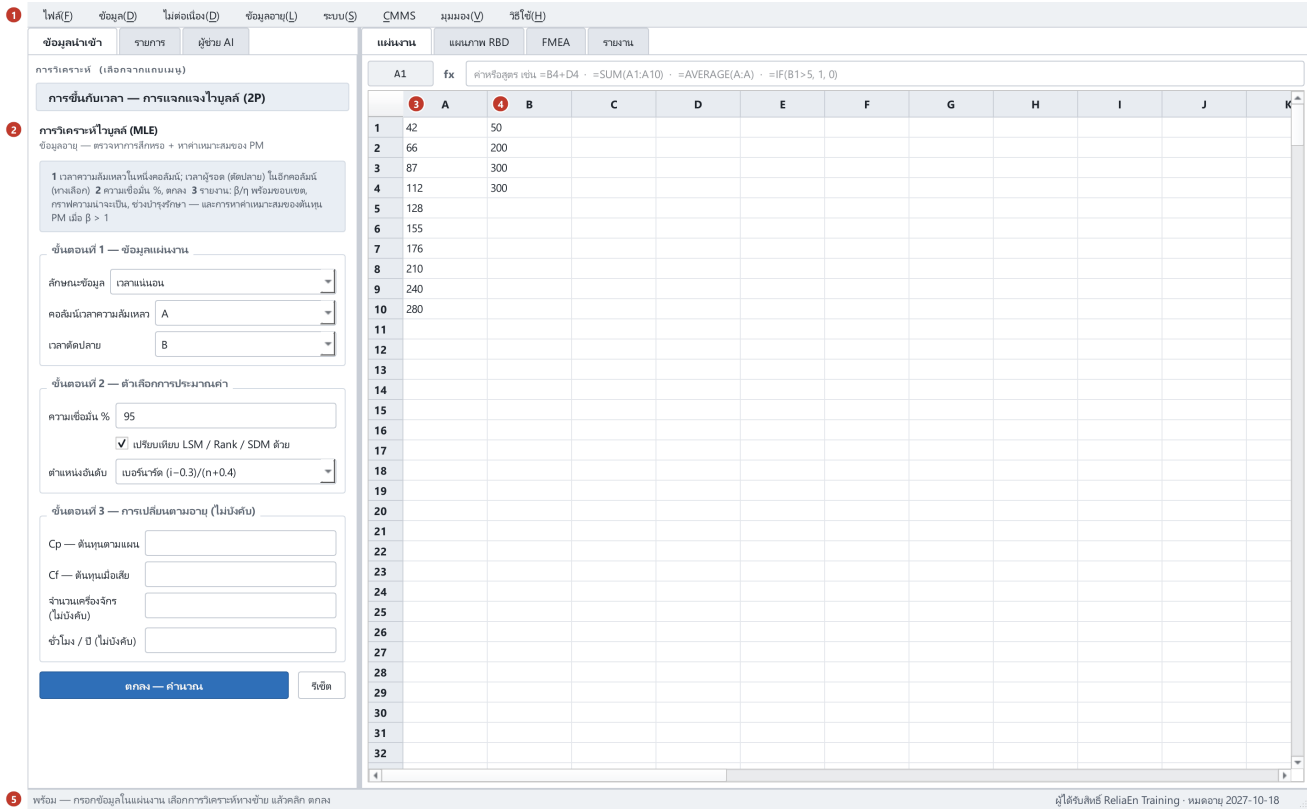
ขั้นตอนที่ 3 ถึง 8 ตั้งหรือตรวจหกช่องของแบบฟอร์ม ซึ่งมีเครื่องหมาย ① ถึง ⑥ ในภาพ:



ขั้นตอนที่ 3 ถึง 8 — แบบฟอร์มที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้

