

신뢰성 보증을 위한 관리체계

卓在榮, 宋炳龍

韓國通信 品質保證團

I. 서론

반도체 소자 및 집적회로 기술과 컴퓨터 기술의 발달로 현대의 전자제품은 다기능화·복잡화됨에 따라 신뢰성에 대한 요구가 높아지고 있다. 신뢰성은 제2차 세계대전 이전에는 단지 직감적이고, 주관적이며 또한 정성적인 것이었다. 신뢰성에서의 정량적인 개념은 세계대전 말기에 인식된 후, 오늘에 이르기까지 복잡한 시스템에 대해서는 반드시 필요한 것으로 받아들여지고 있다. 이러한 신뢰성에 대한 현재의 기술은 우주공학 및 군수산업에서의 기술에 그 뿌리를 두고 있다. 이러한 신뢰성 기술에 대한 영향은 점차 여러 분야로 확대되어 파급되고 있다.

과거, 설계자들은 장비에서 발생하는 문제를 해결하고 장비의 수명을 연장시키기 위한 방안으로 용량을 크게 하고, 비용이 많이 드는 과잉설계를 실시하려고 했다. 그러나 장비가 점차 복잡해지고 사용자는 보다 작고 보다 가벼운 것을 원함에 따라 문제는 더욱 복잡해졌다. 이에 따라 설계시 가끔 사용되는 직관적인 방법은 보다 효과적인 방법으로 개선되어야 한다는 필요성을 인식하게 되었고, 신뢰성의 개념이 설계시부터 고려되어야 하며, 조직화된 계획으로 관리되어야 한다는 것을 인식하게 되었다.

신뢰성관리는 제품이 일정 기간동안 주어진 환경하에서 요구되는 기능을 만족하게 수행할 수 있도록 환경조건을 분석하고, 고장형태 및 영향을 분석하며, 부하 및 최악조건을 분석하고, 신뢰도를 예측하고, 신뢰도 성장시험을 수행하여, 신뢰성을 향상시키는 제반활동을 말한다. 따라서 신뢰성관리는 그 속성상 사용자 입장에서 요구하는 지속적인 품질유지를 보장하기 위해서는 제품의 계획, 연구개발, 생산, 설치 및 운용단계의 전 순기(life cycle)에 걸

친 활동이 필요하다.

본 고에서는 제품의 순기에서 각 단계에 포함되어야 하는 신뢰성 관리체계에 관한 사항을 기술하고자 한다. 신뢰성 관리체계를 다루는 규격으로는 IEC 300의 국제규격과 BS 5760의 영국 국가규격을 대표적으로 들 수 있으며, 그 외에 미국방성에서 작성한 MIL-STD-785와 미국이 여러 통신회사에서 세운 벨 통신연구소(Bell Communication Research)의 규격이 있다. 본 고는 이들 규격의 내용을 토대로 하여 수정·편집한 것이다.

II. 신뢰성 관리체계와 순기 단계

신뢰성 관리체계의 전반적인 목적은 제품 순기의 단계에서 신뢰성 향상을 위하여 능률적이면서 각 단계에 알맞는 적절한 노력이 이루어지도록 하기 위한 것이다. 또한 신뢰성을 추구하는 활동들이 적합한 수준으로서 제품에 적용되도록 하는 공학적 측면 및 관리적인 측면에서의 활동으로 적절히 종합되도록 하기 위한 것이다. 신뢰성 관리체계의 수립 및 적용은 다음과 같은 사항을 달성하기 위한 것이다.

- 제품이 규정된 유효 수명기간 동안 요구되는 가용성 및 정비유지성으로 운용되고 신뢰될 수 있는 기능을 수행토록 하기 위하여 제품의 연구개발, 생산 및 운용 단계에서의 종합적인 신뢰성 보증을 위한 관리체계의 구축
- 사용자 신뢰성 요구사항의 식별 및 이러한 요구사항을 제품의 특징 요구사항으로의 적용

- 현실적인 신뢰성 목표의 수립, 계획 및 연구개발단계에서의 측정과 목표와의 차이에 대한 조정방법의 수립

- 모든 신뢰성 업무를 실시하기 위한 효율적인 신뢰성 조직 및 관리방법의 수립

- 장비가 처하게 될 최악 환경조건에서도 견딜 수 있도록 제품 순기의 초기단계인 설계에서부터 접근

- 운용 고장을 최소화하고, 가용성을 증가시키고, 순기 비용을 낮추기 위한 방법의 수립

신뢰성 관리체계의 시작은 제품의 기능성, 운용성, 성능 및 정비유지성의 측면에서 사용자의 요구사항 및 제품에 대한 규격을 작성하는 것이다. 여기서 규격서의 내용은 신뢰성 관리체계에서의 요소로 특정 신뢰성 활동으로 변형된다.

