
ภาค 1 — ฟังก์ชันนี้ทำอะไร

คำนวณอะไร คุณวาดระบบไว้บนแผนภาพ RBD แล้ว (บทที่ 4.1) คุณทำให้ระบบเชื่อถือได้มากขึ้นได้ด้วยการเพิ่มชุดที่เหมือนกันของบางบล็อกแบบขนาน เช่น ปั๊มเครื่องที่สองข้างเครื่องแรก หรือพัดลมตัวที่สามข้างสองตัวเดิม และแต่ละชุดมีราคา
การหาค่าเหมาะสมของความเชื่อถือได้บอกว่าควรติดตั้งแต่ละบล็อกกี่ชุด ตามวัตถุประสงค์หนึ่งในสองแบบ

วัตถุประสงค์	สิ่งที่ **ReliaEn** หา
เพิ่มความเชื่อถือได้สูงสุดภายในงบประมาณ	แบบที่ความเชื่อถือได้ของระบบที่เวลาภารกิจสูงที่สุด โดยต้นทุนที่เพิ่มไม่เกินงบประมาณ
ลดต้นทุนต่ำสุดเพื่อให้ถึงความเชื่อถือได้เป้าหมาย	แบบที่ถูกที่สุดที่ความเชื่อถือได้ของระบบถึงเป้าหมาย

ReliaEn ไม่ได้ค้นหาแบบลองผิดลองถูก แต่ประเมินทุกแบบในขอบเขตที่คุณกำหนด คือทุกการรวมกันของจำนวนชุดตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนสูงสุดที่คุณอนุญาตของแต่ละบล็อก อย่างแม่นตรงด้วยพีชคณิตความเชื่อถือได้เดียวกับที่การประเมิน RBD ใช้ จึงไม่มีแบบใดในขอบเขตนั้นชนะแบบที่เหมาะสมที่ ReliaEn รายงาน รายงานให้แบบที่เหมาะสม ความเชื่อถือได้ของระบบ R_sys(T) และต้นทุนที่เพิ่ม กฎที่ตัดสินแบบนั้น แนวหน้าพาเรโต (แบบที่ไม่มีแบบอื่นทั้งถูกกว่าและเชื่อถือได้มากกว่า) ขั้นตอนของตัวจัดสรรแบบละโมบดั้งเดิมบนขอบเขตเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบ และการตรวจสอบผลแบบแม่นตรง

จากข้อมูลใด แผนภาพบนแผนภาพ RBD พร้อมการแจกแจงอายุของแต่ละบล็อก แบบฟอร์มเพิ่มจำนวนชุดสูงสุดที่จะติดตั้ง (จำนวนชุดสูงสุด n) และราคาของชุดที่เพิ่มหนึ่งชุด (ต้นทุนต่อชุด) สำหรับแต่ละบล็อกธรรมดา จากนั้นวัตถุประสงค์ เวลาภารกิจ และงบประมาณหรือเป้าหมาย ไม่ใช้แผ่นงาน

ต้นทุนในที่นี้หมายถึงอะไร ต้นทุนคิดเฉพาะชุดที่เพิ่ม — ระบบฐานเป็นต้นทุนจม ระบบที่วาดไว้มีต้นทุน 0 ต้นทุนที่เพิ่มของแบบหนึ่งคือ (จำนวนชุด − 1) × ต้นทุนต่อชุด รวมทุกบล็อก

วิศวกรใช้เมื่อใด เมื่อทางเลือกคือจะเพิ่มชุดที่เหมือนกันของแต่ละบล็อกแบบขนานกี่ชุด และทุกชุดมีราคา

ไม่ควรใช้เมื่อ

สถานการณ์	ให้ใช้แทน
คุณต้องการเพียงความเชื่อถือได้ของแผนภาพตามที่วาด	ประเมินบนแผนภาพ: ระบบ ▸ แผนภาพ RBD (บทที่ 4.1)
การซ่อม ทีมช่างซ่อม หรือการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีผล	ระบบ ▸ การจำลอง RAM... (บทที่ 4.5)
คุณต้องการกำหนดขนาดสต๊อกอะไหล่	ระบบ ▸ การหาค่าเหมาะสมของอะไหล่... (บทที่ 5.3)
คุณต้องการเปลี่ยนจำนวนหน่วยในกลุ่ม k จาก n หรือกลุ่มสแตนด์บาย	ไม่ครอบคลุมในเวอร์ชัน 1.0.0: กลุ่มเช่นนี้แสดง กลุ่ม — คงที่ใน v1 ในตารางบล็อก

