ล็อกนอร์มอล — อายุในฐานะความเสียหายแบบทวีคูณ อ่านบนลอการิทึมของข้อมูล

เมนู: ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงล็อกนอร์มอล...

ภาค 1 — ฟังก์ชันนี้ทำอะไร

คำนวณอะไร แบบจำลองล็อกนอร์มอลบอกว่าลอการิทึมของอายุหน่วยมีการแจกแจงปกติ: ln T ~ ปกติ(μ, σ) เหมาะกับความเสียหายที่เติบโตตามสัดส่วนของขนาดตัวเอง เช่น รอยร้าวจากความล้า หรืองานซ่อมที่ยืดเยื้อ ReliaEn ฟิต μ (ค่าเฉลี่ยของ ln t) และ σ (การกระจายของ ln t) ด้วยภาวะน่าจะเป็นสูงสุดพร้อมขอบเขต และให้มัธยฐาน e^μ ค่าเฉลี่ย ฐานนิยม อายุ B พร้อมขอบเขต และช่วงบำรุงรักษา ReliaEn ตรวจการฟิตสี่ทาง (กราฟความน่าจะเป็น PPCC และการทดสอบเชิงรูปนัยสองแบบบน ln t) เปรียบเทียบกับไวบูลล์ตาม AIC และคิดราคาการปรับปรุงสองอย่าง คือ การทดสอบเพิ่ม และการกระจายที่แคบลง

สิ่งที่ **ReliaEn พิมพ์**	สิ่งที่บอก
μ̂ และ **σ̂** พร้อมขอบเขต	ศูนย์กลางและการกระจายของ ln t ไม่ใช่ของ t เอง
มัธยฐาน ค่าเฉลี่ย (MTTF) ฐานนิยม	ศูนย์กลางสามแบบ เรียงเสมอ ฐานนิยม < มัธยฐาน < ค่าเฉลี่ย
อายุ B พร้อมขอบเขต **R ที่เวลาที่เลือก**	หน่วยส่วนหนึ่งล้มเหลวแล้วภายในอายุใด และสัดส่วนที่รอดถึงอายุที่เลือก
PPCC Shapiro–Wilk Anderson–Darling	แบบจำลองล็อกนอร์มอลถูกปฏิเสธหรือไม่
แบบจำลองคู่แข่ง	ไวบูลล์อธิบายข้อมูลได้ดีพอกันหรือไม่ ตาม AIC
คุณค่าของข้อมูลเพิ่มเติม และ**คาน σ**	การทดสอบเพิ่ม หรือการกระจายที่แคบลง จะทำอะไรกับ B10

จากข้อมูลใด อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์เดียวของแผ่นงาน หนึ่งแถวต่อหนึ่งหน่วยที่ล้มเหลว แต่ละค่ามากกว่า 0 (ลอการิทึมปฏิเสธ 0) อายุของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว (ถ้ามี) อยู่ในอีกคอลัมน์หนึ่ง แบบฟอร์มเดียวกันนี้ยังอ่านเวลาซ่อมสำหรับงานด้านความสามารถในการบำรุงรักษาได้ด้วย

วิศวกรใช้เมื่อใด เมื่อความล้มเหลวมาจากความเสียหายที่ทวีคูณ เช่น รอยร้าวจากความล้า หลุมกัดกร่อนที่โตขึ้น และคำถามคือหน่วยอยู่ได้นานเท่าใด และอะไรจะยืดอายุได้

ไม่ควรใช้เมื่อ

สถานการณ์	ใช้แทน
ความล้มเหลวมาจากจุดอ่อนที่สุดของรอยตำหนิจำนวนมาก	ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)...
ความล้มเหลวมาจากเหตุการณ์ความเสียหายที่สะสม	ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงแกมมา...
การสึกหรอล้วนที่อัตราเสี่ยงเพิ่มขึ้นตลอด	ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)... หรือ ข้อมูลอายุ ▸ การเสื่อมสภาพ ▸ กระบวนการแกมมา...

ภาค 2 — ข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง

สถานการณ์. ผู้ผลิตกระปุกเกียร์ทดสอบเพลา 12 ชิ้นจนล้มเหลวจากความล้าบนแท่นทดสอบ หน่วยเป็นพันรอบ วิศวกรความเชื่อถือได้ต้องการรู้อายุของเพลา จำนวนเพลาที่รอดถึง 100 พันรอบ และอะไรจะยืดอายุ B10 ได้

ข้อมูลนำเข้า	ค่า
อายุที่ล้มเหลว เป็นพันรอบ (12)	22.0, 31.5, 38.4, … (สิบสองค่าของไฟล์)
ไฟล์ในไฟล์ zip ของตัวอย่างพร้อมวิธีทำ	2-Lognormal/Example-1.csv — หนึ่งคอลัมน์ หัวคอลัมน์ Failure times 12 แถว
ประเมิน R/M ที่ t (ไม่บังคับ)	100 — พิมพ์ในแบบฟอร์ม
ความเชื่อมั่น % / ระดับ %	95 / 10 — ค่าที่แบบฟอร์มมีอยู่เมื่อเปิด

	A	B
1	22.0	
2	31.5	
3	38.4	
4	45.0	
5	52.7	
6	61.2	
7	70.9	
8	82.3	
9	96.0	
10	114.5	
11	141.8	
12	190.2	
13		

ข้อมูลตัวอย่างในแผ่นงาน

- ① คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 12 ค่า หนึ่งค่าต่อแถว เป็นพันรอบ

