

Telcordia SR-332 Issue 2를 이용한 신뢰성 예측 Reliability Prediction using Telcordia SR-332 Issue 2

이덕규† 심중호*
Duck-Kyu Lee Jung-Ho Shim

ABSTRACT

Wide range of methodology of reliability prediction for system exists. For railway field, MIL-HDBK-217F, which has not been revised since early in 1990, is used for reliability prediction if historical data is not available. Since this standard has been published, quality and performance of electronic products have been improved rapidly and various kinds of items have been released, however new versions of items could not be released because the prediction standard could not follow up the speed of the production. Thus, this thesis introduces Telcordia SR-332 Issue 2 and would like to compare and analyze the result from MIL-HDBK-217F together with some cases we performed.

1. 서론

시스템의 신뢰성을 예측하는데 많은 방법론이 존재한다. 철도에서는 이력 정보가 없을 때 MIL-HDBK-217F를 사용하여 예측을 하는데, 이 규격은 1990년대 중반 이후로는 개정이 안 되고 있다. 이 규격이 출시된 이후 전자 부품은 급속하게 품질 및 성능이 좋아졌고 종류도 다양하게 출시되었는데 예측 규격은 그 속도를 반영하지 못하여 추후 버전이 생성되지 못하고 있다. 이를 보완하고 여러 가지 모델 및 가속수명 부품 데이터를 적용해서 AT&T 연구소에서 자체 품질평가용으로 개발된 Bellcore TR-332가 1997년에 출시되었고, 부분적으로 수정된 것이 2001년 버전 Telcordia SR-332 Issue 1 규격이다. 이후 2006년에는 Telcordia SR-332 Issue 2 규격을 출시하였고, 현재 Issue 3를 진행하고 있다. Telcordia SR-332는 국가나 국제규격이 아닌 업체규격이기는 하지만, 타 규격에 비해 실무에서는 더 많이 사용되고 있어 세계적으로 인정 받는 규격이다. 철도 RAMS 규격인 IEC 62278의 부속서 B에는 신뢰성 예측규격으로 MIL-HDBK-217을 제시하고 있지만, 위와 같은 문제로 최신 부품 및 모델정보를 반영하는 신규규격으로 예측해야 할 필요를 가지고 있다. 또한 RAMS에서 우선시 되는 활동에서 현실을 반영하지 못한 데이터가 산출 된다면, 전체적인 데이터가 무의미해지기 때문이다. 이에 본 논문은 Telcordia SR-332 Issue 2의 규격을 소개 및 정리하고, 당사에서 진행하는 소단위 프로젝트의 사례를 통해 MIL-HDBK-217F와 결과를 분석해보고자 한다.

2. 본론

2.1 Telcordia SR-332 Issue 2 소개

본 규격은 최신 정보를 바탕으로 통신관련 및 기타 전자 장비의 신뢰성을 예측하고 서비스 제공자들의 준수사항에 대한 지침서를 마련하고자 Telcordia에서 2006년 9월에 개정된 것으로 이를 위해, 많은

† 책임저자 : 비회원, 에스지에스테스코 시험인증센터 차장
E-mail : mario.lee@sgs.com
TEL : (031)240-6611 FAX : (031)240-6629
* 종신회원, 에스지에스테스코 시험인증센터장

관련 전문가(Alcatel USA, Cisco System, Extreme Networks, Intel, JSD Uniphase, Lucent Technologies, Motorola)들이 참여했다.

Telcordia SR-332 Issue 2 (이하 SR-332 Issue 2라 한다)의 구성은 다음과 같다.

Section 1은 사전 발행문서(Issue 1)에 비해 변경된 점을 소개한다. Section 2은 Telcordia 접근법에 따라, 신뢰성 예측의 목적 및 방법의 개요를 기술한다. Section 3 과 4는 Device에 대한 신뢰성 예측 방법을 설명한다. Section 5와 6은 각 Unit 과 시스템 신뢰성 예측의 방법을 설명한다. Section 7은 Device 와 Unit에 대한 신뢰성 예측의 상위 신뢰수준(Upper Confidence Level)을 추정하는 방법을 제공한다. Section 8은 Device의 일반적인 파라메타 값을 설명하고, Section 9는 고장률에 영향을 미치는 Factor를 설명한다. Appendix에는 이 규격에서 추정된 고장률과 여러 신뢰성 척도와의 관계, 참조문서, 용어정의 를 설명한다.

