

KSLV-I 개발사업의 신뢰성 관리연구

서견수*, 김기석**, 오범석***

Reliability Management Study for KSLV-I Program

Kyoun-Su Seo*, Ki-Seok Kim**, Bum-Seok Oh***

Abstract

In this paper, we conducted basic study on the reliability management that is a key factor to develop highly-reliable launch vehicles, and proposed the strategy for reliability management that can be applied to the KSLV program. Based on the analysis of international launch vehicles data, this paper also presented the reliability target that is essential for Korea's entering into the international commercial market.

초 록

본 논문에서는 고신뢰성 발사체개발에 필수적인 체계기술의 하나로 인식되고 있는 신뢰성 관리(Reliability Management)에 대한 기초연구를 수행하였으며, 향후 KSLV 프로그램에 적용될 신뢰성 관리 추진전략을 단계별로 기술하여 제시하였다. 또한 해외 신뢰성 관리 분석을 통하여 KSLV 프로그램의 최종목표인 상용 발사서비스 시장에 진출하기 위해 요구되는 신뢰성 목표수준을 제시하였다.

키워드 : 신뢰성(reliability), 신뢰성 성장(reliability growth), 신뢰성 시험(reliability test), 신뢰성 관리(reliability management), 신뢰성 인증(reliability certification), 신뢰성 설계(reliability design)

1. 서 론

시스템의 신뢰성이란 규정된 조건에서 의도한 시간동안 요구된 기능을 고장 없이 수행할 수 있는 능력을 의미하며, 발사체의 신뢰성은 발사체에 탑재되어 있는 인공위성이 발사장에서 이루어져 목표궤도에 기능의 손상 없이 성공적으로 투입될 확률을 의미한다. 최근 신뢰성 관리는 사회적 환경의 변화에 따라 관심이 증대되고 있으며,

품질관리와 더불어 그 중요성이 점차 폭 넓게 인식되고 있다. 또한 신뢰성 기술을 확보한 선진국에서는 신뢰성기술을 개발도상국에 대한 기술장벽 및 규제 수단으로 활용하고 있는 상황이다. 우주발사체 산업의 경우 신뢰성 분석 및 평가는 우주발사체산업의 특성 등으로 인해 적절하게 진행되어 오지 못했다. 우주발사체 개발의 선두주자라고 할 수 있는 NASA의 신뢰성 분석을 살펴보면, 초기에는 아폴로 프로그램의 정량적 위험

* 기술경영그룹/seoks@kari.re.kr

** 기술경영그룹/kks@kari.re.kr

*** 기술경영그룹/obs@kari.re.kr

평가에 관심을 두고 진행하였지만 그 결실을 거두지 못하였음을 알 수 있다. 그 뒤 40여 년 동안 많은 시행착오 및 개선을 이루어 온 현재 NASA의 신뢰성 분석은 규격제한, 안정성 마진, 입증시험, 수락시험, 인증시연 등을 통한 시험/실패/보정 등 일련의 메커니즘을 토대로 설계, 개발, 시험 및 운용 단계별 신뢰성 확보에 역점을 두고 시스템 및 제품을 개발하는 단계에까지 이르고 있다.

본 논문에서는 일반적인 신뢰성 관리활동과 최근의 신뢰성 관리환경변화 및 신뢰성 관리 활동을 살펴보고 있으며, 이러한 분석을 토대로 현재 한국항공우주연구원 우주발사체사업단에서 수행 중인 KSLV-I 개발사업에 적용할 단계별 추진전략을 제안하였다. 또한 신뢰성 관리활동과 밀접한 관계를 가지고 있는 위험관리, 품질보증 및 시험평가 분야 등과의 관계에 대해 기술하고 바람직한 상호작용에 대해서도 서술하였다.

