ภาค 1 — ฟังก์ชันนี้ทำอะไร

คำนวณอะไร ฟังก์ชันนี้ทดสอบว่าชุดอายุความล้มเหลวสอดคล้องกับ**อัตราความล้มเหลวคงที่**หรือไม่ นั่นคือแบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งหน่วยที่ใช้แล้วมีโอกาสล้มเหลวในชั่วโมงถัดไปเท่ากับหน่วยใหม่ ฟังก์ชันจัดอายุความล้มเหลวลงในช่วงอายุที่กว้างเท่ากัน นับความล้มเหลวที่สังเกตได้ในแต่ละช่วง แล้วเปรียบเทียบกับจำนวนที่อัตราคงที่ควรให้ ผลการเปรียบเทียบคือค่าสถิติไค-สแควร์ χ^2_0 ReliaEn พิมพ์:

สิ่งที่ **ReliaEn พิมพ์**	สิ่งที่บอก
λ อัตราความล้มเหลวคงที่	อัตราที่การทดสอบสมมติ เป็นความล้มเหลวต่อหน่วยเวลาทำงาน
ตาราง**การเปรียบเทียบช่วง**	ความล้มเหลวที่สังเกตได้ O_i เทียบกับความล้มเหลวที่คาดหวัง E_i ในแต่ละช่วงอายุ และส่วนร่วมของแต่ละช่วงใน χ^2_0
χ^2_0 และ **χ^2crit**	ค่าสถิติทดสอบ และค่าที่มากที่สุดที่อัตราคงที่ยังยอมให้ ที่ระดับนัยสำคัญของคุณ
คำตัดสิน	ยืนยันอัตราคงที่ หรือ ปฏิเสธอัตราคงที่ พร้อมการวิเคราะห์ที่ควรทำต่อ

จากข้อมูลใด อายุเมื่อล้มเหลวของกลุ่มหน่วยแบบเดียวกันที่ล้มเหลวทุกหน่วย ในคอลัมน์เดียวของแผ่นงาน หนึ่งแถวต่อหนึ่งหน่วย อย่างน้อย 5 ค่า ทุกค่ามากกว่า 0 และใช้หน่วยเวลาทำงานเดียวกัน (ชั่วโมง วัน หรือรอบ)

วิศวกรใช้เมื่อใด ก่อนวางแผนด้วยอัตราความล้มเหลวคงที่ อัตราคงที่เป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์แบบเอกซ์โพเนนเชียล (ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว) ของการกำหนดอะไหล่จาก MTBF และของกฎที่ว่าการเปลี่ยนเชิงป้องกันคุ้มไม่ได้ การทดสอบตัดสินว่าพื้นฐานนี้ใช้ได้ หรืออัตราเปลี่ยนตามอายุ ซึ่งในกรณีนั้นขั้นต่อไปคือแบบจำลองไวบูลล์

ไม่ควรใช้เมื่อ

สถานการณ์	ใช้แทน
บางหน่วยยังทำงานอยู่เมื่อคุณหยุดสังเกต	ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)... (ใช้หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวด้วย)
ระบบที่ซ่อมได้ระบบเดียวล้มเหลวซ้ำแล้วซ้ำอีก	ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ▸ ข้อมูลหน่วยที่ซ่อมได้...
คุณรู้แล้วว่าอัตราคงที่ และต้องการขอบเขตของอัตรา	ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ▸ ข้อมูลสมบูรณ์...

ภาค 2 — ข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง

สถานการณ์. การประปาแห่งหนึ่งบันทึกอายุเมื่อล้มเหลวของซีลปั๊มเพิ่มแรงดันแบบเดียวกันยี่สิบตัว เป็นวันทำงาน ผู้วางแผนงานบำรุงรักษาต้องการรู้ว่าซีลล้มเหลวด้วยอัตราคงที่หรือไม่ ก่อนกำหนดจำนวนซีลสำรองจาก MTBF

