ไวบูลล์ 3P — อายุปลอดความล้มเหลว γ ที่ทดสอบก่อนนำไปใช้

เมนู: ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (3P)...

ภาค 1 — ฟังก์ชันนี้ทำอะไร

คำนวณอะไร ประชากรบางกลุ่มล้มเหลวไม่ได้จนกว่าจะทำงานไปช่วงเวลาหนึ่ง เช่น สารเคลือบต้องสึกจนทะลุ รอยร้าวต้องขยาย หรือฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นต้องแตก แบบจำลองไวบูลล์สามพารามิเตอร์เพิ่ม**อายุปลอดความล้มเหลว γ** เข้ากับรูปร่าง β และสเกล η: ไม่มีหน่วยใดล้มเหลวก่อน γ และหลัง γ ประชากรเสื่อมตามไวบูลล์ปกติ ReliaEn ฟิตทั้งแบบจำลองสามพารามิเตอร์และสองพารามิเตอร์ (γ = 0) ทดสอบความต่างด้วยการทดสอบอัตราส่วนภาวะน่าจะเป็น (LR) และรายงานแบบจำลองเดียว คุณไม่ต้องเลือกเอง ผลทุกค่า (MTTF มัธยฐาน อายุ B ช่วงบำรุงรักษา) มาจากแบบจำลองที่รายงาน

สิ่งที่ **ReliaEn** พิมพ์	สิ่งที่บอก
γ̂ พร้อม**ช่วงโปรไฟล์**	อายุปลอดความล้มเหลวยาวเท่าใด และข้อมูลระบุตำแหน่งได้แม่นเพียงใด
β̂ และ **η̂** พร้อมขอบเขต	รูปร่างและสเกลหลัง γ
การทดสอบ LR และ **แบบจำลองที่รายงาน**	ข้อมูลสนับสนุนอายุปลอดความล้มเหลวที่ระดับความเชื่อมั่นของคุณหรือไม่ และผลใช้แบบจำลองใด
MTTF มัธยฐาน B10 ช่วงบำรุงรักษา **ตารางเปอร์เซ็นไทล์**	ตัวเลขอายุของแบบจำลองที่รายงาน
ตัวแยกทางตามความโค้ง และ**การเปรียบเทียบวิธี**	ล็อกนอร์มอลอธิบายความโค้งได้ดีพอกันหรือไม่ และการถดถอยอันดับจะวาง γ ไว้ที่ใด แสดงเพื่อตรวจสอบ ไม่ใช้กับผล

จากข้อมูลใด เวลาที่ล้มเหลวในคอลัมน์เดียวของแผ่นงาน หนึ่งแถวต่อหนึ่งหน่วยที่ล้มเหลว อย่างน้อยสามค่า อายุที่ถูกตัดปลาย (ถ้ามี) อยู่ในอีกคอลัมน์หนึ่ง ทุกอายุนับจากจุดเริ่มต้นเดียวกันที่ถูกต้อง

วิศวกรใช้เมื่อใด เมื่อกราฟไวบูลล์ (2P) โค้งลงทางซ้าย หรือเมื่อฟิสิกส์บอกว่าไม่มีความล้มเหลวเกิดได้ก่อนอายุหนึ่ง และคำถามคืออายุนั้นยาวเท่าใด

ไม่ควรใช้เมื่อ

สถานการณ์	ใช้แทน
กราฟไวบูลล์ (2P) เป็นเส้นตรง	ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)...
ความโค้งมาจากการเติบโตแบบทวีคูณ ไม่ใช่เกณฑ์เริ่ม	ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงล็อกนอร์มอล... ตัวแยกทางตามความโค้งบอกคุณ
คุณต้องการเพียงตรวจว่าตระกูลใดเหมาะ	ข้อมูลอายุ ▸ การทดสอบความเหมาะสมของการฟิต...
ความล้มเหลวน้อยกว่าสามครั้ง	ฟิตสามพารามิเตอร์ไม่ได้ แบบฟอร์มปฏิเสธ

ภาค 2 — ข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง

สถานการณ์. แบริ่งกระปุกเกียร์หกสิบตัว ทำงานจนล้มเหลวทุกตัว ฟิสิกส์บอกว่าไม่มีแบริ่งใดล้มเหลวก่อนฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นแตก วิศวกรความเชื่อถือได้ต้องการรู้ว่านานเท่าใด และข้อมูลสนับสนุนหรือไม่

ข้อมูลนำเข้า	ค่า
อายุที่ล้มเหลว เป็นชั่วโมงทำงาน (60)	72.4, 76.4, 79.7, ... (หกสิบค่าของไฟล์)
ไฟล์ในไฟล์ zip ของตัวอย่างพร้อมวิธีทำ	2-Weibull-3P/Example-1.csv — หนึ่งคอลัมน์ หัวคอลัมน์ Times 60 แถว

ความเชื่อมั่น %	95 — ค่าที่แบบฟอร์มมีอยู่เมื่อเปิด
ระดับอายุ B %	10 — ค่าที่แบบฟอร์มมีอยู่เมื่อเปิด

	① A	B
1	72.4	
2	76.4	
3	79.7	
4	97.3	
5	100.8	
6	123.1	
7	123.6	
8	126.4	
9	126.4	
10	134.5	
11	141.7	
12	144.7	
13	147.0	
14	148.1	
15	149.0	
16	161.0	
17	169.0	
18	179.1	
19	180.1	
20	180.3	
21	181.9	
22	186.2	
23	188.2	
24	188.5	
25	190.5	
26	197.8	
27	201.1	
28	212.3	
29	214.3	
30	214.4	
31	214.5	
32	215.6	