ภาค 3 — วิธีใช้ ทีละขั้นตอน

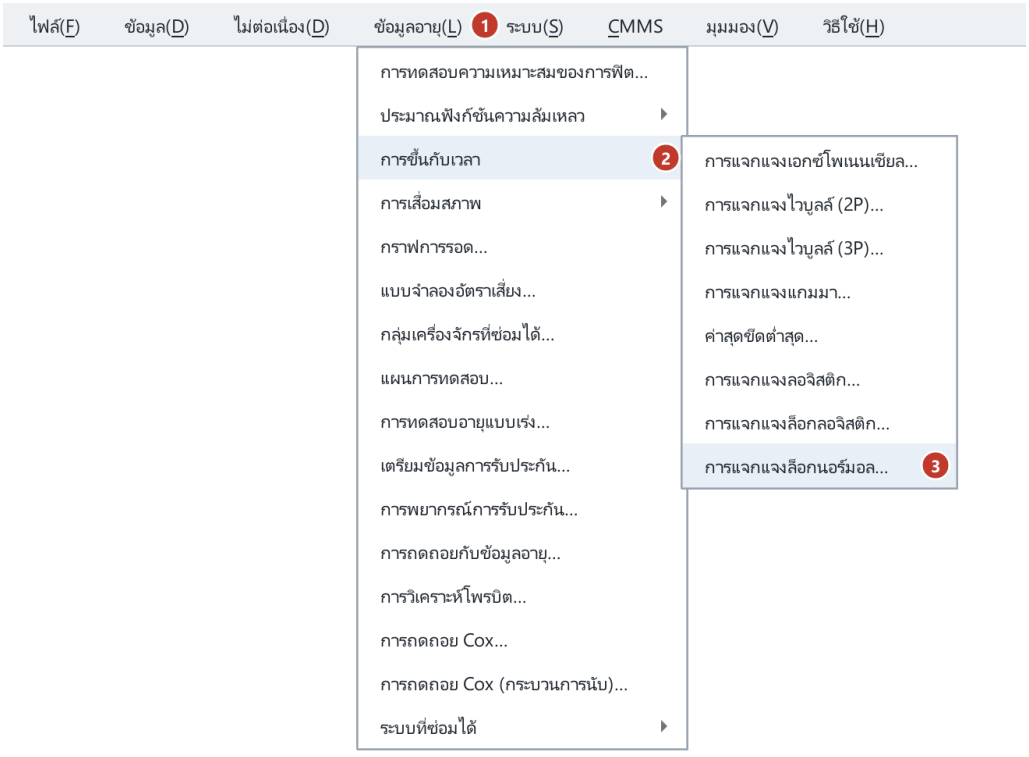
1. **ใส่อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์ A** คัดลอกค่า 12 ค่าของ Example-1.csv ที่อยู่ใต้หัวคอลัมน์ Failure times ลงในคอลัมน์ A ของแผ่นงาน เริ่มที่แถว 1

	① A	B
1	22.0	
2	31.5	
3	38.4	
4	45.0	
5	52.7	
6	61.2	
7	70.9	
8	82.3	
9	96.0	
10	114.5	
11	141.8	
12	190.2	
13		

ขั้นตอนที่ 1 — อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์ A

- ① คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 12 ค่า ตั้งแต่ 22.0 ถึง 190.2

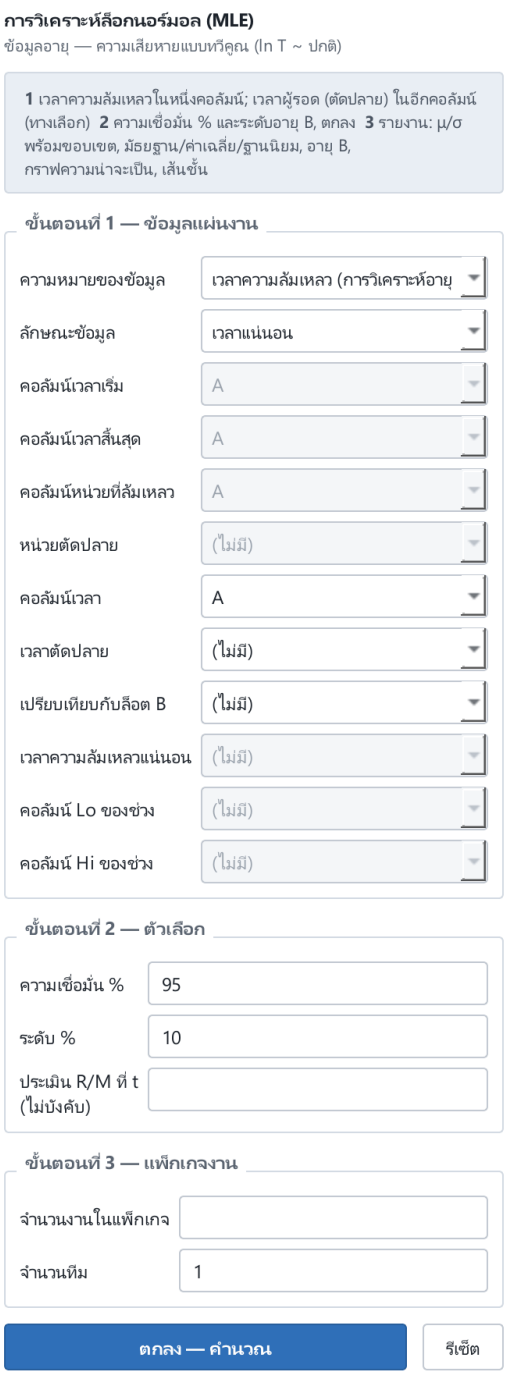
2. **เลือก ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงล็อกนอร์มอล...** ในแถบเมนู แบบฟอร์ม การวิเคราะห์ล็อกนอร์มอล (MLE) เปิดขึ้นในแผงด้านซ้าย



