

부하-강도 분석을 이용한 격막형 펄스분리장치의 내열강도에 대한 신뢰성 예측 사례연구

이동원¹ · 정세용¹ · 이방엽² · 정규동² · 박부희^{3*} · 안동근³ · 장중순⁴

¹(주)한화 대전사업장 개발팀, ²국방과학연구소 제4기술연구본부 1부

³(주)월드테크코리아, ⁴아주대학교 산업정보시스템공학부

Case Study on Reliability Prediction of Barrier Type Pulse Separation Device using Stress-Strength Analysis

Dong-Won Lee¹ · Se-Yong Jeong¹ · Bang-Eop Lee² · Gyoo-Dong Jung²

Boo-Hee Park^{3*} · Dong-Geun An³ · Joong-Soon Jang⁴

¹Development Team, Hanwha Corporation, Korea

²1st Directorate the 4th R&D Institute, Agency for Defense Development, Korea

³World Tech Korea, Korea

⁴Department of Industrial Engineering, Ajou University, Korea

A stress-strength analysis is used to assess the reliability of a multi-pulse rocket motor system. Main stress is found to be thermal during explosion and the distribution is obtained by simulation. The strength distribution is derived from the results of actual specimen tests. The failure rate of barrier type pulse separation device is estimated.

Keywords: Reliability Prediction, Stress-Strength Analysis

1. 서론

신제품을 개발하는 단계에서의 신뢰성 평가는 신뢰성 시험에 의한 기술적 고장분석과 통계적 추정으로 수행된다. 이때 신뢰성 시험을 실시하기 위해서는 시제품이 제작되어야 하지만, 다중펄스 로켓모타 시스템과 같은 대규모이거나 다기능의 시스템이거나 격막형 펄스분리장치(Pulse Separation Device, PSD)와 같은 고비용의 아이템인 경우에는 시제품 생산과 신뢰성 시험에 소요되는 시료수, 장비, 인력, 시간과 비용이 많이 요구된다. 따라서 시제품 초도생산 단계에서 실시되는 신뢰성 시험에 의한 평가보다는, 도면을 작성하는 설계 단계에서 신뢰성 예측에 의한 평가가 요구된다.

또한 격막형 PSD가 장착된 다중펄스 로켓모타의 시제품을 제작 후 시험을 통해서 추정된 신뢰성이 요구하는 신뢰성 목

표를 만족하지 못하는 경우에는, 목표 신뢰성을 달성하기 위하여 신뢰성 개선을 위한 재설계가 불가피하다 이러한 경우에도 재설계에 소요되는 기간과 비용 그리고 이를 재평가하기 위한 시제품 생산과 신뢰성 시험에 기간과 비용이 막대하게 소요된다. 그러므로 다중펄스 로켓모타용 격막형 PSD의 개발기간을 단축하고 비용을 절감하기 위해서는 신뢰성 측면에서 완성도가 높은 설계가 요구되며, 이러한 신뢰성 중심의 설계를 위하여 신뢰성 예측기법이 필요하다.

신뢰성 예측은 R&D 및 설계 단계에서 실시되는 신뢰성 평가법으로, 다음과 같은 정성적 예측 또는 정량적 예측 기법들이 적용된다.

- 정성적 예측: 고장 모드 및 영향 분석(FMEA), 결합나무 분석(FTA)

* 교신저자 july-park@daum.net

2015년 5월 6일 접수, 2015년 6월 2일 수정본 접수, 2015년 6월 5일 게재 확정.

- 정량적 예측: 시스템 신뢰성 구조분석 및 모형화규격 기반의 예측(MIL-HDBK-217 PCM/PSM, RiAC-HDBK-217Plus, Telcordia SR-332, NSWC, NPRD95 Database 등), 부하-강도 분석(Stress-Strength Analysis)

본 연구의 목적은 정량적 신뢰성 예측이고 대상아이템인 격막형 PSD는 내열소재만으로 설계된 구조물이다 기존의 MIL-HDBK-217 PCM/PSM, RiAC-HDBK-217Plus, Telcordia SR-332 등의 규격 기반의 예측기법은 주로 전자 장비 또는 부품을 대상으로 실시되기 때문에 격막형 PSD의 신뢰성 예측 기법으로 적절하지 않다. 한편 비전기전자 부품을 대상으로 신뢰성 예측 규격서인 NSWC, NPRD95 Database 등에 포함된 기계적인 부품의 경우에도 격막형 PSD의 내열소재와 유사한 아이템이 없기 때문에 적용할 수 없다.

