

통신장치의 연구개발 품질보증 활동*

주운기**

R&D Quality Assurance on A Telecommunication Equipment*

Un Gi Joo**

ABSTRACT

Quality is defined as several terms of fitness for use, conformance to requirements or specification, and loss of social effect. And the quality can be classified into design, production and service quality according to its formation of product(or service). To be satisfactory product, the product must be controlled to maintain the specified level of quality at the whole life cycle of R&D step through disposal step. And the wrong design is one of the great source of cost. Therefore, the quality assurance on the R&D step is very important. This paper suggests a general procedure for the R&D quality assurance and discusses the methods for the reliable design. And a telecommunication equipment is considered as an applied example. Finally, it is discussed some subjects on the R&D quality assurance as further researches.

1. 서 론

품질(quality)은 용도에 대한 적합성(fitness for use), 요구조건에 대한 일치성(conformance to requirements or specification) 또는 제품이 출하될 때부터 사회에 끼치는 손실정도를 나타내는 것으로, 품질수준은 사용성, 안정성, 신뢰성, 보전성, 경제성 및 환경적인 특성 등으로 표시될

수 있다.

품질은 제품의 설계, 개발, 생산 및 유지보수 등의 단계에 따라 설계품질, 제조품질 및 서비스 품질로 나눌 수 있는데, 규정된 품질요구조건에 만족된다는 충분한 확신을 제공하기 위한 계획적이고도 체계적인 모든 활동을 품질보증(quality assurance)이라 한다. 따라서, 이를 수행하기 위해서는 설계에서부터 제품의 폐기에 이르는 제품

* 본 연구는 한국통신의 출연과제인 "광대역회선분배시스템(BDCS)개발"과제 수행 결과의 일부분임

** 한국전자통신연구소 통신시스템연구단

의 생명주기(life cycle)전반에 걸친 관리가 필요하다. 특히 설계단계의 품질이 제대로 관리되지 않으면 제조 및 서비스 품질이 좋지않게 되어 결국 막대한 손실을 입은 많은 사례가 있고, 제품 개발초기에서부터 품질의 관리를 해야할 필요성을 인식하여 이를 관리 대상으로 포함시켜 체계적인 관리를 하려는 시도[9]가 있어왔다. 그 중 하나가 ISO(International Organization for Standardization)에 의한 ISO 9000시리즈[2,3]로, 기업의 운영효율을 증대시키고, 생산성을 향상시키며, 원가를 절감시키고자 하는데 목적을 두고 있다. 이 중 ISO 9001은 설계/개발, 생산 설치 및 서비스를 포함하는 여러 단계의 규정된 요건의 적합성을 보증하기 위한 것이고, ISO 9002는 생산, 설치 및 서비스 과정의 규정된 요건의 적합성을 보증하기 위한 것이며, ISO 9003은 최종 검사와 시험 단계에서 규정된 요건의 적합성을 보증하기 위한 것이다. 그리고 ISO 9004는 기업 내부에 품질경쟁력을 갖도록 하기 위한 것이며, ISO 9000에서는 이들 규격을 어떻게 나누어 사용할 수 있는지를 설명한다. 따라서, 각 제품의 생명주기에 따라서 적절한 항목의 ISO 인증을 받아야 한다.

본 논문은 통신장치의 설계 및 시작품 개발까지의 품질보증활동을 위한 절차 및 업무를 소개하고, 특히 신뢰성 설계 및 검도를 위한 방법[1, 4,5,6,7,10,11,12]들을 비교하였으며 전송장치에 대해 적용한 예를 제시한다.

2. 연구개발 품질보증 절차

사용자가 요구하는 품질수준과 서비스 기준을 만족하는 시스템을 개발하기 위해서는 연구개발 단계에서부터 품질보증에 관한 활동들을 체계적으로 수립하고 품질보증활동에 관한 제반 관리절

차를 규정할 필요가 있다. 품질보증은 품질관리 조직과 품질설계를 수행하는 조직의 유기적인 상호 협조체제에 의해 실현되는데, 품질보증의 기능은 원칙적으로 품질보증 정책 하에서 품질보증 조직을 통해 연구개발 단계에서 수행되어야 할 품질표준 설정, 표준지침 제시, 개발 단계에서의 심사 및 감사 업무, 시스템 품질 설계 및 구현 검토, 시험 및 평가 업무, 형상관리, 연구개발 지원 환경 제공 등을 들 수 있다. 시스템 개발순기 동안 이러한 품질보증 기능을 다할 때 시스템 품질이 요구되는 수준으로 달성될 수 있고 연구개발 비용의 절약 및 사후관리를 용이하게 수행할 수 있다.

시스템에 대한 품질목표는 연구개발 초기에 설정되어 신뢰성 및 기타 품질목표가 시스템 계획, 설계에 반영되도록 하고 개발에 관련된 각종 표준화 지침들을 개발이 시작되기 전에 작성하여 개발에 반영되도록 해야한다. 또한 구현 및 시험 단계에서의 시험을 체계적으로 잘 수행하여 보다 신뢰성 높은 제품이 개발되도록 한다. 나아가 개발이 완료된 후 형상관리 활동의 결과물들을 신뢰성 및 보전도 평가자료로 활용하여 차후 시스템 개발에 반영할 수 있도록 한다. 이러한 모든 품질보증 활동들은 개발순기 전반에 걸쳐 지속적으로 수행되도록 하며 각종 활동 결과물들은 문서화하여 품질향상을 위한 자료로 활용되도록 한다.

2.1 품질목표

사용자의 요구조건을 만족하는 시스템을 개발하기 위하여 각 개발 단계에서의 점검 항목을 작성하여 이 절차에 의거, 사용자가 요구하는 품질의 시스템을 연구개발하도록 사전에 품질목표를 설정할 필요가 있는데, 품질목표는 다음과 같은 항목을 포함한다.

2.1.1 신뢰도

신뢰도는 시스템이 주어진 기간동안 요구되는 기능을 요구되는 환경 하에서 고장없이 수행하는 정도(확률)를 평가하기 위한 것으로 요구사항 정의문서에 명시된 신뢰도 및 가용도 기준에 맞도록 설계되도록 한다.

2.1.2 유지보수성

에러 또는 고장을 사전에 진단 및 수리하거나 장애 발생후 수정 또는 수리를 용이하게 하기 위하여 장애 자동검출 기능, 자동복구 기능 및 장애 위치판정 기능 등을 수행할 수 있도록 설계한다. 운용관리 기능향상을 위해서는 효율적이며 일원화된 데이터 수집 및 관리 그리고 운용자에 편리한 인터페이스(interface) 및 명령어 체계를 채택하여 유지보수성을 높이도록 한다.