ขั้นตอนที่ 2 — เส้นทางเมนู

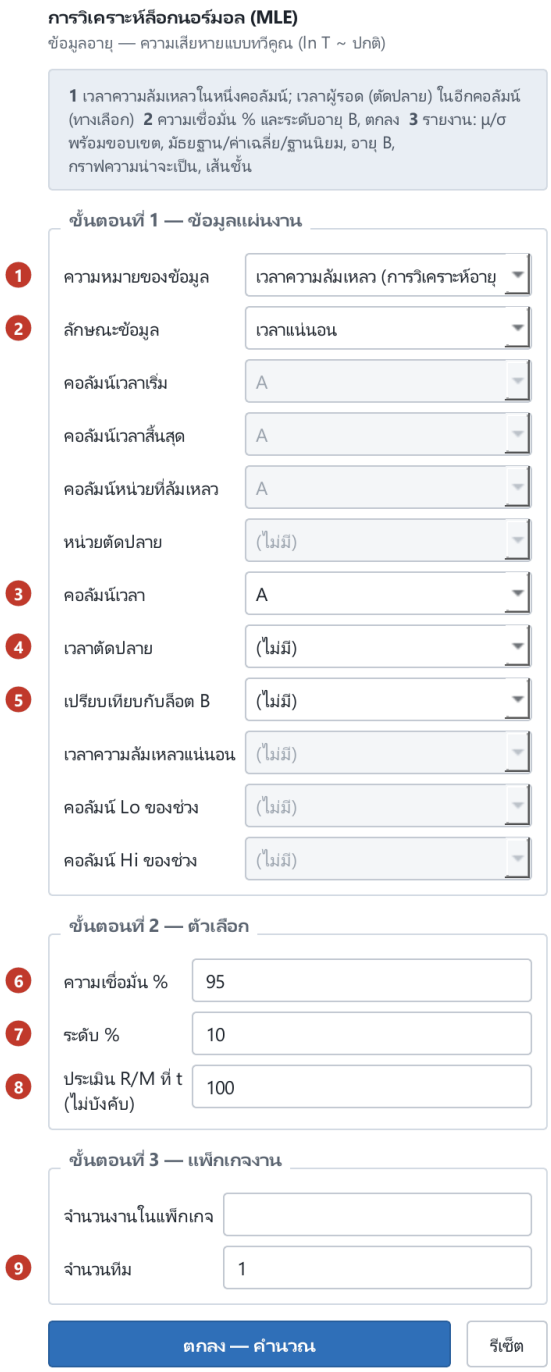
- ① ข้อมูลอายุ: เมนู
- ② การขึ้นกับเวลา: เมนูย่อย
- ③ การแจกแจงล็อกนอร์มอล...: รายการที่ต้องคลิก

แบบฟอร์มเมื่อเปิด ก่อนตั้งค่าช่องใด:



ขั้นตอนที่ 2 — แบบฟอร์มเมื่อเปิด

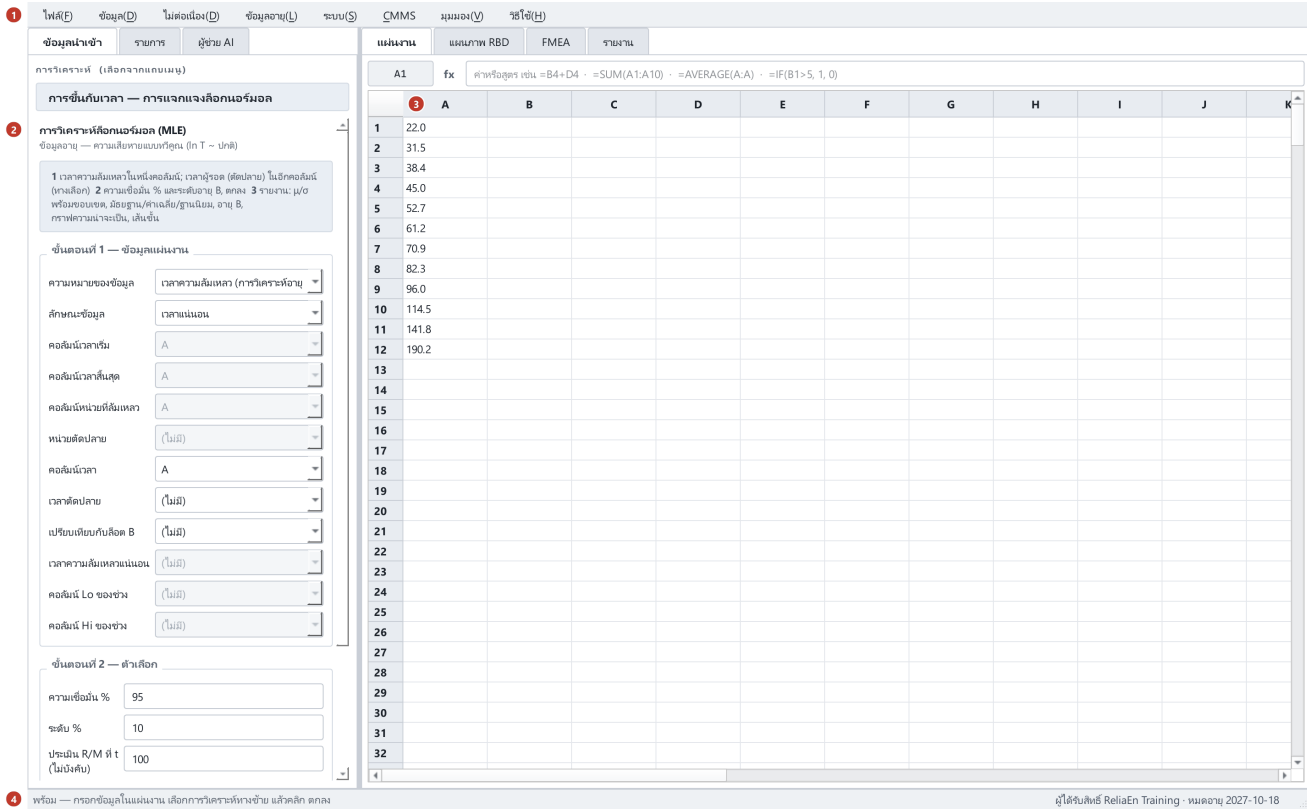
ขั้นตอนที่ 3 ถึง 11 ตั้งหรือตรวจเก้าช่องของแบบฟอร์ม ซึ่งมีเครื่องหมาย ① ถึง ⑨ ในภาพ:



ขั้นตอนที่ 3 ถึง 11 — แบบฟอร์มที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้