따라서, 본 연구에서 격막형 PSD에 대한 부하-강도 분석(Stress-Strength Analysis)을 이용한 정량적인 신뢰성을 예측한다. 부하-강도 분석 기법을 적용하기 위해서는 주요한 부하와 강도 인자를 도출하여 시험하고 분석하는 것이 중요하다. 이에 제 2장에서는 부하-강도 분석을 위한 기존 연구를 검토하고, 제 3장에서는 부하-강도 분석 절차 및 방법을 제안하고, 제 4장에서는 내열강도에 대한 신뢰성 추정을 위한 사례연구를 실시한다.

2. 부하-강도 분석 기존연구

부하-강도 분석은 아이템에 인가된 부하(온도 또는 응력 등의 스트레스)가 아이템의 강도를 초과했을 때 고장이 발생한다고 가정하는 모형이다. 즉, 고장률, F 는 식 (1)과 같이 부하 (L)가 강도(S)를 초과할 확률이고, 신뢰도, R 은 식 (2)와 같이 부하가 강도를 초과하지 못할 확률이다.

$$F = P(L > S) \tag{1}$$

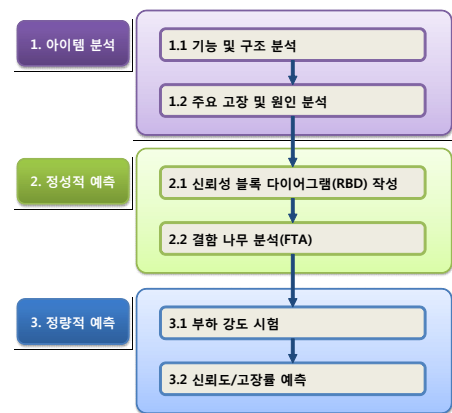
$$R = P(L < S) \tag{2}$$

부하-강도 분석에서 고장률이나 신뢰도는 부하와 강도의 확률분포로부터 추정하기 때문에 기존의 연구들은 통계적 연구들이 주로 수행되었다. Church and Harris(1970)는 신뢰도 모수의 신뢰구간에 관한 연구를 수행했으며 Downton(1973)은 신뢰도를 최적으로 추정하기 위한 최소분산 불편 추정량을 제시하였다. Yum and Kim(1984)은 중단데이터의 신뢰도 추정방법을 발표하였고, Jeong and Kim(1995)은 중단데이터의 비모수적 추정을 제안하였다. Yum and Kim(1985)은 신뢰도 베이지안 추정을 연구하였고, 박영찬(2000)은 와이블 부하-강도체계의 신뢰도 베이지안 추론을 제시하였다. Weerahandi and Johnson(1992)은 부하와 강도가 서로 독립이면서 정규분포인 경우 신뢰도를 검정하였고, 김대경 외(2011)는 종속 관계의 스트레스-강도 모형을 연구하였다.

부하-강도 분석에 대한 기존 연구들은 통계적인 추정과 이를 검증하기 위한 사례들이기 때문에, 실제 신제품을 개발하는 연구자와 설계자들이 현업에 적용하기가 매우 어려운 실정이다. 더욱이 설계 담당자와 평가 담당자들이 부하-강도 분석을 수행하기 위해서는 주요한 부하와 강도에 대한 인자를 선정하는 것이 중요하지만, 이러한 주요한 인자를 도출하기 위한 사례연구는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 격막형 PSD를 대상으로 부하-강도 분석 기법을 적용하기 위한 실무적인 절차 및 방법을 제안하고 사례연구를 실시한다

3. 부하-강도 분석 절차 및 방법 개발

격막형 PSD를 대상으로 현업에서 부하-강도 분석을 실무적으로 적용하기 위해서는 부하와 강도에 대한 시험과 분석을 실시해야 한다. 이 때 설계 담당자와 평가 담당자는 주요한 부하 인자와 강도 인자를 선정하고 시험하여 분석해야 하지만, 주요 인자를 도출하기 위한 방법이나 시험조건을 결정하기 위한 방법이 알려져 있지 않기 때문에 적용이 어렵다. 이에 <그림 1>과 같이 부하-강도 분석을 위한 추진 절차를 개발하고 절차에 따른 추진방법을 제안하고자 한다.