2. 신뢰성 관리

2.1 개발환경 변화와 신뢰성 관리

최근 신뢰성 관리는 제품에 대한 안정성과 내구성을 요구하면서도 다양한 기능을 요구하는 사회적 환경의 변화에 따라 그 관심이 증대되고 있다. 제품개발 주체가 외부에 일부 부품을 아웃소싱 할 경우에도 반드시 신뢰성 데이터를 요구하고 있기 때문에, 국내 대기업 및 연구소에서도 신뢰성 관리기술의 육성을 위해서 많은 투자를 하기 시작하고 있는 추세이다. 우리나라의 경우, 최근 입법화된 제조물 책임법(Product Liability Law)에 따라 제조자의 법적책임이 더욱 증가되고 있으며, 신뢰성 관리활동 여부가 제조자의 법적 책임을 결정짓는 중요한 잣대가 되었다.

우주발사체의 경우 신뢰성 관리는 발사보험과 같은 직접적인 비용 산정, 즉 발사보험의 보험료율산정과 직접적인 관계가 있다. 따라서 외부 또는 내부의 요구에 의해서 필요시 정량적인 데이터에 기초한 신뢰성 값을 제시할 수 있어야 한다. 이는 향후 국내 발사체 산업이 상업발사 서

비스시장을 겨냥하고 있기 때문에 반드시 확보해야 할 필수적인 기술적 과제라고 할 수 있다.

2.2 신뢰성 관리의 필요성

신뢰성 기술이 처음으로 주목을 받게 된 계기는 2차대전 중 미군 군장비의 고장률 특히 전자장비의 높은 고장률에 기인하였다. 즉, 제품을 출시할 당시는 품질이 보증되었지만, 그것을 운용하는 실제현장에서는 납품받은 장비의 높은 고장률로 인하여 장비를 운용할 수 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 그 당시 적용해온 관리 개념으로는 한계가 있었으며, 새로운 관리개념의 도입이 필요하게 되었다. 그 노력의 산물이 바로 신뢰성관리이다. 미 국방부는 1954년 AGREEE (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment : 전자장비 신뢰성 자문그룹)를 창설하였으며, 1957년 AGREE의 보고서가 발간되었는데, 이것이 신뢰성 기술이 발달하게 된 출발점이 되었다.

최근의 사회경제적인 환경변화는 신뢰성 관리의 중요성을 더욱 증대시키고 있으며, 그 중요성을 부각시키는 사회적, 경제적 요인들을 살펴보면 다음과 같다:

- 고신뢰성 제품개발의 필요성 증대
- 제품구조의 고도화, 복잡화 및 다기능화
- 초고도의 신뢰도를 요하는 시스템 개발
(예: 미사일, 우주발사체, 위성, 원전설비 등)
- 신소재, 신부품 및 새로운 조립기술의 발달
- 막대한 개발/생산/시험 등에 소요되는 비용
- 최근 공포된 제품책임법 등에 대한 적극대응

2.3 신뢰성 관리의 성공조건

신뢰성 관리는 방대한 데이터베이스가 요구되는 활동이며, 제품생산에 대한 노하우의 집합체라고 할 수 있다. 이러한 이유로 선진국의 경우 핵심부품의 설계기술 및 제품보증 뿐만 아니라, 인증기술 및 신뢰성 관리기술을 반드시 자체보유하고 있다. 신뢰성 기술은 장기간의 투자가 요구되는 고부가가치 기술이라는 특성을 갖고 있기

때문에, 선진국의 경우 신뢰성 보증 프로그램과 더불어 신뢰성 차별화를 통한 경쟁력 강화에 주력하고 있으며, 부품신뢰성 증대를 위해 부품의 신뢰성 인증을 도입하여 시행하고 있다.

