

217PlusTM 시스템 모형의 민감도

전 태 보

강원대학교 산업공학과

Email: tbjeon@kangwon.ac.kr

Abstract

In this study, we performed sensitivity study of the 217PlusTM system model to various parameters. Specific attention was put to logistics model and its behavior has been examined in terms of non-component failure causes. We first briefly explained the 217PlusTM methodology with system level failure rate evaluation. We then applied experimental designs with several failure causes as factors. We used an orthogonal array with three levels of each parameter. Our results indicate that cannot duplicate, induced, and wear-out causes have dominant effects on the system failures and design, parts, and system management have much less but a little strong effects. The results in this study not only figure out the behavior of the predicted failure rate as functions of failure causes but provide meaningful guidelines for practical applications.

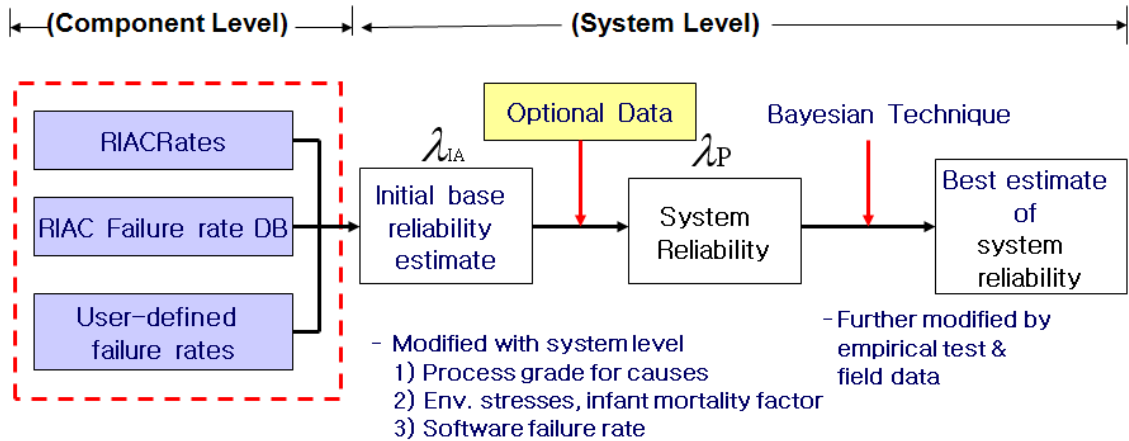
Key Words: reliability prediction, 217PlusTM, logistics model, failure cause, process grade

I. 서론

MIL-HDBK-217^[2]은 1960년대 개발된 이래 다른 신뢰성 모형들의 근간이 되었으며, 전자시스템의 신뢰도 예측에 세계적으로 널리 사용되어 왔다. 불행히도 보수적인 결과 산출, 정확성 부족, 그리고 신기술의 불고려 등의 비판과 함께 1995년 이후 개정되지 않았다. 최근 미 국방부의 RIAC (Reliability Information Analysis Center)는 새로운 신뢰도 예측 모형인 217Plus^{TM[1,3,4]} (이하 217-Plus)을 개발하였으며 전자시스템의 신뢰도 예측에 기존의 MIL-HDBK-217을 대체한다고 공식적으로 선언하였다. 본 연구의 주된 목적은 217-Plus 모형에 대한 분석을 수행함이다. 특별히, 217-Plus 방법론 중 시스템 수준의 로지스틱 (logistics) 모형을 대상으로 하며 여러 비부품 고장요인들을 인자들로 고려하며 이들을 중심으로 모형의 변화를 고찰하는 민감도 분석을 수행하고자 한다. 먼저, 217-Plus 방법론의 고장률 산출 과정을 간단히 고찰하며 로지스틱 모형에 대한 내용을 설명한다. 여러 인자들이 수반되는 관계로 체계적인 실험계획적 방법을 고려하며 이중 Taguchi의 직교배열 (orthogonal arrays)^[5,6]을 적용하고자 한다. 본 연구의 결과가 모형에 미치는 인자들의 영향에 대한 명확한 대답을 제공할 뿐 아니라 신뢰성과 관련한 의사결정 차원의 좋은 안내가 될 것이다.