3. ① **ตรวจว่า** **ความหมายของข้อมูล** **เป็น** **เวลาความล้มเหลว (การวิเคราะห์อายุ)**
4. ② **ตรวจว่า** **ลักษณะข้อมูล** **เป็น** **เวลาแน่นอน**
5. ③ **ใน** **คอลัมน์เวลา** **เลือก** **A**
6. ④ **ปล่อย** **เวลาตัดปลาย** **ไว้ที่** **(ไม่มี)** เพลาทุกชิ้นล้มเหลว
7. ⑤ **ปล่อย** **เปรียบเทียบกับล็อต B** **ไว้ที่** **(ไม่มี)** ไม่มีล็อตที่สอง
8. ⑥ **ตรวจว่า** **ความเชื่อมั่น %** **เป็น** **95**
9. ⑦ **ตรวจว่า** **ระดับ %** **เป็น** **10** อายุ B ในผลลัพธ์
10. ⑧ **ใน** **ประเมิน R/M ที่ t (ไม่บังคับ)** **พิมพ์** **100**
11. ⑨ **ปล่อย** **จำนวนทีม** **ไว้ที่** **1** ใช้กับโหมดเวลาซ่อมเท่านั้น

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



ขั้นตอนที่ 12 — หน้าต่างก่อนกดตกลง

- ① แถบเมนู: ไฟล์, ข้อมูล, ไม่ต่อเนื่อง, ข้อมูลอายุ, ระบบ, CMMS, มุมมอง, วิธีใช้
- ② แบบฟอร์มที่ตั้งค่าตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 11 มี ตกลง — คำนวณ อยู่ที่ท้าย
- ③ คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 12 ค่า
- ④ แถบสถานะ: พร้อม — กรอกข้อมูลในแผ่นงาน เลือกการวิเคราะห์ทางซ้าย แล้วคลิก ตกลง และ ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · หมดอายุ 2027-10-18

ภาค 4 — รายงาน ทีละการ์ด

ข้อมูลอายุ — ล็อกนอร์มอล (2P) — การขึ้นกับเวลา

`2026-10-30 19:09:29`

`ln T ~ ปกติ(μ, σ²) ; R(t) = 1 − Φ((ln t − μ)/σ) ; B_α = e^(μ + z_α σ)`

ส่วนหัวของรายงาน

- ชื่อเรื่อง ข้อมูลอายุ — ล็อกนอร์มอล (2P) — การขึ้นกับเวลา วันที่และเวลาที่คำนวณ และแบบจำลองในหนึ่งบรรทัด: ln T ~ ปกติ(μ, σ²); R(t) = 1 − Φ((ln t − μ)/σ); B_α = e^(μ + z_α σ)

ข้อมูลนำเข้า

1	n — หน่วยที่ทดสอบ	**12**
2	r — ความล้มเหลว	**12**
3	ตัดปลาย (หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว)	**0**
4	การประมาณค่า	**รูปปิด (ข้อมูลสมบูรณ์)**

ข้อมูลนำเข้า

- ① n — หน่วยที่ทดสอบ 12
- ② r — ความล้มเหลว 12 ตรวจ r ก่อน: เซลล์ว่างถูกข้ามไป
- ③ ตัดปลาย (หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว) 0
- ④ การประมาณค่า รูปปิด (ข้อมูลสมบูรณ์): เมื่อทุกหน่วยล้มเหลว μ̂ คือค่าเฉลี่ยของ ln t และ σ̂ คือการกระจายของมัน ไม่ต้องค้นหา

ผลลัพธ์

1	μ̂ — ค่าเฉลี่ยของลอการิทึม	**4.1878 [3.84313, 4.53247]**
2	σ̂ — SD ของลอการิทึม (MLE, ÷n)	**0.609183 [0.408316, 0.908863] (s ไม่เอนเอียง = 0.63627)**
3	มัธยฐาน = e^μ	**65.8775**
4	ค่าเฉลี่ย (MTTF) = e^(μ+σ²/2)	**79.3088**
5	ฐานนิยม = e^(μ−σ²)	**45.4537**
6	อายุ B10	**30.1776 [18.953, 48.0498]**
7	R(100) — การรอด	**0.2466292029**

ผลลัพธ์

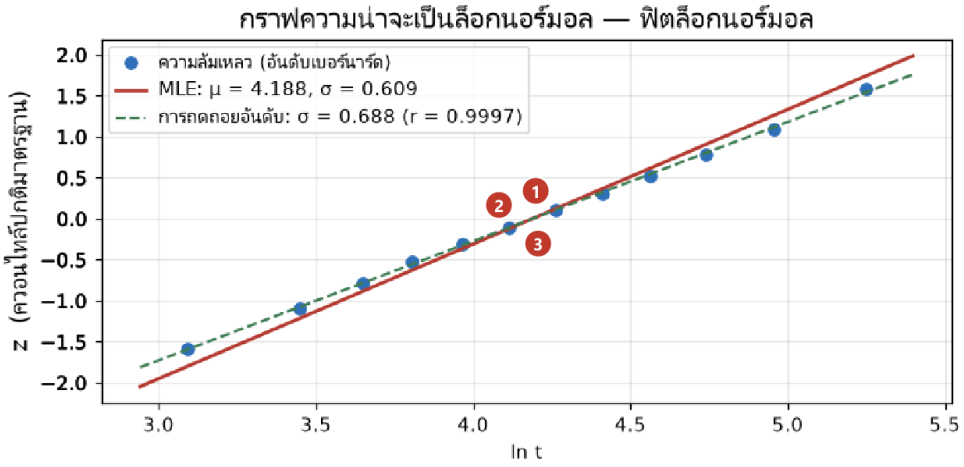
- ① μ̂ — ค่าเฉลี่ยของลอการิทึม 4.1878 [3.84313, 4.53247]: ศูนย์กลางของ ln t เป็นลอการิทึมของพันรอบ
- ② σ̂ — SD ของลอการิทึม (MLE, ÷n) 0.609183 [0.408316, 0.908863] (s ไม่เอนเอียง = 0.63627): การกระจายของ ln t
- ③ มัธยฐาน = e^μ 65.8775: เพลาครึ่งหนึ่งล้มเหลวภายใน 65.9 พันรอบ
- ④ ค่าเฉลี่ย (MTTF) = e^(μ+σ²/2) 79.3088: ถูกหางขวาที่ยาวลากขึ้น
- ⑤ ฐานนิยม = e^(μ−σ²) 45.4537: อายุที่ล้มเหลวบ่อยที่สุด
- ⑥ อายุ B10 30.1776 [18.953, 48.0498]: เพลาหนึ่งในสิบล้มเหลวภายในอายุนี้
- ⑦ R(100) — การรอด 0.2466292029: เพลาประมาณหนึ่งในสี่รอดถึง 100 พันรอบ

