

## 임무보증활동을 통한 인공위성 품질비용 저감방안

김유광<sup>1,†</sup> · 이우준<sup>1</sup> · 백명진<sup>1</sup> · 천용식<sup>2</sup> · 이낙영<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 위성사업개발팀

<sup>2</sup>한국항공우주연구원 성과확산실

<sup>3</sup>충남대학교 정보통계학과

## Quality Cost Mitigation Strategy through Satellite's Mission Assurance

You-gwang Kim<sup>1,†</sup>, Woo-jun Lee<sup>1</sup>, Myung-jin Baek<sup>1</sup>, Young-Sik Chun<sup>2</sup> and Nak-young Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Satellite Mission Development Team of Korea Aerospace Research Institute,

<sup>2</sup>R&D Performance Diffusion Division of Korea Aerospace Research Institute,

<sup>3</sup>Dept. of Information & Statistics, Chungnam University

**Abstract** : The various risk factors that affected schedule, costs and mission success, etc. in development of the satellite. This paper derives the considerable "Cost of Quality" factors in the satellite development phase through the survey of practical techniques in respect of measurement of quality cost in the commercial products manufacturing, and proposes mitigation strategy of quality cost using the approach that can be minimized it.

**Key Words** : Cost mitigation, Cost of Quality(COQ), Quality Cost Model, Satellite System, Mission Assurance, Product Assurance, Risk Management, EEE parts control, Reliability

### 1. 서 론

본 연구에서는 산업제품 생산에서의 품질비용 측정에 대한 다양한 기법을 조사하고 이를 통하여 인공위성 개발시 고려가능한 품질비용 요소를 도출하고, 이를 최소화할 수 있는 접근방법을 활용한 임무보증활동을 통하여 전체적인 인공위성 개발비용 저감방안에 대하여 알아보하고자 한다.

### 2. 품질 비용

수많은 품질비용(CoQ : Cost of Quality)은 잠재되어 있어 쉽게 보이지 않고 일반적인 측정시스템을 이용하여 식별하는데 용이하지 않다. 하기 Figure 1에서 보는 바와 같이 빙산모형은 잠재된 많은 품질문제를 설명하는 방법으로 자주 이용되는데, 단지 극히 일부의 품질비용만이 명확히 수면위에 드러나며, 엄청난 잠재적 소요비용은 수면 아래에 있어 눈에 띄지 않지만 이러한 비용은 식별 및 개선 등의 노력을 통하여 어느 정도 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다.

---

Received: June 8, 2015 Revised: June 18, 2015 Accepted: July 28, 2015

† Corresponding Author

Tel: +82-42-860-2535, E-mail: kysunny@kari.re.kr

Copyright © The Society for Aerospace System Engineering

---

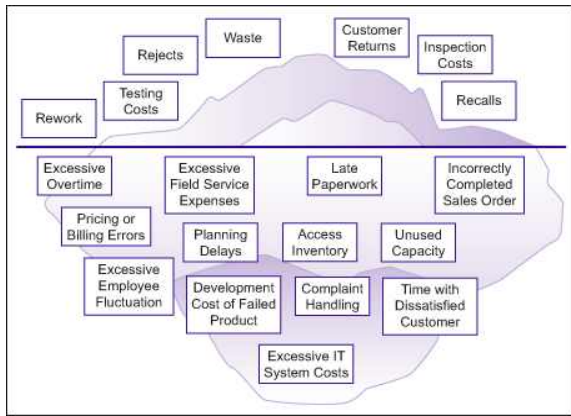


Fig. 1 Potential factors of quality costs [1]

제품생산과 관련하여 발생하는 비용은 저품질로 인한 비용(Cost of Poor Quality)과 고품질을 위한 비용(Cost of Good Quality)으로 구분할 수 있으며, 이 중에서 저품질로 인한 비용은 고객에게 배송되기 이전에 발견된 제품 및 서비스의 요건에 대한 불합치사항 발생시 야기되는 초기고장(internal Failure)에 따른 비용과 고객에게 제품 또는 서비스 인도 이후 발생하는 결함 또는 고객의 불만족을 유발할 수 있는 외부고장(External Failure)에 따른 비용으로 구분할 수 있다.

