

고체 추진기관의 신뢰성 연구 방향

문순일*

Research Trend of Solid Rocket Motor Reliability

Soonil Moon*†

ABSTRACT

Reliability estimation of solid rocket motor is more important to meet the advanced technology and to save the development fund. Domestic reliability requirement of rocket motor has been fulfilled by design capability. But, reliability estimation process of our own should be established by surveying the advanced nation's estimation technology.

초 록

미사일용 추진기관의 신뢰성 평가는 요구되는 기술의 고도화와 사용가능한 개발 예산의 절감 측면에서 그 중요성이 더욱 높아되어지고 있다. 국내추진기관의 신뢰성은 그동안의 설계능력을 기반으로 요구수준을 만족시켜 왔으나 다품종 소량생산이 예상되는 미래 유도무기체계에 대비한 추진기관의 신뢰성 평가 기법은 현재 세계적으로 정립된 기술을 토대로 국내 독자화 할 필요가 있다. 이를 위하여 신뢰성 평가를 위한 제반 현황과 발전방향을 검토한 후에 국내에서의 적용 방안을 검토하였다.

Key Words: Reliability, Rocket Motor, Regulation, Process

1. 개 요

1960년대 NASA에 의하여 활성화된 우주 발사체용 로켓 신뢰성 연구는 이후 산업 및 국방 분야에 널리 발전되었으며 미국의 국방성에 의하여 여러 규정이 제정되어 의무적으로 적용하기에 이르렀다. 그러나 근래에 미국의 상용규격의 국방적용 및 국방규격의 의무적 적용 폐기에

따라 신뢰성 규정도 참고적으로 권장 적용하게 되었다. 고체추진기관과 관련한 신뢰성 연구 및 결과들은 각 개발회사에서 자체 개발하여 적용하고 있을 것으로 예상되지만 발표되어진 자료는 거의 없는 형편이다. 국내의 미사일용 고체추진기관과 관련한 신뢰성의 확보는 각 부품별 안전계수를 적절하게 부여하는 결정론적인 설계를 적용하여 왔으며 결과적으로 신뢰성은 확보하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 국내외적인 경제환경의 악화 및 미래전술개념의 변화는 국방연구개발비의 감소를 가져 올 것이 확실시되며 무

* 국방과학연구소 1기술연구본부 6부

† 교신저자, E-mail: msi5108@hanmail.net

기체계는 복잡 고성능화를 요구하고 있다. 이를 위해서는 개발시 적은 수량의 개발품을 통하여 신뢰성을 확보하는 기술에 많은 역량이 집중되어야 할 것이다. 이를 위하여 현재까지의 축적된 국내의 설계기술을 기반으로 확률론적인 신뢰성 기반설계의 정립이 필요한 시점이다.

2. 추진기관 신뢰성 연구동향

로켓 부스터에 대한 지침서는 SAE 항공정보 보고서에 상세히 기술되어져 있으나 미사일용 추진기관에 대한 적용에는 문헌을 찾아보기 힘들고 개발회사별 자체적으로 적용 할 것으로 판단된다. 이러한 이유는 신뢰도 계산을 위해서는 실험자료들에 대한 정보가 노출되기 때문 일 것이다. 그러나 부품에 대한 학술적 연구내용은 가끔 발표되기도 하였다. 추진기관의 주요 부품인 연소관에 대한 신뢰성 연구[1]가 되어졌고 재료의 강도 및 파괴인성 분포를 기반으로 응력과 의 관계를 이용하여 목표 신뢰도를 만족하기 위한 조건을 연구하였다. 또한 추진기관의 연소관 내 열재에 대하여 실험적인 연구[2]가 초기 내열재 두께와 열분해 두께의 비에 대한 안전성을 기준으로 열분해에 영향을 미치는 인자를 변수로 하여 통계적 의미를 갖는 충분한 시험을 통하여 규명하였다. 미사일에는 미사일을 발사관에서 구속하거나 미사일의 단을 분리하는 기능을 가진 파이로 장치가 많이 사용되어지고 있다. 이러한 화약에 의하여 기능하는 밸브의 구조에 대한 신뢰도[3]가 해석적인 방법으로 시도되었다. 결국 신뢰도를 정확히 계산하기 위해서는 통계적 수법이라는 수단을 통하여 체계 또는 부품의 고장 발생 메카니즘의 규명 및 이에 따른 시험조건이 결정되어야 할 것이다. 또한 미국의 전쟁개념은 미래전투체계에 요구되는 전 세계에 군대의 신속배치 개념에 따라 장비의 초 고신뢰도가 요구되고 있다. 그러나 미군장비의 신뢰도는 요구조건 만족도가 20 % 수준임이 밝혀짐에 따라 신뢰성은 핵심성능 인자로 취급되게 되었다[4]. 최근에 임무가 완료된 우주왕복선을 대체하기 위

한 신개념의 발사체에 대한 고체로켓부스터의 승무원 안정성평가[5]가 실시되었고 신뢰도는 상당히 높은 수준으로 예측되었다.

