

KOREA 2020

DISCOVERY SUMMIT

ONLINE



JMP로 알아보는 '신뢰도 성장 계획'

예측방법 기반의 계획모형(PM2)-연속자료

Reliability Growth Planning with JMP

Planning Model Based on Projection Methodology (PM2)-Continuous



신뢰도 성장 vs. 신뢰도 성장 계획

신뢰도 성장(Reliability Growth)

복잡도 높은 신규 시스템을 개발할 때 최초의 프로토타입은 설계나 제조 또는 기술적 결점을 포함함. 설계 목표 미달인 이 같은 문제점을 해결하기 위해 결점을 파악하고 설계 변경 등 ‘개선 조치’를 목적으로 한 엄격한 시험이 뒤따라야 함. 시험을 통해 결점이 드러나고 원인 규명이 되며 그에 따른 개선이 이루어지는 즉, **시험 → 파악 → 개선 조치의 반복**을 통해 시스템이 최초의 목표 신뢰도에 이르게 하는 과정을 ‘신뢰도 성장’이라고 함.

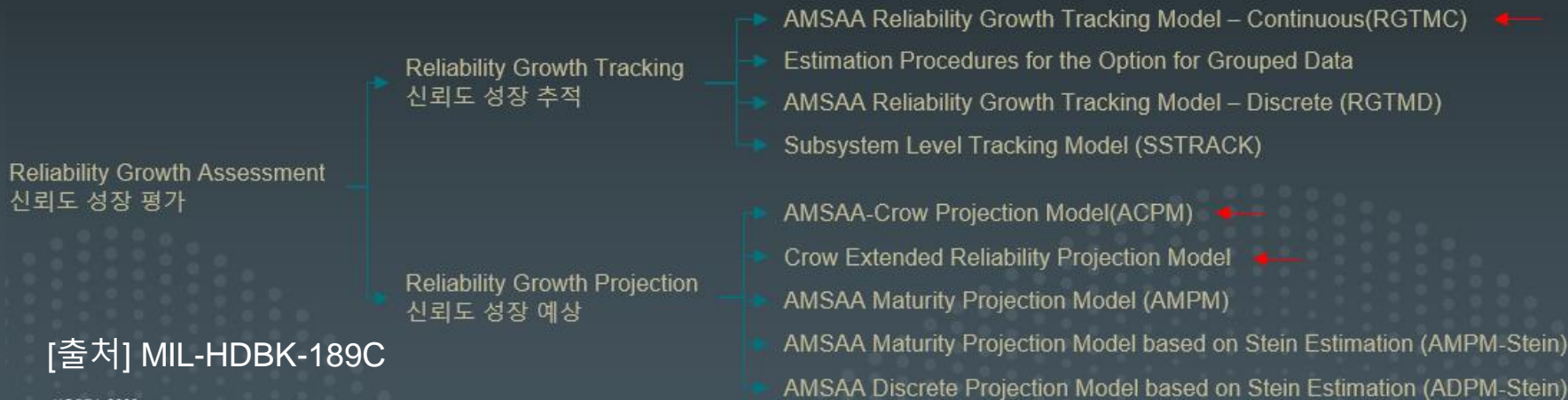
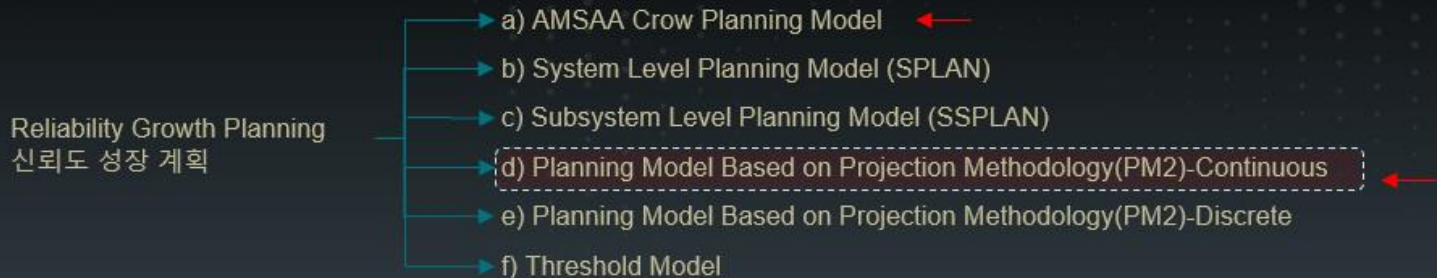
신뢰도 성장 계획(Reliability Growth Planning)