การตีความ

1	ln T เป็นการแจกแจงปกติ — แบบจำลองของความเสียหายแบบทวีคูณ (แต่ละขั้นขยายรอยตำหนิตามสัดส่วนของขนาดมัน: รอยร้าวจากความล้า) ระวังกับดักอันดับ 1: μ และ σ อธิบายลอการิทึมของข้อมูล (ล็อก-ชั่วโมง ล็อก-วงรอบ) ไม่ใช่ตัวข้อมูลเอง ศูนย์กลางทั้งสามเรียงลำดับเสมอ ฐานนิยม (45.4537) < มัธยฐาน (65.8775) < ค่าเฉลี่ย (79.3088) — หางขวาลากค่าเฉลี่ยขึ้น งานล็อกนอร์มอลจึงรายงานมัธยฐานพร้อมเปอร์เซ็นไทล์ ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว อัตราเสี่ยงขึ้นแล้วลงเมื่ออายุมาก — เพียงพอสำหรับประชากรแบบความล้า ผิดสำหรับการสึกหรอล้วน (นั่นคืออาณาเขตของกระบวนการแกมมา / ไวบูลล์)

การตีความ

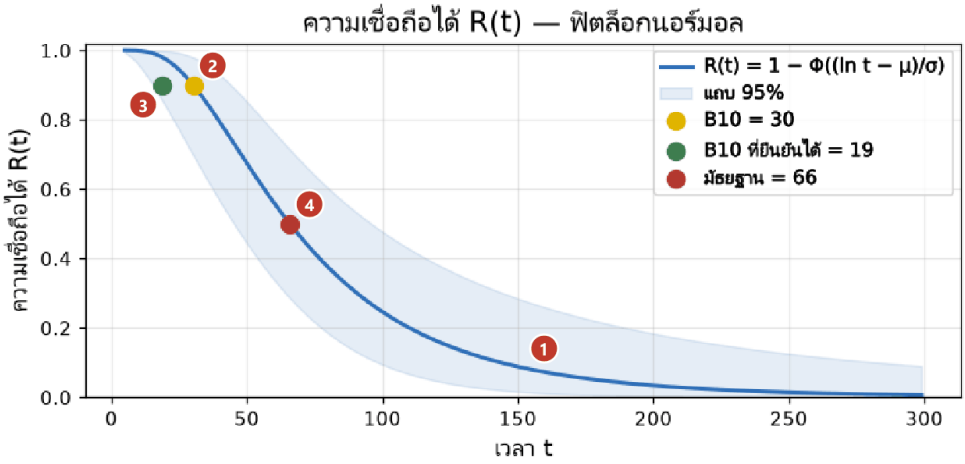
- ① การอ่านของ ReliaEn: ln T เป็นการแจกแจงปกติ — แบบจำลองของความเสียหายแบบทวีคูณ (แต่ละขั้นขยายรอยตำหนิตามสัดส่วนของขนาดมัน: รอยร้าวจากความล้า) ระวังกับดักอันดับ 1: μ และ σ อธิบายลอการิทึมของข้อมูล (ล็อก-ชั่วโมง ล็อก-วงรอบ) ไม่ใช่ตัวข้อมูลเอง ศูนย์กลางทั้งสามเรียงลำดับเสมอ ฐานนิยม (45.4537) < มัธยฐาน (65.8775) < ค่าเฉลี่ย (79.3088) — หางขวาลากค่าเฉลี่ยขึ้น งานล็อกนอร์มอลจึงรายงานมัธยฐานพร้อมเปอร์เซ็นไทล์ ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว อัตราเสี่ยงขึ้นแล้วลงเมื่ออายุมาก — เพียงพอสำหรับประชากรแบบความล้า ผิดสำหรับการสึกหรอล้วน (นั่นคืออาณาเขตของกระบวนการแกมมา / ไวบูลล์)



กราฟแบบโต้ตอบ

กราฟความน่าจะเป็นล็อกนอร์มอล

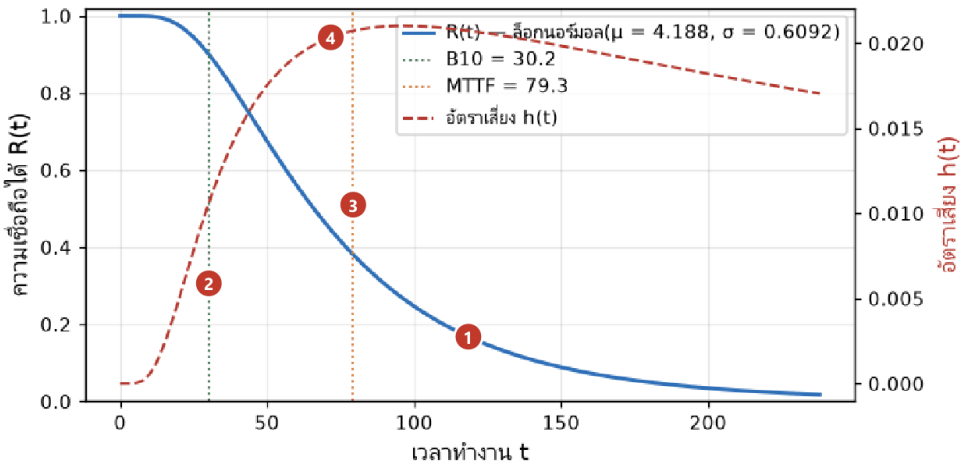
- ① ความล้มเหลว (อันดับเบอร์นาร์ด): อายุ 12 ค่าบนกระดาษล็อกนอร์มอล
- ② MLE: μ = 4.188, σ = 0.609: เส้นที่ฟิต
- ③ การถดถอยอันดับ: σ = 0.688 (r = 0.9997): เส้นตรงที่ฟิตจากกราฟเอง เพื่อเปรียบเทียบ