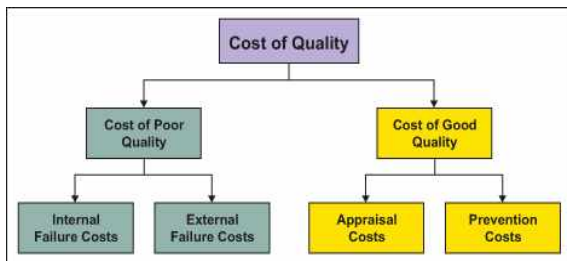


Fig. 2 Structure of quality costs

품질비용(Cost of Quality)이라 함은 제품 및 서비스의 관리를 위하여 표준 및 성능요건에 부합함을 확인하기 위한 평가(Appraisal) 비용과 제품 및 서비스에서 발생하는 문제를 사전에 방지하기 위한 모든 예방활동(Prevention)에 따른 비용이다. 따라서 전체 품질비용은 이러한 관련 비용의 총합이며, 제품/서비스의 실제 소요비용에는 이러한 품질향상을 위하여 결함 제거 등과 같은 모든 잠재적인 소요비용을 포함한다.

이런 품질비용은 통상 전체 매출의 20~40% 정도로 추산된다고 한다. 하지만, 이러한 비용은 시스템 및 품

질엔지니어의 해당 시스템 및 생산공정 최적화 정도에 따라서 완전히 없애거나, 크게 감소시킬 수도 있다.

이밖에 예방비용(Prevention cost), 평가비용(Appraisal cost), 고장비용(Failure costs) 등이 품질관련 소요비용이다.

### 3. 품질비용 분석 및 저감방안

우주분야 제품의 개발과정에서는 위험도 관리, 독립적인 설계검토회의, 수락시험 등과 같은 많은 평가활동(Appraisal Activity)이 수반되는데, 예를 들어, 지상부문(ground segment)에서 평균적으로 임무(mission)당 시스템 레벨에서 약 200여 개의 개발 관련 문제점이 발생한다면, 이는 한 개의 개발 프로젝트당 관리소요시간이 약 4 Man-days, 모든 문제의 공식처리 총소요시간이 800 Man-days(약 3.5 man-years) 정도로 추정되는 시간이라고 하며, 여기에는 시정조치, 재시험 및 문서의 업데이트 등을 위한 추가적인 비용은 고려되지 않은 것이다.[2]

따라서, 시스템 개발완료 이전에 모든 문제점이 수정되는 것이 좋겠지만, 효율적인 프로세스와 그러한 프로세스의 실현을 보장하기 위한 도구, 위험도 관리 및 과거의 경험공유 등으로부터의 교훈(lessons learn)을 통하여 문제점 발생을 사전에 방지하는 방법도 효과적이라 할 수 있다.

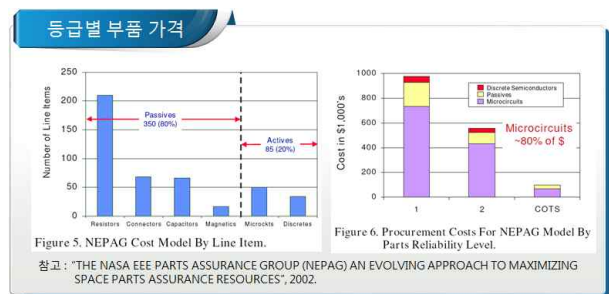


Fig. 3 Parts costs per each grades (samples)

#### 3.1 품질비용 모델 조사

품질비용의 일반적인 분류는 예방-평가-고장(P-A-F) 모델, 크로스비(Crosby) 모델, 기회(Opportunity)

비용모델, 프로세스(Process) 비용모델, ABC(활동기반) 비용모델 등이 있다.[3]