3. ① **ตรวจว่า ลักษณะข้อมูล เป็น เวลาแน่นอน**
4. ② **ใน คอลัมน์เวลาความล้มเหลว เลือก A**
5. ③ **ใน เวลาตัดปลาย เลือก B** คอลัมน์ B เก็บซีล 4 ชิ้นที่ยังซีลได้เมื่อการทดสอบจบ
6. ④ **ตรวจว่า ความเชื่อมั่น % เป็น 95**
7. ⑤ **ตรวจว่า เปรียบเทียบ LSM / Rank / SDM ด้วย มีเครื่องหมายถูก** เป็นการขอการฟิตแบบกำลังสองน้อยสุด แบบอันดับ และแบบ SDM ไว้ข้าง MLE เมื่อมีหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวในคอลัมน์ B รายงานจะไม่แสดงการฟิตเหล่านี้และบอกเหตุผล (ภาค 4)
8. ⑥ **ตรวจว่า ตำแหน่งอันดับ เป็น เบอร์นาร์ด (i−0.3)/(n+0.4)** ค่านี้วางความล้มเหลวบนกราฟความน่าจะเป็น ช่องของ ขั้นตอนที่ 3 — การเปลี่ยนตามอายุ (ไม่บังคับ) เว้นว่างไว้ในตัวอย่างนี้

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



ขั้นตอนที่ 9 — หน้าต่างก่อนกดตกลง

- ① แถบเมนู: ไฟล์, ข้อมูล, ไม่ต่อเนื่อง, ข้อมูลอายุ, ระบบ, CMMS, มุมมอง, วิธีใช้
- ② แบบฟอร์มที่ตั้งค่าตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 8 มี ตกลง — คำนวณ อยู่ที่ท้าย
- ③ คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 10 ค่า
- ④ คอลัมน์ B: อายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว 4 ค่า
- ⑤ แถบสถานะ: พร้อม — กรอกข้อมูลในแผ่นงาน เลือกการวิเคราะห์ทางซ้าย แล้วคลิก ตกลง และ ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · หมดอายุ 2027-10-18

ภาค 4 — รายงาน ทีละการ์ด

ข้อมูลอายุ — ไวบูลล์ (2P) — การขึ้นกับเวลา

2026-11-04 07:17:54

$R(t) = e^{-(t/\eta)\beta}$; $h(t) = (\beta/\eta)\cdot(t/\eta)^{\beta-1}$

ส่วนหัวของรายงาน

- ชื่อเรื่อง ข้อมูลอายุ — ไวบูลล์ (2P) — การขึ้นกับเวลา วันที่และเวลาที่คำนวณ และแบบจำลองในหนึ่งบรรทัด: R(t) = e^{−(t/η)^β}; h(t) = (β/η)·(t/η)^{β−1}

ข้อมูลนำเข้า

1	n — หน่วยที่ทดสอบ	14
2	r — ความล้มเหลว	10
3	ตัดปลาย (หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว)	4
4	การประมาณค่า	ภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (ตัดปลายด้านขวา)

ข้อมูลนำเข้า

- ① n — หน่วยที่ทดสอบ 14
- ② r — ความล้มเหลว 10
- ③ ตัดปลาย (หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว) 4: ซีลที่ยังซีลได้เมื่อการทดสอบจบ
- ④ การประมาณค่า ภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (ตัดปลายด้านขวา)

ผลลัพธ์

1	$\hat{\beta}$ — รูปร่าง	1.8157 [1.08449, 3.03994]
2	$\hat{\eta}$ — สเกล (อายุลักษณะเฉพาะ)	223.278 [158.705, 314.123]
3	MTTF = η·Γ(1 + 1/β)	198.477
4	อายุ B10	64.6524
5	อายุ B50 (มัธยฐาน)	182.465
6	อัตราความล้มเหลวเฉลี่ย $\bar{\lambda}$ (0→MTTF)	0.00406858