2.1.3 시험용이성

시험용이성이란 제품의 신뢰성 및 성능을 보장하기 위하여 모듈 또는 서브시스템별로 시험을 수행할 때, 임의의 에러를 보다 쉽게 감지하고 수정할 수 있도록 하기 위하여 고려하여야 할 소프트웨어 및 하드웨어의 특성이다. 이를 위해 모듈 및 서브시스템 설계시 운영자의 요구에 따라 또는 자체적으로 시험할 수 있도록 설계한다.

2.1.4 사용편리성

사용의 편리성은 운용자가 시스템을 쉽게 배워 운용할 수 있는 능력을 말한다. 시스템 사용의 편리성을 높이기 위하여, 기본적인 교육을 받은 운용자가 시스템을 쉽게 조작할 수 있도록 시스템

개발과정에서 운용자 교육의 용이성을 고려한 각 개발단계의 기술문서 작성이 필요하며, 특히 현장 운용자의 의견이 반영된 사용자 운용매뉴얼 (User's manual)을 작성하도록 한다.

2.1.5 기타 품질목표

상기 사항 이외에도 시스템 개발 품질목표로서 고려되어야 할 사항으로는 확장성, 호환성, 효율성 및 안정성에 대한 품질을 실현할 수 있도록 설계한다.

확장성을 위해서는 향후의 트래픽(traffic) 증가 및 다양한 서비스에 효과적으로 대처하기 위해 랙(기구물 rack)내의 공간확보 및 전원공급의 충분한 여유 등을 고려하여 설계를 하고, 시스템의 요구품질이 유지될 수 있는 범위 내에서, 교체 용이한 부품 및 보드를 설정 및 설계한다. 또한 그 시스템이 운용될 환경적 조건하에서 만족스럽게 동작하도록하여 안정성을 확보한다.

2.2 품질보증 절차

연구 개발하고자하는 시스템의 규모 및 특성에 따라 달라질 수는 있으나, 시스템 개발단계에 따른 각 단계별 주요 활동 및 결과물은 <표 1>과 같은 절차를 가질 수 있다. 이 절차는 폭포수 (waterfall) 모델[8]을 따르고 있고, 각 단계별 결과물을 검토하고 검토결과를 반영하기 위한 궤환(feedback)과정은 생략되어 있다.

시스템 개발계획 수립단계는 개발에 대한 전반적인 계획을 수립하는 단계로서, 사용자로부터 요구된 조건을 분석하고 사업적 측면의 제반내용과 범위설정을 하며 추진전략의 일환으로 투입자원 및 일정계획을 수립한다.

개념모델 정의단계는 과제계획서 및 사업계획

〈표 1〉 연구개발 단계별 활동 및 결과물

단 계	주 요 활 용	주요결과물
시스템계획	<ul style="list-style-type: none"> - 사용자 요구사항 문서를 분석하여 시스템 개발, 타당성, 경제성, 사업성에 대한 평가 - 개발에 투입되는 자원들과 일정계획 등에 관한 개발의 범위 및 방향설정 	과제계획서
개념모델 정의	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개발을 실제적으로 수행하기 전에 모의적으로 시스템을 개념적인 측면에서 구체화 - 일반적인 관점에서 시스템의 구성 요소 및 그 구조를 정의하여 연관 관계를 나타내는 개념 모델 도식화 	개념모델
개략설계	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템을 사용자의 관점에서 명확히 정의한 요구사항 정의문서를 작성 - 시스템 개발완료후 사용자가 시스템 운용시 필요로 하는 사용자 매뉴얼을 작성 	시스템 요구 사항
시스템 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 요구사항 정의 문서에서 기술된 사용자 기능들을 시스템 관점으로 나타내는 개발기능들로 재정의 - 각 개발기능별로 개발 기능규격서를 작성 	기능규격서
서브시스템 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템을 하나의 블록의 개념으로 구체화 시키는 시스템 계층구조를 물리적 단위로 분류하여 설계 - 개발기능을 실질적인 구현단위인 블록으로 변환 	시스템 설계서
상세 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 블록을 분해하며 유니트를 정의 - 각 블록에 대한 설계를 수행 	H/W, S/W 상세설계서
구현	<ul style="list-style-type: none"> - 소프트웨어인 경우 소스코드 작성 - 하드웨어인 경우 PBA 개발 	소프트프로그램 PCB 유니트
기능 시험	<ul style="list-style-type: none"> - 구현단계에서 개발된 소프트웨어 및 하드웨어 제품을 초기단계에서 정의된 대로 개발되었는가를 개발기능 단위로 검증 	기능시험결과서
시스템 시험	<ul style="list-style-type: none"> - 실제의 운용조건하에서 시스템의 모든 기능들을 연동시켜서 시험 - 한계 조건하에서 시스템이 정상적으로 동작되는가를 검증 	시스템 시험 결과서
개발 완료	<ul style="list-style-type: none"> - 시험 완료된 제품을 동결 및 상용화 준비 	사용자 매뉴얼 개발 시제품

서를 기반으로 시스템이 가져야 할 기능이나 특성을 사용자 관점에서 정의하는 단계로, 개념적 측면에서의 시스템 모델링을 하고 개발 시스템을 명확히 정의한 시스템 요구사항 정의문서를 작성한다. 이것은 추후 시스템 개발 도중에 발생할 수 있는 문제점을 사전에 발견할 수 있게 해주고 개발된 시스템에 대한 인수 기준을 설정할 수 있게 해준다. 또한 요구사항 정의문서에서 기술된 기능들을 재 정의하여 기능규격서를 작성하고 각종 지침(개발, 문서관리, 형상관리, 신뢰성 설계지침 등)을 마련하고 품질보증활동 계획서를 작성한다.

개략설계 단계는 시스템 구조를 정의하고 시스템을 구성하는 중요한 부분들과 그들간의 관계를 정의하는 단계로, 세부적으로 시스템설계 단계와 서브시스템설계 단계로 나눈다. 시스템설계 단계는 시스템 요구사항 정의서를 분석하여 시스템의 기능, 성능 및 상호 관계를 정의하고, 시스템을 차 하위 구조인 서브시스템으로 분해하여 이들의 기능 및 상호 관계를 정의한다. 서브시스템설계 단계는 서브시스템이 제공해야 할 기능과 성능을 충족시키기 위한 방안을 제시하는 단계로, 서브시스템의 기능과 구조를 정의하고 서브시스템을 차 하위 구조인 블록(block)으로 분해하여 이들의 기능 및 상호 관계를 정의한다. 그리고, 블록 설계시 제약 사항과 사용자 운용 매뉴얼의 작성이 가능하면, 이 단계에서 작성하기 시작하여 계속 수정, 보완한 후 시스템 시험단계까지는 작성을 완료한다. 여기서 시스템 및 서브시스템 설계에 시스템 요구사항이 제대로 반영되었는지 여부의 검토를 위한 과정이 필요하다.

