An Introduction to System Reliability Prediction with JMP

김 응석(eungseok@ulalalab.com)
울랄라랩 AX 사업부

jmp STATISTICAL DISCOVERY

JMP와 함께하는 시스템 신뢰도 예측 방법 이야기

1. 신뢰성과 시스템 신뢰성

2. 시스템 신뢰도의 예측
   1) RBD 작성
   2) Block별 수명 분포 및 Parameter 결정
   3) 신뢰도의 예측

3. JMP 활용 사례
   1) RBD 작성
   2) 수명 분포 및 Parameter 입력
   3) 시스템 신뢰도 예측 결과 해석과 대책 Simulation

4. Summary

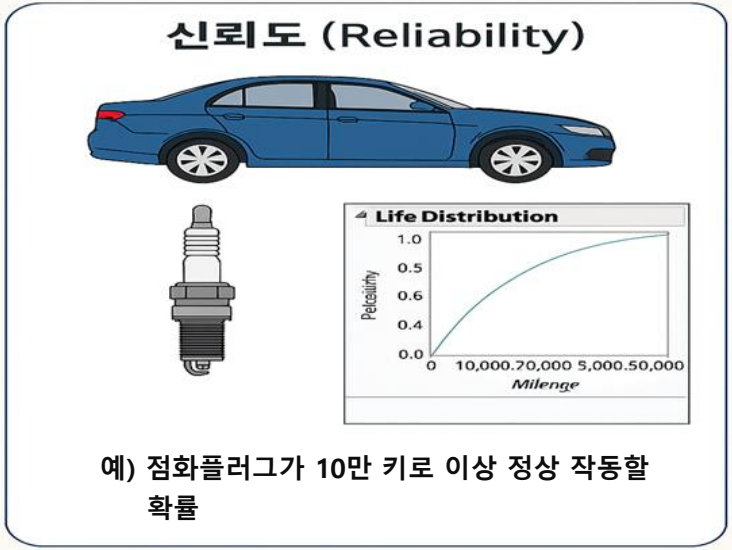
김 응석(eungseok@ulalalab.com)

1. 부품 신뢰도와 시스템 신뢰도

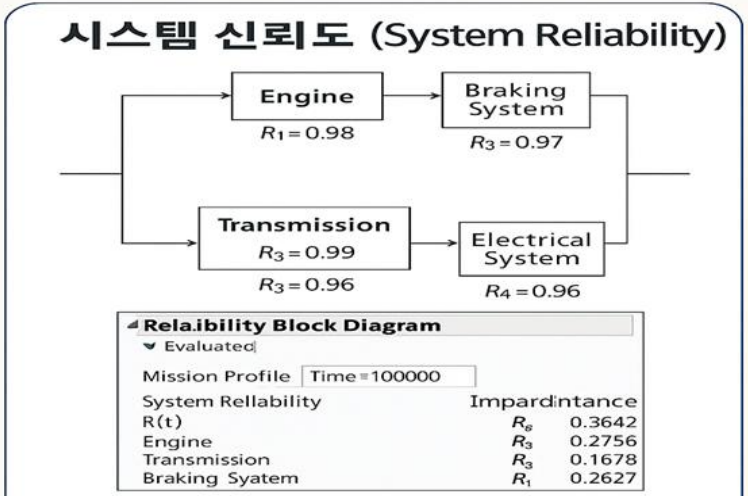
● 개별 부품 VS 시스템

1) 개별 부품의 신뢰도 : 하나의 부품이 일정 시간 이상 제 기능을 유지할 확률

2) 시스템의 신뢰도 : 여러 개의 부품으로 연결되어 있는 “시스템”일 일정 시간 이상 정상적으로 동작할 확률



예) 점화플러그가 10만 키로 이상 정상 작동할 확률

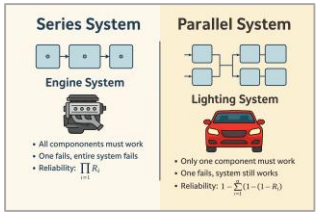


예) 자동차가 10만 키로 이상 정상 작동할 확률

김 응석(eungseok@ulalalab.com)

2. 시스템 신뢰도의 예측

1. RBD(Reliability Block Diagram)



1) 직렬(Series) 시스템 : "전구 3개가 직렬로 연결된 전등"—하나만 나가도 깜깜. ($R_{sys}=\Pi_i R_i$)
2) 병렬(Parallel) 시스템: "서로 백업하는 펌프 2대"—하나가 멈춰도 나머지가 돌면 OK. ($R_{sys}=1-\Pi_i(1-R_i)$)
3) 혼합(Mixed) 시스템: 핵심은 병렬, 비핵심은 직렬처럼—비용과 공간 제약 속 타협 구조 (병렬 R → 직렬)

직렬 시스템

항목	내용
특징	전체 기능이 각 구성요소의 *연속적 작동*에 의존함
장점	단순 구조, 제어가 쉬움, 비용 저렴
단점	한 구성요소라도 고장나면 전체 시스템 정지
개선방안	병렬 백업 추가, 중요 부품 이중화, 예방정비 강화

- 전륜구동(FWD) 차량의 **동력 흐름**:
  엔진(2.0L) → 변속기(AT) → 드라이브샤프트 → 휠 → 타이어
  : 이 중 어느 하나라도 문제 생기면 구동 불가.
- 제동계통:
  브레이크 페달 → 마스터실린더 → 브레이크 오일 라인 → 캘리퍼 → 패드
  : 호스가 새거나 캘리퍼가 고착되면 전체 제동이 불가능.