2.1.1 변경사항

- 1) Section 2는 절차의 이해를 돕기 위해 추가적인 문구와 구성이 재 조직화 되었다.
- 2) Issue 1에서 사용하지 않았던 Method I, II, III 라는 용어를 본 절차의 사용자에게 참조 목적으로 회복시켰다.
- 3) Section 4에서는 Issue 1의 초년 승수(First Year Multiplier)라는 용어를 초기 수명인자(Early Life Factor)로 변경하였다.
- 4) Section 7은 새롭게 추가되었는데, 고장률 예측의 상위 신뢰수준(UCL)을 계산하기 위한 기법을 제공한다. Issue 1에서는 일반적인 상위 신뢰수준을 고정 90%로 정하였지만 Issue 2에서는 어떤 요구된 신뢰수준에 따라 변경 추정이 가능하도록 제공한다.
- 5) Section 8의 일반 Device 고장률은 새로운 데이터에 기초하여 개정되었다. 몇몇 Device가 추가되었으며 기존에 복잡한 범위도 확장되었다. 추가부품은 이데릭체, 변경값은 굵은체로 표현했다. Device의 고장률은 평균 고장률과 표준편차 고장률로 구분하였다.
- 6) Issue 1에서 일부 표로 정리된 부분인 고장률에 영향을 주는 여러 가지 요인(온도, 전기적 스트레스, 품질, 환경)은 별도 Section 9로 분리되었다.
- 7) Section 9의 전기적 스트레스 파라메타는 퍼센트 보다 소수점으로 표현되었다.
- 8) 품질 Factor Level III 는 공학적인 판단에 근거해서 0.9에서 0.8로 감소되었다.

2.1.2 가정 및 적용 사항

- 1) 전자 시스템을 계층적 어셈블리로 구분한다. 시스템은 Device(Component 또는 부품)로 이루어진 Unit들로 구성되며 이러한 3단계를 적용한다.
- 2) 고장은 일반적인 하드웨어 고장을 다룬다. 단, 순간적인 고장, 제조 프로세스 에러, 소프트웨어 고장, 오류 절차로 인한 고장은 배제된다.
- 3) SR-332는 타 규격에 비해 Bath tub 곡선의 초기고장을 적용하였다. Early life에서의 고장률은 높고 급속하게 감소한다. 이 부분은 와이블 분포를 적용한다. 운영의 첫 10000시간이 이 기간이다. 부품 제작자는 다양한 스크리닝 절차를 사용하여 초년 고장률을 낮추도록 권고하고 있다. 그런 절차는 온도 사이클, 전압 스트레스, 진동시험이며, 이것은 출하되어 서비스되기 전에 수행되어야 한다. Telcorida는 번인(Burn-in)시험을 권장한다. 초기 고장률에 번인의 결과를 삽입하여 더 정확한 결과를 산출할 수가 있다
- 4) Bath tub의 정상상태(Steady-state)고장은 일정 고장률을 적용한다. 이 부분은 지수분포를 따른다. 전자 장비는 운영의 첫째 이후 기간으로 가정한다. 그러나 마모고장 구간은 20년 이상으로 본 규격에서는 적용하지 않는다. 따라서 고장률을 계산하는데 초기 수명과 정상상태로 구분한다
- 5) 정상상태를 계산하는데 Method를 구분한다. Method I은 MIL-HDBK-217F와 같은 Black Box 또는

Part Count 방법이다. Method II는 Method I에 실험데이터를 통합시킨다. Method III는 Method I에 필드데이터를 통합시킨다.

6) 고장률에 영향을 미치는 인자는 동작온도, 전기적 스트레스, 품질, 환경조건 의 4가지이다. 동작온도는 30 ~ 65 °C 범위에서 0.4 ~ 6.8 까지의 값을 가진다. 전기적 스트레스는 10 ~ 90 %의 스트레스에서 0.1 ~ 10.6 의 값을 가진다. 품질은 0.8 ~ 6 까지의 값을 갖는다. 환경조건은 1 ~ 15의 값을 갖는다.