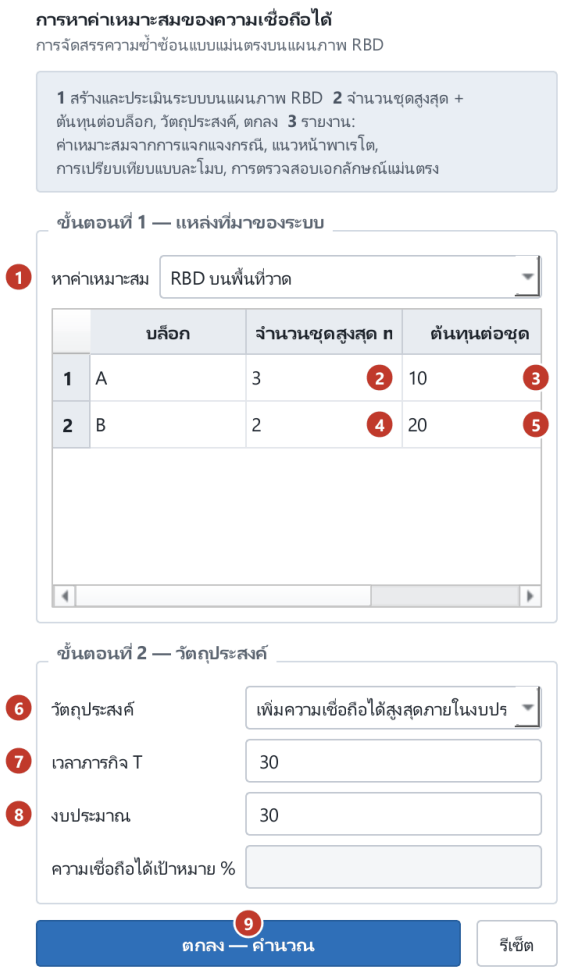
ภาค 2 — ข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง

สถานการณ์. โรงงานมีสองขั้นต่อแบบอนุกรม ขั้น A มีอัตราความล้มเหลวคงที่ 0.02 ต่อชั่วโมง ติดตั้งได้สูงสุด 3 ชุด ชุดที่เพิ่มชุดละ 10 บาท ขั้น B มีอัตราความล้มเหลวคงที่ 0.01 ต่อชั่วโมง ติดตั้งได้สูงสุด 2 ชุด ชุดที่เพิ่มชุดละ 20 บาท ภารกิจยาว 30 ชั่วโมง และโรงงานมีงบ 30 บาท เวลานับเป็นชั่วโมง

ที่ใด	ค่าที่ป้อน
แผนภาพ RBD	+ เพิ่มบล็อก A เอกซ์โพเนนเชียล (λ) 0.02 และ + เพิ่มบล็อก B เอกซ์โพเนนเชียล (λ) 0.01 เส้น START → A → B → END
แถว A ของตารางบล็อก	จำนวนชุดสูงสุด n 3, ต้นทุนต่อชุด 10

แถว B ของตารางบล็อก	จำนวนชุดสูงสุด n 2, ต้นทุนต่อชุด 20
วัตถุประสงค์	เพิ่มความเชื่อถือได้สูงสุดภายในงบประมาณ
เวลาภารกิจ T	30
งบประมาณ	30
ไฟล์ในไฟล์ zip ตัวอย่าง	ไม่มี วาดโรงงานบนแผนภาพตามภาค 3

แบบฟอร์มที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้ ตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 10 ของภาค 3:

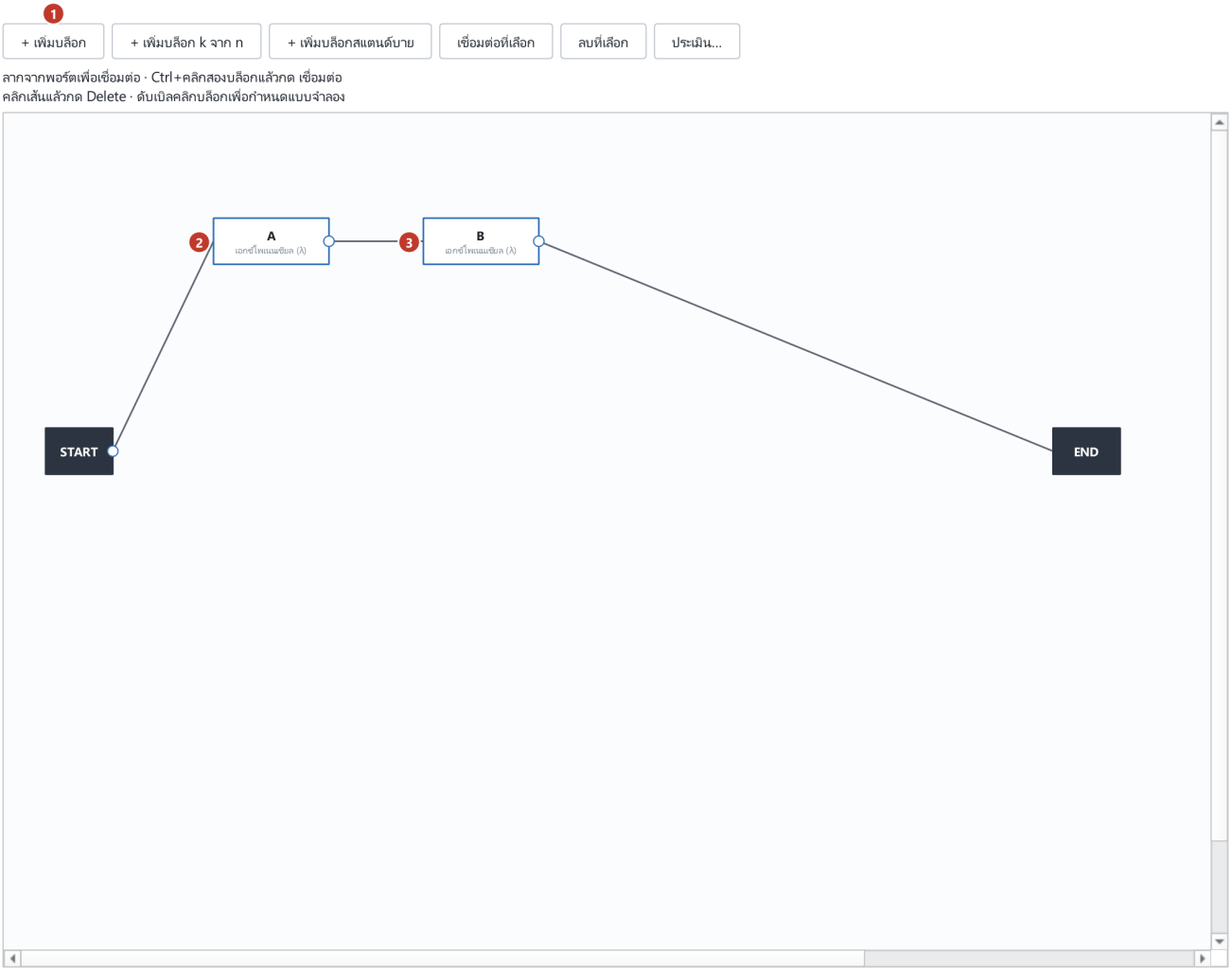


ค่าของตัวอย่างในแบบฟอร์ม

- ① หาค่าเหมาะสม RBD บนพื้นที่วาด
- ② ถึง ⑤ ตารางบล็อก: แถว A จำนวนชุดสูงสุด n 3, ต้นทุนต่อชุด 10 แถว B 2 และ 20
- ⑥ ถึง ⑧ วัตถุประสงค์ เพิ่มความเชื่อถือได้สูงสุดภายในงบประมาณ, เวลาภารกิจ T 30, งบประมาณ 30
- ⑨ ตกลง — คำนวณ

ภาค 3 — วิธีใช้ ทีละขั้นตอน

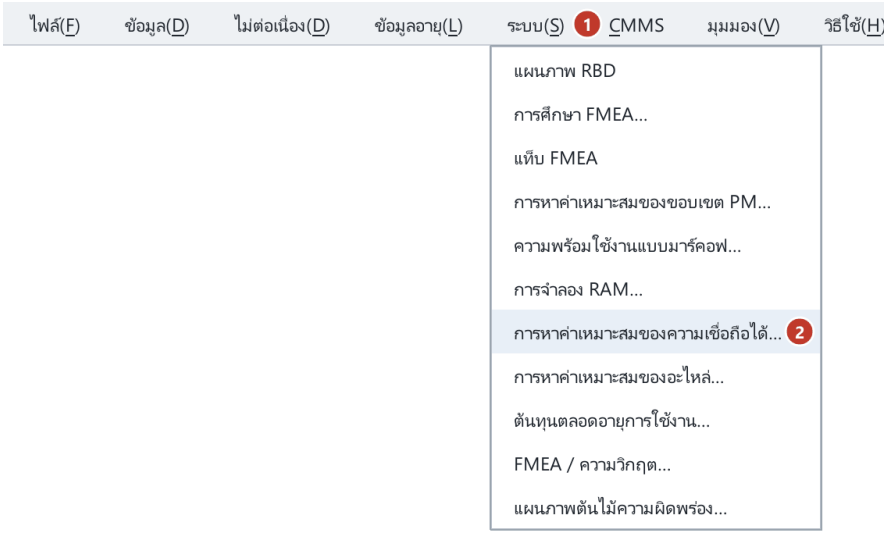
1. **วาดโรงงานบนแผนภาพ RBD** ตามบทที่ 4.1: บนแท็บหลัก แผนภาพ RBD ใช้ + เพิ่มบล็อก สร้าง A ที่มี เอกซ์โพเนนเชียล (λ) 0.02 ใน คุณสมบัติของบล็อก สร้าง B ที่มี เอกซ์โพเนนเชียล (λ) 0.01 แล้วลากเส้น START → A → B → END