병렬 시스템

구분	내용
정의	한 구성요소가 고장나도 다른 구성요소가 대신 작동
장점	신뢰도 ↑, 안전성 ↑, 고장 시에도 기능 유지
단점	비용 증가, 구조 복잡, 중복 설계 필요
적용 부문	안전·조명·전원 공급·냉각 등 **Fail-safe 설계 영역**

- 전조등 전력 흐름

김 응석(eungseok@ulalalab.com)

2. Block별 수명 분포 및 Parameter 결정

1) RBD : Automotive Powertrain Reliability System : 목적 – 자동차의 주행(Driving Motion)

엔진 → 변속기 → 드라이브 샤프트 → ECU → 연료 펌프

2) 수명 분포 : 지수 분포* 활용

3) Parameter 결정 : 부품별 MTBF기반으로 람다(λ) 추정

부품명	MTBF	λ
엔진 Engine Assembly	6000	**0.000167**
변속기 Transmission	8000	**0.000125**
Driveshaft	15000	**0.000067**
Engine ECU	25000	**0.000040**
연료 펌프 Fuel Pump	10000	**0.000100**

. 람다(λ) : 단위시간당 평균 고장율

. 람다(λ) = $\frac{1}{\text{MTBF(평균 수명)}}$

. 람다(λ)가 크면 고장률이 높고 수명이 짧음.

* R. F. Drenick

3. 신뢰도 예측

1) 고장률 의미 해석

부품명	MTBF	λ (시간당 고장률)	의미
엔진 Engine Assembly	6000	0.000167	**6,000시간당 1회 고장**
변속기 Transmission	8000	0.000125	**8,000시간당 1회 고장**
Driveshaft	15000	0.000067	**1,000시간당 1회 고장**
Engine ECU	25000	0.000040	**2,000시간당 1회 고장**
연료 펌프 Fuel Pump	10000	0.000100	**1,000시간당 1회 고장**

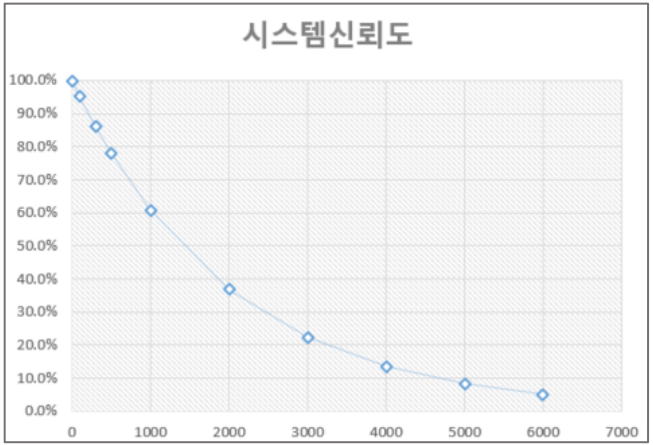
2) 시스템 신뢰도 확인

- **직렬 시스템의 신뢰도 : $R_{sys}(t)=e^{-t(\lambda 1+\lambda 2+\lambda 3+\lambda 4+\lambda 5)}$**
- λ의 합 : $\sum\lambda_i=0.0004983$
- 시스템 신뢰도 : $R_{sys}(t)=e^{-0.0004983t}$

2. 시스템 신뢰도의 예측

3) 시스템 신뢰도 계산

- 시스템 MTBF : 1 / 0.0004983 ≈ 2006시간 → 차량 구동계 시스템은 평균 약 2000시간당 1회 고장 예상



시간	시스템신뢰도
1	100.0%
100	95.1%
300	86.1%
500	77.9%
1000	60.8%
2000	36.9%
3000	22.4%
4000	13.6%
5000	8.3%
6000	5.0%

부품명	MTBF	λ (시간당 고장률)	기여율
엔진 Engine Assembly	6000	0.000167	33.4%
변속기 Transmission	8000	0.000125	25.1%
Driveshaft	15000	0.000067	13.4%
Engine ECU	25000	0.000040	8.0%
연료 펌프 Fuel Pump	10000	0.000100	20.1%
합		0.0004983	100%

- 엔진 및 변속기 개선 시 차량 구동계 시스템의 전체 신뢰도는 큰 폭으로 향상될 것임.