품질비용 모델 분류		
▶ 품질비용의 일반적 분류		
일반적 모델분류	비용/활동 분류	대표적인 학자
예방-평가-고장 (P-A-F) 모델	예방+평가+고장	와이켄바움(1956) 모스(1983) 등
크로스비 (Crosby) 모델	적합+부적합	슈민스키(1994) 등
기회/무형 ((Opportunity/intangible) 비용모델	예방+평가+고장+기회	산도발-차베즈-베르비드(1998) 등
	적합+부적합+기회	멜치, 맥구르 (2001) 등
	유형+무형	쥬란(1975) 등
P-A-F 모델 (실패비용에 기회비용포함)		해기(1991)
프로세스(Process) 비용모델	적합+부적합	골든, 톨린스 (1995) 등

Fig. 4 Quality costs model

이러한 품질비용의 모델의 대표적인 기본모델은 P-A-F 모델이며, Raytheon's Electronic Systems사의 경우, 소프트웨어 개발분야에서 고전적인 P-A-F 모델의 변형인 "CoQ = P + A + Rework cost" 비용모델을 적용하여 품질비용을 8년에 65% 수준에서 약 15% 수준까지 절감한 사례가 보고되었다. 이처럼 품질비용의 절감이 생산 최적화의 결과로 발생하는데, 해당 회사의 경우 약 170%의 생산성 향상으로 이어졌다고 한다.[3]

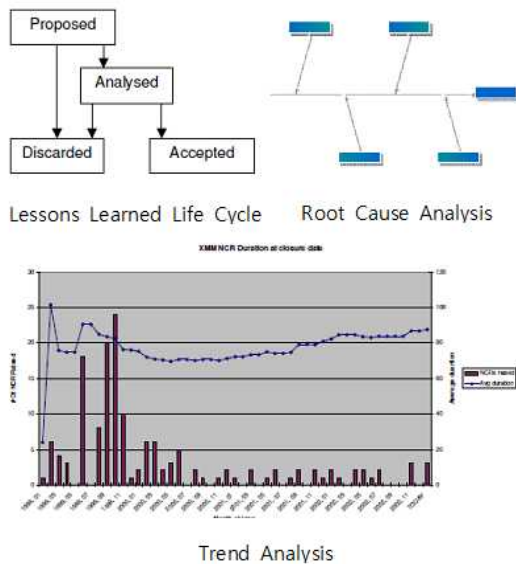


Fig. 5 Quality cost analysis methods [2]

### 3.2 품질비용 계산

과거의 전통적인 품질비용은 품질수준이 높아짐에 따라, 즉 무결점의 제품생산을 위해서는 품질비용이 기하급수적으로 증가할 것으로 예상되었으나, 실제로는 어느 수준으로 수렴한다는 것을 인지하게 되었다.

따라서, 최근 품질비용 계산법에서는 예방 및 평가 비용이 무결점 품질수준에 도달하기 위해서 무한대로 증가하지 않음을 감안하게 되었다. 즉, 고장비용이 감소하고 예방/평가비용이 증가하여 만나는 상호 교차점 이후에도 전체 품질비용은 서서히 감소하여 최종적으로는 고장비용이 영(0)이 되고 예방/평가비용과 전체 품질비용이 같아진다.

### 3.3 시그마수준과 품질비용 관계

공정개선과 관련하여 하기의 표2는 공정 시그마 개선시, 매출비용 대비 품질비용이 어떻게 감소하는지를 보여주는 예시이다. 참고로, 6 시그마 수준은 양품률이 99.9995%로써 100만개 생산시 3~4개 정도의 불량률 의미하며, 3.83 시그마는 양품률이 99%이고, 90% 양품률은 2.78 시그마 수준 정도이다.