7) Unit 고장률에는 Wire, Cable, Solder Connection, Wire Wrap Connection, Printed Wiring Board는 배제된다. 그리고 유해물질 사용의 제한 (RoHS), 표면 실장형 부품(SMT), 가용성 분석에 있어 서비스에 영향을 주지 않는 것은 제외하는데 대체할 데이터가 존재 할 시에는 삽입 가능하다.

8) 상위 신뢰수준(UCL)은 기존 90%인 보수적인 고정값이 아닌 요구사항(예, 80%, 95% UCL)에 맞게 변경 가능하도록 하였다. 90%의 UCL의 의미는 예측을 통한 최종 고장률 값이 실제고장률 보다 높을 확률이 90%라는 표현이다. 요구사항 UCL을 적용하기 위해 고장률을 평균과 표준편차로 구분하고 감마 분포를 적용한다. 만약 UCL 90% 이면 기존과 동일하게 평균고장률만 고려하면 된다.

2.1.3 모델 분석

정상상태 고장률에 대한 모델은 아래 표 1과 같이 정리하였다.

표 1. 정상상태 고장률 예측모델

정상상태 고장률 예측 모델		Device	Unit	System
Black Box/Part Count (Method I)		$\lambda_{BB_i} = \lambda_{G_i} \pi_{Q_i} \pi_{S_i} \pi_{T_i}$	$\lambda_{PC} = \pi_E \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{SS_i}$	$\lambda_{SYS} = \sum_{j=1}^M \lambda_{SS(j)}$
실험 데이터와 통합	Method II	$\lambda_{SS_i} = \frac{\lambda_{BB_i} (2+n)}{A}$	$\lambda_{SS} = \frac{2+n}{A}$	
	사건 빈인이 없는 경우	$T_i \leq 10000 h$ $A = 2 + 4 \times 10^{-6} \times N_0 T_1^{0.25} \lambda_{G_i} \pi_{Q_i}$	$T_i \leq 10000 h$ $A = \frac{2}{\lambda_{PC}} + \frac{4 \times N_0 T_1^{0.25}}{\pi_E \pi T_1^{0.6}}$	
		$T_i > 10000 h$ $A = 2 + 10^{-6} \times N_0 (T_1 + 30000) \lambda_{G_i} \pi_{Q_i}$	$T_i > 10000 h$ $A = \frac{2}{\lambda_{PC}} + \frac{N_0 (T_1 + 30000)}{\pi_E \pi T_1^{0.9}}$	
사건 빈인이 있는 경우	$A = 2 + 4 \times 10^{-6} \times N_0 W \lambda_{G_i} \pi_{Q_i}$	$A = \frac{2}{\lambda_{PC}} + \frac{4 \times N_0 W}{\pi_E \pi T_1^{0.6}}$		
필드데이터와 통합 (Method III)		$\lambda_{SS_i} = \frac{2+f}{\frac{2}{\lambda_{BB_i}} + \frac{Vt\pi_{E_c}}{10^9}}$	$\lambda_{SS} = \frac{2+f}{\frac{2}{\lambda_{PC}} + \frac{Vt}{10^9}}$	
λ_{G_i} = 기본 고장률, π_{Q_i} = 품질 요소, π_{S_i} = 전기적 스트레스 요소, π_{T_i} = 온도 요소, π_{E_i} = 환경 요소, N_i = 수량, f = 필드 고장 횟수, T_1 = 실패 테스트 시간, n = 실험테스트 결과 부품고장 횟수, V = 대상품과 모사 부품사이 차이점에 대한 수정인자				

초기 수명인자 예측을 위한 모델은 아래 표 2와 같이 정리하였다.