김 응석(eungseok@ulalalab.com)

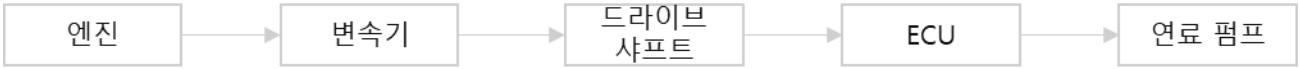
2. 시스템 신뢰도의 예측

4) 개선 적용 시 시스템 신뢰도 개선 효과 예측

구분	개선전		개선후		개선 효과
	0.0004983	2006.7	0.0004706	2124.8	5.9%
부품명	MTBF	λ (시간당 고장률)	MTBF	λ (시간당 고장률)	비고
엔진 Engine Assembly	6000	0.000167	6900	0.000145	15%개선
변속기 Transmission	8000	0.000125	8400	0.000119	5% 개선
Driveshaft	15000	0.000067	15000	0.000067	
Engine ECU	25000	0.000040	25000	0.000040	
연료 펌프 Fuel Pump	10000	0.000100	10000	0.000100	

3. JMP 활용 사례

1. RBD(Reliability Block Diagram)



2. JMP를 활용한 시스템 신뢰도 분석

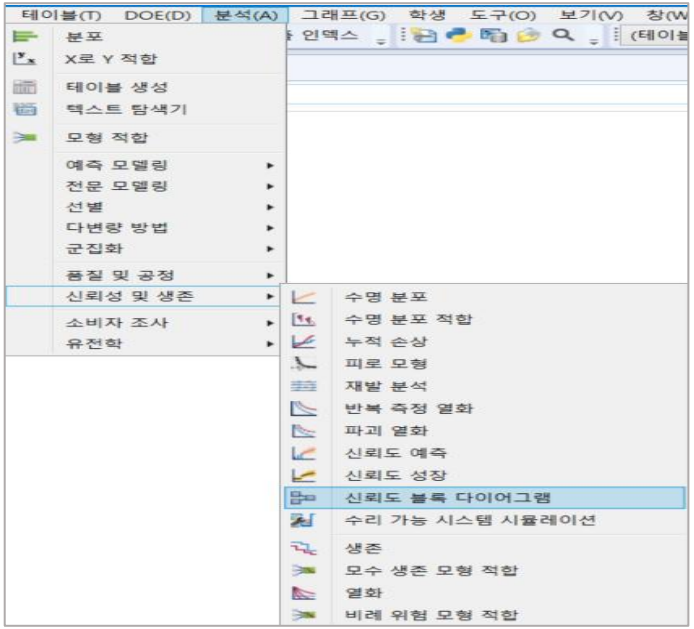
1) 설계 → 입력 → 연결 → 분포 및 Parameter입력 → 시뮬레이션 → 저장 및 공유

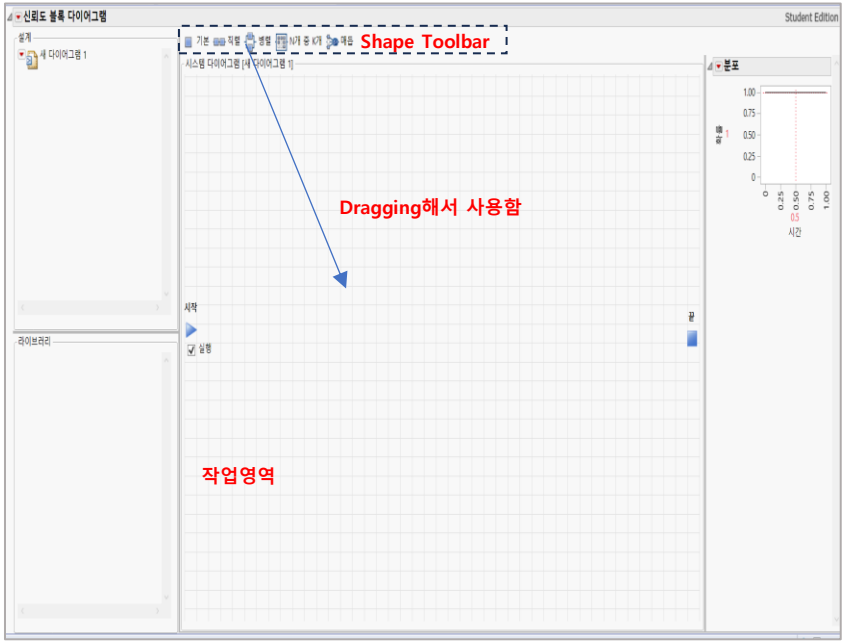
2) 사전 준비 Check List(신뢰성 데이터 정리)

2-1) RBD 작성을 위한 리스트(Component, Function, List 등)
2-2) 분포 종류 선택 및 Parameter 입력
. 지수 분포 : 고장률(λ) – JMP에서는 세타(θ)값 활용함
. 와이블 분포 : Shape(β), Scale(α)
. Lognormal : ln(X)의 평균과 표준편차 등
2-3) 목표 신뢰도 : Rsys(목표 시간) – 0.92@1000