ผลลัพธ์

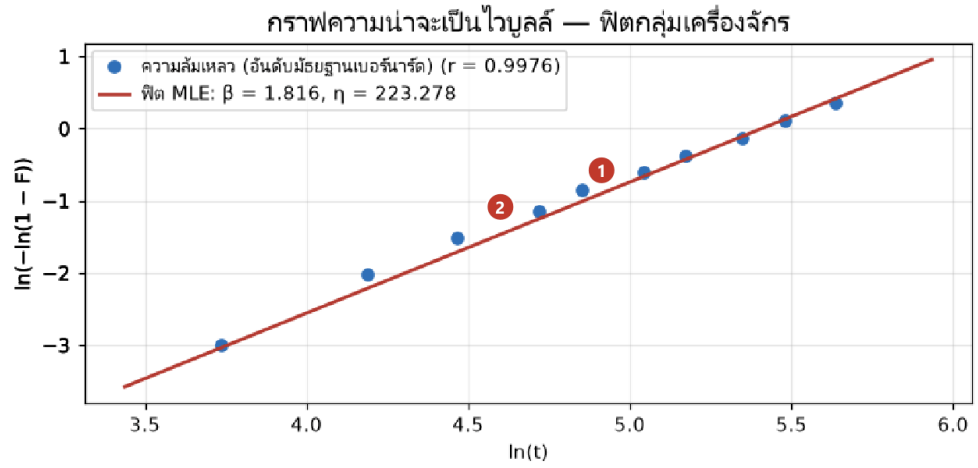
- ① $\hat{\beta}$ — รูปร่าง 1.8157 [1.08449, 3.03994]: ขอบเขตอยู่เหนือ 1 ทั้งหมด - ซีลสึกหรอ
- ② $\hat{\eta}$ — สเกล (อายุลักษณะเฉพาะ) 223.278 [158.705, 314.123]: อายุที่ซีล 63.2 % ล้มเหลวแล้ว
- ③ MTTF = η·Γ(1 + 1/β) 198.477
- ④ อายุ B10 64.6524: ซีลหนึ่งในสิบล้มเหลวภายในอายุนี้
- ⑤ อายุ B50 (มัธยฐาน) 182.465
- ⑥ อัตราความล้มเหลวเฉลี่ย $\bar{\lambda}$ (0→MTTF) 0.00406858: ความล้มเหลวต่อชั่วโมง เฉลี่ยตั้งแต่ใหม่จนถึง MTTF

การตีความ

1	ฟิตไวบูลล์ให้รูปร่าง β = 1.8157 และอายุลักษณะเฉพาะ η = 223.278 (63.2% ของหน่วยล้มเหลวภายใน η) การตีความ: สึกหรอ (β > 1 ทั้งช่วงความเชื่อมั่น): ความเสี่ยงความล้มเหลวโตขึ้นตามอายุ — การเปลี่ยนเชิงป้องกันคุ้มค่า MTTF = 198.477; 10% ของหน่วยล้มเหลวภายใน B10 = 64.6524

การตีความ

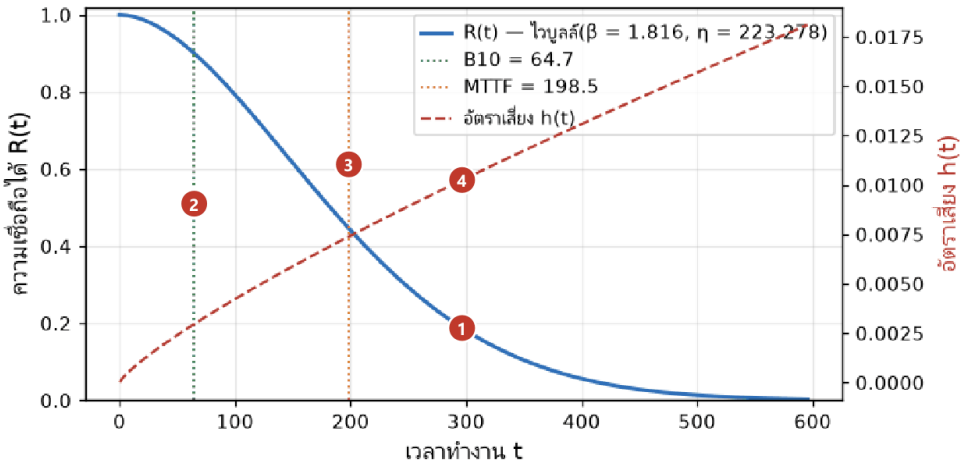
- ① การอ่านของ ReliaEn: ฟิตไวบูลล์ให้รูปร่าง β = 1.8157 และอายุลักษณะเฉพาะ η = 223.278 (63.2% ของหน่วยล้มเหลวภายใน η) การตีความ: สึกหรอ (β > 1 ทั้งช่วงความเชื่อมั่น): ความเสี่ยงความล้มเหลวโตขึ้นตามอายุ — การเปลี่ยนเชิงป้องกันคุ้มค่า MTTF = 198.477; 10% ของหน่วยล้มเหลวภายใน B10 = 64.6524



