

고장요인들에 대한 217PlusTM 시스템 모형의 민감도

전태보

강원대학교 산업공학과

Sensitivity of the 217PlusTM System Model to Failure Causes

Tae Bo Jeon

IE Department., Kangwon National University

Abstract

217PlusTM, a newly developed as a surrogate of the MIL-HDBK-217, may be widely applied for reliability predictions of electronic systems. 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.

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

1. 서론

MIL-HDBK-217F(1995)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 RIAC(Reliability Information Analysis Center)는 새로운 신뢰도 예측모형인 217Plus™(이하 217-plus)을 개발하였으며 (Denson(2006), Nicholls(2007), 전태보(2010)), 전자시스템의 신뢰도 예측에 기존의 MIL-HDBK-217을 대체한다고 공식적으로 선언하였다. 217-Plus는 부품 기반의 신뢰성 평가인 전통적 방법의 정확성을 극복할 뿐 아니라 설계, 제조, 부품, 시스템관리, 유도 (induced), 마모, 비반복 (cannot duplicate) 등의 비 부품 고장요인과 관련한 프로세스들의 평가를 통하여 시스템 고장률을 개선해가며 또한 소프트웨어 고장률을 포함하는 시스템 수준의 모형들을 포함한다. 추가로, 217-Plus는 현 단계에서 최상의 고장률 추정치에 경험과 필드 데이터를 통합해가는 베이저안 (Bayesian) 개념을 적용하고 있다. 이러한 측면에서 새로운 방법론이 산업 제품들의 신뢰도 예측에 널리 이용될 전망이다. 불행히도, 그간 217-Plus를 이용한 신뢰성 연구가 수행되어 오지 않았으며 실제 필드 제품들에의 적용을 위한 PRISM (Dylis(2001)) 활용이 극히 일부 수행되었다 (Brown(2003), Kleyner and Bender(2003), Smith and Womack(2004)). PRISM은 6개의 부품 모형을 포함하며 12개의 부품 모형을 포함하는 217-Plus의 이전 버전이라 볼 수 있으며 일부 모형 식의 수정도 행해졌다. 따라서, 217-Plus 방법론에 대한 검토가 방법론의 이해 및 활용 측면에서 필요하다.

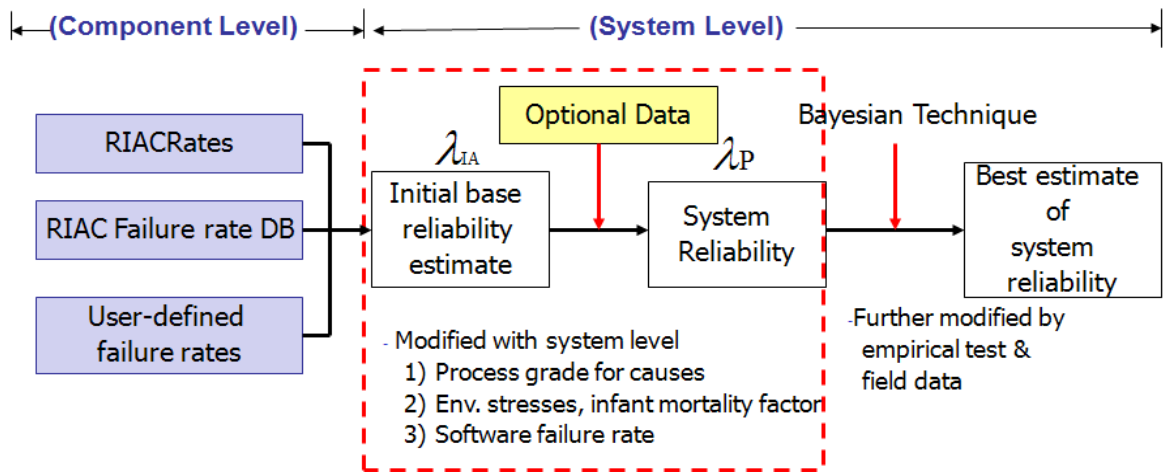
본 연구의 주된 목적은 전자 시스템의 신뢰성 평가를 위해 널리 이용될 전망이다인 217-Plus 모형에 대한 분석을 수행함이다. 특별히, 217-Plus 방법론 중 시스템 수준의 로지스틱 (logistics) 모형을 대상으로 여러 비부품 고장요인들을 인자들로 고려하며, 이들을 중심으로 모형의 변화를 고찰하는 민감도 분석을 수행하고자 한다. 먼저, 217-Plus 방법론의 고장률 산출 과정을 간단히 고찰하며 로지스틱 모형에 대한 내용을 설명한다. 다음으로, 민감도 분석에 있어 여러 인자들이 수반되는 관계로 체계적인 실험계획적 방법인 Taguchi의 직교배열 (orthogonal arrays) (Phadke(1989), Peace(1993))을 적용하고자 한다. 본 연구의 결과가 모형에 미치는 인자들의 영향에 대한 명확한 대답을 제공할 뿐 아니라 신뢰성과 관련한 의사결정 차원의 좋은 안내가 될 것이다.