ข้อมูลนำเข้า	ค่า
อายุความล้มเหลว เป็นวันทำงาน (20)	23, 48, 61, 87, 102, 131, 149, 175, 212, 234, 268, 291, 322, 355, 389, 421, 456, 484, 521, 568
ไฟล์ในไฟล์ zip ของตัวอย่างพร้อมวิธีทำ	2-Goodness-of-Fit/Example-1.csv — หนึ่งคอลัมน์ หัวคอลัมน์ Failure time 20 แถว
ความกว้างช่วง	100 วันทำงาน
การตั้งค่าอื่น	นัยสำคัญ % 5, ค่าประมาณ λ ค่าประมาณแบบช่วง, ความเชื่อมั่นของ λ % 60 — ค่าที่แบบฟอร์มมีอยู่เมื่อเปิด

	① A	B
1	23	
2	48	
3	61	
4	87	
5	102	
6	131	
7	149	
8	175	
9	212	
10	234	
11	268	
12	291	
13	322	
14	355	
15	389	
16	421	
17	456	
18	484	
19	521	
20	568	
21		

ข้อมูลตัวอย่างในแผ่นงาน

- ① คอลัมน์ A: อายุความล้มเหลว 20 ค่า หนึ่งค่าต่อแถว เป็นวันทำงาน

ภาค 3 — วิธีใช้ ทีละขั้นตอน

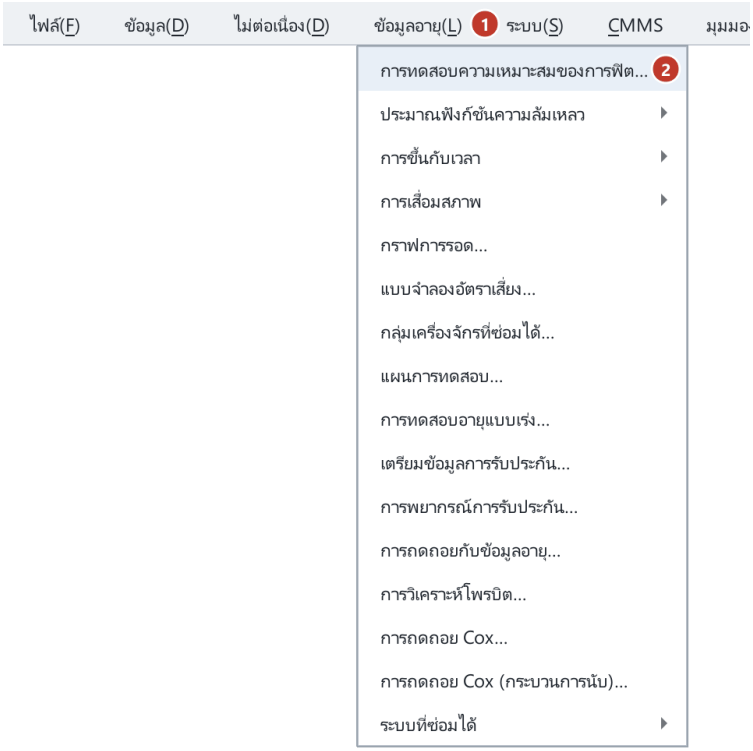
1. **ใส่อายุความล้มเหลวในคอลัมน์ A** คัดลอกค่า 20 ค่าของ Example-1.csv ที่อยู่ใต้หัวคอลัมน์ Failure time ลงในคอลัมน์ A ของแผ่นงาน เริ่มที่แถว 1

	① A	B
1	23	
2	48	
3	61	
4	87	
5	102	
6	131	
7	149	
8	175	
9	212	
10	234	
11	268	
12	291	
13	322	
14	355	
15	389	
16	421	
17	456	
18	484	
19	521	
20	568	
21		

ขั้นตอนที่ 1 — อายุความล้มเหลวในคอลัมน์ A

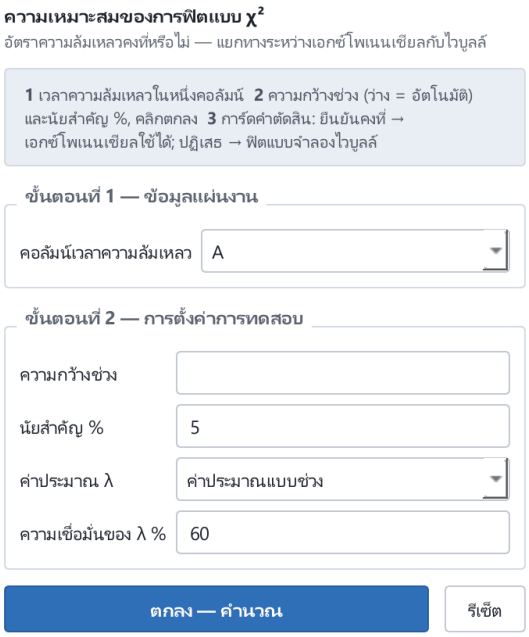
- ① คอลัมน์ A: อายุความล้มเหลว 20 ค่า ตั้งแต่ 23 ถึง 568