กราฟแบบโต้ตอบ

ความเชื่อถือได้พร้อมแถบ

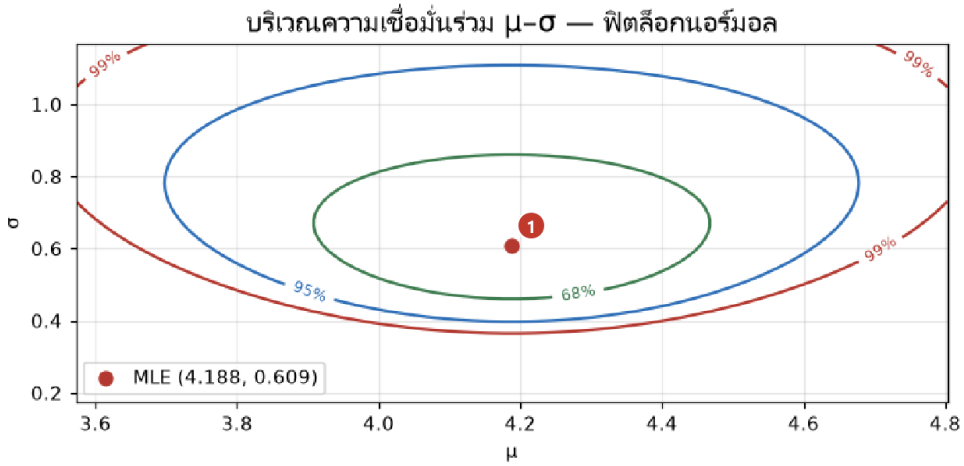
- ① R(t) = 1 − Φ((ln t − μ)/σ): สัดส่วนของเพลาที่ยังทำงานอยู่ ณ แต่ละอายุ ภายในแถบ 95%
- ② B10 = 30: จุดที่ R ตัด 90%
- ③ B10 ที่ยืนยันได้ = 19: ขอบล่างของ B10 คือตัวเลขที่ข้อมูลยืนยันได้
- ④ มัธยฐาน = 66: จุดที่ R ตัด 50%



กราฟแบบโต้ตอบ

ความเชื่อถือได้และอัตราเสี่ยง

- ① R(t) — ล็อกนอร์มอล(μ = 4.188, σ = 0.6092): เส้นโค้งความเชื่อถือได้
- ② B10 = 30.2
- ③ MTTF = 79.3
- ④ อัตราเสี่ยง h(t): เพิ่มขึ้น แล้วลดลงเมื่ออายุมาก ลักษณะเฉพาะของล็อกนอร์มอล



กราฟแบบโต้ตอบ

บริเวณความเชื่อมั่นร่วมของ μ และ σ

- ① MLE (4.188, 0.609): ค่าประมาณ อยู่ภายในบริเวณ 68%, 95% และ 99%

การเปรียบเทียบวิธีประมาณค่า — ฟิตล็อกนอร์มอล

1 MLE เป็นแบบจำลองที่รายงาน (ภาวะน่าจะเป็นสูงสุด); เส้นการถดถอยอันดับคือความชัน/จุดตัดของกราฟความน่าจะเป็นเอง — แสดงเพื่อตรวจสอบไขว้กับซอฟต์แวร์ที่ใช้การถดถอยอันดับ

2 วิธี	3 μ	4 σ	5 มัธยฐาน	6 B10	7 r
8 MLE (ที่รายงาน)	4.1878	0.6092	65.8775	30.1776	–
9 การถดถอยอันดับ (เส้นบนกราฟ)	4.1878	0.6880	65.8775	27.2793	0.9997

การเปรียบเทียบวิธีประมาณค่า — ฟิตล็อกนอร์มอล

- ① MLE เป็นแบบจำลองที่รายงาน (ภาวะน่าจะเป็นสูงสุด); เส้นการถดถอยอันดับคือความชัน/จุดตัดของกราฟความน่าจะเป็นเอง — แสดงเพื่อตรวจสอบไขว้กับซอฟต์แวร์ที่ใช้การถดถอยอันดับ
- ② ถึง ⑦ คอลัมน์ วิธี, μ, σ, มัธยฐาน, B10, r
- ⑧ MLE (ที่รายงาน): μ 4.1878, σ 0.6092, มัธยฐาน 65.8775, B10 30.1776
- ⑨ การถดถอยอันดับ (เส้นบนกราฟ): μ 4.1878, σ 0.6880, มัธยฐาน 65.8775, B10 27.2793, r 0.9997

การตรวจสอบการฟิตของกราฟความน่าจะเป็น (PPCC, ระดับ 5%) — ฟิตล็อกนอร์มอล

1 ไม่ปฏิเสธความตรง (r = 0.9997 ≥ ค่าวิกฤต 0.9268)

2 r วัดว่าจุดเรียงตรงเพียงใดบนกระดาษล็อกนอร์มอล; ค่าวิกฤตคือค่าที่ข้อมูลล็อกนอร์มอลจริงขนาดตัวอย่างนี้จะตกต่ำกว่าน้อยครั้ง (การจำลองแบบมีค่าเริ่มต้นสุ่ม)

การตรวจสอบการฟิตของกราฟความน่าจะเป็น (PPCC, ระดับ 5%) — ฟิตล็อกนอร์มอล

- ① ไม่ปฏิเสธความตรง (r = 0.9997 ≥ ค่าวิกฤต 0.9268)
- ② r วัดว่าจุดเรียงตรงเพียงใดบนกระดาษล็อกนอร์มอล; ค่าวิกฤตคือค่าที่ข้อมูลล็อกนอร์มอลจริงขนาดตัวอย่างนี้จะตกต่ำกว่าน้อยครั้ง (การจำลองแบบมีค่าเริ่มต้นสุ่ม)

การทดสอบเชิงรูปนัยบน LN T — ฟิตล็อกนอร์มอล

1 'ไม่ถูกปฏิเสธ' ไม่ใช่หลักฐานพิสูจน์ — เมื่อรวมกับกราฟที่ตรงและฟิสิกส์ที่ถูกต้อง (ความเสียหายแบบทวีคูณ) ก็เพียงพอที่จะใช้แบบจำลองด้วยความมั่นใจ