Table 1 Relationship of costs and sigma level

시그마 수준	백만기회당 결함(DPMO)	매출비용 대비 품질비용
2	298,000	40% 이상
3	67,000	25-40%
4	6,000	15-25%
5	233	5-15%
6	3.4	1% 미만

시그마 프로세스를 적용한 공정의 예에서 완전히 예방 및 평가비용을 없앨 수는 없지만, 해당 비용이 현저히 줄어드는 것을 알 수 있으며, 이러한 비용절감은 공정능력의 향상으로 인한 것이라는 점에서 그 의미가 크다. 여기서, 이상적인 무결점(Zero defect) 지점에서는 고장비용을 0으로 가정한다.

### 3.4 품질비용 저감 방안 도출

다양한 품질비용의 요소와 분석 및 계산방법을 토대

로, 국내 위성개발시에 발생가능한 품질비용의 저감방안을 다음과 같이 도출하였다.

- 공정 표준화(Process Standardization)
- 공정 개선 및 최적화(Process Improvement & Optimization)
- 평가비용(Appraisal Cost)의 최소화(Minimization)
- 효율적인 부품 및 재료(Parts & Material) 선정 기법 (Selection Method) 적용
- 형상관리(Configuration)의 효율화 (Efficiency)
- 위험도 관리(Risk Management)

공정 표준화와 공정 개선 및 최적화, 평가비용의 최소화에 대한 노력은 시스템 엔지니어링적인 접근법으로 가능하다.[4] 현재 항우연이 개발하고 있는 인공위성 개발사업에 있어서 공정 표준화 및 개선 최적화 기법이 기 적용되어 지속적으로 추진되고 있는데, 특히 요소공정과 관련하여 협력업체에서 Equipment 제작에 소요되는 작업공정은 대부분 ESA 또는 IPC에서 인증된 표준화 공정으로 진행되며, AIT 작업은 항우연 자체 공정규격인 KPR Spec에 의거하여 수행된다.

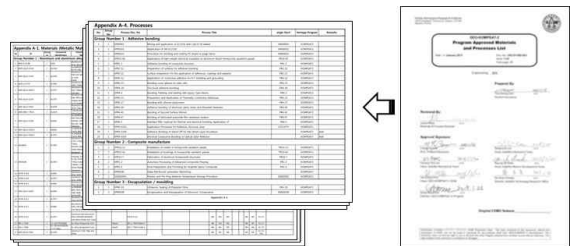
**Table 2** Standards for satellite's manufacturing

	ESA	NASA
Wire wrapping of high reliability electrical connections	ECSS-Q-70-30 [PSS-01-730]	NASA-STD-8739.4 [NHB5300.4(3G)]
Crimping of high reliability electrical connections	PSS-01-726	NASA-STD-8739.4 [NHB5300.4(3G)]
High reliability soldering for SMT and mixed technology	PSS-01-738	NASA-STD-8739.2 [NHB5300.4(3M)]
Fiber optic terminations, cable assemblies/ install.	---	NASA-STD-8739.5
Staking and conformal coating of PCBs	---	NASA-STD-8739.1 [NHB5300.4(3J-1)]
Hand soldering of high reliability electrical connections	ECSS-Q-70-08 [PSS-01-708]	NASA-STD-8739.3 [NHB5300.4(3A-2)]

단지 이를 비용적인 측면에 있어서 정량화하지는 않았으나, 이론적으로 최적화된 공정/시험 대비 결과적으로 수행된 공정/시험을 비교해 보면 정량화 할 수 있을 것이다. 이를 기초로 과거의 이력을 통해서 향후 진행될 개발과제의 공정/시험의 최적화방안을 구체화하고 이를 품질비용으로 계산하여 관리하여야 할 것이

다.

현재 항우연이 개발중인 인공위성에 소요되는 전기 전자부품은 고신뢰도를 요구하는 검증된 부품들로 구성되며, 재료 등도 우주환경에서의 악영향(corrosion, outgassing 등) 및 급격한 성능저하를 미칠 수 있는 다양한 환경조건(고진공, 자외선, 입자복사 및 원자산소 등)들을 만족하는 재료를 사용해야 한다. 따라서, 검증된 부품 및 재료의 선정을 위하여 항우연 뿐만 아니라 전세계적으로 부품 검증시험 및 우주용 자재의 개발/검증에 대한 다양한 연구가 계속되고 있다. 품질비용적인 측면에서는 검증 부품/재료의 유사성 분류, 관련 시험결과 데이터 확보, 생산업체 조사를 통하여 품질비용을 절감 가능할 것으로 판단되는데, 이는 현재 항우연이 유지관리 중인 검증된 부품 및 재료에 대한 목록(PAMPL ; Program Approved Materials and Processes List)의 관리를 통하여 가능할 것으로 판단된다.