ข้อมูลตัวอย่างในแผ่นงาน

- ① คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 60 ค่า หนึ่งค่าต่อแถว เป็นชั่วโมงทำงาน

ภาค 3 — วิธีใช้ ทีละขั้นตอน

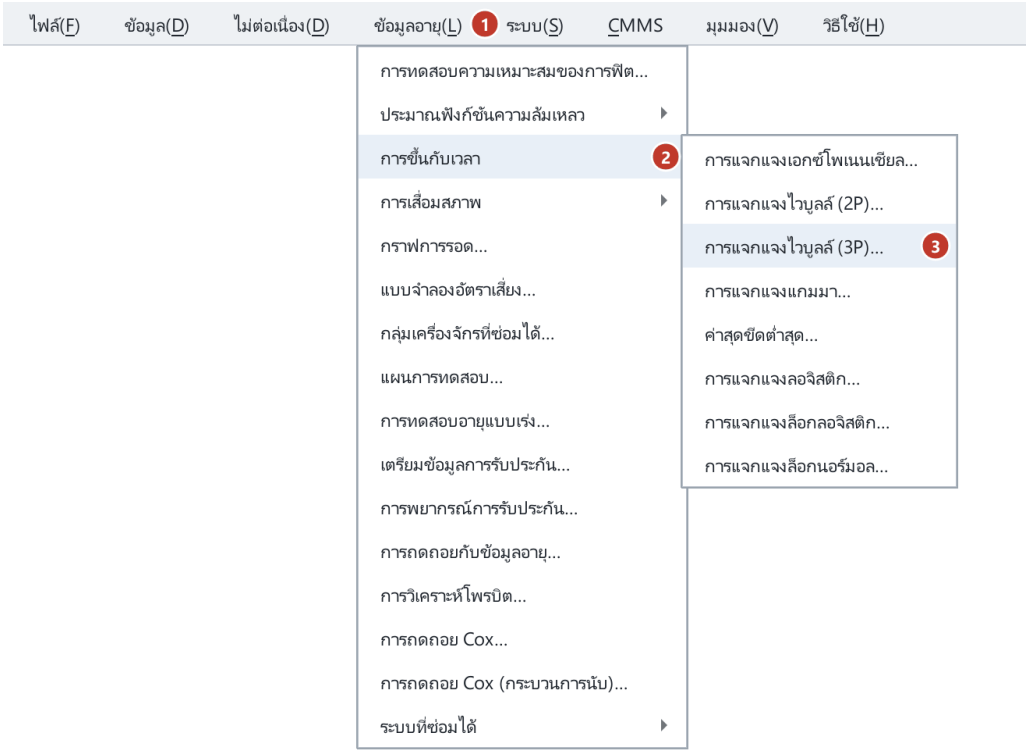
1. **ใส่อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์ A** คัดลอกค่า 60 ค่าของ Example-1.csv ที่อยู่ใต้หัวคอลัมน์ Times ลงในคอลัมน์ A ของแผ่นงาน เริ่มที่แถว 1

	① A	B
1	72.4	
2	76.4	
3	79.7	
4	97.3	
5	100.8	
6	123.1	
7	123.6	
8	126.4	
9	126.4	
10	134.5	
11	141.7	
12	144.7	
13	147.0	
14	148.1	
15	149.0	
16	161.0	
17	169.0	
18	179.1	
19	180.1	
20	180.3	
21	181.9	
22	186.2	
23	188.2	
24	188.5	
25	190.5	
26	197.8	
27	201.1	
28	212.3	
29	214.3	
30	214.4	
31	214.5	
32	215.6	

ขั้นตอนที่ 1 — อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์ A

- ① คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 60 ค่า เริ่มที่ 72.4, 76.4, 79.7

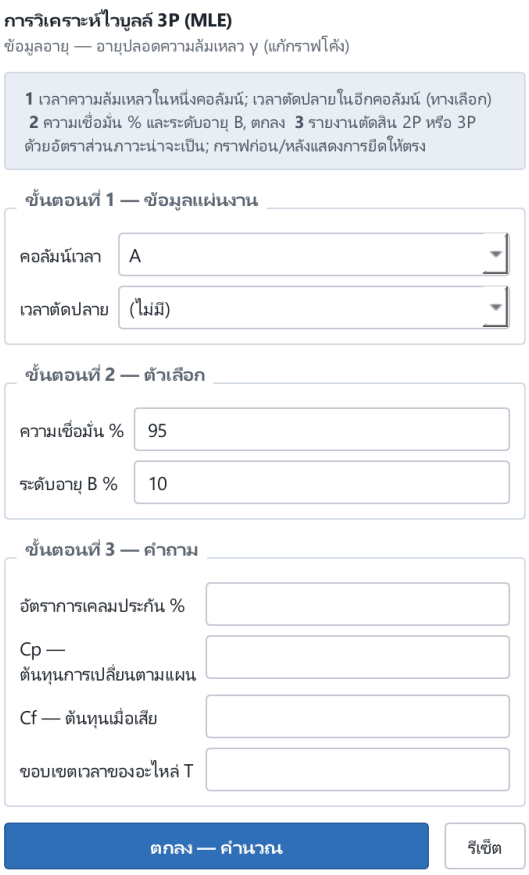
2. **เลือก** ข้อมูลอายุ ▸ **การขึ้นกับเวลา** ▸ **การแจกแจงไวบูลล์ (3P)...** ในแถบเมนู แบบฟอร์ม การวิเคราะห์ไวบูลล์ 3P (MLE) เปิดขึ้นในแผงด้านซ้าย