상세설계 단계는 시스템을 구현하기 위한 구현 단위(블록)의 구체적인 처리 내용과 절차를 정의하는 단계로, 여기서 상세설계는 블록설계를 의미한다. 블록설계는 서브시스템 설계 단계에서 제시

된 기능 및 성능을 실현시키기 위한 구현단위의 구체적인 실천 방안을 제시한다. 블록 설계가 끝난 후, 서브시스템 설계 단계에서 사용자 운용 매뉴얼 작성을 시작하지 않았다면 이 단계에서 작성하기 시작하여 계속 수정, 보완한 후 시스템 시험 단계까지는 작성을 완료한다. 이 단계에서는 적절한 설계를 위해 요구되는 시스템 신뢰성을 만족시키기 위해 각 서브시스템이 어느 정도의 신뢰성을 가져야 하는지에 대한 검토가 필요한데 이를 위해 신뢰성 배분을 수행한다. 또한 상세 설계된 각 서브시스템에 소요되는 각 부품들이 요구되는 시스템 신뢰성을 만족할 수 있는지 여부에 대한 평가가 필요하며 이를 위해 부품 신뢰성 검토가 필요하다

구현 단계에서는 블록설계 단계에서 작성된 블록설계서에 따라 블록을 구체적으로 실현시키는 단계로 하드웨어인 경우 PCB(Printed Circuit Board)를 완성하며, 소프트웨어인 경우 원천코드(source code)를 작성한다. 구현이 끝나면 유니트 별 시험을 실시하고 기술 보호가 필요하다고 인정되는 사항에 대해서는 특허 출원 및 소프트웨어 등록을 추진한다. 여기서는 구현된 시스템이 설계한 것과 일치 여부를 확인하기 위한 작업이 필요한데, 이를 위해 신뢰성 예측 및 분석 그리고 열설계 검토도 필요하다.

기능시험 단계에서는 구현 단계에서 개발된 소프트웨어 및 하드웨어 제품을 초기 단계에서 정의한 대로 개발되었는가를 개별기능 단위로 검증한다.

시스템시험 단계에서는 실제 운용 조건하에서 시스템의 모든 기능들을 연동(통합)시켜서 시험하고, 한계 조건하에서 시스템이 정상적으로 동작되는가를 검증한다. 그리고, 시스템 변화에 따른 성능변화 측정 및 더 나은 시스템을 만들기 위한 제반 활동을 수행한다. 마지막으로 사용자 운용매

뉴얼 작성을 완료하고, 이를 바탕으로 요구사항 정의서를 수정, 보완한다. 이를 위해서는 시험 지침서 및 계획서가 준비되어야 하고 이를 바탕으로 시험절차서를 작성한다. 또한 시험의 결과를 정리한 시험결과서를 작성하고 시스템규격을 작성하기 시작한다.

개발완료 단계는 시스템 개발의 최종 단계로 통합 시험, 시스템 시험이 모두 완료된 후 그 동안 수행되어 온 연구개발 업무를 총 결산한다. 이 단계에서는 시스템을 생산하는데 필요한 자료를 정비하고, 결과물을 검토하여 필요한 것은 문서화한다. 또한 상용화를 위한 기술 지원을 수행한다.

품질 보증을 위한 절차나 각 단계 별 업무는 연구개발 제품에 따라 다를 수 있는데, 다음 장에서는 대용량의 신호를 전송하기 위한 장치로 이용하기 위해 현재 개발 중인 DCS(Digital Cross-connection System)에 대해 설명하고, 이 통신 장치를 예로 하여 연구개발 과정의 신뢰성 분석 및 평가 방법에 대해 기술하였다.

3. 적용 통신장치

전자통신 관련 국제 표준화기구인 CCITT(현재의 ITU-T)에 의해 G.782에서 권고된 바와 같이, DCS는 동기식 NNI(Network Node Interface)의 접속을 기본으로 하는 통신망 노드 장치의 일종으로, 통신망 사업자 K사의 출연으로 E 연구소에서 1992년에서 1996년까지 5년에 걸쳐 다음의 기능을 갖는 전송 장치로 개발 중이다.

- 신호접속(signal interfacing) : DS(Digital Signal) 1/3 및 STM(Synchronous Transfer Module)-N (N=1,4,16) 신호들의 인터페이스 기능을 가지며 이를 위해 최대 14개의 신호 입출력 포트 가짐
- 신호분배(signal cross-connect) : VC(Virtual

Container) 1/3 단위의 신호분배(switching) 기능으로, 이를 이용해 트래픽의 양, 서비스의 종류 및 목적지에 따른 전송로 재구성, 전용/사설/특수 회선 등과 같은 비교환 영구 회선의 제공 및 관리, 전송로의 장애시 우회 전송로의 구성 등의 기능을 수행할 수 있고 전송 신호의 시험액세스(test access) 기능을 수행

- 신호 분기결합(signal add/drop) : DS 1/3 및 STM-1 신호의 분기결합을 통해 각 신호 경로의 중단 기능
- 전송(transmission) : 신호집속(signal consolidation), 신호분류(signal grooming), 허빙(hubbing), 루프백(loopback)의 기능을 가지고 있고, 두 지점간 전송 뿐 아니라 방송(broadcasting)도 수행
- 운용관리 및 유지보수 : DCS와 연동되는 서브망(subnetwork)에 대해 관리의 주체(master)로서 운용될 수 있는 환경을 구축할 수 있고, 시스템의 주요 구성 요소에 대한 감시 기능을 이용하여 장애 발생시 신속한 대처 가능

E 연구소에서는 이 장치의 개발을 위해 1992년인 1차 년도에는 시스템계획 및 개념모델을 설정하여 개략설계를 수행하였고 2차 년도(1993년)에는 이를 기반으로 시스템 설계, 서브시스템 설계 및 상세 설계를 하였다. 1994년도에는 일부 기능의 구현을 통해 DCS의 개발 가능성을 확인하였고 기능/시스템 시험을 수행하였다.

현재는 모든 기능에 대한 안정화 및 보완 과정을 수행 중인 이 DCS의 물리적 형상은 2200×800×600mm(세로×가로×두께)의 기구물(랙) 하나로 구성되어 있는데, 랙은 685×449×362mm의 쉘프(shelf) 3개로 구성되어 있고 이들 쉘프에 기능과 크기가 다른 60여개의 보드(PCB)가 실장되는 형태이다.