2. **เลือก** ข้อมูลอายุ ▸ **การทดสอบความเหมาะสมของการฟิต...** ในแถบเมนู แบบฟอร์ม ความเหมาะสมของการฟิตแบบ χ^2 เปิดขึ้นในแผงด้านซ้าย



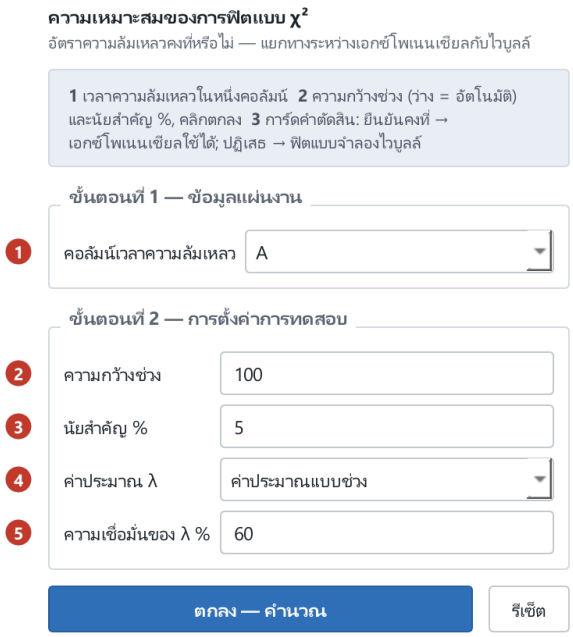
ขั้นตอนที่ 2 — เส้นทางเมนู

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



ขั้นตอนที่ 2 — แบบฟอร์มเมื่อเปิด: ความกว้างช่วงว่าง ช่องอื่นมีค่าเริ่มต้น

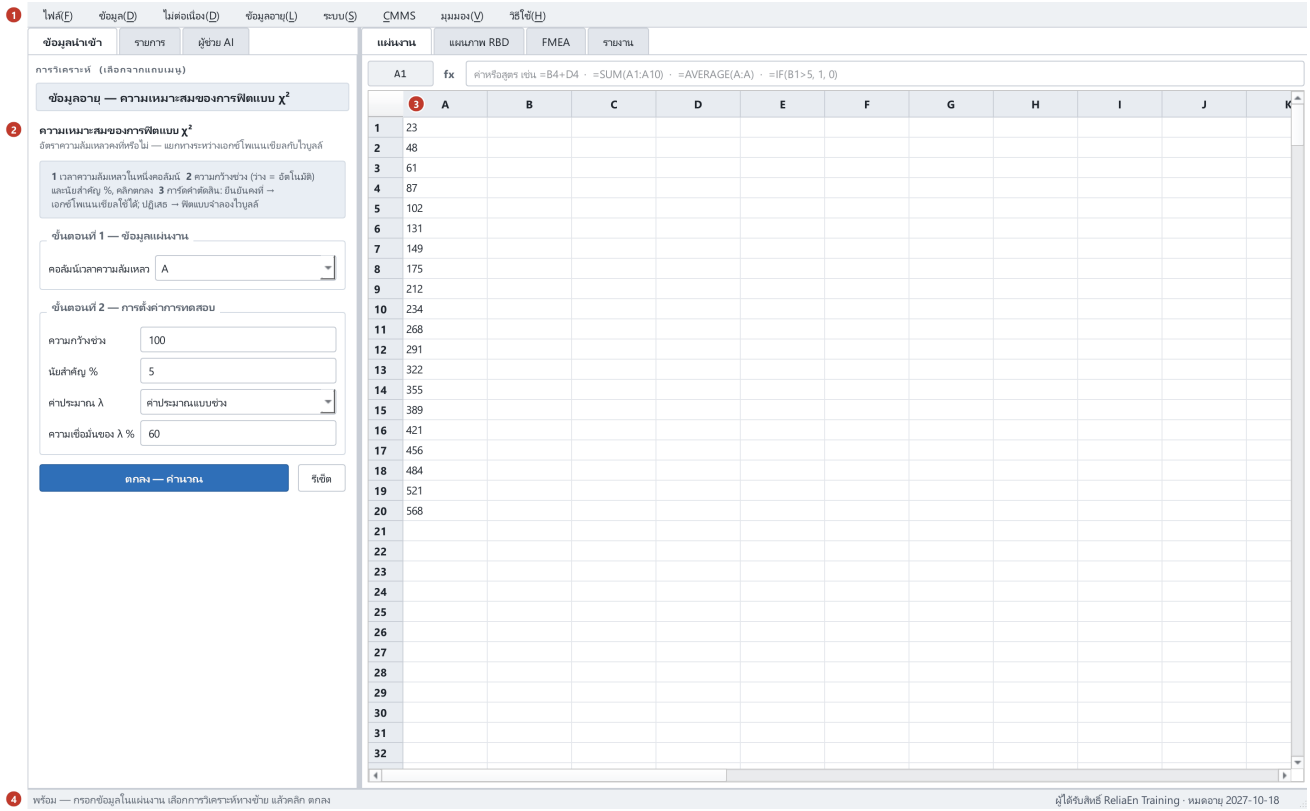
ขั้นตอนที่ 3 ถึง 7 ตั้งค่าห้าช่องของแบบฟอร์ม ซึ่งมีเครื่องหมาย ① ถึง ⑤ ในภาพ:



ขั้นตอนที่ 3 ถึง 7 — แบบฟอร์มที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้

3. ① **ใน คอลัมน์เวลาความล้มเหลว เลือก A** นี่คือคอลัมน์ที่มีอายุความล้มเหลว
4. ② **พิมพ์ 100 ใน ความกว้างช่วง** อายุถูกจัดลงช่วง 0 – 100, 100 – 200 ไปเรื่อย ๆ เป็นวันทำงาน ช่วงสุดท้ายไปถึงอนันต์ ถ้าเว้นว่าง ความกว้างจะเป็นอายุมากที่สุดหารด้วย 6