กราฟแบบโต้ตอบ

กราฟความน่าจะเป็นไวบูลล์ — ฟิตกลุ่มเครื่องจักร

- ① ความล้มเหลว (อันดับมัธยฐานเบอร์นาร์ด) (r = 0.9976): อายุที่ล้มเหลว 10 ค่าบนกระดาษไวบูลล์
- ② ฟิต MLE: β = 1.816, η = 223.278: เส้นที่ฟิต จุดเรียงใกล้เส้น



กราฟแบบโต้ตอบ

ความเชื่อถือได้และอัตราเสี่ยง

- ① R(t) — ไวบูลล์(β = 1.816, η = 223.278): สัดส่วนของซีลที่ยังซีลได้ ณ แต่ละอายุ
- ② B10 = 64.7: จุดที่ R ตัด 90%
- ③ MTTF = 198.5: ที่จุดนี้ R ประมาณ 0.45 - อายุเฉลี่ยไม่ใช่อายุที่ครึ่งหนึ่งล้มเหลว
- ④ อัตราเสี่ยง h(t): เพิ่มขึ้นตามอายุ ซึ่งเป็นลักษณะของการสึกหรอ

การตรวจสอบการฟิตของกราฟความน่าจะเป็น (PPCC, ระดับ 5%) — ฟิตกลุ่มเครื่องจักร

1. ไม่ปฏิเสธไวบูลล์ — จุดเรียงตามเส้น (r = 0.9976 ≥ ค่าวิกฤต 0.9095)
2. PPCC = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกราฟความน่าจะเป็น r วัดว่าจุดความล้มเหลวเรียงตรงเพียงใดบนกราฟความน่าจะเป็น (1 = ตรงสมบูรณ์) ค่าวิกฤตคือความตรงที่ข้อมูลไวบูลล์จริงขนาดตัวอย่างเดียวกันนี้ยังจะตกต่ำกว่า 5% ของครั้ง — ดังนั้น r ≥ ค่าวิกฤตหมายความว่ากราฟตรงพอที่จะเชื่อแบบจำลองไวบูลล์ และ r < ค่าวิกฤตหมายความว่ารูปแบบนี้จะผิดปกติสำหรับข้อมูลไวบูลล์จริง

การตรวจสอบการฟิตของกราฟความน่าจะเป็น (PPCC, ระดับ 5%) — ฟิตกลุ่มเครื่องจักร

- ① ไม่ปฏิเสธไวบูลล์ — จุดเรียงตามเส้น (r = 0.9976 ≥ ค่าวิกฤต 0.9095)
- ② หมายเหตุว่า r ของ PPCC และค่าวิกฤตหมายถึงอะไร

การเปรียบเทียบวิธีประมาณค่า — ไม่แสดง

1 ไม่แสดงการเปรียบเทียบวิธี: มีข้อมูลตัดปลาย — LSM/Rank/SDM เป็นวิธีสำหรับข้อมูลสมบูรณ์ และจะให้ค่าเอนเอียงต่ำไป (ตัวอย่างที่ 2 ในคู่มือ)

การเปรียบเทียบวิธีประมาณค่า — ไม่แสดง

- ① ไม่แสดงการเปรียบเทียบวิธี: มีข้อมูลตัดปลาย — LSM/Rank/SDM เป็นวิธีสำหรับข้อมูลสมบูรณ์ และจะให้ค่าเอนเอียงต่ำไป (ตัวอย่างที่ 2 ในคู่มือ) นี่คือคำตอบของเครื่องหมายในขั้นตอนที่ 7