3. 신뢰성 관련 규정

신뢰성에 관한 국방규격은 문헌[6]에서와 같이 많은 변화를 걸쳐서 최신화 되어 왔으며 최근에는 지침서의 형태로 발전하고 있다. 그러나 대표적인 근간이 되는 규격으로서 MIL-STD-1629가 있으며 고장모드와 그 영향에 대한 분석을 위하여 표준화된 방법을 제시하였고 이에 따른 상용 프로그램이 개발되어 사용되어지고 있다. 이 것들은 설계과정에서 검증단계별로 계속적으로 보완되므로써 제품의 신뢰도를 높이게 된다. 또한 모든 고장모드에 대하여 신뢰도를 계산하기에는 너무 방대한 과제가 되므로 제품에 심각한 수준을 분류하여 우선순위에 따른 신뢰도 계산을 집중적으로 실시한다. 체계의 설계,개발,제작에 대한 규정은 MIL-STD-785(1985년)로부터 출발하여 현재에는 GEIA-STD-0009에서 미군의 표준서로서 적용되고 있다. 또한 시험관련한 지침서로서는 MIL-HDBK-781A에 기술되어 있으며 계약자와 맞춤형으로서 선택적 사용이 추천되어 지고 있다.

4. 연구분야 및 발전방향

71 mm 무유도 로켓에 대한 신뢰도를 평가한 “예”[7]가 Table 1에 나타나 있다. 내탄도 성능 및 구조 안전계수를 신뢰도 평가 항목으로 정의하여 형상변화(노즐목직경,연소면적,Port Area)와 추진제연소특성(연소속도 및 기타상수)를 변수로 하여 Table 1의 항목에 대한 신뢰도를 계산하였다.

전술로켓용 추진기관에 대한 적용[8]은 신뢰도에 대한 기 구축자료 및 절차가 확립되어 있는 경우, 요구 신뢰도에 대하여 부품별 신뢰도를 할당하고 그에따른 심각도가 높은 부품에 대하여 대체설계를 하거나 손상시험을 통하여 설계 강

Table 1. Reliability Prediction Results

Failure Description	Probability of failure at +60° C
Total Impulse	0.0001413
Arming Acc. Duration	$<1 \times 10^{-6}$
Launch Acc.	0.0002620
Max. Acc.	$<1 \times 10^{-6}$
Casing Nozzle Interface	0.0015484
Casing Head end	0.0004039
Total	0.0019698
RELIABILITY	0.9980302

건성을 결정한다. 결과적인 신뢰도 예측값은 신뢰도 요구 값인 0.999를 만족하고 있다. 국내에서의 추진기관 신뢰도 연구는 복합재 연소관에 대하여 실시된 바가 있으며 Fig. 1 에서와 같다.

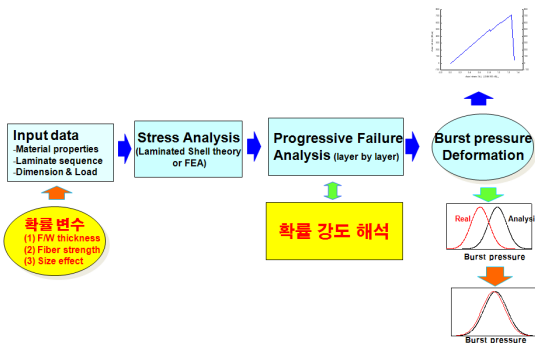


Fig. 1 Reliability Analysis Process of Rocket Motor Composite Case

연소관 제작시의 확률변수를 이용하여 모델을 가정하여 계산된 연소관의 신뢰도는 파열압력이 확률분포로 나타나게 되고 99.999 % 정도의 신뢰도를 갖는 것으로 나타났다. 무기체계의 적합성을 판단하기 위해서는 운용성시험이 실시되는데 미군의 1996년부터 2000년 사이의 체계중 20 % 만이 신뢰성을 충족하였다. 이로 인한 이유를 분석한 결과 신뢰성 연구에 대한 초기설계단계의 중요성과 민간의 신뢰성 활용 및 신뢰성 시험평가 등에 대한 발전의 필요성이 대두 되었다. 이상의 내용을 통하여 국내에서의 추진기관 신

뢰성 연구는 우선 절차에 대한 확립이 우선되어야 하며 집중 관리되어야 할 부품 및 기술을 선정하고 산재하여 연구되고 있는 분야별 신뢰도를 통합관리하는 것이 필요 한 것으로 판단된다. 세계의 경제적 저성장과 관련하여 국방연구개발비의 효율적 사용등이 요구되는 현 시점에서 추진기관의 저가화 및 고신뢰도 요구에 부응하기 위해서는 신뢰성 관련 절차의 확립과 더불어 설계단계부터 신뢰성 성장관리를 통한 개발개념의 정착이 중요한 과제라고 생각되며 이러한 개념의 적용 또한 소요 핵심기술 및 설계능력이 뒷받침되어야 실현 가능할 것이다.

참 고 문 헌

1. Wang Zheng, "Structural Reliability Design on Solid Rocket Motor Case," AIAA 93-2465, 1993
2. Smith, S. L. and Spear, G. B., "Statistical MONTE CARLO Prediction for Thermal Reliability," AIAA 94-3183, 1994
3. Thacker, Ben. H and Riha, David. S., Appliication of Probabilistic Method to Weapnon Reliability Assessment , AIAA 2001-1458., 2001
4. Fragola, Joseph. R "Reliability and Crew Safety Assessment for Solid Rocket Booster /J-2S Based Launch Vehicle," SAICNY05-04-1F, April 2005
5. 김 철., "군장비 신뢰성활동의 최근 동향, 한국신뢰성학회지, 제7권 3호, 2007, pp.111-118
6. 송병석, 조재립, "민간 신뢰성기술의 국방분야 활용방안," 한국신뢰성학회지, 제8권 2호, 2008, pp.61-73
7. Kenan Bozkaya, "Reliability Analysis of a Solid Rocket Motor Based on Response Surface Mothod and Monte Carlo Simulation," AIAA 2005-3598, 2005
8. Friedlander, Mark. P, "Failure Mode, Analysis, and Testing for Tactical Rocket Motor Applications," AIAA 2002-4040, 2002