신뢰성 관리체계는 신뢰성 목표를 달성하기 위하여 제품의 전 순기에 걸쳐 수행되어야 하는 것으로 순기는 계획단계, 연구개발단계, 생산단계 및 설치·운용단계로 구분할 수 있다.

제품의 계획단계로부터 설치 및 운용단계에 이르기까지의 폭넓은 관리체계는 제품을 연구개발, 설계, 생산 및 시험하는데 이용되는 기준이 완제품의 신뢰성에 기여하는 중요 요소가 되기 때문에 필요하다. 따라서 위의 각 단계하에서 신뢰성 관리체계를 구성하는 요소가 종합적으로 실시되어 신뢰성관리의 목표가 전반적으로 달성될 수 있도록 지원하는 것이 필요하다.

이러한 순기 단계를 정의하는 것은 서로 다를 수 있다. 즉, IEC 규격에서는 5단계(개념형성, 설계 및 개발, 제조 및 설치, 운용 및 정비유지, 폐기단계)로 정의하고 있다. 또한 영국 국가규격인 BS 5760에서는 정의, 설계 및 개발, 생산, 설치, 운용 및 정비유지의 5단계로 구분하여 정의하고 있으며, 미국의 벨통신연구소에서는 개념형성, 타당성 확인, 연구개발, 생산, 설치, 운용단계의 6단계로 정의하고 있다.

이러한 순기의 여러 단계는 많은 제품과 시스템에 대해서 명확하게 구분되는 것은 아니다. 즉, 개발노력이 생산이 시작된 후에도 지속될 수 있으며, 또는 지속적으로 제품을 생산하는 동안과 운용현장에서 서비스를 제공하는 동안에도 설계변경이 있을 수 있다. 그러므로 신뢰성 관리체계의 효율적인 실시를 위하여 제품 순기 단계의 전반적인 이해와 상호관계의 유지가 각 단계에서 신뢰성에 관계된 업무를 실현시키는데 필수적인 것이다.

1. 계획단계

계획단계에서 사용자는 제품의 기술적인 요구사항과

신뢰성 요구사항을 확인한다. 신뢰성 관리체계와 신뢰성 요구사항은 회사의 설계조직이나 외부의 연구개발자에 제공할 수 있는 규격서의 형태로 정의된다. 외부의 연구개발자와의 대부분의 초기 접촉은 제안요청서(request for proposal)를 통해 이루어진다. 이러한 자료에서는 제품의 신뢰성 목표치를 기술하고 이를 만족시킬 수 있도록 하기 위하여 제품의 기술적인 특성을 규정하며, 신뢰성 관리체계에 관한 정보를 제공한다.

계획단계에서의 신뢰성 업무는 설계 및 제조에서 이루어져야 할 일련의 성능 및 신뢰성 목표를 수립하는 것이다. 이러한 업무에서는 서로 다른 순기의 각 단계에서 적용될 수 있는 신뢰성 특성과 순기의 각 단계에 영향을 줄 수 있는 요소들을 고려하여 요구사항을 수립하는데 중점을 두어야 한다.

2. 연구개발단계

연구개발단계에서는 제품의 하드웨어 및 소프트웨어가 제품규격서에서 명시된 기능을 수행할 수 있도록 연구개발하는 단계이다. 이 단계에서는 시제품을 조립하고 이 시제품에 대한 실제 운용환경 또는 모의환경하에서 시험을 실시하며, 생산에 관한 상세한 기술자료를 작성하며, 운용 및 정비유지에 대한 지침을 작성하는 사항을 포함하는 것이 일반적이다.