5. ③ **ตรวจว่า นัยสำคัญ % เป็น 5** การทดสอบปฏิเสธอัตราคงที่ก็ต่อเมื่อข้อมูลจะเกิดขึ้นโดยบังเอิญน้อยกว่า 5 ครั้งใน 100 ครั้ง ภายใต้อัตราคงที่
6. ④ **ใน ค่าประมาณ λ เลือก ค่าประมาณแบบช่วง** อัตราจึงเป็นขอบเขตความเชื่อมั่นด้านบน χ^2(ความเชื่อมั่น, 2r) / 2T ซึ่งค่อนข้างอนุรักษ์นิยม ค่าประมาณจุด จะใช้ r / T
7. ⑤ **ตรวจว่า ความเชื่อมั่นของ λ % เป็น 60** ความเชื่อมั่นของค่าประมาณแบบช่วงของอัตรา หลักสูตรใช้ 60%

8. **คลิก ตกลง — คำนวณ** ที่ท้ายแบบฟอร์ม (② ในภาพด้านล่าง) ReliaEn ทำการทดสอบและแสดงรายงาน



ขั้นตอนที่ 8 — หน้าต่างก่อนกดตกลง

- ① แถบเมนู: ไฟล์, ข้อมูล, ไม่ต่อเนื่อง, ข้อมูลอายุ, ระบบ, CMMS, มุมมอง, วิธีใช้
- ② แบบฟอร์มที่ตั้งค่าตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 7 มี ตกลง — คำนวณ อยู่ที่ท้าย
- ③ คอลัมน์ A: อายุความล้มเหลว 20 ค่า
- ④ แถบสถานะ: พร้อม — กรอกข้อมูลในแผ่นงาน เลือกการวิเคราะห์ทางซ้าย แล้วคลิก ตกลง และ ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · หมดอายุ 2027-10-18