ขั้นตอนที่ 2 — เส้นทางเมนู

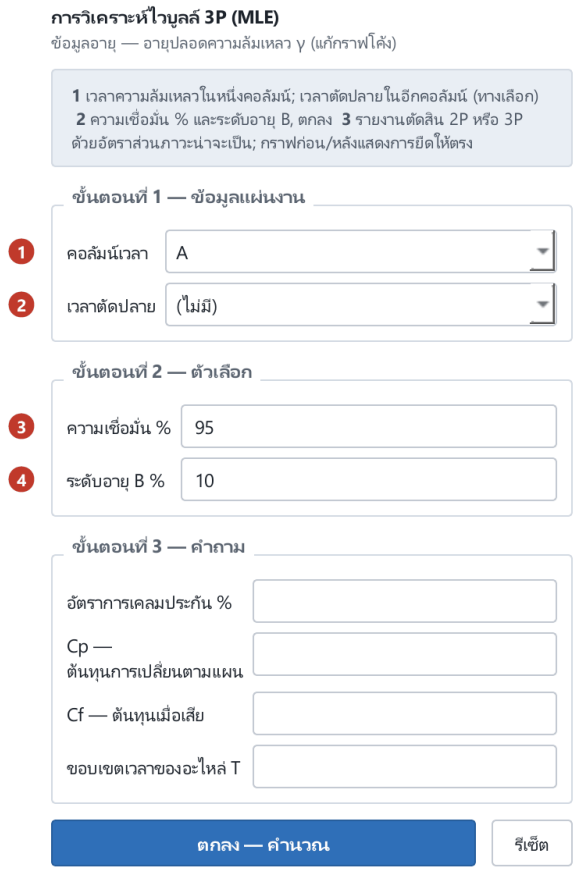
- ① ข้อมูลอายุ: เมนู
- ② การขึ้นกับเวลา: เมนูย่อย
- ③ การแจกแจงไวบูลล์ (3P)...: รายการที่ต้องคลิก

แบบฟอร์มเมื่อเปิด ก่อนตั้งค่าช่องใด:



ขั้นตอนที่ 2 — แบบฟอร์มเมื่อเปิด

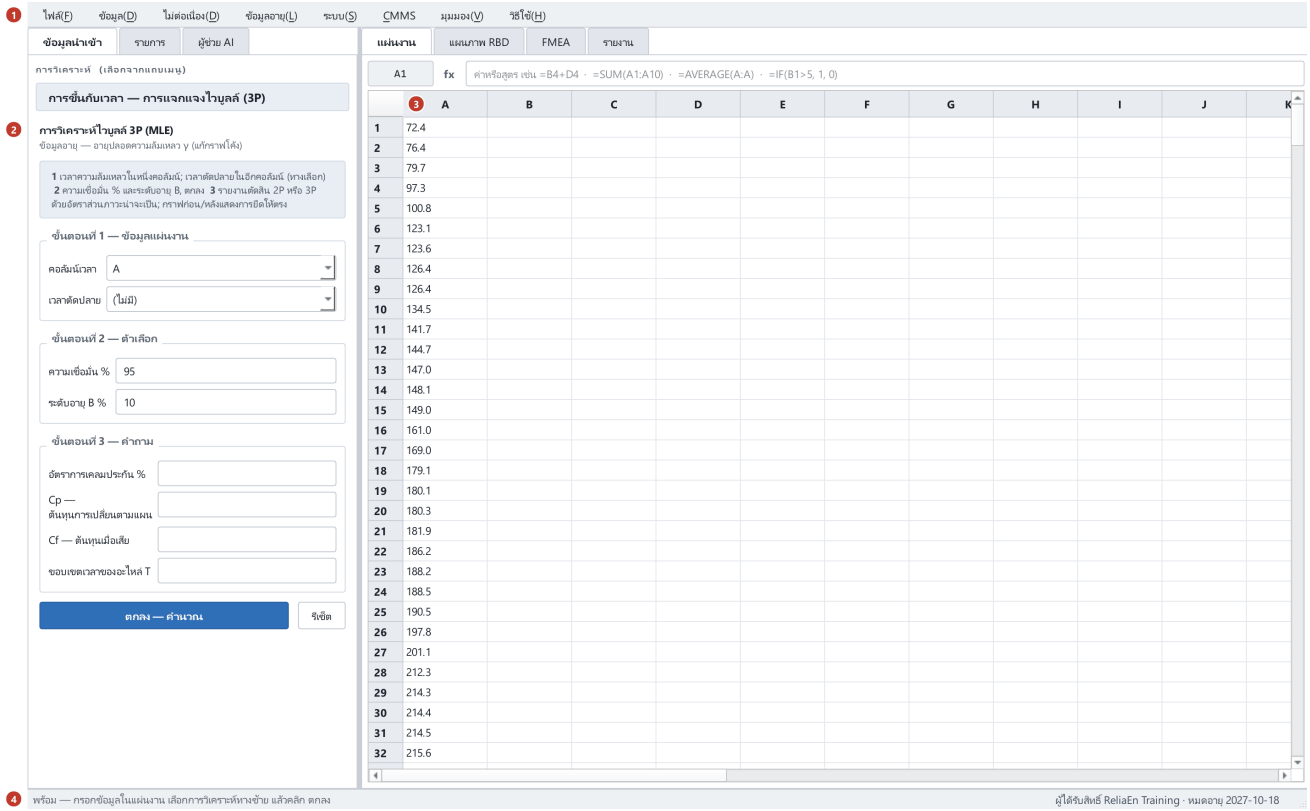
ขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 ตั้งค่าสี่ช่องของแบบฟอร์ม ซึ่งมีเครื่องหมาย ① ถึง ④ ในภาพ:



ขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 — แบบฟอร์มที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้

3. ① **ใน** **คอลัมน์เวลา** **เลือก** **A** คอลัมน์ที่มีอายุที่ล้มเหลว
4. ② **ปล่อย** **เวลาตัดปลาย** **ไว้ที่** **(ไม่มี)** แบริ่งทุกตัวทำงานจนล้มเหลว
5. ③ **ตรวจว่า** **ความเชื่อมั่น %** **เป็น** **95** ค่านี้กำหนดขอบเขต ช่วงโปรไฟล์ของ γ และระดับของการทดสอบ LR
6. ④ **ตรวจว่า** **ระดับอายุ B %** **เป็น** **10** อายุ B ที่พิมพ์ในผลลัพธ์ คำถามที่ไม่บังคับใต้ ขั้นตอนที่ 3 — คำถาม ว่างไว้ในตัวอย่างนี้

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



ขั้นตอนที่ 7 — หน้าต่างก่อนกดตกลง

- ① แถบเมนู: ไฟล์, ข้อมูล, ไม่ต่อเนื่อง, ข้อมูลอายุ, ระบบ, CMMS, มุมมอง, วิธีใช้
- ② แบบฟอร์มที่ตั้งค่าตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 มี ตกลง — คำนวณ อยู่ที่ท้าย
- ③ คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 60 ค่า
- ④ แถบสถานะ: พร้อม — กรอกข้อมูลในแผ่นงาน เลือกการวิเคราะห์ทางซ้าย แล้วคลิก ตกลง และ ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · หมดอายุ 2027-10-18

ภาค 4 — รายงาน ทีละการ์ด

ข้อมูลอายุ — ไวบูลล์ (3P) — การขึ้นกับเวลา

2026-10-30 18:02:19

$R(t) = e^{-((t-\gamma)/\eta)^{\beta}}$ สำหรับ $t > \gamma$; $B_q = \gamma + \eta(-\ln(1-q))^{1/\beta}$

ส่วนหัวของรายงาน

- ชื่อเรื่อง ข้อมูลอายุ — ไวบูลล์ (3P) — การขึ้นกับเวลา วันที่และเวลาที่คำนวณ และแบบจำลองในหนึ่งบรรทัด: R(t) = e^(−((t−γ)/η)^β) สำหรับ t > γ; B_q = γ + η(−ln(1−q))^(1/β)

ข้อมูลนำเข้า

1	n — หน่วยที่ทดสอบ	`60`
2	r — ความล้มเหลว	`60`
3	ตัดปลาย (หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว)	`0`
4	การประมาณค่า	`MLE โปรไฟล์ของ γ (ผ่านเครื่องคำนวณ 2P ที่ทวนสอบแล้ว)`

ข้อมูลนำเข้า

- ① n — หน่วยที่ทดสอบ 60
- ② r — ความล้มเหลว 60 ตรวจ r ก่อน: เซลล์ว่างถูกข้ามไป
- ③ ตัดปลาย (หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว) 0
- ④ การประมาณค่า MLE โปรไฟล์ของ γ (ผ่านเครื่องคำนวณ 2P ที่ทวนสอบแล้ว): สำหรับ γ แต่ละค่าที่เป็นไปได้ อายุถูกเลื่อนเป็น t − γ แล้วฟิตแบบจำลองสองพารามิเตอร์ด้วยภาวะน่าจะเป็นสูงสุด γ̂ คือ γ ที่ให้ภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

ผลลัพธ์

1	β̂ — รูปร่าง (ขึ้นกับ γ̂)	`1.74075 [1.43258, 2.11522]`
2	η̂ — สเกล (ขึ้นกับ γ̂)	`185.153 [158.909, 215.732]`
3	γ̂ — อายุปลอดความล้มเหลว (ช่วงโปรไฟล์)	`62.2904 [15.8277, 72.2646]`
4	MTTF	`227.24`
5	อายุมัธยฐาน	`212.29`
6	อายุ B10 (ขึ้นกับ γ̂)	`113.12 [98.74, 133.17]`