**Fig. 6** KARI's PAMPL

예방 및 비품질비용의 절감을 위한 핵심요소 중의 하나는 위험도관리(Risk Management)이다. 따라서, 프로그램에서 리소스 할당 및 위험도 감수수준의 수용에 대하여 우선순위를 매기고, 리소스 할당 및 위험도 수락정책 수립을 통하여 각 발생가능기간 동안의 위험도 식별 및 분류 및 수행허용 심각도를 정의한다. 신규 프로젝트의 경우, 과거의 이력과 완전히 연관되지 않고, 신규 아키텍처로 구성되며, 기술 성숙도가 다르므로 신규 프로젝트의 위험도는 특성화하기가 매우 어려우므로 일정시점에서 위험도 목록을 정의하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

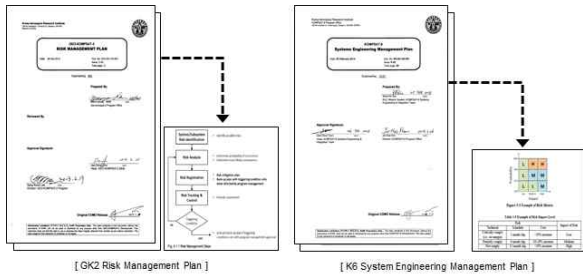


Fig. 7 KARI's Risk Management Plan

NASA의 경우, 우주탐재체 위험도 분류를 4개의 위험수준 등급분류로 구성하고 있다. 이러한 분류시의 고려사항은 NASA의 탐재체 위험조합 등급을 정의함에 있어서 기관의 전략계획에 대한 중요도, 국가적 중대성, 대체연구의 기회 또는 재발사(Re-launch) 기회의 가용성, 성공기준, 투자규모 및 기타 관련 요소 등을 고려함으로써 계층화된 접근방법을 이용하고 있다. 따라서, 특정 탐재체 또는 탐재체 구성장비에는 추가적 또는 다른 등급분류 고려사항이 적용될 수도 있으며, 각각의 고려사항에 지정된 중요사항은 해당 프로젝트 책임자의 재량에 따라 변경하여 정의할 수 있다.

비품질비용은 많은 기술분야에서 중요한 요소이다. 따라서, 수행되는 공정의 일반화, 지원도구의 일반화, 위험도관리 및 경향분석, 과거 및 공유된 지식으로부터의 교훈습득 및 전통적인 관행의 개정을 통해 비품질비용의 발생을 방지하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

많은 산업체들이 품질비용의 절감을 위하여 많은 노력을 하고 있으며, 학계에서도 많은 이론적인 품질비용 모델을 통하여 품질비용을 정량화 하려고 노력하고 있으나, 실제 산업계에서는 이론적인 부분과 실제로 소요된 품질비용은 많은 많은 차이를 보이고 있고, 그러한 이론적인 품질비용 모델이 이용되지 않고 있는 것이 현실이다. 따라서, 통상적으로 정량화 가능한 것은 재료비, 예방활동비용, 평가비용, 100개당 결함발생 비용, 납기지연비용, 판매비용, 수리요청 또는 고객불만 접수 건수 등이다. 따라서, 품질률(quality Rate)은 투입비용에서 품질결함비용, 초기고장비용, 제작업비용을 뺀 실제소요비용과 총투입비용의 비율이며, 처리품질(Process quality)은 가용시간에서 제작업시간을 뺀 실제시간에서 총 가용시간을 나눈 값으로 계산될 수