3. JMP 활용 절차

1) RBD 분석 플랫폼 열기 : 분석 → 신뢰성 및 생존 → 신뢰도 블록 다이어그램



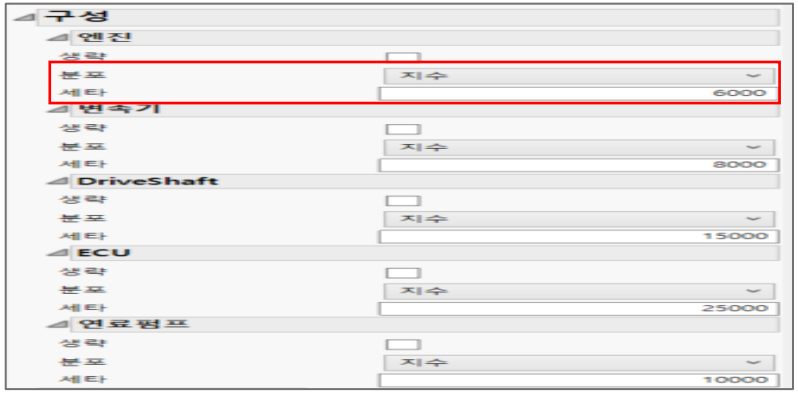


3. JMP 활용 사례

2) New RBD 만들기

. Shape Toolbar에서 “기본”을 드래깅하여 작업 공간에 RBD작성

3) 분포 및 Parameter 입력(지수 분포 활용 시 MTBF 입력)

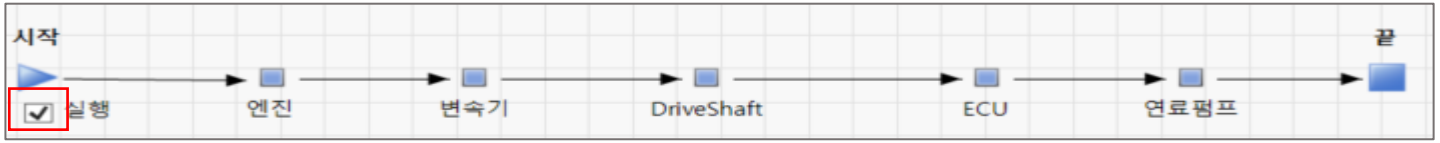


. 세타(θ) 는 평균 수명을 의미

. 고장율의 역수임.

3. JMP 활용 사례

3) 시스템 신뢰도 분석 : 실행 Click



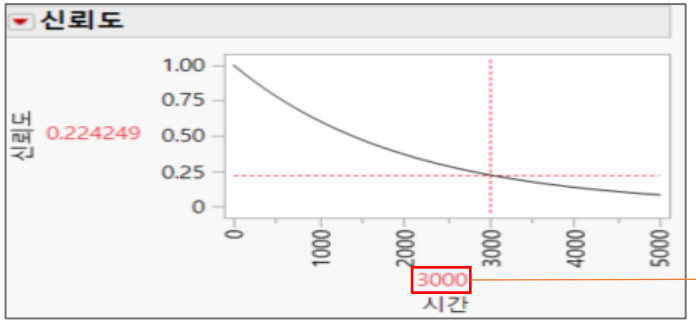
4) 분석 결과 확인

4-1) 시스템 MTTR(MTBF)