II. 217-Plus 시스템 고장률 모형

그림 1은 217-Plus 방법론의 전반적인 구조와 신뢰도 예측 절차를 도시한다. 그림에서 보듯이 전체적으로 좌측의 부품 부분과 우측의 시스템 부분으로 구성된다. 첫 단계는 시스템내의 구성품들에 대한 고장률 산출이다. 이를 위하여 217-Plus에서 제공하는 12 종류의 부품모형 (component models) (RIACRates라 부름), RIAC에서 유지, 관리, 제공되는 EPRD (Electronic Parts Reliability Data)라 불리는 경험적인 고장률 데이터 베이스, 그리고/또는 사용자 정의 데이터나 모형 등을 이용할 수 있다. 모든 구성품들의 고장률을 평가한 후, 시스템 고장률의 초기 평가치 (initial assessment)인 λ_{IA} 를 산출한다.



<그림 1> Procedure for System Failure Rate Evaluation

시스템 고장률 예측에 있어 λ_{IA} 산출에 추가로 여러 비부품 고장요인들이 고려되며 그들의 영향을 그림에 표시된 바와 같이 선택적 데이터(optional data)를 이용하여 평가한다. 결과되는 고장률(λ_P)는 식 (1)을 통하여 얻어진다.

$$\lambda_P = \lambda_{IA} (\Pi_P \Pi_{IM} \Pi_E + \Pi_D \Pi_G + \Pi_M \Pi_{IM} \Pi_E \Pi_G + \Pi_S \Pi_G + \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W) + \lambda_{SW} \quad (1)$$

단, λ_P - 시스템의 예측 고장률

λ_{IA} - 구성품 고장률을 근거로한 시스템 고장률의 초기 평가치

Π_P - 부품 프로세스 (part process) 팩터/승수 (factor/multiplier)

Π_D - 디자인 프로세스 (design process) 팩터

Π_M - 제조 (manufacturing process) 팩터

Π_S - 시스템 관리 프로세스 (system management process) 팩터

Π_I - 유도 프로세스 (induced process) 팩터

Π_N - 비반복 프로세스 (CND (cannot duplicate) process) 팩터

Π_W - 마모 프로세스 (wear-out process) 팩터

Π_{IM} - 초기고장 (infant mortality) 팩터

Π_E - 환경 (environmental) 팩터

Π_G - 신뢰도 성장 (reliability growth) 팩터

λ_{SW} - 소프트웨어 고장률

이 식에서 공통요인들로는 부품, 설계, 제조, 시스템 관리, 유도, 비반복, 그리고 마모 등을 들 수 있다. 반면, 초기고장, 환경, 그리고 신뢰도 성장 등 기타 요인들은 위의 공통요인들 중 일부에 선택적으로 관련된다. 식 (1)은 로지스틱(logistics model)이라 불리며, 이 식에서 유도 팩터(Π_I)와 비반복 팩터(Π_N)를 제외한 경우 순수 시스템 고장률을 반영하는 고유모형(inherent model)이라 한다. 본 연구에서는 로지스틱 모형을 분석 대상으로 고려한다. 217-Plus의 방법론 및 모형에 대한 상세 내용은 Denson^[3]과 전태보^[1]를 참고할 수 있다.

217-Plus 방법론의 한 가지 전제는 위에서 언급한 공통요인들인 시스템 수준의 고장요인 (failure cause)들에 기인하는 고장률들을 평가할 수 있다는 것이다. 시스템 수준의 고장요인들은 단순히 하드웨어 문제 뿐 아니라 비 부품 고장들까지 포함할 것이다. 특별히 시스템 수준 요인들의 팩터 값들, Π_P , Π_D , Π_M , Π_S , Π_I , Π_N , 그리고 Π_W 은 해당 요인과 관련한 프로세스의 평가를 통하여 구한다. 평가 결과로 얻어지는 프로세스 등급 (grade)은 조직이 해당 요인에 기인한 고장의 발생을 완화하기 위해 취해온 노력의 수준과 일치된다. 프로세스 평가는 해당 요인별로 수행되며 각각 일련의 질문들에 답변하고 이들에 대한 점수를 합산한 뒤 등급화된다. 해당 요인과 관련하여 질문들과 질문별 가중치를 중심으로 최종적으로 식 (2)를 통하여 팩터 값을 산출한다.