‘신뢰도 성장 계획’은 신뢰도 목표를 성공적으로 달성하기 위해 세우는 계획임. 이를 위해 시험 자원의 최적화, 잠재 위험의 계량화가 수반됨. 일반적 의미로는 시험 일정 수립, 시설 및 시험 장비 등 물적 자원의 가용성 결정, 시험 인력/데이터 수집가/분석가/엔지니어 등 인적 자원의 파악, 그리고 추진 기간의 일정 조정과 분석, 승인 및 개선 조치 활동을 포함함. 통계학적 의미의 계획은 ‘신뢰도 성장 계획 곡선’을 통해 계량화 됨. 이 곡선은 최종 목표 신뢰도 달성을 위해 시험 중간의 검증용으로 사용됨.

KOREA 2020

DISCOVERY
SUMMIT
ONLINE

신뢰도 성장 모형 모음



[출처] MIL-HDBK-189C

신뢰도 성장 계획 모형

『MIL-HDBK-189C :

Department of Defense Handbook, Reliability Growth Management, p26』

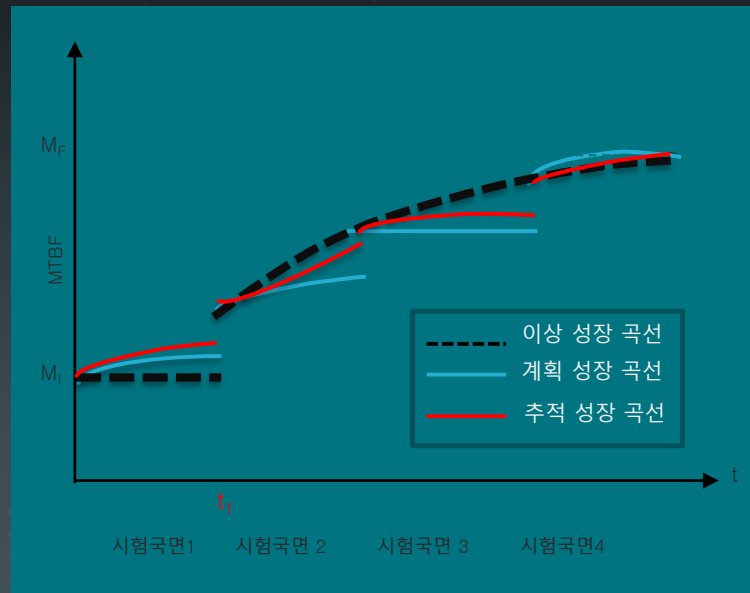
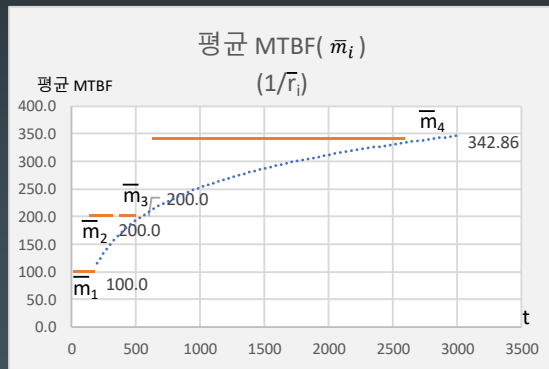
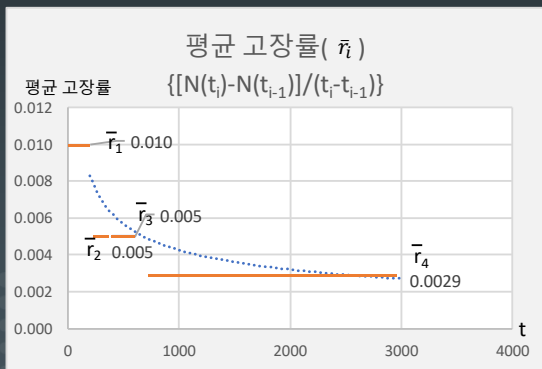
- a) AMSAA Crow Planning Model : 가장 기본적인 모형
- b) System Level Planning Model (SPLAN)
- c) Subsystem Level Planning Model (SSPLAN)
- d) **Planning Model Based on Projection Methodology (PM2) Continuous**
- e) Planning Model Based on Projection Methodology (PM2)-Discrete
- f) Threshold Model