신뢰성 관리가 성공하기 위해서는 사업책임자의 확고한 의지가 성공의 주요 요소임은 주지의 사실이며, 동시에 전 조직원이 고신뢰성 제품을 개발하기 위한 환경변화를 적극적으로 수용하는 분위기와 사소한 노하우라도 문서화 및 데이터베이스화하는 노력이 필요하다. 또한 신뢰성 관리에 대한 지속적이고 체계적인 교육이 필요하며, 신뢰성 관리의 결과가 신속하게 피드백 되어 설계 및 제작에 반영되도록 해야 한다. 신뢰성 관리의 최종목적은 초고신뢰성 제품을 개발하는 것이며, 신뢰성 관리의 결과가 제품설계 결과에 반영될 때 이루어 질 수 있다. 이를 위해서는 신뢰성에 대한 이해를 가지고 있는 다수의 엔지니어가 배출되어야 하며, 신뢰성 엔지니어는 설계, 제작, 시험 분야 등의 전문가들과 상호 유기적으로 협력하여 각 분야별 신뢰성 데이터를 수집, 분석하여 시스템의 신뢰성 설계에 반영해야 한다.

2.4 신뢰성 관리활동

일반적으로 제품을 개발하는 과정은 개념/탐색단계, 설계/개발단계, 제조/생산단계 등 크게 3가지 단계로 나누어 볼 수 있다. 제품의 신뢰성은 70~80%가 거의 개념/탐색단계와 설계/개발단계에서 결정되기 때문에, 개념/탐색단계와 설계/개발단계에서부터 신뢰성을 고려하여 개발해야 한다. 미국의 RAC(Reliability Analysis Center)에서 조사한 자료에 따르면, 제품개발의 3단계에 있어서 제품에 요구되는 성능과 신뢰성을 만족시키기 위해서 개념/탐색단계와 설계/개발단계에서 소요되는 수명주기비용(Life Cycle Cost)이 개발 중 소요되는 총 비용의 95%를 차지한다고 한다.[6] 현재 국내에서는 신뢰성 관련 업무가 주로 개발 완료된 제품 또는 양산하고 있는 제품에 대하여 시험을 통한 신뢰성 평가에 치우쳐 있는 실정인데, 근본적으로 제품의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 제품의 설계 및 개발과

정에서부터 신뢰성을 고려하여 개발하는 신뢰성 설계(Reliability Design)과정이 필요하다. 이러한 신뢰성 관리활동과 관련된 주요문헌이 표 1에 제시되어 있다.

신뢰성 관리와 밀접하게 연관되어 있는 주요 관리활동에는 위험도 관리, 품질관리 및 시험평가 등이 있으며, 신뢰성 관리와 이들 관리활동과의 상호관계를 그림 1에 제시하였다.

표 1. 신뢰성 관련 주요 MIL-STD

MIL-No.	내 용
HDBK-217	Reliability Prediction for Electronic Systems
HDBK-251	Electronic System Reliability-Design Thermal Application
HDBK-338	Electronic Design Handbook
STD-470	Maintainability Program Requirements
STD-471	Maintainability Demonstration
STD-472	Maintainability Prediction
STD-721	Definitions of Effectiveness Terms for Reliability and Maintainability
STD-756	Reliability Prediction
STD/HDBK-781	Reliability Testing for Equipment, Development, Qualification and Prediction
STD-785	Reliability Programs for Systems and Equipments-Development and Production
STD-810	Environmental Test Methods
STD-883	The Methods and Procedures for Microelectric Devices
STD-1388	Integrated Logistic Support
STD-1629	Failure Modes and Effects Analysis(FMEA)
STD(Q)-9858	Quality Program Requirements
STD-52779(AD)	Software Quality Assurance Requirement

신뢰성 관리는 위험관리, 품질관리 및 시험평가 활동과 상호 작용하는 체계관리 기술으로써, 각각에 대한 관계를 살펴보면 다음과 같다.