ภาค 4 — รายงาน ทีละการ์ด

ข้อมูลอายุ — ความเหมาะสมของการฟิตแบบ χ^2 (อัตราคงที่หรือไม่)

`2026-10-30 09:35:46`

$E_i = N\cdot[e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}]$; $\chi^2_0 = \Sigma(E_i-O_i)^2/E_i$; dof = จำนวนช่วง − 2

ส่วนหัวของรายงาน

- ชื่อเรื่อง ข้อมูลอายุ — ความเหมาะสมของการฟิตแบบ χ^2 (อัตราคงที่หรือไม่) วันที่และเวลาที่คำนวณ และวิธีการในหนึ่งบรรทัด: $E_i = N\cdot[e-\lambda a - e-\lambda b]$; $\chi^2_0 = \Sigma(E_i-O_i)^2/E_i$; dof = จำนวนช่วง − 2

ข้อมูลนำเข้า

1	ข้อมูลความล้มเหลว	`r = 20 ความล้มเหลว · T = ΣTTF = 5297`
2	ความกว้างช่วง w	`100`
3	ค่าประมาณ λ	`0.00392885 (ค่าประมาณแบบช่วง — χ²(60%, 2r) / 2T)`
4	ช่วง (ความกว้างเท่ากัน, ช่วงสุดท้าย → ∞)	`6`
5	ระดับนัยสำคัญ	`5%`

ข้อมูลนำเข้า

- ① ข้อมูลความล้มเหลว r = 20 ความล้มเหลว · T = ΣTTF = 5297: ReliaEn อ่านอายุความล้มเหลว 20 ค่า และผลรวมคือ 5,297 วันทำงาน ตรวจ r ก่อน: เซลล์ว่างถูกข้ามไป และ r จะน้อยกว่าจำนวนแถวที่คุณป้อน
- ② ความกว้างช่วง w 100: ความกว้างที่พิมพ์ในขั้นตอนที่ 4
- ③ ค่าประมาณ λ 0.00392885 พร้อมกฎที่ใช้ (ค่าประมาณแบบช่วง — χ²(60%, 2r) / 2T): อัตราคงที่ที่การทดสอบสมมติ ประมาณ 3.9 ความล้มเหลวต่อ 1,000 วันทำงาน
- ④ ช่วง (ความกว้างเท่ากัน, ช่วงสุดท้าย → ∞) 6: ตั้งแต่ 0 – 100 ถึง 400 – 500 และ 500 – ∞
- ⑤ ระดับนัยสำคัญ 5%

ผลลัพธ์

1	$\chi^2_0 = \Sigma(E_i - O_i)^2/E_i$	`4.10774`
2	χ^2crit (95%, dof = 4)	`9.48773`
3	คำตัดสิน	**ยืนยันอัตราคงที่**

ผลลัพธ์

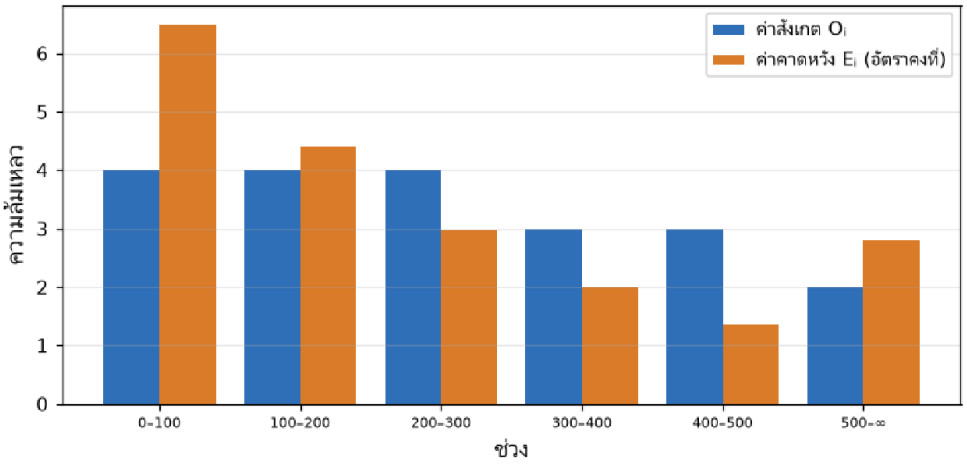
- ① $\chi^2_0 = \Sigma(E_i - O_i)^2/E_i$ 4.10774: ค่าที่ความล้มเหลวที่สังเกตได้ห่างจากจำนวนภายใต้อัตราคงที่ รวมทั้ง 6 ช่วง
- ② χ^2crit (95%, dof = 4) 9.48773: ค่า χ^2_0 ที่มากที่สุดที่อัตราคงที่ยอมให้ ที่นัยสำคัญ 5% และองศาเสรี 4 (6 ช่วง − 2)
- ③ คำตัดสิน ยืนยันอัตราคงที่: 4.10774 ≤ 9.48773