ขั้นตอนที่ 1 — โรงงานบนแผนภาพ

- ① + เพิ่มบล็อก: เพิ่มบล็อกหนึ่งบล็อกหลังถามชื่อ
- ② A คือขั้นแรก มีแบบจำลอง เอกซ์โพเนนเชียล (λ) อยู่ใต้ชื่อ
- ③ B คือขั้นที่สอง

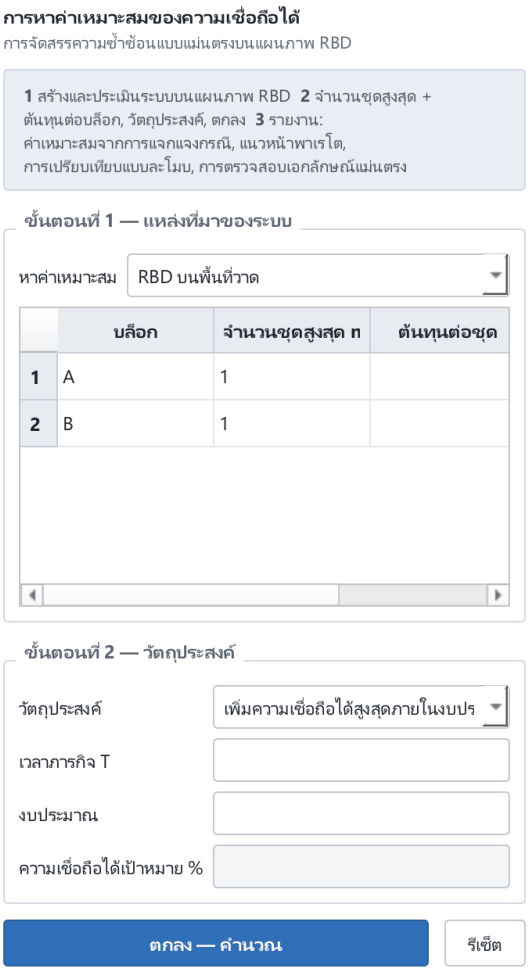
2. **เลือก** ระบบ ▸ **การหาค่าเหมาะสมของความเชื่อถือได้...** ในแถบเมนู แบบฟอร์ม การหาค่าเหมาะสมของความเชื่อถือได้ จะเปิดขึ้นในแผงด้านซ้าย ตารางบล็อกมีหนึ่งแถวต่อบล็อกบนแผนภาพ



ขั้นตอนที่ 2 — เส้นทางเมนู

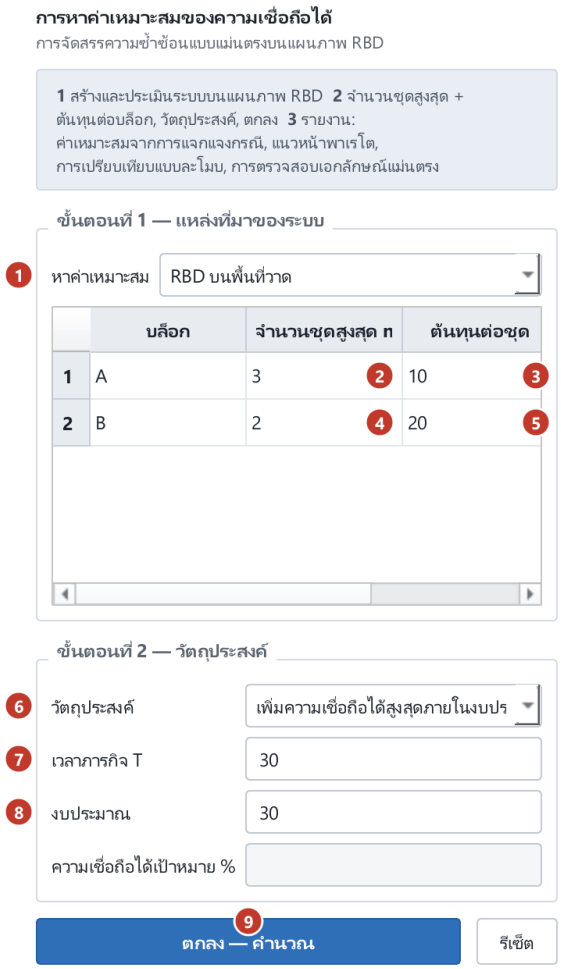
- ① ระบบ: เมนู
- ② การหาค่าเหมาะสมของความเชื่อถือได้...: รายการที่ต้องคลิก

แบบฟอร์มเมื่อเปิดขึ้น แถว A และ B มี จำนวนชุดสูงสุด n เป็น 1 คือโรงงานตามที่วาด:



ขั้นตอนที่ 2 — แบบฟอร์มเมื่อเปิดขึ้น

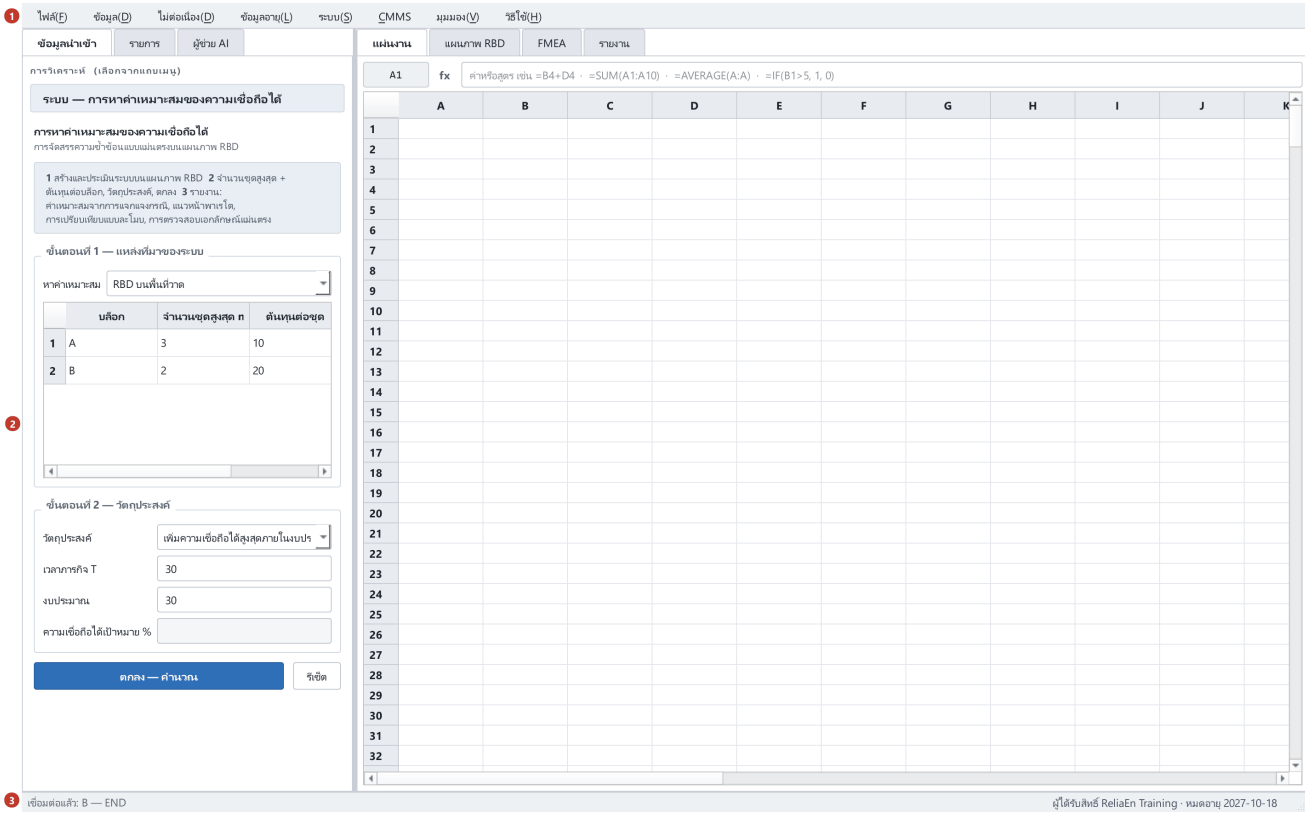
ขั้นตอนที่ 3 ถึง 10 ตั้งค่าแบบฟอร์ม มีเครื่องหมาย ① ถึง ⑧ ⑨ คือปุ่มของขั้นตอนที่ 11:



ขั้นตอนที่ 3 ถึง 10 — แบบฟอร์มที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้

3. ① **ตรวจว่า หาค่าเหมาะสม เป็น RBD บนพื้นที่วาด** คือแผนภาพที่วาดบนพื้นที่วาดขณะนี้ แหล่งเดียวในเวอร์ชัน 1.0.0
4. ② **ในแถว A พิมพ์ 3 ใต้ จำนวนชุดสูงสุด n** เป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ 1 ขึ้นไป
5. ③ **ในแถว A พิมพ์ 10 ใต้ ต้นทุนต่อชุด** ราคาของชุดที่เพิ่มหนึ่งชุด มากกว่า 0
6. ④ **ในแถว B พิมพ์ 2 ใต้ จำนวนชุดสูงสุด n**
7. ⑤ **ในแถว B พิมพ์ 20 ใต้ ต้นทุนต่อชุด**
8. ⑥ **ตรวจว่า วัตถุประสงค์ เป็น เพิ่มความเชื่อถือได้สูงสุดภายในงบประมาณ**
9. ⑦ **ใน เวลาภารกิจ T พิมพ์ 30**
10. ⑧ **ใน งบประมาณ พิมพ์ 30** จำนวนสูงสุดที่จะใช้กับชุดที่เพิ่ม