KOREA 2020

DISCOVERY
SUMMIT
ONLINE

AMSAA Crow Planning Model 이해

국면 (i)	누적 시험 시간(t_i) ['국면(Phase)' 끝 시간]	고장 수 (n_i)	누적 고장 수 [$N(t_i)$]	평균 고장률(\bar{r}_i) { $[N(t_i)-N(t_{i-1})]/(t_i-t_{i-1})$ }	평균 MTBF(\bar{m}_i) ($1/\bar{r}_i$)
1	200	2	2	0.010	100.0
2	400	1	3	0.005	200.0
3	600	1	4	0.005	200.0
4	3,000	7	11	0.0029	342.86



Planning Model Based on Projection Methodology (PM2) - Continuous

PM2

‘미 육군 재료시스템 분석기관 (AMSAA)’에서 개발한 신뢰도 성장 모형. PM2-Continuous는 ‘개발시험 일정’과 ‘개선조치 전략’을 통합한 시스템 차원의 ‘신뢰도 성장 계획 곡선’의 개발을 목적으로 함. 다음의 용도로 활용됨. (1) 아이템 개발을 위한 시험 프로젝트에서 ‘신뢰도 성장 계획 곡선’을 구성. (2) 신뢰도 평가 때 비교가 되는 기준 역할. (3) 자원의 재 할당 같은 관리의 필요성 제시.

이상 성장 곡선(Idealized Reliability Growth Curve)

‘신뢰도 성장 계획 곡선’의 밑바탕이 되는 곡선. 즉 시스템 개발 현황에 맞춰 이론적 성장 계획 곡선을 마련한 후 이를 바탕으로 실질적인 ‘계획 성장 곡선’을 구성함. 만일 아이템이 시험 기간 동안 ‘이상 성장 곡선’을 따라 성장한다면, 시험 기간 동안 실현된 시험 데이터는 지정된 통계적 신뢰 수준에서 ‘목표 MTBF’를 달성하게 될 것임.

PM2-Continuous의 파라미터

- 1) 초기 MTBF(Initial MTBF, M_I) : '신뢰도 성장시험'의 시작 때 MTBF. 과거자료 및 기술적 판단으로 정해짐.
- 2) 관리 전략(Management Strategy, MS) : '수정(Fixes)'으로 해결해야 하는 시스템 '고장 강도'의 비율. 'MS=0.95'란 시스템 '고장 강도'의 95%가 '수정'으로 처리될 것임을 의미함. '0.9'이상의 ' M_{GP} ' 달성을 위해서는 '0.95'가 일반적임. '0.96 이상'은 비합리적으로 알려짐.
- 3) 평균 FEF(Average FEF, μ_d) : 'FEF(Fix Effectiveness Factor)'는 '수정'이 평균적으로 얼마나 효과적일지를 결정하는 계수. 'FEF=0.7'이란 '수정'으로 처리될 임의 '고장 모드'에 대해, 그 '고장 모드'의 '고장 강도' 중 70%가 제거된 것으로 가정한다는 의미임. 일반적으로 70~80%.
- 4) 잠재 MTBF(Growth Potential MTBF, M_{GP}) : 특정 수준의 수정 효과에서 모든 B-모드를 찾아 완화함으로써 달성되는 시스템 신뢰도에 대한 이론적 상한. 이 비율은 '신뢰도 성장 계획'의 타당성과 효과를 평가하는 척도로 쓰임. 경험상 잘 관리되는 조건은 ' M_G / M_{GP} '가 '0.6~0.8'이 적절함. 일반적으로 '0.6 미만'의 비율은 시스템의 MTBF를 적절하게 증가시키지 못하므로 권장되지 않고, '0.8을 초과'하는 비율은 시스템의 MTBF를 성장 잠재력에 매우 가깝게 증가시켜야 하므로 종종 과도한 양의 시험이 필요해 역시 권장되지 않음.

$$M_{GP} \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} \rho^{-1}(t) = M_I / (1 - MS \cdot \mu_d)$$

- 5) 수정 실행에 필요한 '평균 지연 시간(Average Lag-Time)'
- 6) 총 시험 기간(Total Test Time, T)
- 7) CAP(Corrective Action Period)의 수와 위치
- 8) 계획된 월 시험 시간

9) 요구 MTBF(Requirement MTBF, M_R) : IOT&E* 동안 입증돼야 할 고객의 요구 MTBF.