위험관리의 목적은 위험요소를 최소화하거나 완화하는데 있으며, 그 중에서도 핵심부품에 대

한 위험관리는 위험관리의 요체라고 할 수 있다. 이러한 위험관리는 그림 3에 제시된 바와 같이 신뢰성관리 절차와 상당히 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 위험관리에서는 사업 전체에 영향을 주는 핵심부품의 관리가 필요하며, 이러한 핵심 관리 부품은 신뢰성 향상 및 보장을 위한 신뢰성 시험이 요구된다. 이러한 신뢰성 시험의 결과는 신뢰성 평가단계에서 확인 할 수 있다. 발사체는 일반적으로 제작기수가 적기 때문에 제작에 대한 표준 프로세스가 정의되어 있지 않으며, 인적 요소에 많이 의존하게 된다. 그러나 인적 활동은 표준화된 활동에 비하여 불완전하기 때문에 안전성을 포함한 위험도 관리가 필요하게 된다. 따라서 위험도 관리차원의 신뢰성 관리가 필요하게 된다.

시험평가의 경우, 요구되는 기준을 만족시키는 지 여부를 확인하기 위해서 시험대상에 대한 검증절차가 반드시 필요하며, 그 결과에 대한 분석 및 평가가 이루어져야 한다. 이와 같이 신뢰성과 시험평가분야는 상호 밀접한 관계를 맺고 있기 때문에 신뢰성엔지니어와 시험평가엔지니어는 서로 긴밀히 협조해야 한다. 신뢰성 시험의 종류는 매우 다양하며 각각 수행하는 목적이 있다. 발사체의 경우, 우주환경에 대한 고려가 필수적이고 가혹한 사용 환경에서 주로 사용되기 때문에 강한 스트레스가 작용되기 쉽다. 따라서 발사체의 경우 일반적인 신뢰성 시험보다 좀더 엄격한 신뢰성 시험이 요구된다.

품질관리의 경우, 신뢰성 관리는 유사성도 있지만 차이점도 존재하며 무엇보다도 품질관리는 제조 시의 제품성능과 관련된 정적인 개념인데 비해서 신뢰성 관리는 수명과 관련된 동적인 개념이라고 할 수 있다. 즉 품질관리는 제조시점의 품질에 관심을 두지만, 신뢰성관리는 운용품질(미래의 품질보증)에 관심을 두고 있으며, 미래의 품질보증을 위한 설계 프로세스에 무게 중심을 두고 있다. 이처럼 신뢰성은 품질과는 다른 관점에서 시작되었으며, 이러한 차이의 결과, 품질관리는 제조과정에서의 결함제거 및 결함의 최소화를 목표로 하고 있지만, 신뢰성 관리는 고장의 근본원인을 발생시키는 설계프로세스에 초점을 두고 있다.

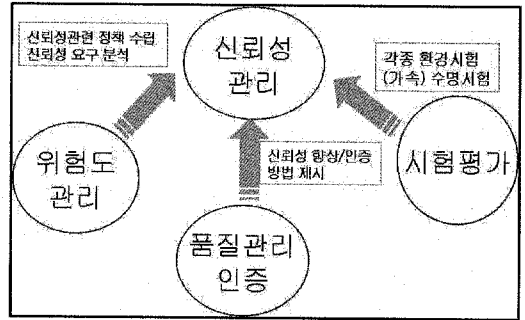


그림 1. 신뢰성 관리와 연관된 활동

3. KSLV-I 신뢰성 관리

3.1 발사체 신뢰성에 대한 해외사례

1957년부터 1999년까지 발사된 세계 우주발사체의 총 발사회수는 4378회이며, 그 중 390회의 발사가 실패하였다. 따라서 우주발사체의 발사성공률은 91.9%수준이며, 초기 10년간의 신뢰도는 79%의 수준이었다. 그 뒤 30년간의 발사신뢰도는 95%까지 증가되었으며, 발사실패의 원인분석을 보면 우주발사체 추진시스템이 발사실패의 주요 요인임을 알 수 있다.[5] 추진기관 이외의 고장원인으로는 미숙련 작업이나 판단오류와 같은 인적요인과 부품결함, 연료누유, 페이로드 분리실패, 유도제어 시스템 고장 등이 주요원인으로 밝혀졌다.[1]

표 2. 해외 발사체의 발사 성공률[2]