4. 신뢰성 목표 설정

신뢰성 관련 목표 설정을 위해서는 먼저 어떤 상태를 고장(failure)이라고 정의할 것인가를 결정해야 하고, 이에 따라서 고장의 정도나 빈도에 대한 목표치도 정할 수 있으나, 유사 제품에 대한 과거의 데이터가 없는 새로운 형태의 제품 개발에서는 이를 정하는 일이 쉬운 일은 아니다. 이를 정하기 위해서는 개발완료시까지 적용 가능한 기술 수준과 사용자의 요구사항 등을 고려해서 결정해야 하나, 사용자가 특정하게 정해져 있는 경우라 할지라도 이들 값을 정하기는 어려운 일이다.

광 전송 장치의 일종인 DCS는 정보 통신망의 근간망(backbone network)을 구성하는 장치로 이용하려고 현재 세계적으로 개발 및 상용화 준비중인 장치 중 하나인데, 이 장치에 대해 CCITT 권고 G.782에서는 “각 신호별 연간 X_i % 이내의 고장이 발생해야 하고, 전송 및 운영을 포함한 DCS의 비 가용도는 Z %이내여야 하며, 특정 시간(T)이내에 망 재구성하는 능력의 비 가용도는 W %이내여야 한다”로 신뢰성 목표를 설정하였으나, 여기서, X_i , Z , W 및 T 의 값은 현재까지 규정되지 않은 상태이다. 따라서 일반적으로 요구되는 전송 망 성능 목표치에 맞추기 위한 값으로 DCS의 신뢰성 목표치를 1992년에 1차로 설정하였으나, 1993년에 Bellcore에 의한 다음의 5가지 신뢰성 목표치를 이용하는 것으로 수정하였다. 이와 같이 수정한 이유는 Bellcore의 목표치가 신뢰성 목표 자료로서 공개된 유일한 것이고, Bellcore의 목표치가 국제 표준이 되는 경우가 많기 때문이다.

- 시스템 비가용 시간(total system downtime)
- 제어/재구성 비가용 시간(downtime for control and reconfiguration)
- 경보 비가용시간(downtime for alarm visibility)

위의 5가지는 개발 단계에서의 고장에 관한 것이나, 이외에 서비스(운영) 중의 고장에 관한 정의를 할 수 있고 확장(expansion or upgrade)시에 서비스 중단에 관한 정의도 할 수 있다.

4.1 포트당 비가용시간

DCS에 연결된 임의의 한 포트가 신호의 송/수신이 불가능해 서비스가 단절 상태로 있는 시간으로, 포트 인터페이스 블럭에서 회선분배(cross-connect) 블럭 간의 모든 광/전기 소자에 의한 양 방향 단일 포트 당 비가용시간으로 정의한다. 이는 광 케이블(cable)이나 광 중단 장치의 장애는 고려하지 않으나, 50ms이상의 모든 서비스 중단 상태를 포함하여 STM-4/16 포트 당 비가용 목표치를 0.05분/년으로 한다.

4.2 채널당 비가용 시간

DS1/3 신호를 STM-N(N=1,4,16) 신호로 보내기 위해서는 2단계(상위 스위치, 하위 스위치)를 통해야 하는데, 이와 같이 신호율의 변동이 가능한 DCS에 대한 채널당 비가용 시간을 정의하는 것으로, 0.7분/년 이하를 목표 비가용시간으로 한다.

- 포트 당 비가용시간(downtime per port)
- 채널당 비가용시간(DCS channel downtime)

4.3 시스템 비가용시간

모든 회선분배 기능이 안되는 상태의 시간을 나타내며, 동기화의 이상, 분배(cross-connection)기능 및 전원 이상 등에 의해 나타날 수 있는 50ms 이상의 서비스 장애에 의한 중단시간으로 정의한다. 이의 목표 비가용시간은 0.01분/년으로 한다.

4.4 제어/ 재구성 비가용시간

제어, 재구성 및 자기진단 기능의 실현이 불가능한 상태의 시간으로 정의하며, OS(Operating System)와 인터페이스를 가지는 제어기(controller) 및 인터페이스 부분의 장애를 포함하여 연간 1분내의 비가용시간을 목표로 한다.

4.5 경보 비가용시간

가시/가청 경보를 보고할 수 없는 상태의 시간으로 경보 판(panel) 및 경보제어기를 포함한 경보 제어체계에 문제가 있는 시간으로 7분/년을 비가용시간 목표로 한다.

위와 같이 5가지로 정의된 고장에 대해, 고장에 대한 수리는 보드 단위를 기본으로 수행한다고 할 때, 고장의 유형은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 보드내 고장: 보드를 구성하는 부품의 고장으로 인해 발생
- 보드간 고장: 보드간 케이블(cable), 백보드(backboard) 장애 및 보드간 인터페이스의 장애로 인한 고장
- 시스템 간 고장: 시스템 간 링크 및 재생기(regenerator)의 장애로 인한 고장

수리를 위해서는 장애가 발생된 지점을 먼저 파악한 후, 여유 보드를 보드 보관소에서 가지고 와 이를 대신 교체해준 후 다시 서비스가 계속되도록 해결해야하는데, 이를 위한 목표시간(MTTR)은 2시간으로 한다. 따라서 이를 줄여주기 위해 시스템은 장애가 발생하면 이를 가능한 빨리 운영자에게 통보하는 기능이 있어야 하고, 장애를 분리(isolation)시키거나 자동복구를 하는 기능도 필요하다. 또한 예방정비를 위해 자체적으로 고장 가능성을 검사할 수 있는 기능도 있어야 한다.

5. 신뢰성 배분

장치의 신뢰성 정도는 그 장치를 구성하고 있는 구성품의 신뢰 정도 및 구조에 따라 결정되고, 신뢰성과 개발비용은 서로 비례적으로 증가한다. 즉, 높은 신뢰도를 갖는 구성품(부품)으로 시스템을 구성하면 시스템의 요구되는 신뢰도를 쉽게 만족시킬 수 있으나 많은 비용이 요구되고, 반대로 질이 낮은 구성품으로 시스템을 구성하면 개발비용은 적게 소요되나 신뢰성 목표치를 만족시키기 힘들게 되므로, 목표치를 만족시키는 장치를 위해서는 재 설계 및 구조 변경에 따른 비용 또는 불량품 및 유지보수에 따른 비용이 추가로 소요되게 되어 총 소요비용이 오히려 더 크게 될 수 있다. 따라서, 신뢰성 목표치를 만족시키는 적은 비용의 시스템을 위해서는 시스템의 설계 초기에서부터 신뢰성 목표치를 만족시킬 수 있는 부품의 선택 및 시스템구조 설계를 할 필요가 있다.