* IOT&E(Initial Operational Test & Evaluation) :

PM2-Continuous의 공식들

(1) MTBF : [0, t] 기간에 드러난 'B-모드' 모두를 '개선 조치' 했을 때 기대되는 시스템 MTBF.

$$M(t) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda_A + (1 - \mu_d) \times \left(\lambda_B - \frac{\lambda_B}{1 + \beta t} \right) + \frac{\lambda_B}{1 + \beta t}}, & t \leq T \\ \frac{1 - d}{\lambda_A + (1 - \mu_d) \times \left(\lambda_B - \frac{\lambda_B}{1 + \beta t} \right) + \frac{\lambda_B}{1 + \beta t}}, & t \geq T \end{cases}$$



(2) '이상 곡선'과 'MTBF 표적(Target)'은 동일한 방정식에 의해 생성됨. 즉, 만일 '시간 t'까지 드러난 모든 'B-모드'에 대해 '개선 조치'가 '평균 FEF 수정효과계수(μ_d)'로 수행된다면 시험 시간이 't ∈ [0, T]'인 상황에서 기대되는 '시스템 고장 강도, ρ(t)'는, $\rho(t) \equiv \lambda_A + (1 - \mu_d) \cdot [\lambda_B - h(t)] + h(t)$

(3) 이때 ' λ_A '와 ' λ_B ' 및 ' β '는 다음과 같음.

$$\lambda_A \equiv (1 - MS) \cdot \lambda_I \equiv \frac{(1 - MS)}{M_I} \quad \beta = \left(\frac{1}{T} \right) \left\{ \frac{1 - \frac{M_I}{M_G}}{MS \cdot \mu_d - \left(1 - \frac{M_I}{M_G} \right)} \right\}$$

$$\lambda_B \equiv MS \cdot \lambda_I \equiv \frac{MS}{M_I}$$

M_I	25
M_R	65
M_G	90
MS	0.95
Average FEF	0.80
T	24000
Degradation Factor	0.10
LCB CL	0.80
모수	
λ_A	0.002
λ_B	0.038
β	0.000797

PM2-Continuous의 산출물

- (4) 신규 B-모드 발생률(Expected Rate of Occurrence of New B-modes) 모형의 가정 하에서, 복잡한 시스템에 대해 시간 t에서 새로운 'B-모드의 발생률'은 다음 식으로 잘 근사됨(개발시험의 '위험 척도').

$$h(t) \equiv \frac{\lambda_B}{1 + \beta t}$$

- (5) B-모드 수(Expected Number of B-modes)

이 값은 경영진에게 기술적으로 필요한 '재설계 횟수' 정보를 알려줌. 즉 요구되는 자원량(예: 시간, 인력 및 자금 지원)을 결정할 때 주요하게 쓰임. '시험 시간, t'에서 예상되는 'B-mode 수'에 대한 PM2 연속 방정식은 다음과 같음(개발 시험의 '운영 척도').

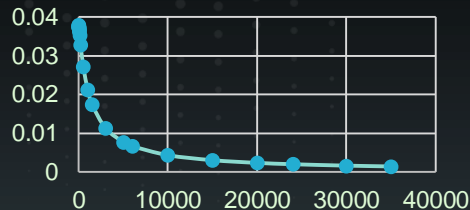
$$\mu(t) \equiv \left(\frac{\lambda_B}{\beta}\right) \cdot \ln(1 + \beta t)$$

- (6) B-모드 고장 강도의 표면화율(Fraction Surfaced of the Expected Initial B-mode Failure Intensity)

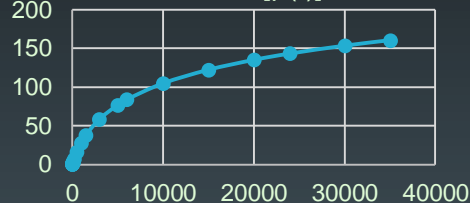
복잡한 시스템 경우, '시험 시간, t ∈ [0, T]'인 상황에서 관측된 B-모드의 예상되는 초기 'B-모드 고장 강도 백분율'은 다음과 같음(시스템 성숙도).