11. **คลิก ตกลง — คำนวณ** ที่ด้านล่างของแบบฟอร์ม (② ในภาพด้านล่าง) ReliaEn ประเมินทั้ง 6 แบบและแสดงรายงาน



ขั้นตอนที่ 11 — หน้าต่างก่อนกด ตกลง

- ① แถบเมนู: ไฟล์, ข้อมูล, ไม่ต่อเนื่อง, ข้อมูลอายุ, ระบบ, CMMS, มุมมอง, วิธีใช้
- ② แบบฟอร์มที่ตั้งค่าตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 10 มี ตกลง — คำนวณ อยู่ด้านล่าง
- ③ แถบสถานะ มี ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · หมดอายุ 2027-10-18 อยู่ทางขวา

ภาค 4 — รายงาน ทีละการ์ด

ข้อมูลนำเข้า

1	ระบบ	**บล็อกที่ค้นหา 2 บล็อก**
2	วัตถุประสงค์	**เพิ่มความเชื่อถือได้สูงสุดภายในงบประมาณ**
3	เวลาภารกิจ T	**30**
4	งบประมาณ	**30**
5	แบบที่แจกแจง	**6**

ข้อมูลนำเข้า

- ① ระบบ บล็อกที่ค้นหา 2 บล็อก.
- ② วัตถุประสงค์ เพิ่มความเชื่อถือได้สูงสุดภายในงบประมาณ.
- ③ เวลาภารกิจ T 30.
- ④ งบประมาณ 30.
- ⑤ แบบที่แจกแจง 6.

ผลลัพธ์

1	แบบที่เหมาะสม	A ×2 / B ×2
2	R_sys(T)	0.74292878
3	แถบ	ไม่มีบล็อกใดของผู้ชนะที่มีความไม่แน่นอนจากการฟิต (พารามิเตอร์แบบกำหนดเอง)
4	ต้นทุนที่เพิ่ม	30
5	ผูกพัน	งบประมาณ (ต้นทุนที่เพิ่ม 30 จาก 30)

ผลลัพธ์

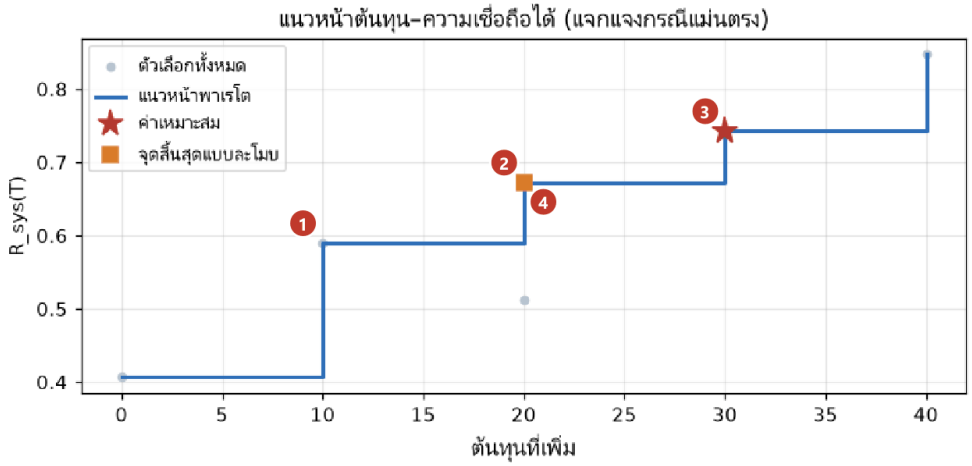
- ① แบบที่เหมาะสม A ×2 / B ×2.
- ② R_sys(T) 0.74292878.
- ③ แถบ ไม่มีบล็อกใดของผู้ชนะที่มีความไม่แน่นอนจากการฟิต (พารามิเตอร์แบบกำหนดเอง).
- ④ ต้นทุนที่เพิ่ม 30.
- ⑤ ผูกพัน งบประมาณ (ต้นทุนที่เพิ่ม 30 จาก 30).

การตีความ

1 ทุกตัวเลือกในพื้นที่ออกแบบถูกประเมินอย่างแม่นตรงผ่านพีชคณิตความเชื่อถือได้ที่ทวนสอบแล้ว — ค่าเหมาะสมได้จากการแจกแจงกรณี ไม่ใช่การค้นหาแบบฮิวริสติก จึงพิสูจน์ได้ว่าไม่แพ้แบบใดในพื้นที่นั้น การ์ดแบบละโมบด้านล่างแสดงว่าตัวจัดสรรแบบดั้งเดิมจะเลือกอะไรบนพื้นที่เดียวกัน