신뢰성 배분은 시스템 신뢰성 목표치를 시스템의 구성품에 할당하여 시스템의 요구 조건을 만족시키는 일련의 과정으로, 개발 초기에 이루어진다. 개발자에게 구성품의 신뢰성 수준을 제공하여

시스템에서 사용되는 구성품을 포함한 부품의 품질 및 신뢰성 수준을 개발 초기에 결정하게 하고, 이를 시제품 개발에 반영하여 시스템의 신뢰성 보증이 부품 수준에서 시스템 수준까지 단계별로 이루어질 수 있도록 하는데 목표를 둔다.

5.1 기본 요건

신뢰성 배분이란 시스템의 규정된 신뢰성 목표치를 얻을 수 있도록 해당 구성품에 신뢰성 요구치를 할당하는 과정이다. 여기서 말하는 신뢰성이란 포괄적인 의미를 가지며, 척도로서는 신뢰도(reliability), 보전도(maintainability) 및 가용도(availability) 개념을 모두 포함하나, 시스템의 고장률과 수리율에 모두 관련되는 비가용도(unavailability)가 개발 제품의 주관심 사항이므로 비가용도 배분을 신뢰성 배분의 주요 대상으로 한다. 이에 따라 시스템 설계시 시스템의 신뢰성 목표치와 이를 만족시키기 위한 서브시스템의 신뢰성 수준이 설계 내용에 포함되도록 한다.

신뢰성 배분을 위해서는 시스템의 개괄적인 구조가 직렬구조로 우선 제시되어야 하고 이를 근거로 시스템의 신뢰성 배분을 한다. 시스템에 따라서는 직렬구조가 적합하지 않을 수도 있으나, 직렬구조를 이용한 배분은 분석이 용이하고, 매우 엄격한 배분을 하게되어 이 배당치를 만족시키면 시스템의 목표 신뢰성을 달성하게되므로, 일반적으로 신뢰성 배분을 위해서는 k 개의 서브시스템들에 대해 직렬 구조를 고려하여 식(1)을 만족하는 $R_i(t)$ 를 구하는 것을 목적으로 한다.

$$f(R_1, R_2, \dots, R_k) = R_1(t) R_2(t) \dots R_k(t) \geq R_s(t), \quad (1)$$

여기서 $R_i(t)$ = 서브시스템 i 의 신뢰도, $R_s(t)$ = 시스

템 신뢰도.

5.2 적용 기법

신뢰성 배분을 위해 식(1)을 만족하는 $R_i(t)$ 는 무수히 많이 존재한다. 그 중 시스템의 특성 및 개발순기에 따라 적절한 방법으로 배분을 할 필요가 있는데, 배분을 위한 방법으로는 수리적인 결과를 이용하는 이론적 방법과 과거의 유사 데이터를 이용하는 경험적 방법이 있다.

5.2.1 이론적인 방법(theoretical method)

시스템의 신뢰도 목표치를 만족시키기 위한 이론적인 배분모형은 기본적 배분모형과 수리적 배분 모형이 있다.

5.2.1.1 기본적인 배분 모형(basic apportionment model)

- 동등배분 기법(Equal Apportionment Technique)

과거의 운용 데이터가 없을 때 사용하는 방법으로 시스템을 구성하는 각 요소들이 직렬로 연결되어 있고, 이들의 가중치(중요도 및 복잡도)가 동일하고 모든 서브시스템은 시스템과 같은 신뢰성 목표를 가진다는 가정 하에서 식 (2)와 같이 배분하는 방법이다.

$$R_i = (R_s)^{1/k}. \quad (2)$$

- AGREE 배분 기법

시스템을 구성하는 하위 구조들의 복잡도와 중요도를 고려하여 할당할 수 있는 방법으로, 각 서브시스템의 고장은 지수분포를 따른다는 가정 하에서 각 서브시스템이 각각 다른 신뢰성 목표를

가지는 경우에도 적용 가능하다. 이 방법은 식 (3)과 같이 배분하는 방법으로, 계산 과정이 복잡한 편이나 시스템 설계가 거의 완료되어 서브시스템들의 고장 영향도를 파악할 수 있는 경우에 적용 가능한 기법 중 하나이다.

$$R(t_i) = \exp(-t_i/\theta_i), \tag{3}$$

여기서 t_i = 서브시스템 i 의 임무시간(mission time),

$$\theta_i = \frac{Nw_i t_i}{-n_i \ln R_i(t)} = \text{서브시스템 } i \text{의 MTTF,}$$

t = 시스템의 임무시간,

w_i = 서브시스템 i 의 고장이 시스템의 고장을 유발할 확률,

n_i = 서브시스템 i 의 구성 모듈 수,

$$N = \sum_{i=1}^k n_i = \text{시스템을 구성하는 총 모듈 수.}$$

이외에 ARINC 배분 기법은 각 서브시스템의 임무시간이 시스템 임무시간과 모두 동일하다는 가정 하에서, 시스템 및 서브시스템의 고장률을 알 수 있는 경우에 적용할 수 있는 방법이다. 또한 적절한 배분이 되도록 효율적인 조정을 위해서는 Minimization of Effort Algorithm의 사용이 가능하다.

5.2.1.2 수리적 기법(mathematical technique)

기본적인 배분모형을 응용하여 배분 대상 구성품의 비용, 무게, 부피 및 중요도(기능 및 성능) 등을 모수로 한 선형계획법(LP), 정수계획법(IP) 또는 동적계획법(DP) 등의 수학적 배분모형을 세울 수 있다. 실제 상황에 가까운 형태로 모델링한 최적화 문제는 일반적으로 풀기 어려우

므로 많이 이용되지는 않는 방법이나, 배분을 위한 여러 제약을 고려하여 다룰 수 있고 시스템 신뢰성 목표치를 만족시키기 위한 구성품의 신뢰성 수준을 결정하는데 있어서 최소의 비용 및 최대의 효율성을 갖는 중복 방법도 찾을 수 있는 방법이다.

5.2.2 경험적 방법(empirical technique)

유사 시스템의 신뢰성 배분에 관한 적용기법 및 적용 데이터를 분석하여 대상 시스템의 신뢰성 배분시에 적용하는 접근법이다. 실제 현장(field)에서 얻어진 유사 시스템의 각종 데이터를 이용하여 신뢰성 배분시 필요한 모수들의 값들을 추정하는 방법도 이에 포함된다. 특히, 시스템의 고장을 하드웨어 및 소프트웨어(운용자 포함)에 대한 고장으로 크게 분류할 때, 하드웨어 및 소프트웨어의 신뢰성 배분은 경험적인 방법에 의존하고 있다.