2 การทดสอบ	3 ค่าสถิติ	4 เกณฑ์	5 คำตัดสิน
6 Shapiro–Wilk	W = 0.994	p = 1.000 เทียบกับ 0.05	ไม่ถูกปฏิเสธ ✓
7 Anderson–Darling	A^2 = 0.075	ค่าวิกฤต (5%) = 0.698	ไม่ถูกปฏิเสธ ✓

การทดสอบเชิงรูปนัยบน ln t — ฟิตล็อกนอร์มอล

- ① 'ไม่ถูกปฏิเสธ' ไม่ใช่หลักฐานพิสูจน์ — เมื่อรวมกับกราฟที่ตรงและฟิสิกส์ที่ถูกต้อง (ความเสียหายแบบทวีคูณ) ก็เพียงพอที่จะใช้แบบจำลองด้วยความมั่นใจ
- ② ถึง ⑤ คอลัมน์ การทดสอบ, ค่าสถิติ, เกณฑ์, คำตัดสิน
- ⑥ Shapiro–Wilk: W = 0.994, p = 1.000 เทียบกับ 0.05, ไม่ถูกปฏิเสธ ✓
- ⑦ Anderson–Darling: A^2 = 0.075, ค่าวิกฤต (5%) = 0.698, ไม่ถูกปฏิเสธ ✓

แบบจำลองคู่แข่ง — ล็อกนอร์มอลกับไวบูลล์ (ฟิตล็อกนอร์มอล)

1 ล็อกนอร์มอล อธิบายข้อมูลนี้ได้ดีกว่า (ตาม AIC)

2 แบบจำลอง	3 พารามิเตอร์	4 ln ภาวะน่าจะเป็น	5 AIC (ต่ำกว่าชนะ)
6 ล็อกนอร์มอล	μ = 4.188, σ = 0.609	-61.33	126.7
7 ไวบูลล์	β = 1.773, η = 89	-61.83	127.7

8 ที่ n เล็ก แบบจำลองทั้งสองมักแยกจากกันด้วยข้อมูลอย่างเดียวได้ยาก — ตัวตัดสินสุดท้ายคือฟิสิกส์: การเติบโตแบบทวีคูณ (ความล้า ความล่าช้าในการซ่อม) → ล็อกนอร์มอล; จุดอ่อนที่สุด / อัตราเสี่ยงยืดหยุ่น → ไวบูลล์

แบบจำลองคู่แข่ง — ล็อกนอร์มอลกับไวบูลล์ (ฟิตล็อกนอร์มอล)

- ① ล็อกนอร์มอล อธิบายข้อมูลนี้ได้ดีกว่า (ตาม AIC)
- ② ถึง ⑤ คอลัมน์ แบบจำลอง, พารามิเตอร์, ln ภาวะน่าจะเป็น, AIC (ต่ำกว่าชนะ)
- ⑥ ล็อกนอร์มอล: μ = 4.188, σ = 0.609, -61.33, AIC 126.7
- ⑦ ไวบูลล์: β = 1.773, η = 89, -61.83, AIC 127.7
- ⑧ ที่ n เล็ก แบบจำลองทั้งสองมักแยกจากกันด้วยข้อมูลอย่างเดียวได้ยาก — ตัวตัดสินสุดท้ายคือฟิสิกส์: การเติบโตแบบทวีคูณ (ความล้า ความล่าช้าในการซ่อม) → ล็อกนอร์มอล; จุดอ่อนที่สุด / อัตราเสี่ยงยืดหยุ่น → ไวบูลล์

ตารางอายุ B — ฟิตล็อกนอร์มอล

1 Bα = exp(μ + z_α σ): อายุที่ α % ของประชากรล้มเหลวแล้ว
การป้องกันหางซ้าย — เลือก α ตามที่เกณฑ์ความเสี่ยงของคุณยอมให้

2 อายุ B	3 เวลา	4 ขอบเขต 95%
5 B1	15.9686	[8.22441, 31.005]
6 B5	24.1862	[14.2549, 41.0366]
7 B10	30.1776	[18.953, 48.0498]
8 B50	65.8775	[46.6712, 92.9878]

ตารางอายุ B — ฟิตล็อกนอร์มอล

- ① Bα = exp(μ + z_α σ): อายุที่ α % ของประชากรล้มเหลวแล้ว การป้องกันหางซ้าย — เลือก α ตามที่เกณฑ์ความเสี่ยงของคุณยอมให้
- ② ถึง ④ คอลัมน์ อายุ B, เวลา, ขอบเขต 95%
- ⑤ B1 15.9686 [8.22441, 31.005]
- ⑥ B5 24.1862 [14.2549, 41.0366]
- ⑦ B10 30.1776 [18.953, 48.0498]
- ⑧ B50 65.8775 [46.6712, 92.9878]

คุณค่าของข้อมูลเพิ่มเติม — B10 ที่ยืนยันได้เทียบกับจำนวนทดสอบที่รัน (ฟิตล็อกนอร์มอล)

1. การทดสอบมากขึ้นทำให้ขอบเขตแคบลง: จาก 18.953 วันนี้ไปสู่ค่าประมาณจุด 30.1776 — ตารางนี้คิดราคาการทดสอบรอบถัดไปก่อนซื้อ

	การทดสอบจนครบ	B10 ที่ยืนยันได้ (ขอบล่าง 95%)
2	วันนี้ n = 12	18.953
3	n = 25	21.864
4	n = 30	22.4866
5	n = 35	22.9827
6	n = 40	23.3905
7	n = 50	24.0282

8. การฉายภาพคงค่าประมาณวันนี้ไว้และลดเฉพาะความไม่แน่นอน Fisher (se ∝ 1/√n) — มันคิดราคาของข้อมูล ไม่ใช่โชคชะตา; ข้อมูลใหม่อาจเปลี่ยนค่าประมาณด้วย

คุณค่าของข้อมูลเพิ่มเติม — B10 ที่ยืนยันได้เทียบกับจำนวนทดสอบที่รัน (ฟิตล็อกนอร์มอล)