การตีความ

- ① ทุกตัวเลือกในพื้นที่ออกแบบถูกประเมินอย่างแม่นตรงผ่านพีชคณิตความเชื่อถือได้ที่ทวนสอบแล้ว — ค่าเหมาะสมได้จากการแจกแจงกรณี ไม่ใช่การค้นหาแบบฮิวริสติก จึงพิสูจน์ได้ว่าไม่แพ้แบบใดในพื้นที่นั้น การ์ดแบบละโมบด้านล่างแสดงว่าตัวจัดสรรแบบดั้งเดิมจะเลือกอะไรบนพื้นที่เดียวกัน



กราฟแบบโต้ตอบ

กราฟ

- ① จุด: ตัวเลือกทั้งหมด.
- ② เส้น: แนวหน้าพาเรโต.
- ③ จุด: ค่าเหมาะสม.
- ④ จุด: จุดสิ้นสุดแบบละโมบ.

แบบที่เหมาะสม — ธรรมเนียม

1 ต้นทุนคิดเฉพาะชุดที่เพิ่ม — ระบบฐานเป็นต้นทุนจม ต้นทุนติดตั้งและต้นทุนคงที่เป็นรายการ v2 ที่ระบุชื่อไว้
ชุดที่เพิ่มล้มเหลวอย่างอิสระแต่ใช้แบบจำลองที่ฟิตของบล็อกร่วมกัน — ความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์เป็นของร่วมกันทุกชุดและไม่เฉลี่ยหายไป; ไม่ได้จำลองความล้มเหลวจากสาเหตุร่วม

แบบที่เหมาะสม — ธรรมเนียม

- ① `ต้นทุนคิดเฉพาะชุดที่เพิ่ม — ระบบฐานเป็นต้นทุนจม ต้นทุนติดตั้งและต้นทุนคงที่เป็นรายการ v2 ที่ระบุชื่อไว้

แนวหน้าพาเรโต (5 แบบที่ไม่ถูกครอบงำจาก 6)

1 จุดของกราฟแนวหน้าคือแถวเหล่านี้ — ตัวเลขเดียวกัน ระบุไว้
แถวแนวหน้าเป็นค่าประมาณจุด;
แถบของผู้ชนะด้านบนมีความไม่แน่นอนของบล็อกที่ฟิต

2 การออกแบบ	3 ต้นทุนที่เพิ่ม	4 R
5 A ×1 / B ×1	0	0.40656966
6 A ×2 / B ×1	10	0.59000916
7 A ×3 / B ×1	20	0.67277493
8 A ×2 / B ×2	30	0.74292878
9 A ×3 / B ×2	40	0.84714593

แนวหน้าพาเรโต (5 แบบที่ไม่ถูกครอบงำจาก 6)

- ① `จุดของกราฟแนวหน้าคือแถวเหล่านี้ — ตัวเลขเดียวกัน ระบุไว้
- ② การออกแบบ
- ③ ต้นทุนที่เพิ่ม
- ④ R
- ⑤ A ×1 / B ×1 · 0 · 0.40656966
- ⑥ A ×2 / B ×1 · 10 · 0.59000916
- ⑦ A ×3 / B ×1 · 20 · 0.67277493
- ⑧ A ×2 / B ×2 · 30 · 0.74292878
- ⑨ A ×3 / B ×2 · 40 · 0.84714593

การเปรียบเทียบแบบละโมบ — ตัวจัดสรรตามผลได้ส่วนเพิ่ม (หยุดที่: ไม่มีการเพิ่มที่จ่ายไหว)

1 ตัวจัดสรรแบบดั้งเดิมทิ้ง 0.07015386 ไว้บนโต๊ะ
วิธีละโมบไม่มีทางดีกว่าค่าเหมาะที่สุดจากการแจกแจงทุกกรณี (เอกลักษณ์ J5)

2 ขั้นตอน	3 เพิ่ม	4 การออกแบบ	5 ต้นทุนที่เพิ่ม	6 R	7 ΔR
8 1	A	A ×2 / B ×1	10	0.59000916	0.18343950
9 2	A	A ×3 / B ×1	20	0.67277493	0.08276577

การเปรียบเทียบแบบละโมบ — ตัวจัดสรรตามผลได้ส่วนเพิ่ม (หยุดที่: ไม่มีการเพิ่มที่จ่ายไหว)

- ① `ตัวจัดสรรแบบดั้งเดิมทิ้ง 0.07015386 ไว้บนโต๊ะ
- ② ขั้นตอน
- ③ เพิ่ม
- ④ การออกแบบ
- ⑤ ต้นทุนที่เพิ่ม
- ⑥ R
- ⑦ ΔR
- ⑧ 1 · A · A ×2 / B ×1 · 10 · 0.59000916 · 0.18343950
- ⑨ 2 · A · A ×3 / B ×1 · 20 · 0.67277493 · 0.08276577