표 2. 초기 수명인자 예측모델

초기 수명인자 예측 모델	Device	Unit	System
변인이 제한적이거나 없는 경우 (1시간이하)	$1.14 \geq \pi_{T_i} \pi_{S_i}$ 이면 $\pi_{EL_i} = \frac{4}{(\pi_{T_i} \pi_{S_i})^{0.75}}$	$\pi_{EL_i} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \pi_{EL_i}}{\lambda_{PC} / \pi_E}$	$\pi_{EL_i} = \frac{\sum_{j=1}^M \lambda_{SS(j)} \pi_{EL(j)}}{\lambda_{SYS}}$
	$\pi_{EL_i} = 1 + \frac{3}{\pi_{T_i} \pi_{S_i}}$		
변인이 광범위하게 있는 경우	$t_{e_i} = \frac{A_{b,d} t_{b,d} + A_{b,u} t_{b,u} + A_{b,s} t_{b,s}}{A_{o,p} \pi_{S_i}}$ $X = t_{e_i} \pi_{T_i} \pi_{S_i}$ $Y = X + 8760 \times \pi_{T_i} \pi_{S_i}$		
	$X \geq 10000$ $\pi_{EL_i} = 1$ $Y \leq 10000$ $\pi_{EL_i} = \frac{0.46 \times [Y^{0.25} - X^{0.25}]}{\pi_{T_i} \pi_{S_i}}$		
	위에 해당이 없으면 $\pi_{EL_i} = \frac{1.14}{\pi_{T_i} \pi_{S_i}} \left[\frac{X}{10000} - 4 \left[\frac{X}{10000} \right]^{0.25} + 3 \right] + 1$		
$A_{b,d}$ = device 변인 온도에 따른 아레니우스 가속인자, $t_{b,d}$ = device 변인 시간, $A_{b,u}$ = unit 변인 온도에 따른 아레니우스 가속인자, $t_{b,u}$ = unit 변인 시간 $A_{b,s}$ = system 변인 온도에 따른 아레니우스 가속인자, $t_{b,s}$ = system 변인 시간 $A_{o,p}$ = 정상작동 온도에 따른 온도 가속인자(온도를 모르면 40°C 가정해서 기본값 1사용) π_{EL} = 초기 수명인자			

SR-332 Issue 2에서 처음 소개된 상위 신뢰수준 변경 결정방법은 다음과 같다.

고장률은 감마분포를 따르는 것으로 가정한다. Unit에 대한 평균 고장률과 표준편차가 주어지면, 감마분포로 형상모수(shape parameter)와 척도모수(scale parameter)는 다음과 같다.

$$\text{Shape } k = (\lambda/\sigma)^2$$

$$\text{Scale } \theta = \sigma^2/\lambda$$

고장률에 대한 P% 상위 신뢰수준은 형상모수와 척도모수와 함께 감마분포의 P% 분위수이다.

$$\lambda_{P\%UCL} = G^{-1}(P/100, k, \theta)$$

G^{-1} 은 역누적분포함수 이다. 형수모수가 100보다 크다면 정규분포에 따라 계산할 수도 있다.

$$\lambda_{P\%UCL} = N^{-1}(P/100, \lambda, \sigma)$$

역누적분포함수는 간단하게 Excel을 이용해서 계산할 수 있다. (예, GAMMAINV(Probability, alpha, beta))

2.1.4 Device 고장률 변경 사항

앞서 설명한대로 많은 전문가들에 의해 Device의 기본고장률 값이 Issue 1에 비해 아래 표 3과 같이 변경사항을 정리하였다..

표 3. Divece군별 변경 사항

Divece군	총갯수	변경	신규	Divece군	총갯수	변경	신규
Capacitor	20	12	2	Fiber Optic com~	40	35	29
Connector	7	5		Opto	9	3	
Diode	16	8		Relay	7	3	
Inductor	9	8		Fixed Resistor	10	3	
Analog IC	9	0		Variable Resistor	14	1	
Digital IC	48	34		Resistor Network	2	0	
RAM	63	21		Switch	3	1	
DRAM	25	25		Thermistor	4	0	
ROM	51	17		Transistor	17	4	
Microprocessor	31	3		Miscellaneous	30	16	6
Microwave	14	6	3	총합계	429	205	40

총부품수 대비 48%가 변경되었고, 10%는 신규 추가되었다.

2.2 사례 분석

본 사례에 사용된 대상은 승강장 스크린 도어 시스템(PSD)로 RAMS 활동을 요구하는 사업자별 정량적 신뢰성 목표치는 아래 표 4와 같다.

표 4. 사업자별 PSD의 MTBF 정량적 목표치

PSD 사업자	MTBF 목표치
철도공사	3600시간 기준 신뢰도 90%이상
철도시설공단	Mi 등급 2,789 hr

해당 PSD는 아래 표 5에서와 같이 구성된다. 분석을 용이하게 하기 위해 사용되는 신뢰성 예측도구는 Relx 2009 이다.