$$\Pi_i = \beta_i \times (-\ln R_i)^{\frac{1}{\alpha_i}} \quad (2)$$

단, i - 고장요인 ($i=P$ (제품), D (설계), M (제조)... 등)

R_i - 고장요인 i 에 대한 등급결과

α_i - 고장요인 i 에 대한 형상모수 (shape parameter)

β_i - 고장요인 i 에 대한 특성비율 (characteristic percentage)

식 (2)는 요인별로 적용되며 α_i , β_i 는 해당 요인의 와이블 모수들이다.

III. 217-Plus 시스템 모형의 민감도

3.1 분석을 위한 설계

실험 설계를 위한 첫째 고려는 적절한 수행평가 기준의 선정이며 이는 고장요인에 관한 시스템 프로세스 특성들을 잘 반영하는 것이어야 한다. 이 목적을 위하여 식 (1)은 다음과 같이 표현 가능하다. 즉,

$$\lambda_P = \lambda_{IA} \cdot f(II) + \lambda_{SW} \tag{3}$$

이 식에서 보듯이 λ_{IA} 에 추가적으로 미치는 비부품 요인들의 통합 영향이 $f(II)$ 로 표현되었다. 소프트웨어 고장률을 무시할 수 있다는 가정하에 $f(II)$ 는 초기 고장률 평가치에 대한 예측 고장률의 비이다. 217-Plus에 있어 평균 수준의 산업체 프로세스 경우 $f(II)$ 가 1이 되도록 설계되어 있다. $f(II)$ 가 큰 값을 갖는 경우 조직이 고장을 줄이기 위해 투입한 노력의 수준이 낮음을, 반대로 작은 값을 가질 경우 노력이 큼을 반영한다 할 수 있다. 즉, 고장요인 값의 변화에 대한 $f(II)$ 의 변화 특성을 분석함으로써 문제에 대한 답을 얻을 수 있으며 적절한 평가 기준이라 할 수 있다.

분석을 위하여 앞에 언급한 7 요인들을 인자(factor)¹⁾로 선정하였으며 요인별 적절한 등급 영역을 고려하였다. 217-Plus에서 프로세스 등급(식 (2)의 R_i) 0.5가 평균 산업체 수준으로 간주되므로 이 값을 중심으로 상하의 값들을 선정하였으며 표 1의 도시와 같이 3 수준 (0.3, 0.5, 0.7)을 가정하였다. 실제의 인자 수준 값들은 이들 등급과 관련한 팩터 (II) 값들이다. 예를 들어, 설계 인자의 경우 수준 1 (등급 0.3)은 $\Pi_D=0.134$ 임을 의미하며, 수준 3의 팩터 값 0.052는 등급 0.7로부터 얻어진다. 표의 팩터 값들은 와이블 분포나 217-Plus 핸드북^[3]으로부터 구할 수 있다.

<표 1> Factor levels and their values

인자 수준(R)	P	M	D	S	W	I	N
1 (0.3)	0.317	0.234	0.134	0.079	0.137	0.185	0.293
2 (0.5)	0.225	0.132	0.087	0.033	0.098	0.131	0.219
3 (0.7)	0.149	0.066	0.052	0.012	0.066	0.086	0.155

다음으로, 나머지 3인자들 - 초기고장, 환경, 신뢰도 성장 -의 고려이다. 이들 역시 주 인자(main factor)로 고려할 수 있겠으나 본 연구의 주된 목적이 공통요인들의 영향을 분석함하므로 이들은 배제되었다. 대신, 이들이 공통 요인들에 선택적으로 관계되므로 잔차(residual) 인자들로 고려하였다. 이를 위하여 각각 등급 0.3과 0.7등 2 수준씩 총 8가지 조합을 외부배열(outer arrays)로 고려하였다. 최종적으로 선정된 Taguchi 직교배열(orthogonal array)은 $L_{18}(2^1 \times 3^7)^{[5,6]}$ 이다.