있다. 이러한 품질비용 계산을 위한 CoQ 모델을 이용한 정량적인 방법을 통하여 적게는 3년간 1.5%에서 많게는 8년간 50%까지 품질비용을 절감한 실 사례가 조사되었다.[3]

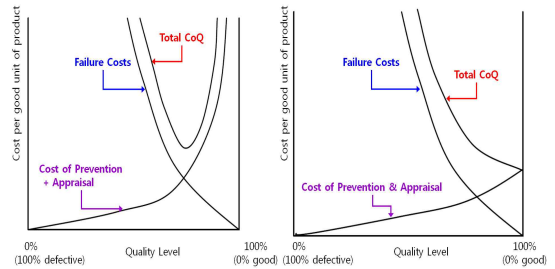


Fig. 8 Traditional QOC vs Recent QOC [5]

위성의 수명 구분기준은 통상 소형 시험위성 및 연구 및 검증 Mission용 저궤도위성은 2~3년, 소형/중형 실용위성, 민간/상용 목적의 Non-critical Mission의 저궤도위성인 경우는 3~5년, 중형 실용위성, 공공/국방 목적의 Critical Mission용 저궤도위성의 경우는 5~7년, 중형 또는 대형 실용위성인 정지궤도위성은 7년 이상의 수명을 규정하고 있다.

인공위성의 전장품 개발 비용 중 대략 70~80% 가량이 부품의 구매비용이며, 이러한 부품구매비용은 제품보증요구조건(PAR)에 규정된 부품요건에 크게 영향을 받는다. 다목적실용위성(KOMPSAT) 1호 및 2호 위성을 통해 검증된 KOMPSAT 부품 요건은 사용자 요건을 넘어서는 충분한 신뢰성 및 수명을 보장함이 확인되었으나, 반대로 사용자 요건 대비 너무 과도하다는 우려의 견해도 있다. 이에, 향후 위성의 수명 및 임무 중요도에 따라 부품의 품질 요건을 재 점검하여 사용자 요건에 충실한 부품 요건을 도출하고자 하는 노력 역시 필요할 것으로 판단된다.

이러한 사례를 바탕으로 인공위성 개발에 제안된 방안을 적용하여 추정되는 비용저감 정도는 기술적인 성숙도 수준 및 계산법의 지속적인 수정보완 노력에 따라 다르겠지만, 공정 표준화에서 1%, 공정 개선 및 최적화에서 2%, 평가비용 최소화를 통해 1%, 부품/재료의 선정 기법 효율화를 통해 5%, 기타 효율적 형상관리와 위험도관리를 통해 1% 수준 정도의 비용저감 효과가 있을 것으로 예측된다. 전체적으로는 약 10%

수준으로써, 순수 품질비용 측면의 관점에서는 대단히 효율적인 절감이라 판단된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 일반적인 제품생산시 적용되는 품질비용 분석의 개념을 활용하여 품질비용의 관점에서 현재 개발되고 있는 인공위성의 개발시 발생가능한 품질비용 요소를 도출하고, 이러한 품질비용을 최소화 할 수 있는 접근방법을 이용하여 품질비용 저감방안을 제안하였다.

인공위성의 최적화된 개발을 위해서는 품질비용의 저감뿐만이 아니라 향후 지속적인 위험도관리(Risk Management) 관점에서의 총체적 비용관리(Total Cost Management)의 노력이 필요하며, 범국가적인

연구개발에 있어서도 기술자립화 및 부품국산화와 병행하여 프로세스 최적화(Optimization)에도 많은 노력이 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] "Quality", D. Summers, Prentice Hall
- [2] ESA/ESOC(OPS-CQ) 2008.4.16
- [3] Schiffauerova, A. and Thomson, V., "A review of research on cost of quality models and best practices", International Journal of Quality and Reliability Management, Vol.23, No.4, 2006
- [4] NASA/SP-2007-6105 Rev1, NASA Systems Engineering Handbook, 31 Dec 2007
- [5] Juran's Quality Control Handbook, McGraw- Hill