평균 고장 시간
2006.7860381

-> 시간당 고장율 : 1/2006.7860381 = 0.000498

4-2) 시스템 신뢰도 확인

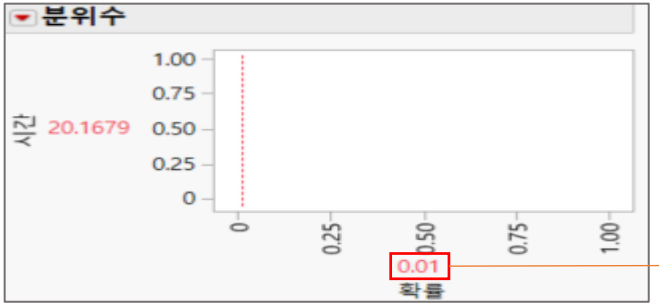


-> $R_{sys}(3000)$ = 22.4%

-> Double Click후 원하는 시간 입력

3. JMP 활용 사례

4-3) 시스템 Bp 수명 확인

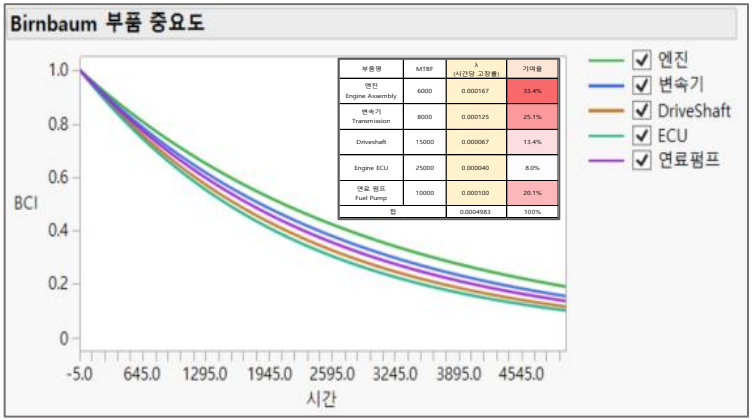


-> $B_{sys}(1)$ = 20.1679시간

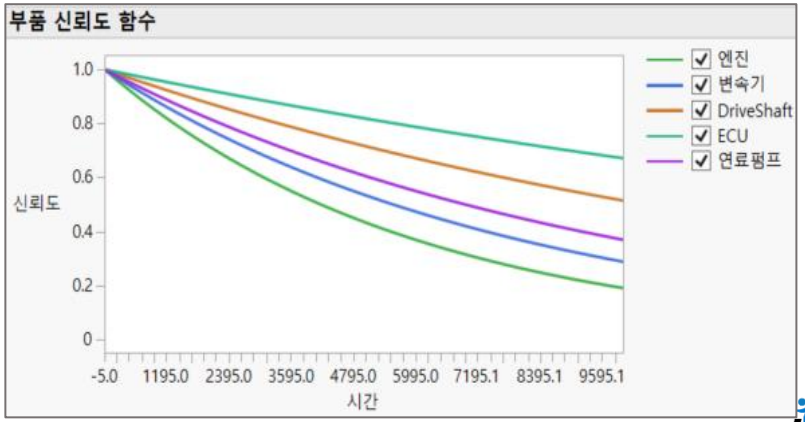
. 시장에서 누적해서 1%가 고장하는 시간

-> Double Click후 원하는 확률 입력

4-4) 부품 중요도 및 신뢰도 확인

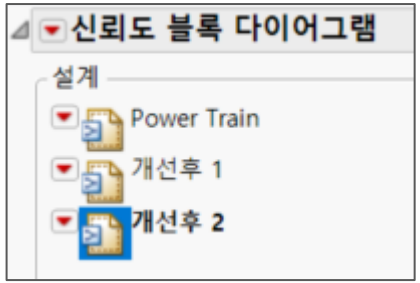


부품명	MTBF	λ (시간당 고장률)	기여율
엔진 Engine Assembly	6000	0.000167	33.4%
변속기 Transmission	8000	0.000125	25.1%
Driveshaft	15000	0.000067	13.4%
Engine ECU	25000	0.000040	8.0%
연료 펌프 Fuel Pump	10000	0.000100	20.1%
합		0.0004983	100%

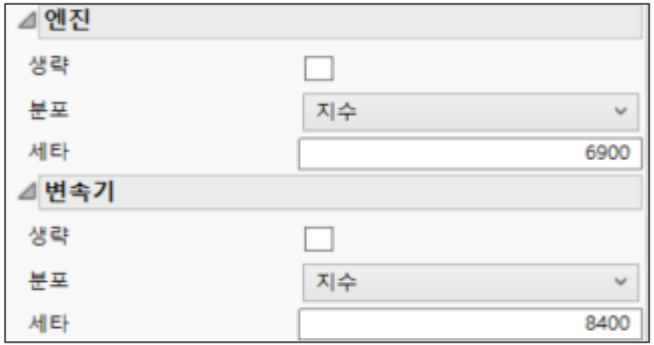


5) 개선 Simulation

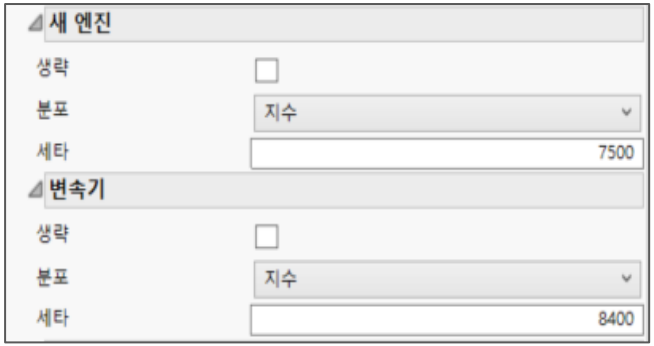
부품	Birnbaum 중요도	Remarks	개선 1	개선 2
연료 펌프	0.35	시스템 신뢰도에 가장 큰 영향 부품	6000 --> 6900	6900 --> 7500
ECU	0.3	두 번째로 중요한 부품	8000 --> 8400	
엔진	0.2	상대적으로 덜 민감함		
변속기	0.15	시스템 신뢰도에 영향 낮음		