$$\theta(t) \equiv \frac{\beta t}{1 + \beta t}$$

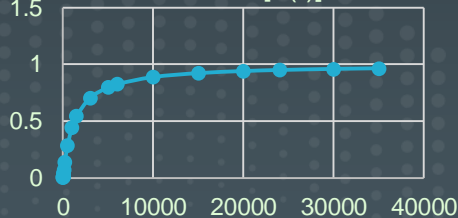
신규 B-Mode 발생률[h(t)]



B-Mode 수[μ(t)]

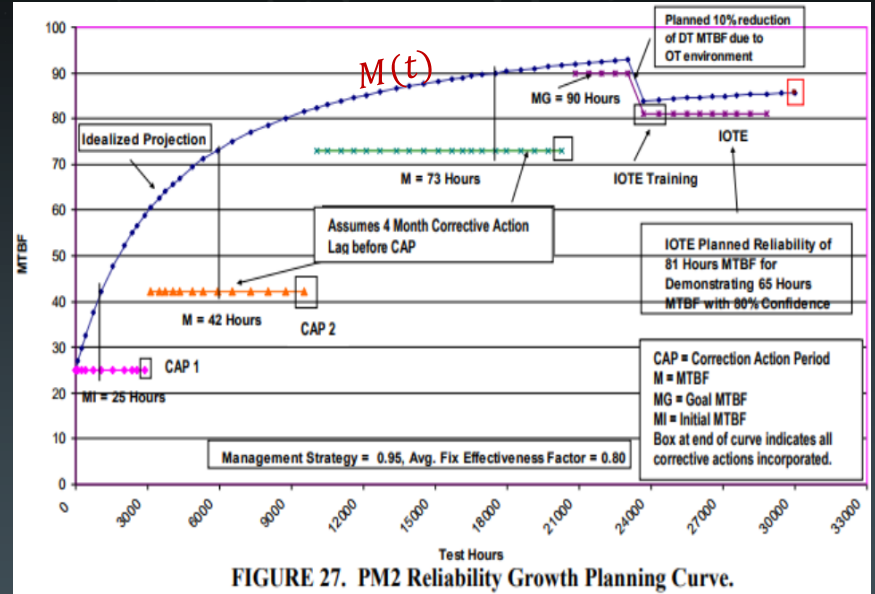


B-Mode 고장 강도의
표면화율 [θ(t)]



PM2 예

- 모수들이 결정되면 '기대 고장 강도[$\rho(t)$]'를 이용해서 '신뢰도 성장 계획 곡선'을 생성(파란색 곡선).
- 시험 일정에 '개선 조치' 실행을 위한 시간 블록을 표현(CAP*).
- '고장 모드'를 미리 정해진 CAP에서 처리하기 위해 지연 시간 설정(그림 경우 CAP 시작 전 4개월을 설정함. 단, 각 '시험 국면' 별로 서로 다른 캘린더 지연 시간 적용 가능).
- 'MTBF'는 최초 시험 시작과 첫 번째 CAP이 끝나는 시점, 그리고 이후 CAP의 끝과 그 다음 CAP의 끝 사이에서 일정한 값(수평선)으로 나타냄.
- 이때, 각 CAP의 종료 시점에 'MTBF의 도약'이 관찰됨. '도약'은 'MTBF'가 성장한 것으로서 " $M(t_i) = \{\rho(t_i)\}^{-1}$ "의 식으로 얻음(여기서 '시험 시간, t_i '는 CAP이 시작되기 4개월 전 캘린더 날짜를 누적한 시간임).
- 이와 같은 방식으로 '표적 MTBF'가 연속된 계단을 형성하면서 '초기 MTBF' 값으로부터 '목표 MTBF' 값으로 성장해 감.
- 그림은 복잡한 시스템의 'A-모드'와 'B-모드'를 염두에 두고 작성된 '신뢰도 성장 계획 곡선'의 상세도임. IOT&E** 동안 시스템을 실증할 '요구 MTBF (M_R) = 65시간'임. IOT&E는 시스템이 사용에 적합한지를 작동시켜 실증하는 시험으로 실증 시험은 국방성에서 개발하는 주요 시스템에 적용하도록 공공법으로 규정하고 있음. 본 예 경우 아이템의 보증 기준은 신뢰 수준 = 80%에서 ' $M_R = 65$ 시간' 인지를 실증하는 것임.