<그림 1> 부하-강도 분석을 위한 추진 절차

3.1 아이템 분석

어떤 아이템에 대한 부하-강도 분석 시험을 실시하기 위해서는 주요한 강도인자와 부하인자를 선정하여야 한다. 강도 인자를 도출하기 위하여 아이템의 기능과 고장을 정의하고, 부하인자를 도출하기 위하여 고장과 고장원인을 분석한다.

3.1.1 기능 및 구조 분석

아이템의 강도는 기능적으로 요구되는 기계적, 전기전자적 또는 화학적 특성들이다. 예를 들어 어떤 전기전자 아이템의 기능으로 전기적인 내환경성이 요구되면 내전압 강도가 하나의 특성이 될 수 있다. 한편, 기계적인 내환경성이 요구

되면 인장강도, 압축강도 또는 굴곡강도 등이 특성이 된다. 따라서 아이템의 강도 시험을 위한 인자를 선정하기 위하여 기능 기술적으로 분류하여 정의한다.

3.1.2 주요 고장 및 원인 분석

아이템의 고장의 원인이 환경적인 측면에서 발생되고, 특정한 환경적인 부하에 기인한다면, 이러한 부하에 대한 내환경성이 요구된다. 이 때 부하의 크기가 어느 정도인지 안다면 부하에 대한 설계 강도를 최적화할 수 있으며, 부하에 따른 강도의 고장발생확률을 통계적으로 산출할 수 있다. 이에 아이템의 부하 시험을 위한 인자를 선정하기 위하여 고장을 정의한다.

3.2 정성적 예측

하나의 아이টে에 대한 기능이 여러 가지인 경우에는 기능에 대한 여러 개의 강도인자가 도출되고, 이러한 경우 여러 강도에 대한 고장원인인 부하가 다수 도출된다. 이에 하나의 아이টে에 대한 신뢰도와 고장률을 산출하기 위하여 기능 측면의 신뢰도 모형은 신뢰성블록다이어그램(RBD, Reliability Block Diagram)을 작성하여 수립하고, 고장 측면의 고장률 모형은 결합나무분석(FTA, Fault Tree Analysis)을 실시하여 수립한다.

3.2.1 신뢰성블록다이어그램 작성

부하-강도 분석을 위한 RBD는 제 3.1.1절의 아이টে의 기능 및 구조 분석 후 도출된 강도를 중심으로, 강도에 대한 직렬 구조와 병렬구조 또는 직병렬혼합구조 등으로 작성하고 신뢰성 산출 모형을 수립한다.

3.2.2 결합나무분석

부하-강도 분석을 위한 FTA는 제 3.1.2절의 아이টে의 주요 고장 및 고장원인 분석 후 도출된 과정을 중심으로, 이벤트와 게이트를 구성하여 작성하고 고장률 산출 모형을 수립한다.

3.3 정량적 예측

강도시험과 부하시험을 실시하여 통계적으로 분석하고, RBD와 FTA에 의하여 수립된 모형을 이용하여 고장률 또는 신뢰도를 산출한다.

3.3.1 부하 강도 시험

부하-강도 분석을 위한 강도시험은 제 3.1.1절의 아이টে의 기능 및 구조 분석 후 도출된 강도를 중심으로 계획하고 실시하며, 부하시험은 제 3.1.2절에서 도출된 고장원인별로 실시한다.

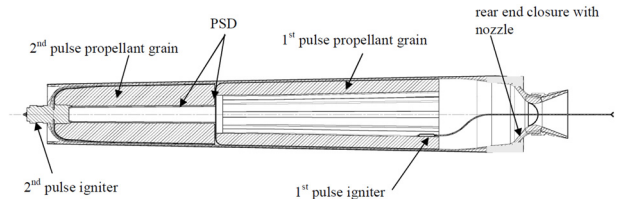
3.3.2 신뢰도/고장률 예측

강도시험과 부하시험 결과 수집된 데이터를 식(1) 또는 식(2)와 같은 부하강도 모형을 이용하여 통계적으로 분석하고, 제 3.2.1절과 제 3.2.2절에서 작성된 RBD와 FTA에서 수립된 모형을 이용하여 최종적으로 고장률 또는 신뢰도를 산출한다.