- 개선 1



- 개선 2



3. JMP 활용 사례

5-1) 시스템 MTTR(MTBF)의 변화

평균 고장 시간
2006.7860381

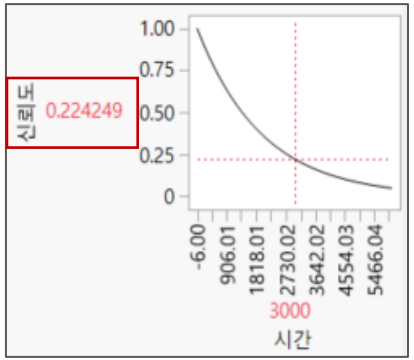
→

평균 고장 시간
2124.8608369

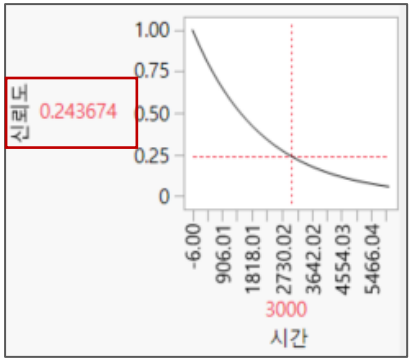
→

평균 고장 시간
2178.5286192

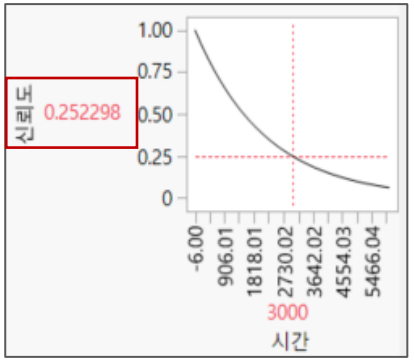
5-2) R_{sys}(3000)의 변화



→

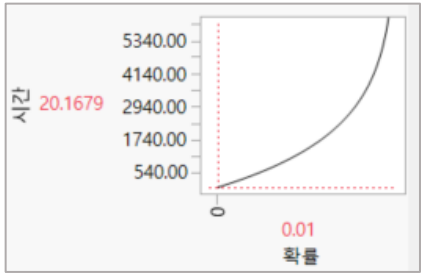


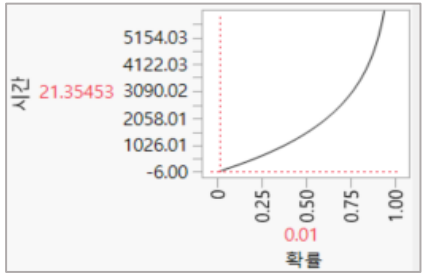
→

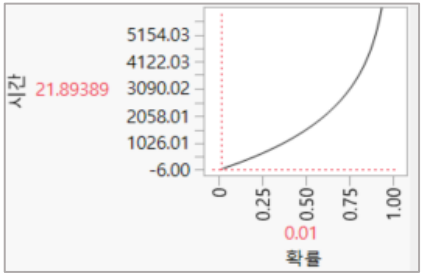


3. JMP 활용 사례

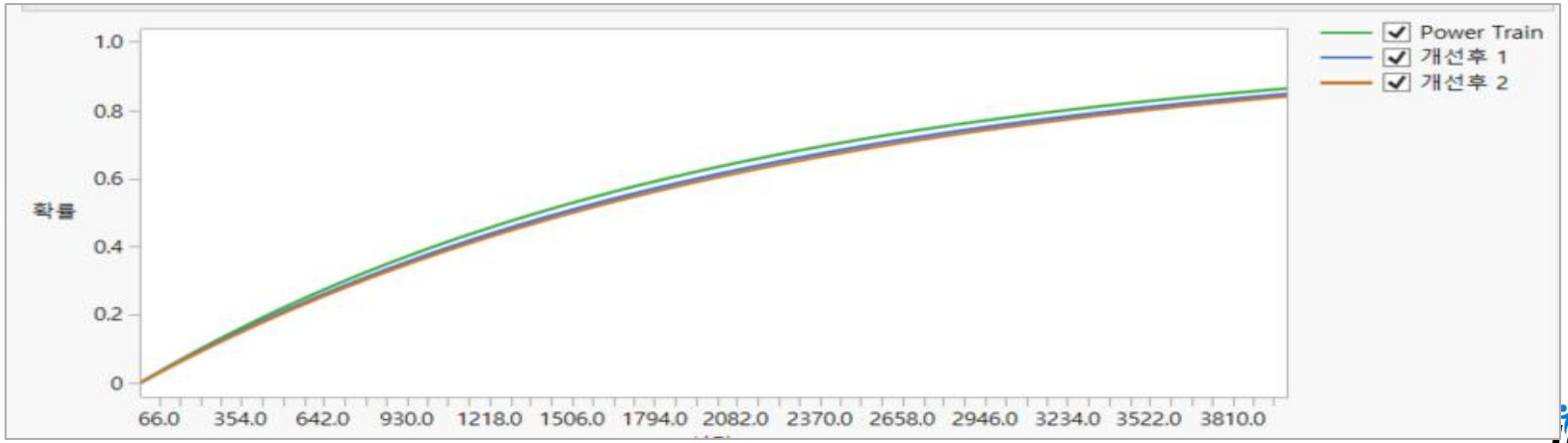