DT(Developmental Test)에서 작동 시험인 OT 환경으로 전환하는 동안 MTBF의 현저한 저하가 자주 발생함. 원인은 DT 중에 없는 '작동 중 고장 모드' 때문임. 이에 10%의 '열화 계수(Degradation Factor)'가 사용됨.

* CAP : Corrective Action Period(개선조치 기간) ** IOT&E : Initial Operational Test & Evaluation

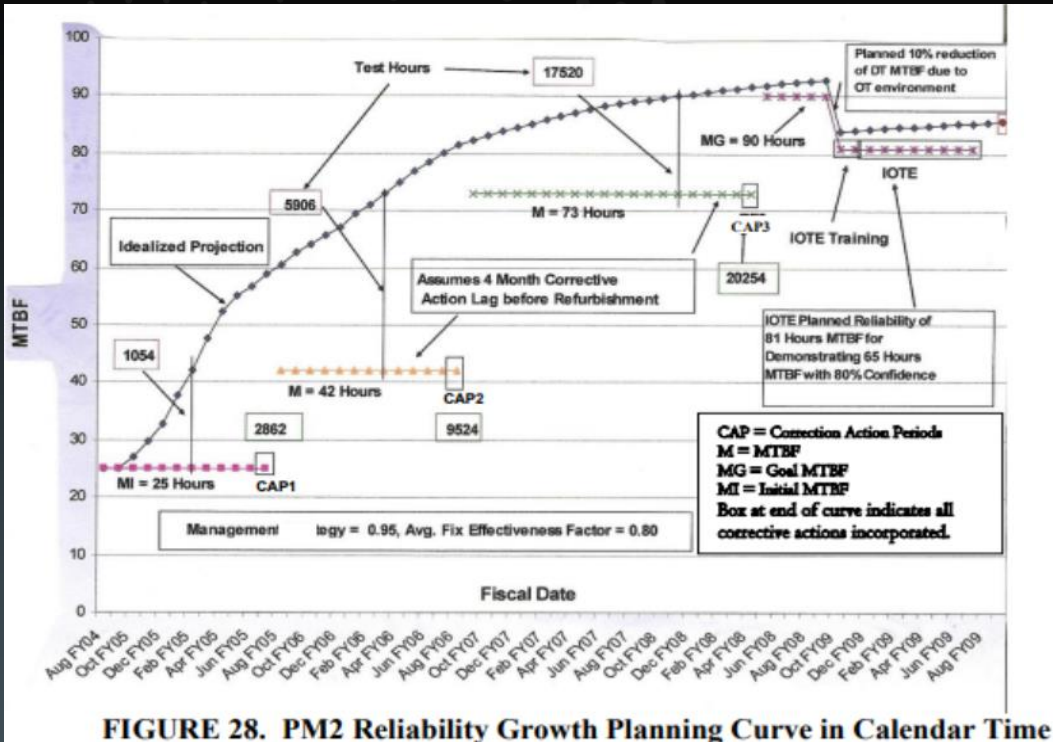
PM2 예_계속

[PM2 Test Profile Inputs]

Test Phase	Mission Time	Cum. Test Time	CAP(국면 끝에)	CA Lag Time	Cum. Time-Lag
	5,140	5,140	Yes	2,880	2,270
	7,095	12,235	Yes	2,880	9,355
DT	7,765	20,000	Yes	2,880	17,120
IOT&E	4,000	24,000	Yes	-	24,000
IOT&E Training Test Time				1,440(2개월)	
IOT Phase Test Time				6,000hrs	

[모수(Parameter) 설정]

- 총 시험 기간(T) = 24,000hrs
- 요구 MTBF(M_R) = 65hrs
- 초기 MTBF(M_I) = 25hrs
- MS(Management Strategy) = 0.95
- Average FEF = 0.8
- IOT Test Length = 6,000hrs
- IOT LCB 신뢰 수준 = 0.80
- DT to IOT 열화계수 = 0.1