ผลลัพธ์

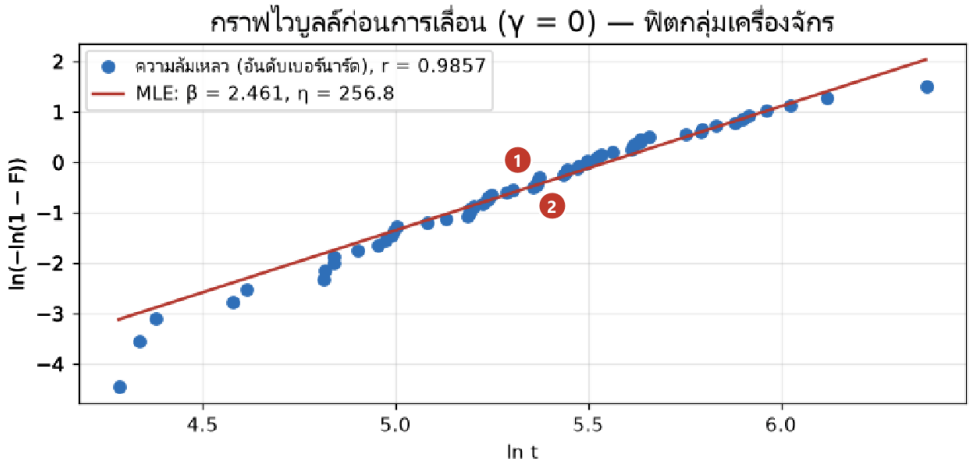
- ① β̂ — รูปร่าง (ขึ้นกับ γ̂) 1.74075 [1.43258, 2.11522]: รูปร่างหลังอายุปลอดความล้มเหลว มากกว่า 1 คือการสึกหรอ
- ② η̂ — สเกล (ขึ้นกับ γ̂) 185.153 [158.909, 215.732]
- ③ γ̂ — อายุปลอดความล้มเหลว (ช่วงโปรไฟล์) 62.2904 [15.8277, 72.2646]: คาดว่าไม่มีแบริ่งใดล้มเหลวก่อนประมาณ 62 ชั่วโมง ช่วงนี้กว้าง ความล้มเหลวหกสิบครั้งระบุเกณฑ์เริ่มได้เพียงคร่าว ๆ
- ④ MTTF 227.24: อายุเฉลี่ย รวมอายุปลอดความล้มเหลวแล้ว
- ⑤ อายุมัธยฐาน 212.29: แบริ่งครึ่งหนึ่งล้มเหลวภายในอายุนี้
- ⑥ อายุ B10 (ขึ้นกับ γ̂) 113.12 [98.74, 133.17]: แบริ่งหนึ่งในสิบล้มเหลวภายในอายุนี้

การตีความ

1	ยืนยันอายุปลอดความล้มเหลว: ไม่มีความล้มเหลวเกิดได้ก่อน γ̂ = 62.3 — ประชากรต้องใช้เวลานานเท่านั้นในการสะสมความเสียหายจนล้มเหลวได้ (การฟักตัว สำรองช่วงเริ่มใช้งาน) หลัง γ กลุ่มเครื่องจักรมีพฤติกรรมเป็นไวบูลล์ที่ β = 1.741 MTTF = 227.24; 10% ของหน่วยล้มเหลวภายใน B10 = 113.12

การตีความ

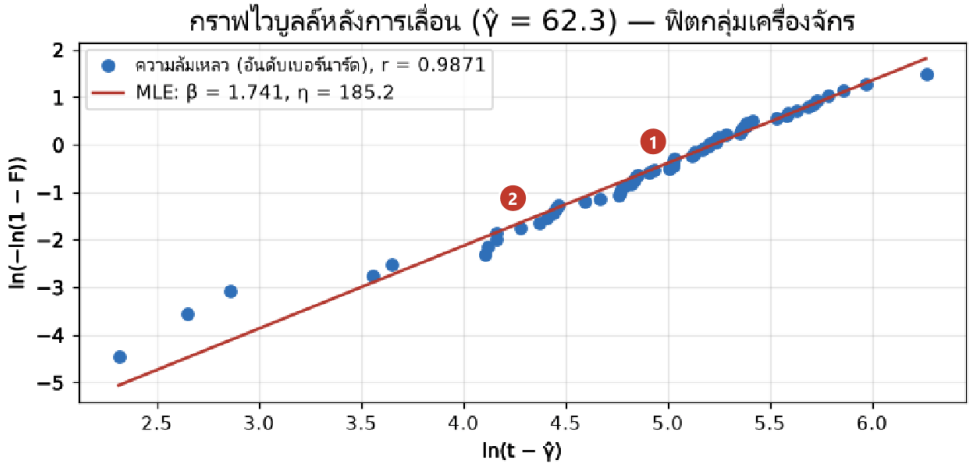
- ① คำตัดสินของ ReliaEn: ยืนยันอายุปลอดความล้มเหลว: ไม่มีความล้มเหลวเกิดได้ก่อน γ̂ = 62.3 — ประชากรต้องใช้เวลานานเท่านั้นในการสะสมความเสียหายจนล้มเหลวได้ (การฟักตัว สำรองช่วงเริ่มใช้งาน) หลัง γ กลุ่มเครื่องจักรมีพฤติกรรมเป็นไวบูลล์ที่ β = 1.741 MTTF = 227.24; 10% ของหน่วยล้มเหลวภายใน B10 = 113.12