5-3) $B1_{sys}$의 변화





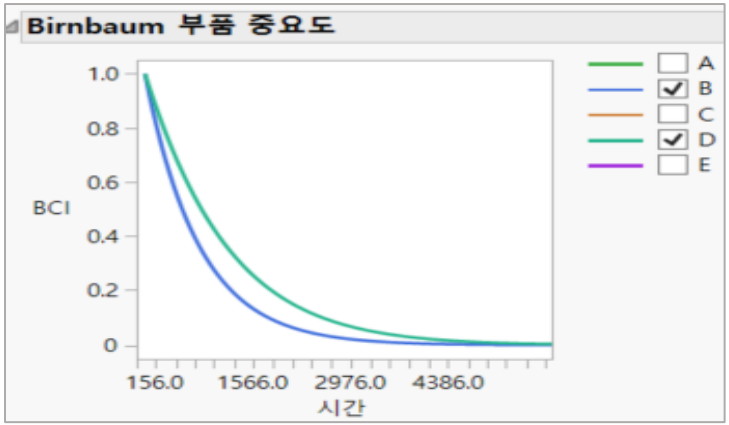


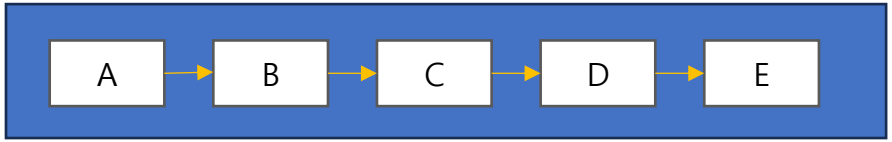
5-4) 시스템 분포의 변화 비교



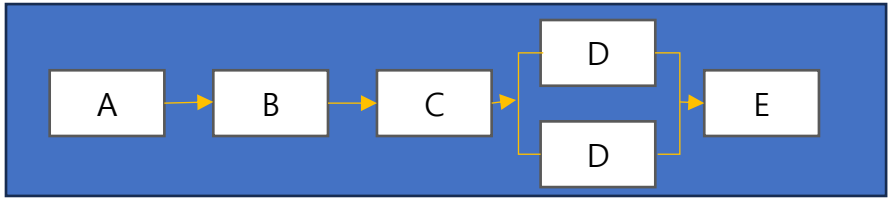
4. 직렬 VS 병렬

구성 요소	분포	파라미터
A	Exponential	MTBF = 3000 h
B	Weibull	β = 1.5, η = 6000
C	Exponential	MTBF = 5000 h
D	Exponential	MTBF = 2000 h
E	Exponential	MTBF = 4000 h



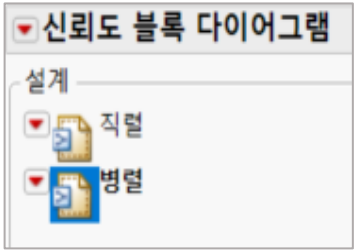


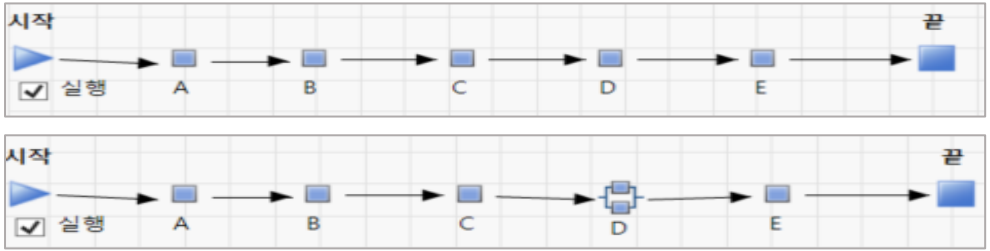
- 시스템 신뢰도에 영향을 가장 크게 주는 D를 이중화 한다면?