연구개발단계에서의 신뢰성 업무는 계획단계에서 설정된 신뢰성 및 성능목표를 실시하는데 중점을 둔다. 이러한 업무에는 시스템 및 장비의 신뢰도 예측, 배분 및 분석에 관련된 기술적인 업무가 포함된다. 장비에 부과된 물리적인 부하와 전기적인 부하를 만족시키기 위하여 부품 및 재료의 선정에 대한 사항을 관리하는 것이 필요하다. 또한 신뢰성 관리체계의 효율성을 증가시키기 위하여 설계검사를 통해 설계의 타당성을 입증하는 것이 필요하다.

3. 생산단계

순기절차에서 생산단계는 설계가 상세한 수준으로 되었을 때, 생산을 시작하여 제품을 남기에 맞추어 합체되기까지의 과정을 말한다.

생산단계에서는 제조하는 과정에 발생하는 신뢰성에 관한 사항을 다루어야 한다. 이것은 신뢰성 변수를 측정하고, 문제점을 확인하며, 확인된 내용을 기술 및 제조부서에 피드백하여야 한다는 것을 의미한다. 이러한 활동의 결과로 말미암아 시스템에 대해 부분적인 재설계를 할 수도 있다. 그리고 계획단계 및 연구개발단계에 참여했던

요원이 생산단계에서 조언을 할 수도 있다. 그렇지 않으면 제품의 특성이 변경될 수도 있으며, 의도했던 설계가 만족되지 않을 수도 있다.

생산단계에서의 신뢰성 업무에는 품질관리활동, 부품 및 재료의 평가, 외주업체의 품질관리 심사, 최종 수락시험 및 신뢰성 시험이 포함된다. 더구나 품질관리체계에서는 제조공정의 품질을 관리하고, 최종 제조라인에서 제품의 품질을 시험에 의해 측정하는 신뢰성 관리업무가 수립되어야 한다.

4. 설치 및 운용단계

설치 및 운용단계는 제조된 제품을 사용자가 원하는 장소에 설치하기 위한 준비로부터 시작하여, 제품이 설치되어 사용자에게 인수된 후, 제품의 수명기간 동안 서비스를 수행하는 단계를 말한다.

설치 및 운용단계에서의 신뢰성 업무는 생산단계에서 확보된 신뢰성이 저하되지 않도록 관리하고 계획하는 것으로 구성된다. 이러한 신뢰성 업무에는 시스템에 대한 수락시험을 수행하고, 규격서에 적합한 것을 입증하기 위한 절차와 제품의 성능을 설정된 목표와 비교·평가하는 것이 포함된다. 이러한 신뢰성 업무에는 제품의 신뢰성이 저하되지 않도록 하기 위한 기술변경분석, 운용성능통제, 고장보고 및 시정조치 기능과 같은 제품 지원사항이 포함된다.

그리고 제품의 효율성을 측정하는 방법이 설치 및 운용단계에서의 신뢰성을 평가하기 위하여 구축되어야 한다. 또한 장애에 발생될 사항을 뒤돌려 반영하는 피드백 시스템이 필요하다. 이러한 피드백 시스템은 종종 초기의 단계에 참여했던 요원에게까지 연결되는 것이 필요하다.

III. 신뢰성 관리체계에서의 업무

제품의 순기 단계에서 효율적인 신뢰성 관리체계를 수립하는 것은 신뢰성에 대한 지식뿐만 아니라 제품의 그 자체, 사용된 기술 및 여러 비용 요소의 이해를 필요로 한다. 즉, 신뢰성 활동이 제품에 관련된 다른 활동과 서로 분리되어 관리되는 것이 아니라 서로 연결되어 통합된다면 더욱 더 효율적인 결과를 획득할 수 있다.

신뢰성 관리체계에서는 순기의 각 단계에 따라 신뢰성 기술과 신뢰성 입증 업무의 적절한 조합이 이루어져야 한다. 이러한 업무가 관리체계의 계획, 연구개발, 생산, 설치

및 운용에서 적용할 수 있는 단계에 따라 각 시스템 또는 서브시스템별로 선정되어야 한다. 전체적인 관리체계에는 특정의 신뢰성 관리체계 업무가 만족스러운 정도로 달성될 수 있도록 필요로 하는 자원, 일정계획, 관리사항이 포함되어야 한다. 이에 순기의 여러 단계에서 실시되어야 하는 신뢰성 업무를 18개로 구분하여 다룬다.