[적용 예] 시스템 설계가 완료된 단계에서 DCS에 배분한 예로, 유사 시스템에 대한 데이터는 없는 상태이고 시스템을 구성하는 각 서브시스템의 중요도에서 서로 상당한 차이가 있는 구조이어서 AGREE 배분 방법을 적용하였다.

DCS의 목표 가용도는 0.01분/1년이고 이 시스템은 A, B, C, D의 네개의 서브시스템으로 <표 2>와 같은 중요도(w_i)와 복잡도(n_i)를 가지고 있다.

<표 2> 서브시스템의 중요도 및 복잡도

	A	B	C	D	총합
중요도	1.0	0.3	0.2	0.2	
복잡도	11	9	16	19	55

중요도(w_i)는 각 서브시스템의 장애가 발생시 시스템의 고장을 유발하는 정도(확률)를 나타낸 것이고, 복잡도(n_i)는 각 서브시스템을 구성하는 블럭이나 모듈의 수를 나타낸다.

시스템의 목표 비가용도는 0.01분/년 이하로 설정하였을 때, 1년은 525600분이므로 이는 0.999999981의 목표 가용도를 가져야 함을 의미한다. 따라서, 목표 비가용도의 기준시간인 1년을 기준으로 할 경우, 각 서브시스템 i 에 대한 가용도 할당치는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{가용도}_i &= \exp [n_i \ln(0.999999981) / 55w_i] \\ &= \exp (-0.000000019n_i / 55w_i). \end{aligned}$$

따라서 <표 2>의 w_i 및 n_i 를 대입하면 각 서브시스템의 목표 가용도 및 비가용도는 다음과 같다.

A의 목표 가용도=0.999999996
(비가용도=4 FIT(Failures In Time duration 10⁹)
=0.126초/년)

B의 목표 가용도=0.99999999
(비가용도=10FIT=0.315초/년)

C의 목표 가용도=0.999999972
(비가용도=28FIT=0.883초/년)

D의 목표 가용도=0.999999967
(비가용도=33FIT=1.04초/년)

위의 배분 값에서도 알 수 있듯이 AGREE 배분 방법에 의한 배분 값과 시스템 목표 가용도 간의 관계는 식(1)과는 반대로 다음과 같음을 쉽게 보일 수 있는데, 등식은 $w_i=1, \forall i$ 일 때, 즉, 직렬 신뢰도 구조일 때 성립한다.

$$R_1(t) \cdot R_2(t) \cdots R_i(t) \leq R_s(t),$$

여기서 $R_i(t)$ =AGREE 배분법에 의해 배분한 서

브시스템 i 의 목표 신뢰도,

$$R_i(t)=\text{시스템의 목표 신뢰도.}$$

6. 열설계 분석

정보통신용 전자 부품은 일반적으로 최대 80~75℃이하에서 작동되어야 하며 시스템 부품 주위 온도에 대해 작동 허용온도를 초과하면 오 동작 또는 단선이 되어 고장을 유발하게 될 수 있다. 현대의 통신 장비는 외형적인 크기는 작아 지고 칩의 고속화 및 초 집적화에 따라 칩당 열 발생률이 100W/cm²를 초과하는 것도 있어서, 기구물을 설계하고 실장을 하는 데에 있어서 적절한 냉각 설계를 하는 것은 중요한 하나의 분야가 되었다. 고 용량, 고 속도의 전송 장비는 고장 시 막대한 혼란과 불이익을 초래하므로 고 신뢰도의 구조가 요구되는데, 소모 동력의 증가에 따라 작동 온도가 상승되면 장치의 신뢰도에 막대한 영향을 미치게 된다.

통신 장비의 열설계 분석을 위한 일반적인 절차는 다음과 같다.

- 각 보드별 발열량을 부품 발열량에 근거하여 계산한다.
- 냉각 방식 별 기구물 랙내의 열 분포를 분석한다.
- 각 보드내의 블럭들의 온도 분포 및 블럭 온도를 측정한다.
- 시스템 요구사항 및 기구물 요구사항의 온도 요구조건을 만족하는 지 여부를 검토하여, 이를 만족하지 않으면 열 침전기(hit sink), 냉각 방식 또는 팬(fan)의 위치/갯수를 변경하여 열 요구조건에 만족되도록 한다.

전자 장치의 냉각 방법에는 공냉식과 액체냉각 방식으로 나눌 수 있는데, 요구되는 온도 조건을 만족시키기 위해서는 상황에 맞는 적절한 방식을 택해야 한다.

6.1 공냉(air cooling technology)

외부의 공기를 시스템 내부로 끌어들이어 시스템을 냉각시킨 후 외부로 배출하는 공냉식은 자연대류 방식과 강제대류 방식이 있다. 자연대류 방식은 시스템 내의 열에 의해 발생하는 공기의 밀도 차를 이용하는 방식으로, 냉각을 위한 설계가 단순하고 저렴하며 소음이 없는 장점이 있다. 그러나, 고 밀도($138\text{Watt}/\text{m}^2$ 이상)의 열을 발생하는 장치를 위해서는 외부 동력을 이용하여 공기를 강제로 순환시키는 강제대류 방식을 이용할 수 있다. 이를 위해서는 칩 및 모듈(블럭) 수준에서 핀 모양의 열 침전기를 장착시키고 팬을 이용하여 강제 공냉을 적용하여야 한다. IBM 4381 프로세서, Hitachi사의 Sic RAM 모듈, Mitsubishi 사의 고열전도 모듈 등이 이러한 방식을 적용하여 냉각을 하였다. 공냉을 위해서 고려해야 할 사항으로는 냉각 공기의 흐름을 원활하게 하기 위한 기구물 설계 및 열 침전기의 적절한 선택 및 설계를 할 필요가 있다. 또한 팬의 위치 및 갯수를 적절하게 정하기 위한 노력이 필요하다.

6.2 액체 냉각(liquid cooling technology)

액체 냉각은 냉각수가 칩 또는 모듈 사이에 직접 접촉하고 있는 지 여부에 따라 간접식과 직접식으로 분류할 수 있다. 간접냉각 방식은 칩이나 모듈 자체가 직접 액체와 접촉하지 않도록 냉각판을 이용하는 방식으로, 냉매를 일정한 경로로 순환시키면서 발열체로부터 열을 전도(conduction)에 의해 흡수/냉각하는 방식이다. 냉매로는 물을 주로 이용하는 이 냉각 방식은 IBM의 3081/3090 프로세서 열전도 모듈, NEC 사의 SX 슈퍼컴퓨터에서 사용하였다.