4. 부하-강도 분석 사례

4.1 아이টে 분석

격막형 PSD는 다중펄스 로켓모타의 핵심 부품으로써, 효과적인 추력 배분을 실현하여 사거리와 종말 속도를 증가시키고 미사일의 기동성과 명중률을 향상시킨다. <그림 2>와 같은 이중펄스 로켓모타의 경우, 격막형 PSD는 내열소재만으로 설계되며, 1단 펄스모타 연소시 고온과 고압에 직접적으로 노출되어 2단 펄스모타 추진체가 자연발화되거나 파열되지 않아야 한다(김진용 외, 2014). 또한 2단 펄스모타 연소시에는 특정 압력에서 정상적으로 파열되어야 한다.



<그림 2> 다중펄스 로켓모타와 격막형 펄스분리장치(Stadler, 2010)

4.1.1 기능 및 구조 분석

격막형 PSD는 <표 1>과 같이 고장이 발생 가능한 부위를 예측하여 도입부, 원통부, 경사부로 구분하여 구조적 기능을 정의한다. 격막형 PSD는 시스템이 1단 점화와 연소의 기능을 수행할 때 발생하는 압력과 열에 파열되지 않아야 하기 때문에 내열과 내압 기능이 요구된다. 즉 시스템이 1단 점화 및 연소시 상승하는 압력과 열에 격막형 PSD의 도입부, 원통부, 경

<표 1> 격막형 PSD의 기능 및 구조 분석

요구 기능	구조적 기능
<ul style="list-style-type: none"> • 1단 연소시 도입부, 원통부, 경사부 내압 • 1단 연소시 도입부, 원통부, 경사부 내열 • 2단 연소시 경사부 파열 	<ul style="list-style-type: none"> 1 격막 도입부 2 격막 원통부 3 격막 경사부

사부가 강도를 유지하여 파열되지 않아야 한다. 그리고 시스템이 2단 연소하는 경우에는 경사부가 일정한 압력에서 파열되어야 하지만, 도입부와 원통부는 압력과 열에 파열되지 않아야 한다.

4.1.2 주요 고장 및 원인 분석

격막형 PSD의 고장은 시스템의 1단 점화와 연소시에 상승하는 압력과 열에 의한 파괴로써 격막의 도입부, 원통부 그리고 경사부가 내열파괴 또는 내압파괴 되는 것이다. 그리고 시스템이 2단 연소하는 경우, 격막형 PSD의 고장은 경사부가 일정한 파열압력에 도달했음에도 불구하고 파열되지 않는 것이다. 한편, 이러한 고장의 원인은 첫째, 시스템의 1단 점화와 연소시에 상승하는 압력과 열이 과도한 경우, 둘째, 시스템의 1단 점화와 연소시에 상승하는 압력과 열에 요구되는 격막형 PSD의 강도가 낮은 경우, 셋째, 시스템의 2단 연소시에 상승하는 압력이 낮은 경우, 마지막으로 격막형 PSD 경사부의 강도가 과도하게 높은 경우로 분석된다.

4.2 정성적 예측

4.2.1 RBD 작성

제 4.1.1절에서 격막형 PSD의 요구기능은 1단 연소시 내압과 내열 그리고 2단 연소시 경사부 파열로 정의되었고, 이러한 세 가지 요구기능은 직렬구조이며, <표 2>와 같이 RBD로 작성되고, 신뢰성 모형이 수립된다