2. 217-Plus 시스템 고장률 모형

<그림 1>은 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 i) 217-Plus에서 제공하는 12 종류의 부품 모형 (component models) (RIACRates라 부름), ii) RIAC에서 제공하는 EPRD (Electronic Parts Reliability Data)라 불리는 경험적인 고장률 데이터 베이스, 그리고/또는 iii) 사용자

정의 데이터나 모형 등을 이용할 수 있다.

모든 구성품들의 고장률을 평가한 후, 시스템 고장률의 초기 평가치 (initial assessment)인 λ_{IA} 를 산출한다. 이를 위하여 시스템내 구성품들에 대한 기능적 구조와 신뢰성 블록도 (reliability block diagram)등이 이용될 수 있다. 만일 모든 부품들이 기능적으로 독립이고 각각 지수분포 수명 특성을 가질 경우 시스템 고장률은 부품 고장률들의 합으로 계산된다.



<그림 1> 시스템 고장률 평가 절차

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 시스템 고장률(λ_P)은 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 프로세스 (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 등 7가지를 들 수 있다. 반면, 초기고장, 환경, 그리고 신뢰도 성장 등 기타 요인들은 위의 공통요인들중 일부에 선택적으로 관련된다. 이 특성들이 위 식에 반영되어 있음을 알 수 있다. 마지막으로, 소프트웨어 고장률이 고려되며 식 (1)은 로지스틱(logistics model)이라 불린다. 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 한다. 217-Plus의 방법론 및 모형에 대한 상세 내용은 Denson(2006)과 전태보(2010)를 참조할 수 있다.

217-Plus 방법론의 한 가지 전제는 공통요인들인 시스템 수준의 고장요인(failure cause)들에 기인하는 고장률들을 평가할 수 있다는 것이다 (Denson(2006)). 시스템 수준의 고장요인들은 단순히 하드웨어 문제 뿐 아니라 비 부품 고장들까지 포함할 것이다. 특별히 시스템 수준 요인들의 팩터 값들, $\Pi_P, \Pi_D, \Pi_M, \Pi_S, \Pi_I, \Pi_N$, 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 (Denson(2006)). 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.

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

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

R_i - 고장요인 i에 대한 등급결과

α_i - 고장요인 i에 대한 형상모수 (shape parameter)

β_i - 고장요인 i에 대한 특성비율 (characteristic percentage)

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

3. 217-Plus 시스템 모형의 민감도

이제 고장요인들과 관련하여 시스템 모형의 민감도를 분석하자. 즉, 식 (1)의 로지스틱 모형이 7가지 요인들 - 부품, 설계, 제조, 시스템관리, 유도, 비반복, 그리고 마모 -로부터 어떻게 영향을 받는지 검토한다.