1) 본 논문에서 팩터(factor)는 2절의 217-Plus 모형에서는 승수(multiplier, II), 3절에서는 파라미터(parameter)의 의미로 사용된다.

3.2 실험결과 및 분석

$f(II)$ 의 변화특성을 검토하기 위해 선정된 인자들, 수준들, 그리고 직교배열에 근거하여 실험을 실시하였으며 각 실험 조합 당 8 개씩의 $f(II)$ 결과를 얻었다. 표 2가 전반적인 결과를 요약한다. 표의 마지막 열은 각 실험 조합당 계산한 8개 결과치들로부터 얻은 S/N (signal-to-noise)으로 특별히 식 (4)를 통하여 계산된다.

$$S/N = -10 \log\left(\frac{\sum_{i=1}^8 y_i^2}{8}\right), \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (4)$$

이 식에서 y_i 는 18 조합당 8 개씩의 계산 결과이다.

표 3과 그림 2는 각 인자 수준 당 계산된 S/N의 평균 반응(average response) 결과이고, 표 4는 표 2의 결과를 바탕으로 얻은 ANOVA (analysis of variance) 결과이다. 이들로부터 의미있는 결과들을 도출하였으며 다음과 같이 요약된다.

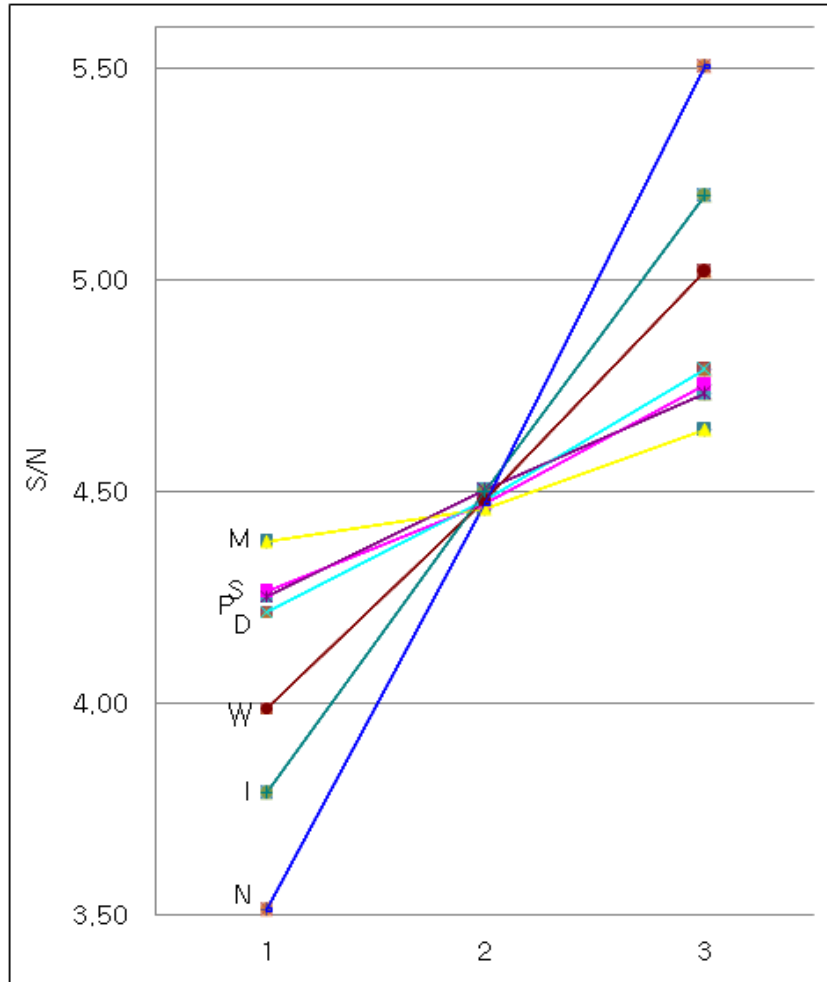
- (1) 표 3과 그림 2에서 보듯이 인자 수준이 증가 할수록 예외없이 S/N이 증가한다. 일반적으로 S/N은 큰 값을 가질수록 좋으며 높은 인자수준은 상대적으로 높은 프로세스 등급을 의미하므로 큰 S/N 값을 갖게될 것이다. 동시에 $f(II)$ 는 고장률의 초기 평가치를 기준으로 선택적 데이터를 통한 상대적 고장률의 증가를 나타내므로 $f(II)$ 의 감소는 훌륭한 시스템 프로세스를 통하여 얻어진다. 높은 인자 수준은 높은 프로세스 등급, 즉 낮은 $f(II)$ 값을 반영하므로 우리의 직관과 일치한다.