การตรวจสอบเอกลักษณ์แม่นตรง — ทุกการตรวจสอบเป็น == ไม่ใช่ค่าเผื่อ

① J2a (ความสอดคล้องของเส้นทาง, reliability(T) == evaluate()) อยู่ใน pytest บนกรณีทดสอบที่ทราบคำตอบ

② รหัส	③ การตรวจสอบ	④ คำตัดสิน
⑤ J1	ค่าเหมาะสมไม่ถูกเอาชนะใน 6 ตัวเลือก	เป็นจริง
⑥ J2	แบบที่ทุกค่าเป็นหนึ่ง == ต้นไม้ฐานพอดี	เป็นจริง
⑦ J4	ส่วนเพิ่มทางเดียว; แนวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างเคร่งครัด	เป็นจริง
⑧ J5	จุดสิ้นสุดแบบละโมบชนะค่าเหมาะสมไม่ได้	เป็นจริง

การตรวจสอบเอกลักษณ์แม่นตรง — ทุกการตรวจสอบเป็น == ไม่ใช่ค่าเผื่อ

- ① J2a (ความสอดคล้องของเส้นทาง, reliability(T) == evaluate()) อยู่ใน pytest บนกรณีทดสอบที่ทราบคำตอบ
- ② รหัส
- ③ การตรวจสอบ
- ④ คำตัดสิน
- ⑤ J1 · ค่าเหมาะสมไม่ถูกเอาชนะใน 6 ตัวเลือก · เป็นจริง
- ⑥ J2 · แบบที่ทุกค่าเป็นหนึ่ง == ต้นไม้ฐานพอดี · เป็นจริง
- ⑦ J4 · ส่วนเพิ่มทางเดียว; แนวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างเคร่งครัด · เป็นจริง
- ⑧ J5 · จุดสิ้นสุดแบบละโมบชนะค่าเหมาะสมไม่ได้ · เป็นจริง

ภาค 5 — วิธีตีความผลลัพธ์

ควรติดตั้งอะไร A ×2 / B ×2 คือเพิ่มชั้นละหนึ่งชุด ได้ R_sys(30) 0.74292878 ด้วยต้นทุนที่เพิ่ม 30 บาท เต็มงบประมาณ (ผูกพันงบประมาณ (ต้นทุนที่เพิ่ม 30 จาก 30)) โรงงานตามที่วาด A ×1 / B ×1 รอด 30 ชั่วโมงด้วยความน่าจะเป็นเพียง 0.40656966 (e^(−0.02 × 30) × e^(−0.01 × 30))

ทำไมเป็นแบบนี้และไม่ใช่แบบอื่น ReliaEn ประเมินทั้ง 6 แบบ (จำนวนชุด 3 แบบของ A × 2 แบบของ B) อย่างแม่นตรง และการตรวจสอบ J1 อ่านว่า ค่าเหมาะสมไม่ถูกเอาชนะใน 6 ตัวเลือก ชุดแต่ละชุดของขั้นหนึ่งคูณความน่าจะเป็นที่ขั้นนั้นล้มเหลว A สองชุดล้มเหลวพร้อมกันด้วยความน่าจะเป็น (1 − e^(−0.6))² = 0.2036 ขั้นนั้นจึงรอดด้วย 0.7964 และ B สองชุดรอดด้วย 0.9328 เมื่อต่อแบบอนุกรมได้ 0.7964 × 0.9328 = 0.7429

ก้าวต่อไปอีกหนึ่งขั้นมีราคาเท่าใด แบบถัดไปบนแนวหน้าพาเรโต A ×3 / B ×2 ได้ 0.84714593 ด้วยต้นทุนที่เพิ่ม 40 บาท เกินงบประมาณ ให้เพิ่มงบอีก 10 บาทเฉพาะเมื่อผลที่ได้นั้นคุ้มสำหรับโรงงาน

วิธีง่าย ๆ จะทำอะไร ตัวจัดสรรแบบละโมบเพิ่มชุดที่ได้ผลต่อบาทมากที่สุดก่อน คือ A หนึ่งชุด (+0.18343950) แล้ว A อีกหนึ่งชุด (+0.08276577) ได้ A ×3 / B ×1 ที่ 0.67277493 ด้วย 20 บาท แล้วซื้อ B ไม่ไหว จึงทิ้งความเชื่อถือได้ 0.07015386 ไว้ ซึ่งแบบที่เหมาะสมจากการประเมินทุกแบบไม่ทิ้ง

ผลลัพธ์ไม่ได้รวมอะไร ไม่คิดราคาค่าติดตั้งและต้นทุนคงที่ ชุดของบล็อกหนึ่งล้มเหลวเป็นอิสระต่อกัน และไม่ได้จำลองความล้มเหลวจากสาเหตุร่วม คือสาเหตุเดียวที่หยุดบล็อกและทุกชุดของมันพร้อมกัน ถ้ามีสาเหตุเช่นนั้น ผลที่ได้จริงของชุดที่เพิ่มจะน้อยกว่านี้