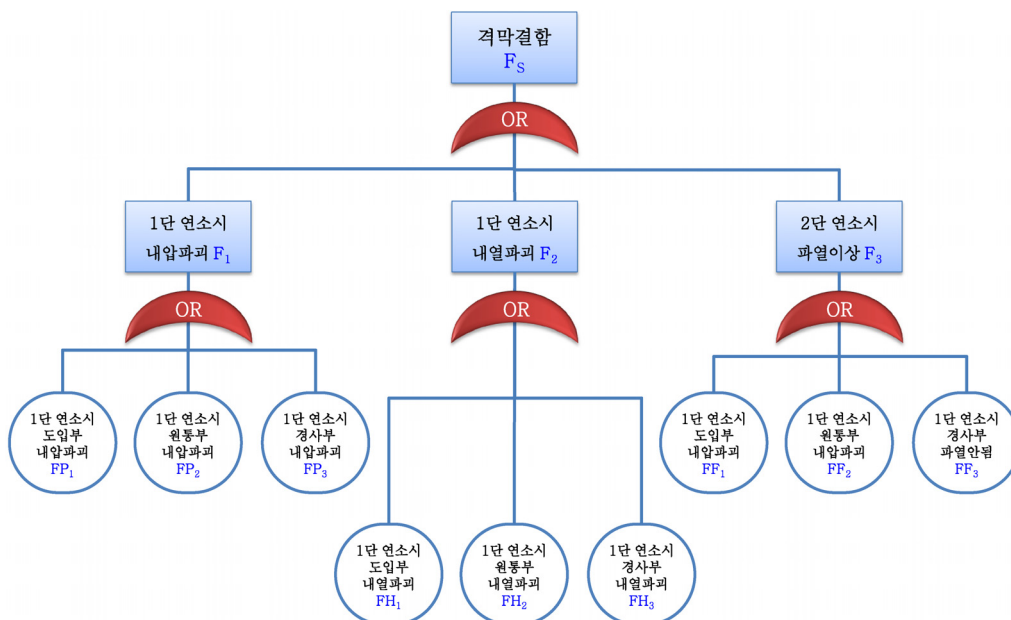
<표 2> 요구 기능 중심의 RBD와 신뢰도 산출모형

RBD			신뢰도 산출모형
1단 연소시 내압 R_1	1단 연소시 내열 R_2	2단 연소시 경사부 파열 R_3	$R_S = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3$

위의 세 가지 요구기능은 구조적 기능부인 도입부, 원통부

<표 3> 격막형 PSD의 RBD와 신뢰도 산출모형

요구기능	RBD			신뢰도 산출모형
1단 연소시 내압 R_1	1단 연소시 도입부 내압 RP_1	1단 연소시 원통부 내압 RP_2	1단 연소시 경사부 내압 RP_3	$R_1 = RP_1 \cdot RP_2 \cdot RP_3$
1단 연소시 내열 R_2	1단 연소시 도입부 내열 RH_1	1단 연소시 원통부 내열 RH_2	1단 연소시 경사부 내열 RH_3	$R_2 = RH_1 \cdot RH_2 \cdot RH_3$
2단 연소시 경사부 파열 R_3	2단 연소시 도입부 내압 RF_1	2단 연소시 원통부 내압 RF_2	1단 연소시 경사부 파열 RF_3	$R_3 = RF_1 \cdot RF_2$



<그림 3> 격막형 PSD의 FTA 작성사례

그리고 경사부 별로 성공적으로 임무를 수행하여야 하므로 <표 3>과 같이 RBD로 작성되고, 신뢰성 모형이 수립된다

4.2.2 FTA 작성

격막형 PSD의 결함에 대한 고장모드는 제 4.1.2절에서 도출된 1단 연소시 내압파괴, 내열파괴 그리고 2단 연소시 파열 조건 불만족으로 정의되었고, 이를 격막형 PSD의 세 가지 취약구조로 나누어 하위전개 한다.

4.3 정량적 예측

본 논문에서 내열 기능에 대한 고장률은 격막형 PSD가 자연발화되는 온도인 내열온도 보다 1단 연소시 발생하는 발열

온도가 초과할 확률로 식 (3)과 같이 정의한다.

$$F = P(\text{발열온도} > \text{자연발화온도}) \quad (3)$$

$$= P(\text{발열온도} > \text{내열온도})$$

시제품 제작이전의 설계단계에서 실시하는 신뢰성 예측을 위한 부하-강도 시험은 시편시험이나 시뮬레이션으로 실시하는 것이 일반적이다. 특히 본 사례의 경우 격막형 PSD에서 발생하는 발열온도의 부하분석과 내열온도의 강도분석을 위한 시험을 한다는 것은 실제 다중펄스 로켓모타시스템에 격막형 PSD를 장착하여 실시한다는 것이다. 그러나 이를 위하여 소요되는 시스템의 제작 시간, 비용 그리고 시험의 난이도 측면에서 효율적이지 못하다. 따라서 부하-강도 분석 사례는 격막형 PSD의 1단 연소시 내열 기능 또는 자연발화 고장을

<표 4> 발열 부하의 데이터 수집을 위한 시뮬레이션 측정 위치



<표 5> 측정위치별 발열 부하의 데이터 분석결과

고장위치	정규성 검정	평균	분산
Site 1		350.9983	0.6301
Site 2		363.0633	1.5943

<표 5> 측정위치별 발열 부하의 데이터 분석결과(계속)

고장위치	정규성 검증	평균	분산
Site 3-1		355.8767	1.1247
Site 3-2		355.7783	0.0536

대상으로 실시하며, 부하분석을 위해서는 발열온도를 추정하기 위한 시뮬레이션을 실시하고, 강도분석을 위해서는 자연발화온도를 추정하기 위한 시편시험을 실시한다.