직접냉각 방식은 열 전달 효율을 높이기 위해

냉매를 직접 칩이나 모듈에 거치게 하여 냉각하는 방식으로, 냉매로는 시스템 부품과 전기/화학적으로 양립(compatible)하는 불활성의 액체를 이용한다. IBM의 Josephon 컴퓨터나 미국 Cray Research 사의 Cray 2 슈퍼컴퓨터는 이러한 방식을 이용하여 냉각을 한다. 이와 같은 액체 냉각 방식은 공냉으로 냉각하기에는 어려운 고열의 장비에 적용하는 방법으로, 열 전달 표면을 확장시키고 적절한 냉매를 선택하기 위한 노력이 필요하다.

[적용 예] 현재 E연구소에서 개발 중인 DCS장치는 하나의 기구물내에 크기와 두께가 다른 60여개의 보드(PCB)를 실장하는 구조로 되어 있는데, 각 보드별 발열량을 검토한 결과 대부분 121W 이상이었다. 따라서, 자연대류를 통해서는 열설계 요구사항을 만족시키기 어려우므로 강제공냉 방식을 적용하였는데, 이를 위해 랙을 3개의 셸프(shelf)로 나누고, 중간 셸프와 상단 셸프 사이에 공기 유동을 차단하여 분리시키는 기능을 하는 공기막(air baffle)을 설치하였으며 팬을 랙상단과 하단 셸프에 각각 6개씩 설치하고 비교적 고열을 발생하는 보드들을 상. 하단 셸프에 실장하도록 기구물을 설계하여 열설계 요구사항을 만족시켰다.

7. 신뢰성 예측 및 평가

신뢰성 예측은 서브시스템 및 블럭, 보드 그리고 각 부품에 배분된 신뢰성을 검증하는 과정이다. 서브시스템, 블럭, 보드 및 부품에 대해 평가(예측)한 신뢰성이 신뢰성 할당 및 배분을 통해 설정된 신뢰성 목표치를 만족시키지 못할 경우 중복구조의 개선, 부품의 derating, 특정 부품의 선택 및 부품 수를 줄이기 위한 설계변경을 통하

여 신뢰도를 개선하거나, 필요한 경우 신뢰성을 재할당(배분)하여 설정된 목표치를 만족하게 하거나 요구사항을 수정하기 위해 수행한다. 일반적인 신뢰성 예측 절차는 다음과 같다.

- 시스템의 기능블럭도(functional block diagram)를 작성한다.
- 서브시스템 들간의 작동시간 중의 임무내용을 파악한다.
- 각 서브시스템의 논리적 구조, 즉, 각 서브시스템 간의 입출력 관계, 시스템 작동시 서브시스템 간의 연관성에 따라 고장이 시스템에 미치는 영향 등을 분석한다.
- 시스템의 신뢰도 구성도(reliability block diagram)를 작성한다.
- 각 서브시스템과 각 블럭별로 신뢰성 예측을 위한 관련 자료를 조사한다.
- 각 부품의 고장률을 이용하여 서브시스템 및 전체 시스템의 고장률을 구한다.
- 신뢰성 배분을 통하여 설정된 신뢰성 목표치와 비교한다.
- 신뢰성 목표치에 만족하면 구현 단계로, 그렇지 않으면 설계 혹은 신뢰성 재 배분 단계로 전환(feedback) 한다.

신뢰성 예측을 위해서는 설계의 진행 정도 및 신뢰성 관련 과거 데이터의 유무에 따라 적용가능한 여러 방안이 있으며, 신뢰성 예측의 효과적인 수행을 위해서는 시스템의 구현이나 시험 전에 수행하는 것이 좋다.

7.1 유사 제품과의 비교법(similar equipment / complexity technique)

현재 존재하는 유사한 제품에 대한 분석자료를

그대로 개발을 위한 장비의 신뢰성 자료로 간주(예측)하는 방법으로, 이 방법은 개발하고자 하는 장비의 구체적인 형상이 없는 개념 설계 단계에서도 적용가능하다. 이를 위한 방법으로는 기능이 유사한 장비와 비교하는 방법과 복잡도가 유사한 장비와 비교하는 두 가지 방법이 있다. 유사한 기능을 가진 장비에 대한 자료를 이용하여 예측하는 것은 기존 장비와의 기능, 설계 및 제작 방법의 유사정도, 기존 장비에 대한 분석 자료의 정확도에 따라 결과가 달라질 수 있다. 복잡도가 유사한 기존 장비와의 비교를 위해서는 트랜지스터(transistor), 릴레이(relay), 다이오드(diode) 등의 능동소자(active element)를 몇개 정도 사용해야 구현 가능한지를 알아야 하고, 이외에 시스템이 운용될 환경요소(environment factor)도 결정하여 MTBF 값을 예측한다. 복잡도의 비교를 통한 예측 방법은 현재의 기술수준 및 부품 신뢰도에 따른 고장률 데이터가 필요하다.

7.2 함수를 이용한 방법(prediction by function technique)

각 장치의 성능에 영향을 줄 수 있는 요소들에 대한 고장률 함수인 회귀식(regression equation)을 이용하여 예측하는 방법으로, 환경요소, 부품별 고장률 및 장치의 구성 부품비율 등을 알아야 적용 가능하다. 이 방법도 각 부품 별 고장률 등을 최신의 것으로 변경하고 이에 따른 적절한 회귀식을 구하는 작업이 필요하나, 구체적인 형상이 완료되기 전에도 적용가능한 방법이다.

7.3 부품수 개수 방법(part count technique)

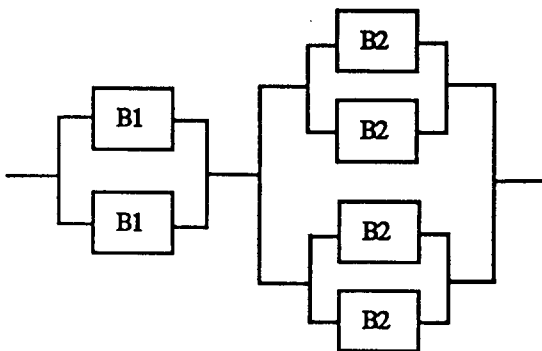
상세설계 초기 단계에서 장치의 구성 부품 종류

및 갯수, 요구되는 품질수준 및 운용될 환경정보를 알 수 있을 때 적용 가능한 방법으로, MIL-HDBK-217의 환경요소에 따른 부품별 고장률을 이용하여 장치를 구성하는 부품별로 부품 갯수를 곱하여 얻은 고장률을 모두 더하여 시스템의 고장률로 예측하는 방법이다.