กราฟแบบโต้ตอบ

กราฟไวบูลล์ก่อนการเลื่อน

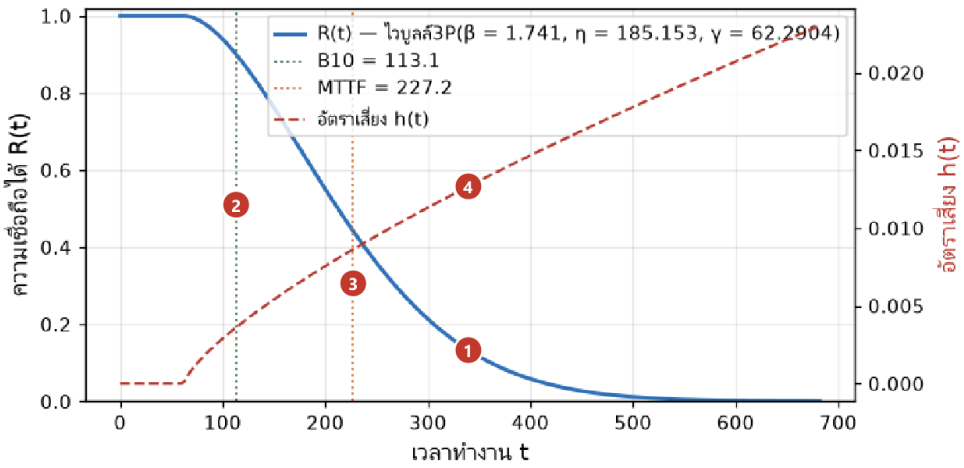
- ① ความล้มเหลว (อันดับเบอร์นาร์ด), r = 0.9857: อายุหกสิบค่าบนกราฟไวบูลล์สองพารามิเตอร์ (γ = 0) โค้งลงทางซ้าย
- ② MLE: β = 2.461, η = 256.8: ฟิตสองพารามิเตอร์ ซึ่งพลาดความโค้งที่ปลายทั้งสอง



กราฟแบบโต้ตอบ

กราฟไวบูลล์หลังการเลื่อน

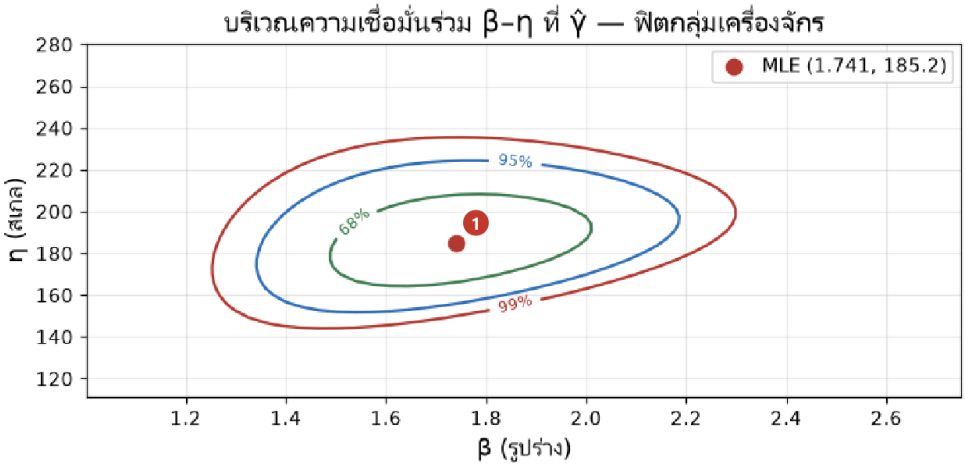
- ① ความล้มเหลว (อันดับเบอร์นาร์ด), r = 0.9871: อายุเดียวกันที่เลื่อนไป γ̂ เส้นตรงขึ้น
- ② MLE: β = 1.741, η = 185.2: ฟิตสามพารามิเตอร์หลังการเลื่อน



กราฟแบบโต้ตอบ

ความเชื่อถือได้และอัตราเสี่ยง

- ① R(t) — ไวบูลล์3P(β = 1.741, η = 185.153, γ = 62.2904): เท่ากับ 1 พอดีจนถึง γ̂ แล้วจึงลดลง
- ② B10 = 113.1: จุดที่ R ตัด 90%
- ③ MTTF = 227.2: อายุเฉลี่ยบนเส้นโค้ง
- ④ อัตราเสี่ยง h(t): เป็นศูนย์ก่อน γ̂ แล้วเพิ่มขึ้น คือการสึกหรอ



กราฟแบบโต้ตอบ

บริเวณความเชื่อมั่นร่วมของ β และ η

- ① MLE (1.741, 185.2): ค่าประมาณ อยู่ภายในบริเวณ 68%, 95% และ 99% โดยตรึง γ ไว้ที่ γ̂

อายุปลอดความล้มเหลว — Γ มีอยู่หรือไม่ (การทดสอบ LR, ฟิตกลุ่มเครื่องจักร)

1 p = 0.0212 < 0.05 — ยืนยันอายุปลอดความล้มเหลว: γ̂ = 62.3 ผลทั้งหมดด้านบนใช้แบบจำลอง 3P; กราฟด้านล่างแสดงความโค้งก่อนการเลื่อนและความตรงหลังจากนั้น

ปริมาณ	ค่า
2 γ^ — อายุปลอดความล้มเหลวแบบอิสระ	62.29 [15.8, 72.3]
3 ฟิต 3P	β = 1.7408, η = 185.15, lnL = -354.7593
4 ฟิต 2P (γ = 0)	β = 2.4610, η = 256.81, lnL = -357.4139
5 LR = 2(lnL₃ − lnL₂)	5.3092
6 ค่า p (χ², 1 dof)	0.0212
7 แบบจำลองที่รายงาน	ไวบูลล์ 3P (อายุปลอดความล้มเหลว)

8 แบบจำลองซ้อนกัน; สมมติฐานที่ขอบทำให้ χ²(1) เป็นค่าประมาณ — ระบุไว้ ไม่ปิดบัง ช่วงของ γ เป็นแบบโปรไฟล์ภาวะน่าจะเป็น (พารามิเตอร์เกณฑ์เริ่มไม่มีขอบเขต Fisher ที่เชื่อถือได้)

อายุปลอดความล้มเหลว — γ มีอยู่หรือไม่ (การทดสอบ LR, ฟิตกลุ่มเครื่องจักร)