4.3.1 부하시험

본 연구에서 내열기능에 대한 부하시험은 시뮬레이션을

<표 6> 격막형 PSD의 내열강도 분석을 위한 시편시험 결과

정규성 검증	
통계량 분석	<p>Anderson-Darling Normality Test A-Squared 0.25 P-Value 0.604 Mean 498.70 StDev 0.65 Variance 0.42 Skewness -0.16687 Kurtosis -2.04418 N 6 Minimum 497.86 1st Quartile 498.06 Median 498.75 3rd Quartile 499.33 Maximum 499.45 95% Confidence Interval for Mean 498.02 499.38 95% Confidence Interval for Median 497.96 499.39 95% Confidence Interval for StDev 0.40 1.39</p>

통하여 격막형 PSD가 장착된 다중펄스 로켓모타시스템이 점화되어 연소될 때 발생하는 발열온도를 예측하였다. 발열온도의 특성을 분석하기 위한 시뮬레이션은 격막형 PSD의 구조적 취약부인 도입부, 원통부, 경사부로 구분하여 실시하고, 특히 경사부는 원통부와 경사부가 접합되는 경사부 1과 형상적으로 취약한 굴곡부인 경사부 2로 구분하여 시뮬레이션 하였다(<표 4> 참조).

발열온도를 분석하기 위한 시뮬레이션은 격막형 PSD 양산성을 고려하여 두께(t)의 허용차(± 0.5) 범위 내에서 5개의 수준으로 도입부, 원통부, 경사부 1, 경사부 2로 구분하여 실시하였다. 그 결과 각 부위별 발열온도의 최대값은 분포검정 결과 정규분포를 따르고, 평균과 분산이 <표 5>와 같이 산출되었다.

4.3.2 강도시험

격막형 PSD의 내열강도는 소재의 내열특성인 자연발화온도로 결정하고, 이를 검증하기 위하여 시편시험을 실시하였다. 내열강도 분석을 위한 자연발화온도 시험은 6개의 시편을 제작하여 실시하였고, 그 결과는 <표 6>과 같이 평균이 498.7033K이고, 분산은 0.4193으로 분석되었다.

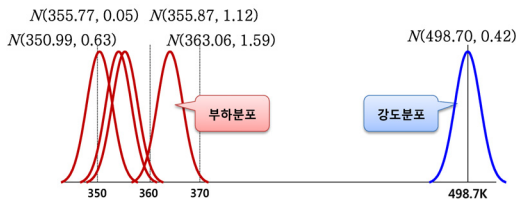
4.3.3 신뢰도/고장률 예측

<표 5>의 발열부하 분포분석 결과를 이용하여 열적 부하(L)의 확률분포가 $N(\mu_L, \sigma_L^2)$ 이고, 내열 강도(S)를 초과할 확률인 고장률은 식 (4)와 같이 산출되며, 이를 그래프로 그리면 <그림 4>와 같다.

〈표 7〉 확정적 내열강도와 확률적 발열부하의 부하-강도 분석 결과

고장위치	고장률과 신뢰도 산출식	고장률
Site 1	$P(L > S) = P\left(Z > \frac{498.7033 - 350.9983}{\sqrt{0.4193 + 0.6301}}\right) \cong P(Z > 144.18)$	$FH_1 \cong 0$
Site 2	$P(L > S) = P\left(Z > \frac{498.7033 - 363.0633}{\sqrt{0.4193 + 1.5943}}\right) \cong P(Z > 95.59)$	$FH_2 \cong 0$
Site 3-1	$P(L > S) = P\left(Z > \frac{498.7033 - 355.8767}{\sqrt{0.4193 + 1.1247}}\right) \cong P(Z > 114.94)$	$FH_{3-1} \cong 0$
Site 3-2	$P(L > S) = P\left(Z > \frac{498.7033 - 355.7783}{\sqrt{0.4193 + 0.0536}}\right) \cong P(Z > 207.83)$	$FH_{3-2} \cong 0$
격막형 PSD 고장률 산출	$F_S = 1 - [(1 - FH_1) \cdot (1 - FH_2) \cdot (1 - FH_{3-1}) \cdot (1 - FH_{3-2})] \cong 0$	$F_S \cong 0$
격막형 PSD 총신뢰도 산출	$R_S = [(1 - FH_1) \cdot (1 - FH_2) \cdot (1 - FH_{3-1}) \cdot (1 - FH_{3-2})] \cong 100\%$	$R_S \cong 100\%$