발사체 이름	국가	총 발사	발사 성공	발사 실패	발사 성공률
Ariane	Europe	117	109	8	0.9316
Athena	United States	5	3	2	0.6000
Atlas	United States	305	265	40	0.8689
Delta	United States	271	258	13	0.9520
H-Series	Japan	30	29	1	0.9667
Long March	China	57	51	6	0.8947
Pegasus	United States	27	24	3	0.8889
Proton	Russia	284	254	30	0.8944
Space shuttle	United States	94	93	1	0.9844
Titan	United States	203	188	15	0.9261
Tsiklon	Ukraine	249	242	7	0.9719

또한, 미국의 NASA와 공군에 의해 개발된 과거의 액체로켓엔진은 신뢰성 인증(Reliability Certification)이 요구되지는 않았으며, 입증된 신뢰성의 중요도 역시 성능, 일정 및 비용과 같은 요구조건에 비해 그 중요성이 상대적으로 낮았다. 그러나 최근의 개발환경은 과거와는 상당히 많이 변화되었으며, 대형 시스템 개발사업의 경우 과거와는 달리 신뢰성 관리에 대한 인식이 획기적으로 전환되었다.

1983에서 1998년 사이에 세계발사체의 주된 실패 원인이 추진서브시스템(U.S. 50%; non-U.S. 66.7%)이라는 것을 보여주고 있으며, 표 4는 미국 발사체 추진기관의 고장사례를 좀더 구체적으로 보여주고 있다. 제시된 자료에 따르면, 유공압 시스템과 연료공급시스템 개발에 보다 많은 신뢰성 제고노력이 요구되고 있음을 알 수 있다.

표 3. 서브시스템의 고장사례(1983-1998)[1]

국가	추진	항공전자	분리장치	전자	구조	기타	미확인	합계
미국	11	3	5	2	-	1	-	22
CIS	30	3	2	-	-	1	6	42
유럽	5	1	-	-	-	-	-	6
일본	1	1	-	-	-	-	-	2
중국	3	1	-	-	2	-	-	6
인도	1	1	-	1	-	1	-	4
이스라엘	1	-	-	-	-	-	-	1
브라질	1	-	-	-	-	-	-	1
북한	-	-	-	-	-	-	1	1
합계	53	10	7	3	2	3	7	85

표 4. 미국발사체 추진기관의 고장 원인[2]

추진기관 서브계통	고장률
Hydraulic/pneumatic control	16.7%
Fuel feed and control	15.0%
Pressurization	10.0%
Electrical Control	8.3%
Oxidizer feed and control	7.5%
Combustion chamber	4.2%
Lubrication	1.7%
Nozzle	0.8%
Thrust vector control	0.8%
Engine structure	0.8%
Others	34.2%

표 2는 해외 발사체의 발사성공률을 보여주고 있는데, 이것은 향후 상업 발사서비스를 제공하기 위해서 우리가 확보해야 할 발사체 신뢰성의 목표수준을 가늠해 주는 좋은 지표이다. 표 3은

3.2 KSLV-I 신뢰성 관리 추진전략

발사체시스템의 신뢰성은 일반시스템의 신뢰성보다 높은 초고신뢰성을 요구하며, KSLV-I 발사체의 신뢰성 요구조건은 표2에 제시된 것을 참고로 할 때 0.99x의 발사체신뢰성 요구조건을 만족시켜야 할 것으로 판단된다. 이는 향후 다른 발사체와의 상업적 경쟁력과 상용발사서비스를 위한 보험가입 시 확보해야 할 요구조건이기 때문이다. 그러나 국내 우주개발사업 환경에서는 엄밀한 의미의 신뢰성 관리활동은 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이며, 아주 취약한 상태라고 할 수 있다. 따라서 KSLV-I의 성공적 개발을 위해서는 치밀한 신뢰성 관리 추진전략이 요구되며, 향후 계속 연계되는 KSLV-II, III 개발을 위해 좀더 체계적이고 구체적인 신뢰성 관리계획의 수립이 요구되고 있다.