- ① การทดสอบมากขึ้นทำให้ขอบเขตแคบลง: จาก 18.953 วันนี้ไปสู่ค่าประมาณจุด 30.1776 — ตารางนี้คิดราคาการทดสอบรอบถัดไปก่อนซื้อ
- ② วันนี้ n = 12: 18.953
- ③ n = 25: 21.864
- ④ n = 30: 22.4866
- ⑤ n = 35: 22.9827
- ⑥ n = 40: 23.3905
- ⑦ n = 50: 24.0282
- ⑧ การฉายภาพคงค่าประมาณวันนี้ไว้และลดเฉพาะความไม่แน่นอน Fisher (se ∝ 1/√n) — มันคิดราคาของข้อมูล ไม่ใช่โชคชะตา; ข้อมูลใหม่อาจเปลี่ยนค่าประมาณด้วย

คาน Σ — การลดการกระจายซื้ออะไรได้ (B10, ฟิตล็อกนอร์มอล)

1. ช่วงการเปลี่ยนที่ยาวขึ้นต้องได้มาจากการลดการกระจาย (ผิวสำเร็จ การอบชุบ การควบคุมกระบวนการ) — ไม่ใช่จากการยืดตัวเลข ตารางนี้คิดราคาของการปรับปรุง

	คุณภาพของกลุ่มเครื่องจักร	B10
2	วันนี้ (σ = 0.609)	30.1776
3	การกระจาย −10% (σ = 0.548)	32.6279
4	การกระจาย −20% (σ = 0.487)	35.2773
5	การกระจาย −30% (σ = 0.426)	38.1417

6. ทุกระดับ B ที่ต่ำกว่ามัธยฐานเพิ่มขึ้นเมื่อ σ ลดลง (มัธยฐานเองไม่เปลี่ยน: e^μ)

คาน σ — การลดการกระจายซื้ออะไรได้ (B10, ฟิตล็อกนอร์มอล)

- ① ช่วงการเปลี่ยนที่ยาวขึ้นต้องได้มาจากการลดการกระจาย (ผิวสำเร็จ การอบชุบ การควบคุมกระบวนการ) — ไม่ใช่จากการยืดตัวเลข ตารางนี้คิดราคาของการปรับปรุง
- ② วันนี้ (σ = 0.609): B10 30.1776
- ③ การกระจาย −10% (σ = 0.548): 32.6279
- ④ การกระจาย −20% (σ = 0.487): 35.2773
- ⑤ การกระจาย −30% (σ = 0.426): 38.1417
- ⑥ ทุกระดับ B ที่ต่ำกว่ามัธยฐานเพิ่มขึ้นเมื่อ σ ลดลง (มัธยฐานเองไม่เปลี่ยน: e^μ)

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

1 แบบจำลอง: ล็อกนอร์มอล(μ = 4.188, σ = 0.6092) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย

2 R เป้าหมาย	3 เวลาทำงาน t
95%	24.2
4 90%	30.2
85%	35.0
80%	39.5
75%	43.7
70%	47.9
65%	52.1
60%	56.5
55%	61.0
50%	65.9
45%	71.1
40%	76.9
35%	83.3
30%	90.7
25%	99.4
20%	110.0
15%	123.9
10%	143.8
5%	179.4

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

- ① แบบจำลอง: ล็อกนอร์มอล(μ = 4.188, σ = 0.6092) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย
- ② R เป้าหมาย: ความเชื่อถือได้ที่ต้องการคงไว้ ตั้งแต่ 95% ลงไปถึง 5%
- ③ เวลาทำงาน t: ระยะทำงานนานที่สุดที่ยังคงความเชื่อถือได้นั้น
- ④ แถว 90%: 30.2 พันรอบ 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%	15.97	[8.224, 31]
5%	24.19	[14.25, 41.04]
10% (5)	30.18	[18.95, 48.05]
25%	43.68	[29.82, 63.99]
50%	65.88	[46.67, 92.99]
75%	99.35	[67.82, 145.6]
90%	143.8	[90.32, 229]
95%	179.4	[105.8, 304.4]
99%	271.8	[140, 527.7]

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%: 30.18 [18.95, 48.05] คือ B10 ของการ์ดผลลัพธ์ ที่สี่หลัก

1 ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · RL-2026-0017

ท้ายรายงาน

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

ภาค 5 — วิธีตีความผลลัพธ์

อ่าน μ และ σ บนสเกลลอการิทึม $\hat{\mu}$ = 4.1878 และ $\hat{\sigma}$ = 0.609183 อธิบาย ln t ไม่ใช่ t ตัวเลขอายุคือการแปลค่าทั้งสอง: เพลาครึ่งหนึ่งล้มเหลวภายใน 65.8775 พันรอบ (มัธยฐาน) หนึ่งในสิบภายใน 30.1776 (B10) และค่าเฉลี่ย 79.3088 อยู่เหนือมัธยฐานเพราะหางขวาที่ยาว ให้รายงานมัธยฐานพร้อมเปอร์เซ็นไทล์ ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว

ข้อมูลยืนยันได้เท่าใด ขอบล่างของ B10 คือ 18.953: เพลาสิบสองชิ้นยืนยันได้เพียงเท่านี้ เพลาประมาณหนึ่งในสี่รอดถึง 100 พันรอบ (R(100) = 0.2466292029) กราฟ PPCC และการทดสอบเชิงรูปนัยทั้งสองไม่ปฏิเสธแบบจำลองล็อกนอร์มอล และล็อกนอร์มอลชนะไวบูลล์เล็กน้อยตาม AIC (126.7 เทียบกับ 127.7) ช่องว่างที่เล็กเช่นนี้พิสูจน์อะไรด้วยตัวเองไม่ได้ ฟิสิกส์ คือรอยร้าวจากความล้าที่โตขึ้น ชี้ไปที่ล็อกนอร์มอล

อะไรยืด B10 การกระจายที่แคบลงเป็นทางที่เร็วที่สุด: การกระจายลดลง 30% ยก B10 จาก 30.1776 เป็น 38.1417 ผ่านผิวสำเร็จ การอบชุบ หรือการควบคุมกระบวนการ การทดสอบเพิ่มยก B10 ที่ยืนยันได้เพียงช้า ๆ จาก 18.953 วันนี้เป็น 24.0282 ที่เพลา 50 ชิ้น