การตีความ

1	χ^2_0 = 4.10774 ≤ χ^2crit = 9.48773 — สมมติฐานอัตราความล้มเหลวคงที่ไม่ถูกปฏิเสธที่ระดับนัยสำคัญ 5% แบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียล (λ = 0.00392885) ใช้ได้กับข้อมูลนี้: ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลอายุแบบเอกซ์โพเนนเชียล การเปลี่ยนเชิงป้องกันคุ้มไม่ได้ภายใต้อัตราคงที่ (D23)

การตีความ

- ① ประโยคของ ReliaEn: χ^2_0 = 4.10774 ≤ χ^2crit = 9.48773 — สมมติฐานอัตราความล้มเหลวคงที่ไม่ถูกปฏิเสธที่ระดับนัยสำคัญ 5% แบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียล (λ = 0.00392885) ใช้ได้กับข้อมูลนี้: ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลอายุแบบเอกซ์โพเนนเชียล การเปลี่ยนเชิงป้องกันคุ้มไม่ได้ภายใต้อัตราคงที่ (D23) การเปรียบเทียบ คำตัดสิน การวิเคราะห์ถัดไป และผลต่อการบำรุงรักษา ตามลำดับ



🔍 กราฟแบบโต้ตอบ

ความล้มเหลวที่สังเกตได้เทียบกับที่คาดหวังในแต่ละช่วง

- แท่งสีน้ำเงิน ค่าสังเกต O_i: ซีลที่ล้มเหลวในแต่ละช่วง — 4, 4, 4, 3, 3 และ 2
- แท่งสีส้ม ค่าคาดหวัง E_i (อัตราคงที่): ความล้มเหลวที่อัตราคงที่ควรให้ในช่วงนั้น ลดลงจาก 6.498 ในช่วง 0 – 100 ถึง 1.350 ในช่วง 400 – 500 แล้วเพิ่มขึ้นอีกในช่วง 500 – ∞ (2.805) เพราะช่วงสุดท้ายเปิดและรวมความล้มเหลวที่เกิดหลังจากนั้นทั้งหมด
- ที่ที่แท่งสีน้ำเงินและสีส้มต่างกันมากที่สุด: 0 – 100 (สังเกตได้ 4 เทียบกับคาดหวัง 6.498) และ 400 – 500 (3 เทียบกับ 1.350) ใต้กราฟมีลิงก์ 🔍 กราฟแบบโต้ตอบ

การเปรียบเทียบช่วง

1 Σ แถว: $\Sigma p_i = 1$ และ $\Sigma E_i = r$ โดยโครงสร้าง (เอกลักษณ์แบบยุบตัว) — การตรวจสอบความสมบูรณ์ทั้งตาราง

2 ช่วง	3 ค่าสังเกต O_i	4 P_i	5 ค่าคาดหวัง E_i	6 $(E_i-O_i)^2/E_i$
0 – 100	4	0.3249	6.498	0.9602
100 – 200	4	0.2193	4.387	0.0341
200 – 300	4	0.1481	2.962	0.3641
300 – 400	3	0.1000	1.999	0.5008
400 – 500	3	0.0675	1.350	2.0176
500 – ∞	2	0.1402	2.805	0.2309
Σ	20	1.0000	20.000	4.1077