최근의 신뢰성 관리활동에서는 신뢰성 관리에 필요한 노력을 최소화하면서도 효율적으로 신뢰성 관리를 수행하기 위해 노력하고 있다. 이러한 일환으로 최근의 신뢰성 관리활동은 신뢰성 관리대상을 핵심부품과 비핵심 부품으로 분리하여 부품을 선정 관리하는 프로세스를 채택하고 있다.[7]. 그림 2에서는 전통적인 신뢰성 관리절차를 보여주고 있으며, 전통적인 신뢰성 관리는 요구조건과 현존기술의 수준을 고려하여 시스템 설계를 수행하며, 시스템 설계결과가 개발과정과 품질인증 과정을 거쳐 제조생산의 단계로 이어지도록 하는데 역점을 두고 있음을 알 수 있다. 또한 각 단계에서 발생한 문제점들이 설계자에게 보고 및 피드백 되어 설계변경이 이루어지도록 한다. 제조생산과정이 끝난 제품은 실제운영에

들어가게 되며, 운용 시 나타나는 문제점들 역시 시스템 설계에 제반영 되는 절차를 거치도록 한다. 이에 비하여, 그림 3에 제안된 KSLV-I 신뢰성 관리절차(안)는 고장모드분석, 고장계통도 분석, 시스템 예비설계 등을 거쳐 신뢰성 관리대상을 핵심부품과 비핵심부품으로 분리하여 관리한다. 그 뒤, 핵심부품에 대해서는 확률론적 설계를 통해 신뢰성 관리활동을 적용하고, 비핵심 부품의 경우 요구조건 중심의 설계절차를 적용한다.

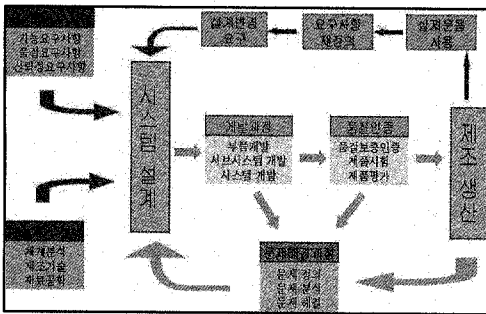


그림 2. 전통적인 신뢰성 관리절차[3]

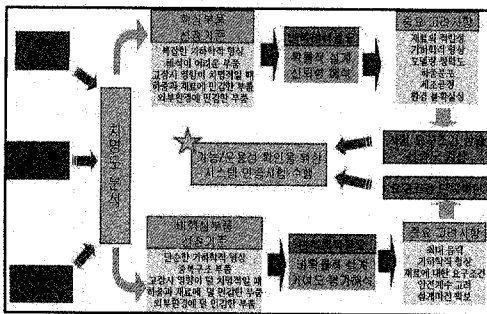


그림 3. KSLV - I 신뢰성 관리절차(안)

이러한 신뢰성 관리절차는 KSLV-I 개발환경에 적용하여 지속적으로 그 문제점을 개선하여 KSLV 개발사업 전체로 확대할 수 있도록 할 예정이다.