7.4 부하 분석법(stress analysis technique)

부품 고장률은 사용될 환경 및 부하(stress)에 영향을 많이 받는데, 상세설계 완료 단계에서 부하 정보를 알 수 있는 경우 적용 가능한 방법이다.

[적용 예] 상세설계에서 적용한 것으로, 이 단계에서는 시스템을 구현할 방안 및 형상이 모두 정해진 상태이므로 부하분석법을 적용하였다. 부하 분석법을 위한 고장률은 대부분의 부품에 대한 최신의 고장률 데이터를 제공하는 미국 국방성의 MIL-HDBK-217F를 이용하였다. 시스템의 목표 신뢰도를 0.01분/년으로 하였을 때, 전체 시스템 고장을 유발하는 보드 및 이를 위한 신뢰도 불력도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 신뢰도 불력도

MIL-HDBK-217F의 고장률 데이터를 이용하여

부하 분석법을 적용한 결과, 보드 B1과 B2의 고장률은 각각 17275 FIT와 6325 FIT로 계산되었다. 이를 이용하여 상태전이도(state transition diagram)를 작성하여 분석한 결과, 0.01초/년 [2000 FIT]의 비가용시간으로 평가되어 목표 비가용도를 만족시킬 수 있는 구조임을 알 수 있다. 그러나, MIL-HDBK-217F에 의한 부품 고장률은 품질수준(미국 국방성 인증 부품/타 인증된 기관에 의해 인증된 부품/인증이 안된 부품)에 따라 큰 차이를 보이며, 운용 중 부품 인접면에서 발생하는 온도(junction temperature) 및 IC의 집적도에 따라 고장률이 민감한 변화를 가지므로, 정확한 예측을 위해서는 운용 환경 및 부하에 대한 자세한 정보를 알아야 한다.

8. 결 론

새로운 제품을 개발하여 제조하고 유지보수를 거쳐 폐기에 이르기까지 경쟁력이 있는 제품이 되기 위해서는 사용자가 만족할 만한 품질을 가져야 한다. 특히 제품의 생명 주기 초기인 연구 및 시제품 개발과정에서의 오류를 수정하여 원하는 품질수준이 유지되도록 하려면 그 이후 단계의 오류 수정에 소요되는 비용보다 훨씬 큰 비용을 감수해야 하므로, 연구 및 시제품 개발과정인 제품 생명주기 초기에서부터 철저한 품질관리가 필요한데, 폭포수모델과 같은 순차적인 단계를 거쳐 연구개발을 하는 시스템의 경우는 특히 그러하다.

본 논문에서는 연구개발 과정에서 수행되는 품질보증 관련 절차 및 업무를 서술하였고, 특히 신뢰성 배분, 열설계 분석 및 신뢰성 예측 방안 등을 통신용 전송장치에 적용한 예를 통해 설명하였다. 그러나 신뢰성 분석/평가를 위한 방안이 여러 가지가 있고 각 방안 별 적용 결과는 모두

다를 수 있으므로, 부품 고장률의 근거자료 (source data) 및 신뢰성 분석 방법이 같지 않다면 장비 A의 고장률이 1500 FIT이고 장비 B의 고장률이 2000 FIT라해서 장비 A가 더 신뢰성이 높다고 단언하기는 힘들다. 그러므로, 각 응용 장치 군(group) 별 분석 방안을 표준화 할 필요가 있으나, ASIC(Application Specific Integrated Circuit)과 같이 장치별 특별한 모듈 및 부품이 많이 이용되는 통신 장비를 위해서는 자체적인 분석/평가 도구의 개발도 요구된다. 또한 각 부품의 고장률을 기술수준에 따라 변경해줘야 하고 품질특성에 따른 적절한 회귀식을 찾아내는 작업도 계속 연구가 되고 있는 분야이다. 통신망의 근간인 전송망을 구성할 통신 장치의 경우, 요구되는 망 신뢰성을 충족시킬 수 있는 개별 장치 신뢰성 확보가 필요하다. 신뢰성있는 장치를 위해서는 본문에 기술한 바와 같이 자체적인 기능 감시 및 검사 기능이 있는 것이 좋은데, 어떠한 순서로 검사를 하는 것이 좋은가에 대한 연구도 필요한 상태이고, 열 제한 조건, 보드간 신호 전송 양과 지연(동기화를 위한 delay) 조건 및 기구물 공간 제약 조건 등을 고려한 기구물내의 보드 및 셀프 실장 방안을 찾기 위한 문제도 경영과학의 분석 기법이 필요한 과제이다.

참 고 문 헌

[1] 김원태, 박중무, “전자 시스템에 대한 냉각 기술의 연구 및 개발 동향”, 한국전자통신연구소 『주간기술동향』, 92-30(1992), pp. 12-29.

[2] 박영택, “품질시스템의 발전과 품질경영”, 대한산업공학회 『산업공학』, 제7권, 제2호 (1994), pp. 11-19.

[3] 안웅, “품질경영시스템과 ISO 9000 인증”,

대한산업공학회 『산업공학』, 제7권, 제 2호 (1994), pp. 53-59.

[4] 최성봉, 김익생, “전자 장비의 액체 냉각 기술 동향 및 냉각 단위체 설계 방법”, 한국전자통신연구소 『주간기술동향』, 93-43(1993), pp. 15-38.

[5] CCITT Recommendation G. 782, “Types and General Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy(SDH) Equipment”, Geneva, 1992.

[6] CCITT Recommendation G. 911, “Parameters and Calculation Methodologies for Reliability and Availability of Fiber Optic Systems”, Geneva, 1992.

[7] Department of Defense, MIL-HDBK-338, “Reliability Apportionment /Allocation”, U.S.A., 1984.

[8] Department of Defense, MIL-HDBK-217F, “Reliability Prediction of Electronic Equipment”, U.S.A., 1991.

[9] Pressman, R.S., Software Engineering - A Practitioner's Approach, McGraw-Hill, Inc., 1992.

[10] Roberts, G.W., Quality Assurance in Research and Development, Marcel Dekker, Inc., 1983.

[11] TA-NWT-000253, “Synchronous Optical Network Transport Systems :Common Generic Criteria”, Bellcore, 1990.

[12] TA-NWT-001339, “Generic Reliability Requirements for Digital Cross-connect System”, Bellcore, 1993.

[13] TR-TSY-000332, “Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment”, Bellcore, 1988.