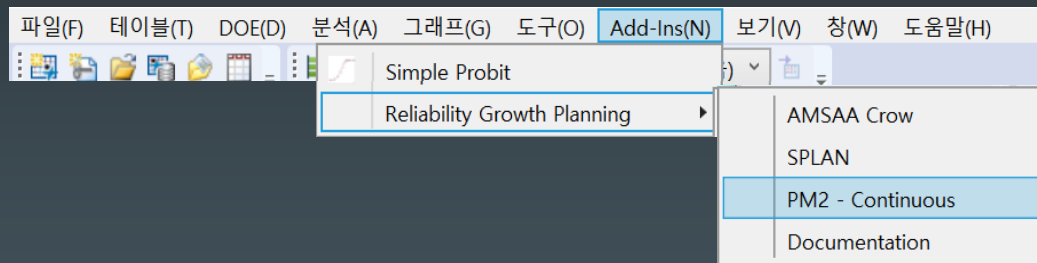
‘개선 조치’는 주로 CAP에서 이뤄지고 이때문에 ‘MTBF 도약’도 CAP이 끝나는 시점에 형성됨. 그러나 ‘시험 국면’ 중 ‘개선 조치’가 이행되면 그 시점에 ‘도약’이 관찰될 것임. 그림 경우 수평선의 MTBF는 국면 중 ‘개선 조치’가 없었음을 나타냄.

KOREA 2020

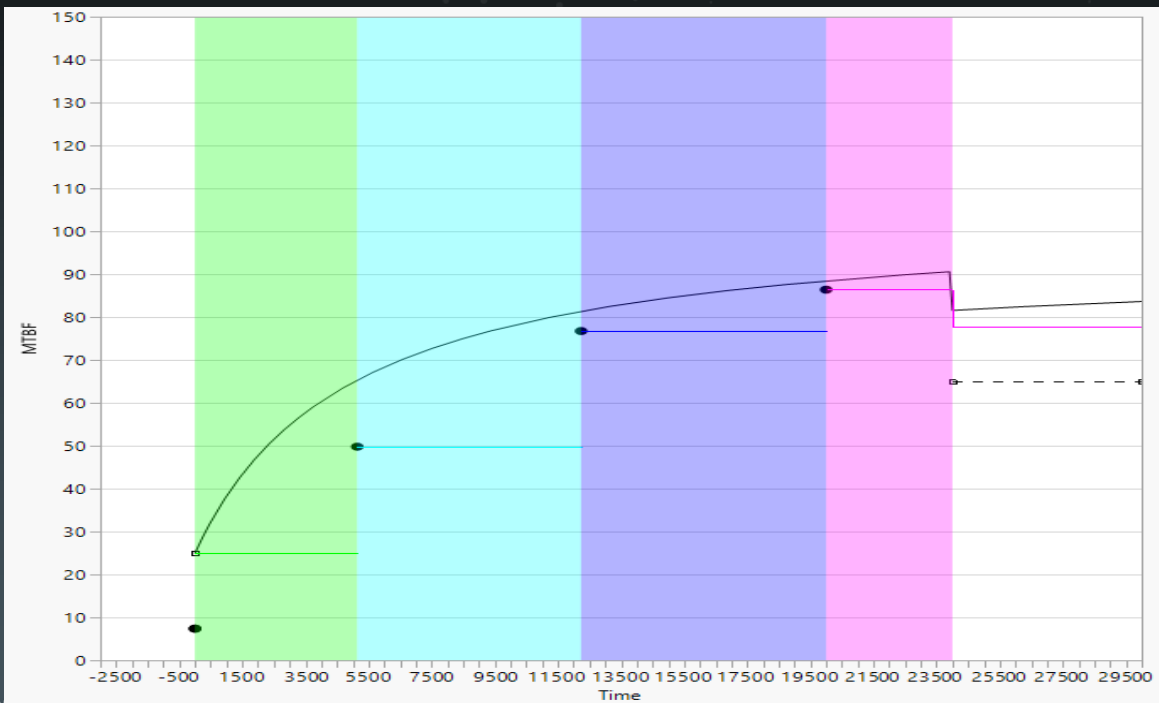
PM2 JMP 구현 예

[JMP 메뉴]

'www.jmp.com'에 접속해 'Community Home'에서 "Reliability Growth Planning"으로 검색하면 첫 번째 목록에 「MIL-HDBK-189C」의 방식을 적용한 'Add-ins'이 나옴. 이것을 설치하면 JMP 메뉴의 'Add-ins(N)'에 기능이 다음과 같이 포함됨.