동작온도, 품질등급, 전기적 스트레스인자는 모두 기본값으로 하고, 환경인자는 Ground, Fixed Uncontrolled를 사용하였다.

표 5. PSD의 규격별 MTBF 예측치

구성	MIL-HDBK-217F	Telcordia SR-332 Issue 2
PSD 전기신호시스템	1,770 hr	8,164 hr
종합제어반	5,220 hr	34,750 hr
구동부	12,300 hr	57,250 hr
승강장 주제어장치	6,820 hr	37,400 hr
전원공급장치	48,100 hr	76,500 hr
조작반 및 정보반	11,300 hr	45,810 hr
표시부	27,700 hr	68,490 hr

상기 표의 결과로부터 MIL-HDBK-217F는 사업자 모두의 신뢰성 목표치를 달성하지 못한다. 그 이유는 수많은 부품수와 그에 상응하는 높은 고장률 때문이다. 그러나 신규규격에서는 고장률이 최신정보를 바탕으로 하향되어서 한 사업자의 전체 목표치는 달성한다. 또한 개별 구성 item으로 구분해 본다면 다른 사업자의 목표치도 달성할 수 있다. 이러한 SR-332 Issue 2의 결과를 바탕으로 아래와 같이 가정하여 PSD 전체 시스템의 필드데이터를 삽입해 보면 아래 표 6과 같다.

표 6. 필드 데이터를 반영한 MTBF

필드 시간	고장횟수	MTBF
1000	0	5138
1000	1	3669
1000	2	2882

위의 분석은 UCL이 기본 90%일 때 이다. UCL을 구분하기 위해서는 표준편차를 사용하여 척도모수를 알아야 하는데 본 논문에서는 따로 정리하지는 않았지만 사용하는 모델은 표 1에서 정리한 정상상태 고장률을 표준편차 고장률로 변경하면 된다. 도구를 이용한 UCL의 변경에 따른 분석은 아래 표 7과 같다. 통계적으로 UCL 50%는 실제 MTBF가 8720 시간보다 높을 확률이 50%라는 것이다.

표 7. UCL 변경에 따른 MTBF

UCL	MTBF(hr)
50	8,720
60	8,569
70	8,430
80	8,294
90	8,164
95	8,015

3. 결론

RAMS 활동에서 정량적인 분석의 기초가 되는 MTBF 예측은 MIL-HDBK-217F의 데이터를 주로 이용하는데 현재의 부품상태를 반영하기에는 다소 높은 고장률 데이터를 가지고 있다. 그래서 많은 부품으로 구성되어 있는 제품의 경우에 상대적으로 낮은 신뢰성 목표치를 달성하기가 어렵다. 일찍이 가진 이나, 타 산업에서는 신규규격으로 전환하여 예측을 요구하고 있으며, 여러 관련 시험은 최신규격을 적용하는 것이 기본이다. Telcordia SR-332는 2001년 재정이후 1번의 개정을 했으며 현재 2번째 개정 중에 있다. 최신 정보를 최대한 반영한 규격이다. SR-332 Issue 2는 초기 수명과 번인, 실험, 필드데이터가 첨가 가능하고 UCL에 따른 분석이 가능하다. 다양한 모델을 적용하고 많은 데이터를 첨가한다면 실제 데이터에 유사하게 예측이 된다. 정량적인 분석을 통해 전체 신뢰성 및 안전성 관리를 하는 철도 RAMS를 위해서 초기부터 정확한 분석이 이뤄 지려면 신규규격도 함께 고려해야 할 필요가 있다. 본 논문은 신규규격 Telcordia SR-332 Issue 2를 간단하게 정리하였고, 구 규격과의 산출결과를 비교해 보았다. 이후에는 실제 고장 데이터를 수집하여 신규규격 예측 데이터와의 정확성 및 상관관계에 대해 연구해 보고자 한다.

참고문헌

1. 이덕규, “Telcordia SR-332를 이용한 가전제품 신뢰도 예측” 한국신뢰성학회논문집, 5권, 4호, pp.427-437, 2005.
2. Telcordia Technologies Special Report SR-332 Issue 2, September 2006, “Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment,”
3. Telcordia Technologies Special Report SR-332 Issue 1, 2001, “Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment,”
4. MIL-HDBK-217F NOTICE 2, February 1995, “Reliability Prediction of Electronic Equipment,”