- (2) 인자들 중 N, I, W가 시스템 고장률에 지배적인 영향을 미치며, 이들 중 임의인자 수준변화에 대한 프로세스 등급의 변화는 큰 시스템 고장률 변화를 초래한다. 그림 2가 도시하듯 이들이 다른 인자들의 경우보다 큰 기울기를 가진다. 신뢰성 관련 의사결정 측면에서는 이들의 프로세스 개선을 위한 노력이 다른 것들에 비해 높은 우선순위를 가져야 함을 의미한다.
- (3) D, P, S는 시스템 고장률에 있어 전자들 보다 훨씬 적은 그러나 무시못할 영향을 미칠 수 있다는 결론이다. 여기서 시스템 관리(S)가 제품 신뢰성에 중요한 영향을 미친다는 점에 유의할 필요가 있다. 이는 시스템 차원의 의사결정 체계 및 기록유지, 기능간 교차나 종속성을 문서화 한 데이터 베이스 관리, 고장모드 및 영향 분석 체계, 고객과의 직접 대화를 위한 기술자 유지 등 시스템 관리 차원의 프로세스 기반이 제품(P)와 설계(D) 관련 프로세스 못지않게 시스템 신뢰도에 중요한 영향을 미친다는 점을 시사한다.
- (4) M은 그림 2의 기울기로 보듯이 고려된 영역내에서 인자들 중 가장 작은 영향을 미친다. 이는 제조 프로세스 개선을 위한 노력이 필요하고 바람직하나 투입된 노력에 대한 상대적인 등급 향상은 다른 인자들의 경우보다 작을 수 있음을 의미한다. 이의 주된 이유는 근래의 제조기술 수준이 매우 높기 때문이며 따라서 제조 프로세스 개선을 통한 한계 증가치가 매우 작다.