PM2 JMP 구현 예 _계속

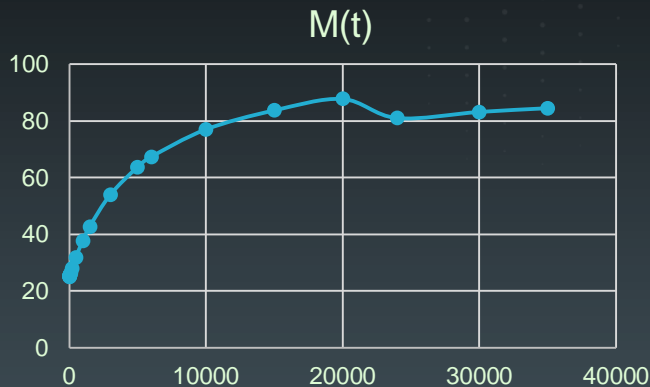


	Value	Range
Developmental Testing Duration	24000	
Required MTBF	65	
Initial MTBF	25	
Management Strategy	0.95	(0,1)
Average FEF	0.8	(0,1)
IOT Test Length	6000	
Confidence Level for IOT LCB	0.8	(0,1)
DT to IOT Degradation Factor	0.1	(0,1)

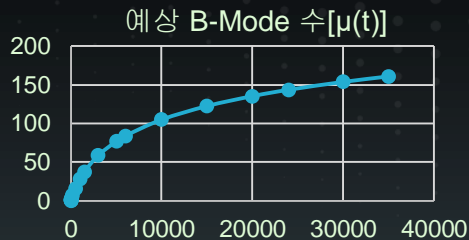
Correction Action Periods

CAP	MTBF	Duration	Corrective Action Lag
CAP 1	25	5140	
CAP 2	47.2347	7095	2880
CAP 3	73.9115	7765	2880
CAP 4	86.4011	4000	0

PM2 산출물 _계속

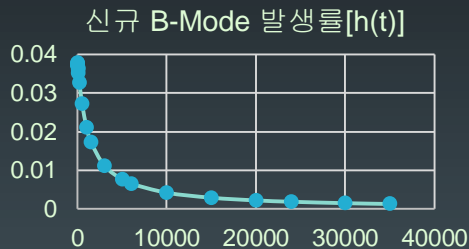


$$M(t) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda_A + (1 - \mu_d) \times \left(\lambda_B - \frac{\lambda_B}{1 + \beta t} \right) + \frac{\lambda_B}{1 + \beta t}}, & t \leq T \\ \frac{1 - d}{\lambda_A + (1 - \mu_d) \times \left(\lambda_B - \frac{\lambda_B}{1 + \beta t} \right) + \frac{\lambda_B}{1 + \beta t}}, & t \geq T \end{cases}$$



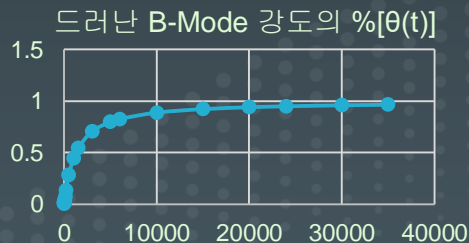
시험 중 언제라도 드러날 수 있는 'B-모드'의 예상 개수.

$$\mu(t) \equiv \left(\frac{\lambda_B}{\beta} \right) \cdot \ln(1 + \beta t)$$



새로운 B-모드의 발생률이며, 예상대로 시험 진행에 따라 발견될 새로운 B-모드가 점점 줄어드는 감소 함수가 됨.

$$h(t) \equiv \frac{\lambda_B}{1 + \beta t}$$



시험 중 임의 시점에서 드러나는 전체 시스템 B-모드 고장 강도의 예상 비율. 점증적으로 '1'에 접근하는 증가 곡선임.

$$\theta(t) \equiv \frac{\beta t}{1 + \beta t}$$

KOREA 2020

KOREA 2020

DISCOVERY
SUMMIT

ONLINE