3.1 분석을 위한 설계

실험 설계를 위한 첫 번째 고려는 적절한 수행평가 기준의 선정이며 이는 고장요인에 관한 시스템 프로세스 특성들을 잘 반영하는 것이어야 한다. 이 목적을 위하여 식 (1)을 다음과 같이 표현한다. 즉,

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

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⁾ 또는 파라미터로 선정하였으며 요인별 적절한 등급의 영역을 고려하였다. 217-Plus에서 프로세스 등급(식 (2)의 R_i)이 0.5인 경우 평균 산업체 수준으로 간주되므로 이 값을 중심으로 상하의 값들을 선정하였으며 <표 1>의 도시와 같이 3 수준 (0.3, 0.5, 0.7)을 가정하였다. 실제의 인자 수준 값들은 이들 등급과 관련한 팩터 (II) 값들이다. 예를 들어, 설계인자의 경우 수준 1 (등급 0.3)은 $II_D=0.134$ 임을 의미하며, 수준 3의 팩터 값 0.052는 등급 0.7로부터 얻어진다. 표의 팩터 값들은 와이블 분포나 217-Plus 핸드북((Denson(2006))으로부터 구할 수 있다. 특정 고장요인에 대한 프로세스 등급은 산업체 별로 다를 것이며 이들 중 많은 산업체들이 본 연구에서 선정한 등급 영역 0.3~0.7의 영역에 포함될 것이다. 이 영역 밖의 등급을 갖는 시스템은 매우 좋음 또는 나쁨을 나타내며 해당 요인에 대한 결과치가 매우 민감 (매우 크거나 작은) 할 수 있다.

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

<표 1> 인자 수준과 값

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 분석함이므로 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 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ (Phadke(1989), Peace(1993))이다.

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 결과를 얻었다. <표 2>가 전반적인 결과를 요약한다. 표의 첫 째열은 실험조합이고 이후 여덟 열들은 직교배열 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 과 관련한 8 인자들의 배열을 나타낸다. 본 연구의 7 인자들이 제 3열부터 9열까지 배치되었으며 제 2열의 'e'는 '비어있음' 또는 '아무 인자도 배치되지 않음'을 나타낸다. 도표 상의 1,2,3은 해당 열의 인자 수준들을 의미하며 대응되는 실제 수준 값들은 <표 1>에 주어졌다. 다음 여덟 열들은 나머지 3 인자들을 2수준씩 고려한 8 조합상의 $f(II)$ 결과들을 나타낸다. $f(II)$ 의 변화 특성을 분석하기 위한 한 대안은 이의 평균과 편차를 분석함이다. 이를 위해서는 평균 및 편차 각각에 대하여 독립적인 분석 과정을 거치는 것이나 본 연구에서는 이들을 통합한 S/N (signal-to-noise) 개념을 적용하고자 한다. 표의 마지막 열은 각 실험 조합당 계산한 8개 결과치들로부터 얻은 S/N 으로 특별히 식 (4)를 통하여 계산된다.

$$S/N_i = -10 \log \left(\frac{\sum_{j=1}^8 y_{ij}^2}{8} \right), \quad j = 1, 2, \dots, 8, \quad i = 1, 2, \dots, 18 \tag{4}$$

단, S/N_i - i번째 실험조합에 대한 S/N ($i=1, 2, \dots, 18$)