3. JMP 활용 사례

1) RBD 작성하기



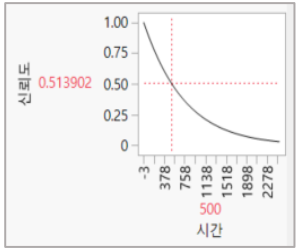


2) 두 설계 차이 확인

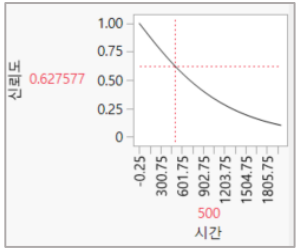
2-1) 시스템 MTTR(MTBF)의 변화

VS

2-2) $R(1200)_{sys}$의 변화



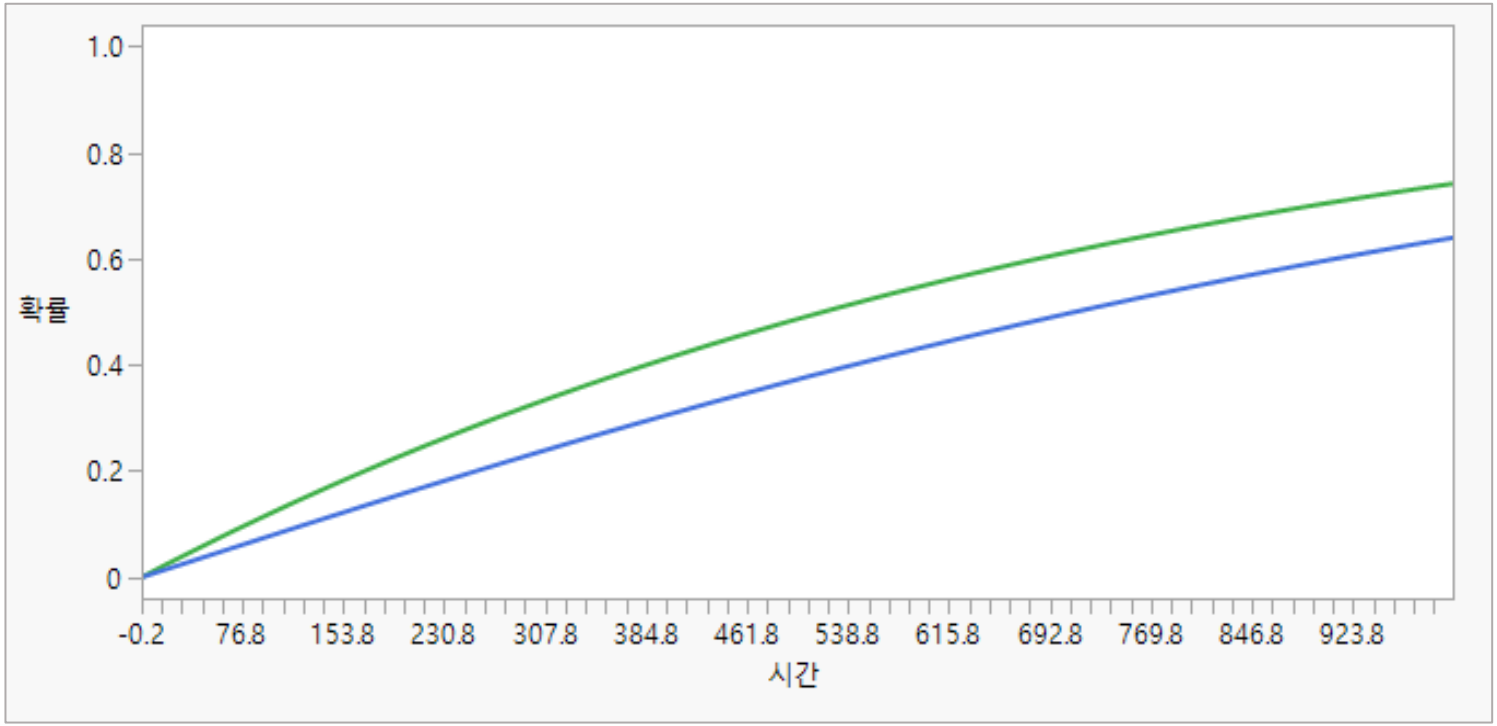
VS



김 응석(eungseok@ulalalab.com)

3. JMP 활용 사례

2-3) 두 설계 신뢰도 차이 비교

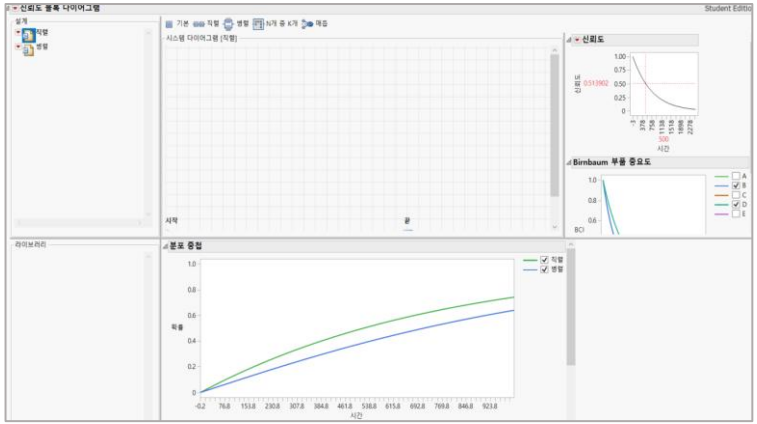


4. Summary

✓ 복잡한 시스템에 대한 **신뢰도 분석이 직관적**임.
. RBD 작성, 개선 후 비교 등

✓ **다양한 분포**를 바로 적용할 수 있음.

지수
Weibull
로그 정규
로그로지스틱
Frechet
일반화 감마
DS Weibull
DS 로그 정규
DS 로그로지스틱
DS Frechet
비모수



✓ JMP의 가장 큰 특징인 **시각화를 통한 분석 및 해석이 용이**함.

김 응석(eungseok@ulalalab.com)

Statistical Discovery.™ From SAS.

김 응석(eungseok@ulalalab.com)