3.3 KSLV-I 신뢰성 성장계획

신뢰성 성장(Reliability Growth)이란 제품개발의 시험-제설계 동안, 제품의 신뢰성이 제고되는

것을 의미하며, 신뢰성 성장 관리는 이러한 신뢰성 성장이 이루어지도록 신뢰성 관리계획을 세우고 통제하는 것이다. 일반적으로 신뢰성 성장은 고장률을 줄이고 수명을 연장시키는 기술로써, 고장으로 인한 문제점을 사전에 발견하여 신뢰성 시험기술과 고장 난 시료를 분석하는 고장역학 분석기술을 통해 제품의 신뢰성을 성장시킨다. 이러한 신뢰성 성장은 수많은 신뢰성 시험과 시스템 분석에 기반을 두어야 하는데, 생산량이 극도로 적은 발사체 경우 이러한 대규모의 시험은 엄청난 재원의 소모가 요구되기 때문에 비현실적이라고 할 수 있다. 따라서 이러한 대규모 시험과 재원이 소요되는 것을 최소화하면서 최대한으로 신뢰성을 제고 혹은 성장시킬 수 있는 방안이 필요하다. 이와 같은 신뢰성 성장 방안은 제한된 개발환경(예산, 기간 및 인력 등) 속에서 그 대상의 "선택과 집중"을 통해서만이 가능하며, 그 구체적인 절차는 그림3에서 제시된 바와 같다. 또한 KSLV-I 신뢰성 성장계획의 핵심대상은 표3, 4에서 보여주는 바와 같이 추진기관이며, 특히 개발초기에 추진기관의 신뢰성 성장 혹은 제고가 최우선 과제라는 것은 주지의 사실이다.[1,5,7] 따라서 개발초기에 개발예산, 인력 등이 추진기관 개발에 집중되어야 한다. 이와 같은 사실은 위에 제시된 발사체 신뢰성에 대한 해외사례를 통해서도 충분히 입증되었다.

신뢰성 성장절차계획은 KSLV-I에서 KSLV-II, III로 계속 연계될 수 있는 장기적인 관점의 신뢰성 성장 노력이 필요하며, KSLV 프로그램의 신뢰성 관리개념은 현재완료형 관리개념이 아니라, 미래형 관리개념이라고 할 수 있다. 이것은 KSLV-I 개발사업의 신뢰성 성장계획이 장기적인 신뢰성 관리계획임을 의미한다.

KSLV 개발사업의 중장기 신뢰성 관리 목표는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- KSLV-I : 신뢰성 관리 기반기술 확보단계
 - 기초기술 확보
 - 요소기술 확보
 - 체계기술 확보

- D/B 구축
 - KSLV-II : 신뢰성 관리 적용단계
 - 신뢰성 관리기법 적용
 - 서브시스템별 신뢰도 산출
 - 전 시스템에 대한 신뢰도 산출
 - KSLV-III : 신뢰성 관리 확립단계
 - 전 시스템에 대한 신뢰성 관리
 - D/B에 기초한 설계규격 제시
 - 발사체/발사장/위성 인터페이스에 적용
5. B. D. Allen, "Historical Reliability of U. S. LV", 37th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit 8-11 July 2001, Salt Lake City, Utah.
 6. RAC Report, Blueprints for Product Reliability, 1996.
 7. K. J. O'hara, AIAA 92-3421 Rocket Engine Propulsion System Reliability, AIAA/SAE/ASME/ASEE 28th Joint Propulsion Conference and Exhibit, July 6-8, 1992/ Nashville, TN.

4. 결 론

본 논문에서는 일반적인 신뢰성 관리 프로세스, 관리활동 및 신뢰성 관리와 연관된 다른 관리활동(위험관리, 품질관리, 시험평가 등)과의 관계를 살펴 보았고, 신뢰성 관리를 KSLV-I 개발사업에 적용하기 위한 관리방안에 대해 논의하였다. 또한, 향후 KSLV-II와 KSLV-III로 계속 연계하기 위한 KSLV 개발사업의 신뢰성 성장 추진전략을 제시하였다. 이것은 향후 KSLV 프로그램의 신뢰성 관리 적용의 기본 방향이 될 것이며, 좀더 체계적인 실현방안을 수정/보완하는 것이 앞으로의 과제이다.

참 고 문 헌

1. I-S. Chang, "Overview of World Space Launches," *Journal of Propulsion and Power*, vol. 16, no. 5, pp. 853-866, 2000.
2. S. S. Lee, "Reliability Drivers for Advanced Space Vehicles," *AE8900 Special Report*, 2001.
3. SAE Aerospace Recommended Practice, "Liquid Rocket Engine Reliability Certification," *Society of Automotive Engineers, Inc.*, 1996.
4. P. Gonzalez, "Reliability of Future European Launchers with Abort Capability," *AE8900 Journal of Spacecraft and Rockets*, vol. 37, no. 6, pp. 827-832, 2000.