y_{ij} - 실험조합 $i(=1, 2, \dots, 18)$ 내의 j번째 $f(II)$ 결과

<표 2> 직교배열 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 에 의한 실험 결과

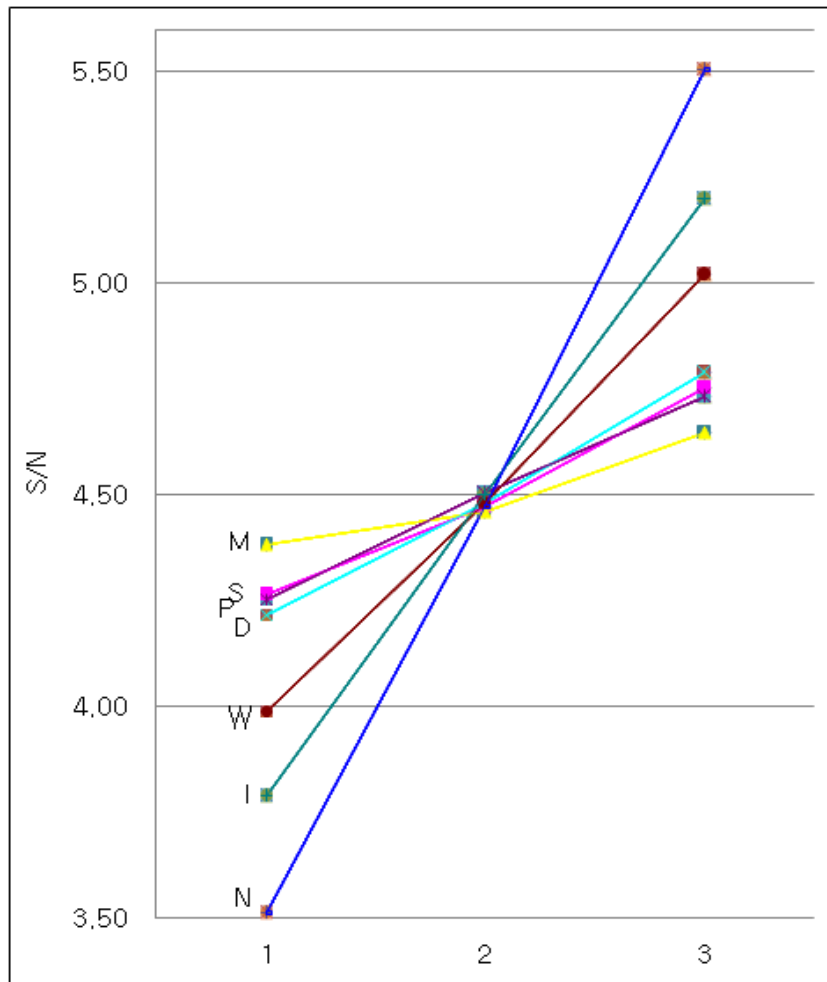
Run	e	P	M	D	S	W	I	N	1	2	3	4	5	6	7	8	S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.7137	0.8074	0.7602	0.8651	0.7602	0.8651	0.8686	0.9997	1.5741
2	1	1	2	2	2	2	2	2	0.5161	0.5688	0.5589	0.6180	0.5589	0.6180	0.6587	0.7326	4.3340
3	1	1	3	3	3	3	3	3	0.3565	0.3845	0.3969	0.4281	0.3969	0.4281	0.4912	0.5298	7.3327
4	1	2	1	1	2	2	3	3	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>과 <그림 2>는 각 인자 수준 당 계산된 S/N의 평균 반응(average response) 결과이고, <표 4>는 <표 2>의 결과를 바탕으로 얻은 ANOVA (analysis of variance) 결과이다. 이들로부터 의미있는 결과들을 도출하였으며 다음과 같이 요약된다.

- (1) <표 3>과 <그림 2>에서 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 $f(\Pi)$ 는 고장률의 초기 평가치를 기준으로 선택적 데이터를 통한 상대적 고장률의 증가를 나타내므로 $f(\Pi)$ 의 감소는 훌륭한 시스템 프로세스를 통하여 얻어진다. 높은 인자 수준은 높은 프로세스 등급, 즉 낮은 $f(\Pi)$ 값을 반영하므로 우리의 직관과 일치한다.
- (2) 모든 인자들 중 N, I, W가 시스템 고장률에 지배적인 영향을 미치며, 이들 중 임의인자 수준변화에 대한 프로세스 등급의 변화는 큰 시스템 고장률 변화를 초래한다. <그림 2>가 도시하듯 이들이 다른 인자들의 경우보다 큰 기울기를 가지며 <표 4>의 ANOVA 결과가 정량적인 유의성을 반영한다. 이러한 경향은 전체 고장에 있어 여러 인자들 중 N, I, W가 각각 20, 12, 9% 씩 차지((Denson(2006)) 한다는 측면에서도 충분히 의미를 갖는다. 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 영향, 즉 이들중 임의의 인자 수준의 변화가 고장률에 제법 영향을 미칠 수 있다는 결론이다. 이는 식 (1)에 보듯 이들과 관련한 팩터들이 초기평가치인 λ_{IA} 에 간접적으로 곱해지는 반면 N, I, W 관련 팩터들은 직접적으로 곱해진다는 사실에서 예측 가능하다. 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. 따라서, 프로세스들의 체계적인 시스템화를 위한 노력이 강조된다.
- (4) M은 <그림 2>의 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. 그럼에도 불구하고 이 결과가 개선 노력의 의미없음을 말함은 결코 아니며 기업에서 필수적으로 강조되는 제품 품질 향상을 위한 끊임없는 개선 (continuous improvements) 노력이 절대적으로 필요하다.