- ① p = 0.0212 < 0.05 — ยืนยันอายุปลอดความล้มเหลว: γ̂ = 62.3 ผลทั้งหมดด้านบนใช้แบบจำลอง 3P; กราฟด้านล่างแสดงความโค้งก่อนการเลื่อนและความตรงหลังจากนั้น
- ② γ̂ — อายุปลอดความล้มเหลวแบบอิสระ 62.29 [15.8, 72.3]
- ③ ฟิต 3P β = 1.7408, η = 185.15, lnL = -354.7593
- ④ ฟิต 2P (γ = 0) β = 2.4610, η = 256.81, lnL = -357.4139
- ⑤ LR = 2(lnL₃ − lnL₂) 5.3092: สองเท่าของภาวะน่าจะเป็นลอการิทึมที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่ม γ
- ⑥ ค่า p (χ², 1 dof) 0.0212: ต่ำกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ γ = 0 ที่ 95%
- ⑦ แบบจำลองที่รายงาน ไวบูลล์ 3P (อายุปลอดความล้มเหลว)
- ⑧ แบบจำลองซ้อนกัน; สมมติฐานที่ขอบทำให้ χ²(1) เป็นค่าประมาณ — ระบุไว้ ไม่ปิดบัง ช่วงของ γ เป็นแบบโปรไฟล์ภาวะน่าจะเป็น (พารามิเตอร์เกณฑ์เริ่มไม่มีขอบเขต Fisher ที่เชื่อถือได้)

การเปรียบเทียบวิธีประมาณค่า — ฟิตกลุ่มเครื่องจักร

1 เส้นทาง RR เลือก γ ที่กราฟตรงที่สุด: r เพิ่มจาก 0.9857 (γ = 0) เป็น 0.9933 — แสดงเพื่อตรวจสอบไขว้กับซอฟต์แวร์ที่ใช้การถดถอยอันดับ

2 วิธี	3 γ	4 β	5 η	6 r
7 MLE (ที่รายงาน)	62.3	1.7408	185.15	—
8 การถดถอยอันดับ (γ ที่สหสัมพันธ์สูงสุด)	45.4	1.9976	206.12	0.9933

การเปรียบเทียบวิธีประมาณค่า — ฟิตกลุ่มเครื่องจักร

- ① เส้นทาง RR เลือก γ ที่กราฟตรงที่สุด: r เพิ่มจาก 0.9857 (γ = 0) เป็น 0.9933 — แสดงเพื่อตรวจสอบไขว้กับซอฟต์แวร์ที่ใช้การถดถอยอันดับ
- ② ถึง ⑥ คอลัมน์ วิธี, γ, β, η, r
- ⑦ MLE (ที่รายงาน): γ 62.3, β 1.7408, η 185.15 คือฟิตที่ผลลัพธ์ใช้
- ⑧ การถดถอยอันดับ (γ ที่สหสัมพันธ์สูงสุด): γ 45.4, β 1.9976, η 206.12, r 0.9933 เป็นอีกเส้นทางหนึ่ง แสดงเพื่อเปรียบเทียบเท่านั้น

ตัวแยกทางตามความโค้ง — Γ หรือล็อกนอร์มอล (ข้อมูลเดียวกัน)

1 ล็อกนอร์มอล(μ = 5.337, σ = 0.4348) อธิบายข้อมูลนี้ได้ดีที่สุดตาม AIC

2 แบบจำลอง	3 ln ภาวะน่าจะเป็น	4 AIC	
5 ไวบูลล์ 2P	-357.414	722.8	
6 ไวบูลล์ 3P	-354.759	721.5	
7 ล็อกนอร์มอล(μ = 5.337, σ = 0.4348)	-355.368	718.7	◂ ดีที่สุด

8 กราฟไวบูลล์ที่โค้งมีวิธีแก้ที่พบบ่อยสองทาง — อายุปลอดความล้มเหลว (3P) หรือล็อกนอร์มอล — และตัวอย่างขนาดเล็กมักแยกทั้งสองไม่ออก; กลไกเป็นตัวตัดสิน (ฟิสิกส์แบบมีเกณฑ์เริ่ม กับการเติบโตแบบทวีคูณ)

ตัวแยกทางตามความโค้ง — γ หรือล็อกนอร์มอล (ข้อมูลเดียวกัน)

- ① ล็อกนอร์มอล(μ = 5.337, σ = 0.4348) อธิบายข้อมูลนี้ได้ดีที่สุดตาม AIC
- ② ถึง ④ คอลัมน์ แบบจำลอง, ln ภาวะน่าจะเป็น, AIC
- ⑤ ไวบูลล์ 2P: -357.414, AIC 722.8
- ⑥ ไวบูลล์ 3P: -354.759, AIC 721.5
- ⑦ ล็อกนอร์มอล(μ = 5.337, σ = 0.4348): -355.368, AIC 718.7, ◂ ดีที่สุด
- ⑧ กราฟไวบูลล์ที่โค้งมีวิธีแก้ที่พบบ่อยสองทาง — อายุปลอดความล้มเหลว (3P) หรือล็อกนอร์มอล — และตัวอย่างขนาดเล็กมักแยกทั้งสองไม่ออก; กลไกเป็นตัวตัดสิน (ฟิสิกส์แบบมีเกณฑ์เริ่ม กับการเติบโตแบบทวีคูณ)