$\langle \mathbb{H} \ 2 \rangle$ Experimental results by orthogonal array $L_{18}(2^1 \times 3^7)$

Run	e	P	M	D	S	W	I	N	1	2	3	4	5	6	7	8	S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.7137	0.8074	0.7602	0.8651	0.7602	0.8651	0.8686	0.9997	1.5741
2	1	1	2	2	2	2	2	2	0.5161	0.5688	0.5589	0.6180	0.5589	0.6180	0.6587	0.7326	4.3340
3	1	1	3	3	3	3	3	3	0.3565	0.3845	0.3969	0.4281	0.3969	0.4281	0.4912	0.5298	7.3327
4	1	2	1	1	2	2	3	3	0.4157	0.4909	0.4511	0.5375	0.4511	0.5375	0.5337	0.6464	5.8059
5	1	2	2	2	3	3	1	1	0.5975	0.6419	0.6293	0.6800	0.6293	0.6800	0.7034	0.7688	3.5025
6	1	2	3	3	1	1	2	2	0.5483	0.6031	0.5777	0.6357	0.5777	0.6357	0.6463	0.7116	4.1680
7	1	3	1	2	1	3	2	3	0.4215	0.4964	0.4478	0.5339	0.4478	0.5339	0.5092	0.6215	5.9330
8	1	3	2	3	2	1	3	1	0.5585	0.5972	0.5811	0.6262	0.5811	0.6262	0.6339	0.6938	4.2433
9	1	3	3	1	3	2	1	2	0.5610	0.6218	0.5812	0.6452	0.5812	0.6452	0.6285	0.6998	4.1252
10	2	1	1	3	3	2	2	1	0.5760	0.6101	0.6225	0.6678	0.6225	0.6678	0.7309	0.8024	3.5299
11	2	1	2	1	1	3	3	2	0.4670	0.5569	0.5098	0.6061	0.5098	0.6061	0.6096	0.7207	4.7597
12	2	1	3	2	2	1	1	3	0.5433	0.5937	0.5837	0.6373	0.5837	0.6373	0.6780	0.7390	4.0517
13	2	2	1	2	3	1	3	2	0.4983	0.5463	0.5337	0.5929	0.5337	0.5929	0.6163	0.7018	4.7302
14	2	2	2	3	1	2	1	3	0.5011	0.5583	0.5329	0.5964	0.5329	0.5964	0.6070	0.6852	4.7498
15	2	2	3	1	2	3	2	1	0.5621	0.6313	0.5915	0.6639	0.5915	0.6639	0.6601	0.7398	3.8739
16	2	3	1	3	2	3	1	2	0.5152	0.5577	0.5415	0.5952	0.5415	0.5952	0.6029	0.6828	4.7155
17	2	3	2	1	3	1	2	3	0.4838	0.5469	0.5064	0.5759	0.5064	0.5759	0.5592	0.6435	5.1638
18	2	3	3	2	1	2		1	0.5420	0.6108	0.5622	0.6342	0.5622	0.6342	0.6095	0.6888	4.3335

<표 3> Average Response Table

수준	P	M	D	S	W	I	N
1	4.2637	4.3814	4.2171	4.2530	3.9885	3.7865	3.5095
2	4.4717	4.4588	4.4808	4.5040	4.4797	4.5004	4.4721
3	4.7524	4.6475	4.7898	4.7307	5.0195	5.2009	5.5061



<그림 2> Average Response Graph

<표 4> ANOVA Table

Source	SS	df	MS	F
P	0.7217	2	0.3609	7.80*
M	0.2248	2	0.1124	2.43
D	0.9861	2	0.4931	10.66**
S	0.6852	2	0.3426	7.41*
W	3.1913	2	1.5957	34.51***
I	6.0019	2	3.0010	64.91***
N	11.9646	2	5.9823	129.39***
Error	0.1387	3	0.0462	-
Total	23.9144	17	-	-

*: 0.90, **: 0.95, ***: 0.99 level of significance

IV. 결 론

본 연구에서는 전자시스템 신뢰도 예측을 위한 217-Plus의 시스템 모형에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 여러 인자들 중 비반복, 유도, 그리고 마모 요인들이 전체 고장률에 가장 지배적이며 설계, 부품, 그리고 시스템 관리가 다음으로 큰 영향을 미친다는 결론이다. 이들 결과가 일견 선정된 값들의 영역내에서 타당하나 다른 일반 경우에도 타당하다는 판단이다. 본 연구 결과가 인자들 간 상대적인 영향을 보여줄 뿐 아니라 고장률 개선을 위한 의사결정 차원에서도 의미있는 안내를 제공한다. 217-Plus가 공식적으로 MIL-HDBK-217을 대체하고 향후 민수 및 군수 시스템 신뢰도 예측에 널리 적용될 전망이며 본 연구의 결과가 이 분야의 좋은 기반을 제공한다.

참고문헌

1. 전태보 (2010), *전기전자 시스템 신뢰도 예측*, 교우사.
2. MIL-HDBK-217F Notice 2 (1995), "Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment", Department of Defense.
3. Denson, W. (2006): "Handbook of 217Plus™ Reliability Prediction Models", 2006, 6, RIAC.
4. Nicholls, D. (2006), "An Overview of the 217Plus™ System Reliability Assessment Methodology", RIAC Journal, 4th Qtr., pp. 20-22.
5. Peace, G. S. (1993), "Taguchi Methods", Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
6. Phadke, M. S. (1989), "Quality Engineering Using Robust Design", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.