<표 3> 평균 반응 도표

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> 평균 반응 그래프

<표 4> ANOVA 결과

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

이상과 같이 우리는 217-Plus 시스템 모형의 민감도를 고장요인들의 변화를 통하여 검토하였다. 특별히, 인자별 3 수준씩 고려하였음에도 전체적으로 선형적인 변화가 결과되었다. 우리의 경험에 따르면 $f(\Pi)$ 의 평균을 통한 분석의 경우 S/N 경우와 같이 동일하게 선형적인 결과가 나타났다. 다만, 인자 수준의 변화에 따른 $f(\Pi)$ 의 편차(변동성)를 통한 분석에서는 일부 인자에서 비선형 효과가 나타났다. 그러나, S/N을 통한 결과가 평균 및 편차에 대한 통합적이고 해석상의 명쾌함을 제공한다는 측면에서 이들을 생략하였다.

4. 결론

본 연구에서는 전자시스템 신뢰도 예측을 위한 217-Plus의 시스템 모형에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 이를 위해 직교 실험계획법을 적용하였으며 적절히 선정된 여러 인자들 및 범주 영역을 중심으로 시스템 고장률에 미치는 영향을 분석하였다. 여러 인자들 중 비반복, 유도, 그리고 마모 요인들이 시스템 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 인자들간 상대적인 영향을 보여줄 뿐 아니라 고장률 개선을 위한 의사결정 차원에서도 의미있는 안내를 제공한다.

참고문헌

- [1] 전태보 (2010), 전기전자 시스템 신뢰도 예측, 교우사.
- [2] Brown, L. M. (2003), "Comparing Reliability Predictions to field data for Plastic parts in a Military, Airborne Environment", 2003 Annual Reliability and Maintainability Symposium, 27-30 Jan, pp. 207 - 213.
- [3] Dylis, D. D. (2001), "PRISM: A new Approach to Reliability Prediction", American Society for Quality Control (ASQC) Reliability Review, Volume 2, Number 1.
- [4] Denson, W. (2006): "Handbook of 217PlusTM Reliability Prediction Models", 2006, 6, RIAC.
- [5] Kleyner, A. and Bender, M. (2003), "Enhanced Reliability Prediction Method Based on Merging Military Standards Approach with Manufacturer's Warranty Data", 2003 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE, pp. 202-206.
- [6] MIL-HDBK-217F Notice 2 (1995), "Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment", Department of Defense.
- [7] Nicholls, D. (2006), "An Overview of the 217PlusTM System Reliability Assessment Methodology", RIAC Journal, 4th Qtr., pp. 20-22.
- [8] Nicholls, D. (2007), "What is 217PlusTM and Where Did It Come From?", IEEE, pp. 22-27.
- [9] Phadke, M. S. (1989), "Quality Engineering Using Robust Design", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [10] Peace, G. S. (1993), "Taguchi Methods", Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [11] Smith, C. and Womack, J. (2004), "Raytheon Assessment of PRISM as a field failure prediction", IEEE Annual Reliability and maintainability Symposium Proceedings.