$$P(L > S) = P\left(Z > \frac{\mu_S - \mu_L}{\sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_L^2}}\right) \quad (4)$$



〈그림 4〉 내열강도와 발열부하의 부하-강도 그림

〈그림 4〉와 같은 부하-강도 분포를 기반으로 식 (4)를 이용하여 고장률을 산출하면, 〈표 7〉과 같이 고장위치별 고장률을 산출할 수 있다. 이러한 고장위치별 고장률을 이용하여 격막형 PSD의 고장률을 추정해 보면 약 0%이고 신뢰도는 약 100%이다.

5. 결론

다중펄스 로켓모터 시스템과 같은 대규모의 시스템을 연구개발하고 설계하는 단계에서, 시스템의 신뢰성을 평가하기 위하여 핵심부품인 격막형 PSD의 정량적인 신뢰성 예측이 요구된다. 그러나 격막형 PSD와 같이 비전기전자 부품이면서 소재 부품인 경우에는 고장률 데이터 라이브러리를 이용한 규격 기반의 예측이 매우 어렵다. 이러한 경우 시제품 제작이전의 설계단계에서 실시하는 신뢰성 예측방법으로써 부하-강도 분석기법을 적용하는 것이 바람직하지만 기존 연구들은 통계적인 추정과 이를 검증하기 위한 사례들이기 때문에 현업에 적용하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 시제품 제작이전의 설계단계에서 실시하기 위한 신뢰성 예측방법으로써 부하-강도 분석 절차와 방법을 제안하였다. 그리고 이러한 절차와 방법을 이용하여 격막형 PSD의 내열강도에 대한 신뢰성 예측을 실시하였다. 향후 격막형 PSD의 내열강

도에 대한 부하-강도 분석을 실시한다면, 내열 신뢰성과 내압 신뢰성을 이용하여 격막형 PSD의 신뢰성을 더욱 효과적으로 예측할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김대경 · 김진우 · 박동호 (2011), 종속 관계의 스트레스-강도 모형, 신뢰성응용연구, 제11권, 제4호, pp. 319-330.
- [2] 김진용 · 권태하 · 이원복 · 조원만 · 이방업 · 윤남균 · 이영우 (2014), 격막형 PSD를 적용한 소형 추진기관 설계 및 시험평가, Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers, Vol. 18, No. 6, pp. 82-87.
- [3] 박영찬 (2000), 와이블 부하-강도체계의 피도에 대한 베이 지안 추론에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교.
- [4] Church, J. D. and Harris, B. (1970), The Estimation of Reliability from Stress-Strength Relationships, *Technometrics*, Vol. 12, pp. 49-54.
- [5] Downton, F. (1973), The Estimation of the $Pr[Y < X]$ in the Normal Case, *Technometrics*, Vol. 15, pp. 551-558.
- [6] Jeong, H. S. and Kim, J. J. (1995), Nonparametric Estimation of $Pr[Y < X]$ Random Censored Data, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 23, No. 2, pp. 91-102.
- [7] Stadler, L. J. et al. (2010), *The Flight Demonstration of the Double Pulse Motor Demonstrator MSA*, AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Nashville, TN, Session 074-SR-5.
- [8] Weerahandi, S. and Johnson, R. A. (1992), Testing Reliability in a Stress-Strength Model When and are Normally Distributed, *Technometrics*, Vol. 34, pp. 83-91.
- [9] Yum, J. K. and Kim, J. J. (1984), Estimation of $Pr[Y < X]$ in the Censored Case, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 12, pp. 9-15.
- [10] Yum, J. K. and Kim, J. J. (1985), A Study on the Bayes Estimator of $\theta = Pr[Y > X]$, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 13, pp. 8-12.