การเปรียบเทียบช่วง

- ① หมายเหตุเหนือตาราง Σ แถว: $\Sigma p_i = 1$ และ $\Sigma E_i = r$ โดยโครงสร้าง (เอกลักษณ์แบบยุบตัว) — การตรวจสอบความสมบูรณ์ทั้งตาราง: ถ้าแถว Σ ไม่ได้ 1.0000 และ 20.000 ตารางนั้นผิด
- ② ช่วง: ช่วงอายุหกช่วง ตั้งแต่ 0 – 100 ถึง 500 – ∞ วันทำงาน
- ③ ค่าสังเกต O_i: ซีลที่ล้มเหลวในช่วงนั้น — 4, 4, 4, 3, 3, 2 แถว Σ เป็น 20
- ④ P_i: ความน่าจะเป็นที่ซีลจะล้มเหลวในช่วงนั้นภายใต้อัตราคงที่ คอลัมน์รวมได้ 1
- ⑤ ค่าคาดหวัง $E_i = 20 \times P_i$: ความล้มเหลวที่อัตราคงที่ควรให้ในช่วงนั้น คอลัมน์รวมได้ 20 ซึ่งเท่ากับจำนวนความล้มเหลว
- ⑥ $(E_i-O_i)^2/E_i$: ส่วนร่วมของแต่ละช่วงใน χ^2_0 แถว Σ คือ χ^2_0 เอง 4.1077

1 ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · RL-2026-0017

ท้ายรายงาน

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

ภาค 5 — วิธีตีความผลลัพธ์

การตัดสินใจ χ^2_0 = 4.10774 ต่ำกว่า χ^2crit = 9.48773 มาก การทดสอบจึงไม่ปฏิเสธอัตราความล้มเหลวคงที่ที่นัยสำคัญ 5% สำหรับซีลยี่สิบตัวนี้ ผู้วางแผนใช้แบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียลได้ อัตราที่การทดสอบใช้ ค่าประมาณ λ 0.00392885 ความล้มเหลวต่อวันทำงาน เป็นขอบบนที่ 60% จึงเผื่อไว้ทางปลอดภัย การวิเคราะห์แบบเอกซ์โพเนนเชียลภายใต้ ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ให้อัตรา พร้อมขอบเขตครบถ้วน

ผลต่อการบำรุงรักษา ภายใต้อัตราคงที่ ซีลที่ใช้แล้วดีเท่ากับซีลใหม่ การเปลี่ยนซีลตามอายุที่กำหนดจึงลดความล้มเหลวไม่ได้ การตีความของ ReliaEn บอกไว้เช่นนั้น ให้วางแผนซีลเป็นชิ้นส่วนที่ใช้จนล้มเหลว และกำหนดจำนวนอะไหล่จากอัตรา (ระบบ ▸ การหาค่าเหมาะสมของอะไหล่...)

ตรงไหนที่ข้อมูลตึงกับแบบจำลอง ส่วนร่วมที่มากที่สุดใน χ^2_0 คือ 2.0176 มาจากช่วง 400 – 500 วัน ซึ่งมีซีลล้มเหลวสามตัวเทียบกับค่าคาดหวัง 1.350 ช่วงแบบนี้ช่วงเดียวไม่ทำให้แบบจำลองถูกปฏิเสธ แต่เป็นจุดที่ควรเฝ้าดู ถ้าความล้มเหลวที่ตามมายังกระจุกที่อายุสูง ให้ทดสอบซ้ำด้วยอายุใหม่ การปฏิเสธจะชี้ไปที่การสึกหรอและแบบจำลองไวบูลล์ (ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)...)

สิ่งที่การผ่านไม่ได้พิสูจน์ คำตัดสินหมายความว่าข้อมูลปฏิเสธอัตราคงที่ไม่ได้ ไม่ได้พิสูจน์ว่าอัตราคงที่ เมื่อมีความล้มเหลว 20 ครั้งและ 6 ช่วง ค่าคาดหวังมีค่าน้อย (1.350 ถึง 6.498) การสึกหรอที่ค่อยเป็นค่อยไปจึงอาจผ่านได้ ให้อ่านคำตัดสินคู่กับสิ่งที่คุณรู้เกี่ยวกับวิธีที่ซีลล้มเหลว