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

1 แบบจำลอง: ไวบูลล์(β = 1.816, η = 223.278) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย

2 R เป้าหมาย	3 เวลาทำงาน t
95%	43.5
4 90%	64.7
85%	82.1
80%	97.7
75%	112.4
70%	126.5
65%	140.4
60%	154.2
55%	168.2
50%	182.5
45%	197.3
40%	212.8
35%	229.3
30%	247.3
25%	267.3
20%	290.2
15%	317.7
10%	353.5
5%	408.6

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

- ① แบบจำลอง: ไวบูลล์(β = 1.816, η = 223.278) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย
- ② และ ③ คอลัมน์ R เป้าหมาย และ เวลาทำงาน t 19 แถว ตั้งแต่ 95% ถึง 5%
- ④ แถว 90%: 64.7 - อายุ B10 ของการ์ดผลลัพธ์

ตารางเปอร์เซ็นไทล์ — อายุ B พร้อมขอบเขต

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

เปอร์เซ็นไทล์ (2)	อายุ B (3)	ขอบเขต 95% (4)
1%	17.72	[4.582, 68.55]
5%	43.49	[17.46, 108.3]
10% (5)	64.65	[31.25, 133.8]
25%	112.4	[68.61, 184.2]
50%	182.5	[127.6, 261]
75%	267.3	[187.8, 380.4]
90%	353.5	[233.7, 534.5]
95%	408.6	[258, 647.1]
99%	517.8	[299, 896.7]

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%: 64.65 [31.25, 133.8] - อายุ B10 พร้อมขอบเขต

1 ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · RL-2026-0017

ท้ายรายงาน

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

ภาค 5 — วิธีตีความผลลัพธ์

ซีลสึกหรอหรือไม่ β คือ 1.8157 และขอบเขต 95 % คือ 1.08449 ถึง 3.03994 อยู่สูงกว่า 1 ทั้งช่วง: ความเสี่ยงของความล้มเหลวเพิ่มขึ้นตามอายุ การเปลี่ยนซีลก่อนล้มเหลวจึงคุ้มค่าได้ เมื่อใส่ต้นทุนการเปลี่ยนตามแผนและต้นทุนเมื่อเสียในแบบฟอร์ม การ์ด การหาค่าเหมาะสมของการเปลี่ยนตามอายุ จะให้อายุที่ถูกที่สุด

ซีลล้มเหลวเมื่อใด ภายในอายุลักษณะเฉพาะ η̂ = 223.278 ชั่วโมง ซีลประมาณสองในสามล้มเหลวแล้ว อายุเฉลี่ยคือ 198.477 ชั่วโมง และซีลครึ่งหนึ่งล้มเหลวภายใน 182.465 ชั่วโมง แต่ซีลหนึ่งในสิบล้มเหลวภายใน 64.6524 ชั่วโมง (B10) — เร็วกว่าอายุเฉลี่ยมาก ให้วางแผนตาม B10 ไม่ใช่ตาม MTTF

ซีลเดินเครื่องได้นานเท่าใด การ์ด ช่วงบำรุงรักษา ตอบตามผลที่ตามมาของความล้มเหลว: เพื่อคงความเชื่อถือได้ไว้ที่ 90 % ให้บำรุงรักษาก่อน 64.7 ชั่วโมง ที่ 95 % ก่อน 43.5 ชั่วโมง เมื่อความล้มเหลวช่วงแรกมีราคาสูง ให้วางแผนด้วยขอบล่างของ B10 ใน ตารางเปอร์เซ็นไทล์ แทนค่าประมาณ

อย่าทิ้งหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว ซีลสี่ชิ้นที่ยังกันรั่วได้เป็นหลักฐานว่าซีลอยู่ได้อย่างน้อยเท่านั้น การฟิตที่ไม่มีซีลเหล่านี้อธิบายซีลที่อายุสั้นกว่าซีลบนแท่นทดสอบ และเมื่อมีหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว ReliaEn จะไม่แสดงการเปรียบเทียบวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้อายุสั้นเกินจริง