ก่อนวางใจ Γ — ตรวจสอบจุดเริ่มต้นของเวลา

1 อายุปลอดความล้มเหลว 62 แยกทางสถิติไม่ออกจากค่าเลื่อนจากการบันทึก 62 หน่วย — อายุที่บันทึกนับจากการติดตั้งแทนการเริ่มเดินเครื่อง หรือนับจากการซ่อมใหญ่ครั้งล่าสุดแทนของใหม่ ตรวจสอบนาฬิกาของข้อมูลก่อนถือว่า γ เป็นฟิสิกส์

ก่อนวางใจ γ — ตรวจสอบจุดเริ่มต้นของเวลา

- ① อายุปลอดความล้มเหลว 62 แยกทางสถิติไม่ออกจากค่าเลื่อนจากการบันทึก 62 หน่วย — อายุที่บันทึกนับจากการติดตั้งแทนการเริ่มเดินเครื่อง หรือนับจากการซ่อมใหญ่ครั้งล่าสุดแทนของใหม่ ตรวจสอบนาฬิกาของข้อมูลก่อนถือว่า γ เป็นฟิสิกส์

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

① แบบจำลอง: ไวบูลล์3P(β = 1.741, η = 185.153, γ = 62.2904) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย

② R เป้าหมาย	③ เวลาทำงาน t
95%	95.9
④ 90%	113.1
85%	127.5
80%	140.5
75%	152.8
70%	164.7
65%	176.4
60%	188.2
55%	200.1
50%	212.3
45%	225.0
40%	238.4
35%	252.7
30%	268.3
25%	285.7
20%	305.7
15%	329.8
10%	361.2
5%	410.0

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

- ① แบบจำลอง: ไวบูลล์3P(β = 1.741, η = 185.153, γ = 62.2904) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย
- ② R เป้าหมาย: ความเชื่อถือได้ที่ต้องการคงไว้ ตั้งแต่ 95% ลงไปถึง 5%
- ③ เวลาทำงาน t: ระยะทำงานนานที่สุดที่ยังคงความเชื่อถือได้นั้น
- ④ แถว 90%: 113.1 ชั่วโมง คือ B10

ตารางเปอร์เซ็นไทล์ — อายุ B พร้อมขอบเขต

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

เปอร์เซ็นไทล์ (2)	อายุ B (3)	ขอบเขต 95% (4)
1%	75.47	[69.66, 85.84]
5%	95.9	[84.67, 112.8]
10% (5)	113.1	[98.74, 133.2]
25%	152.8	[133.7, 177]
50%	212.3	[188.8, 240.1]
75%	285.7	[255.4, 320.7]
90%	361.2	[319, 410.5]
95%	410	[357.5, 471.9]
99%	507.5	[430.1, 601.1]

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%: 113.1 [98.74, 133.2] คือ B10 ของการ์ดผลลัพธ์

1 ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · RL-2026-0017

ท้ายรายงาน

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

ภาค 5 — วิธีตีความผลลัพธ์

คำตัดสิน การทดสอบ LR ยืนยันอายุปลอดความล้มเหลวที่ 95%: p = 0.0212 ต่ำกว่า 0.05 และ ReliaEn รายงานแบบจำลองสามพารามิเตอร์ คาดว่าไม่มีแบริ่งใดล้มเหลวก่อน $\hat{\gamma}$ = 62.2904 ชั่วโมง หลังจากนั้นแบริ่งสึกหรอด้วย β = 1.74075 แบริ่งหนึ่งในสิบล้มเหลวภายใน 113.12 ชั่วโมง (B10) และครึ่งหนึ่งภายใน 212.29

เกณฑ์เริ่มแม่นเพียงใด ช่วงโปรไฟล์ของ γ คือ [15.8277, 72.2646] ซึ่งกว้าง ความล้มเหลวหกสิบครั้งระบุเกณฑ์เริ่มได้เพียงคร่าว ๆ ให้วางแผนด้วยปลายล่างเมื่อช่วงปลอดความล้มเหลวมีข้อผูกพัน เช่น การรับประกันที่อาศัยช่วงนี้ หรือการตรวจที่ข้ามไปเพราะช่วงนี้

คำเตือนสองข้อที่รายงานให้คุณ ตัวแยกทางตามความโค้งพบว่าล็อกนอร์มอลดีที่สุดตาม AIC (718.7 เทียบกับ 721.5 ของแบบจำลองสามพารามิเตอร์): สถิติอย่างเดียวเลือกระหว่างเกณฑ์เริ่มกับการเติบโตแบบทวีคูณไม่ได้ กลไกความล้มเหลวต้องเป็นตัวตัดสิน และอายุปลอดความล้มเหลว 62 ชั่วโมงดูเหมือนความคลาดเคลื่อน 62 ชั่วโมงของจุดเริ่มนับอายุทุกประการ ตรวจว่าทุกอายุนับจากการเริ่มเดินเครื่อง ไม่ใช่จากการติดตั้งหรือการซ่อมใหญ่ครั้งล่าสุด ก่อนถือว่า γ เป็นฟิสิกส์

ผลต่อการบำรุงรักษา ตารางช่วงบำรุงรักษาให้ระยะทำงานนานที่สุดที่ยังคงความเชื่อถือได้เป้าหมายแต่ละระดับภายใต้แบบจำลองที่รายงานคือ 113.1 ชั่วโมงสำหรับ 90% เมื่อ β มากกว่า 1 แบริ่งสึกหรอ การเปลี่ยนตามแผนจึงอาจคุ้มค่า ต้นทุนในคำถามที่ไม่บังคับของแบบฟอร์มจะให้ ReliaEn ชั่งน้ำหนักเรื่องนี้ได้