1. 신뢰성 활동계획

효율적인 신뢰성 활동계획을 수립하기 위해서는 신뢰성 업무 및 관리에 대한 절차가 적절하고, 또한 이를 수행하는 조직이 신뢰성활동에서 나타나는 문제점에 적절한 조치를 취할 수 있도록 접근하는 것이 필요하다. 이러한 신뢰성 활동계획은 신뢰성 요구사항의 분석을 토대로 이루어져야 하며, 계획단계에서 개발되어야 한다. 신뢰성 활동계획은 다음과 같은 사항을 달성하기 위한 도구이다.

- 효율적인 신뢰성 관리체계를 지원한다.
- 여러 신뢰성 업무에 대한 이해와 그 수행정도를 평가한다.
- 신뢰성 업무의 수행·관리를 위한 문서화된 절차가 적합한지를 확인하기 위해 계획을 평가한다.
- 신뢰성 활동과 발생하는 문제점에 대한 적절한 조치를 취할 수 있는 지의 관점으로 조직의 적절성을 평가한다.

2. 신뢰성 활동심사

신뢰성 활동심사는 수립된 신뢰성 관리체계에서 신뢰성 활동이 미리 계획한 단계에서 수행되는 것을 확인하기 위하여 실시하는 것이다. 신뢰성 활동심사는 매 단계마다 실시되어야 하며, 신뢰성 활동의 초기에는 적어도 분기마다 심사가 수행되어야 하나, 활동이 진행되면 심사주기가 길어질 수 있다. 신뢰성 활동심사는 설계심사에서 논의된 사항 및 신뢰성 관리체계에서의 모든 신뢰성 업무에 대한 일정계획 및 현황을 확인하는 것이다.

이러한 신뢰성 활동심사는 선정된 설계 및 시험에서의 접근방법이 기술적인 측면과 신뢰성 측면에서 적합한지를 파악하는 사항을 포함하여 관리체계에서의 진행상황을 평가하기 위한 것이다. 또한 이러한 활동은 신뢰성 관리체계에서 발생하는 문제점에 대해 조치를 취하고, 검토할 기회를 주며, 다른 관련 분야에 관심을 기울이게 해주는 측면이 있다. 이러한 신뢰성 활동심사에서 검토되어야 할 사항으로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 기술수준, 인력, 장비등을 고려한 설계 및 개발, 시험 평가, 제작가능성 검토
- 설계지침 및 신뢰성 활동계획의 적합성, 타당성 검토

- 제품의 경제성 분석
- 개발, 시험 및 제작에 필요한 기간 검토
- 신뢰성 관리활동에 필요한 비용 및 일정계획 검토

3. 제품 요구사항

계획단계에서 어떤 제품의 필요성이 제기되어 그 제품에 대한 기능, 성능, 운용조건, 신뢰성 등의 제반 요구조건을 분석하여 신뢰성에 대한 목표치를 설정한다. 이러한 목표치를 설정하여 개발될 제품의 요구사항을 수립하는데 있어서 임무, 환경 및 신뢰성 요구에 관계된 활동 자료를 수집하는 것이 중요하다. 이러한 정보는 계획단계의 초기에 수집·분류되어 이를 토대로 제품에 대한 신뢰성 요구가 정해지고 수정된다. 초기 임무형상에 대한 정의는 최소한 외형성능의 범위를 정의하고, 그 범위내에서의 운용의 전형적인 시간대(환경조건 및 적용된 부하 대 시간)를 제시하여야 한다. 정의된 임무형상에 대한 정량적인 신뢰성에 대한 요구사항도 정해져야 한다.

여기서 임무형상이란 제품의 의도된 임무와 관련되어 계획된 운용 및 환경조건에 대한 전반적인 사항을 말하는 것으로 운용시간대, 예상되는 환경조건, 가동 및 비가동시간 등을 포함한다. 따라서 제품의 임무형상은 수행기능, 운용형태, 운용기간, 포장상태, 보관상태, 운반상태, 설치·운용조건 등 제품의 신뢰성에 영향을 줄 수 있는 모든 사항을 중심으로 정의한다.

그리고 환경 요구사항은 각각의 임무형상 즉, 보관, 운반, 설치·운용과정에서의 환경부하 종류, 수준, 기간 등을 설정한다. 이때 필요한 경우에는 환경부하시험을 실시하는 각 서브시스템이나 단위시스템별로 개별적인 환경 요구조건을 설정한다.

신뢰성 요구사항에서는 시스템의 목표치 및 제품의 구성단위별로 정량적인 신뢰성 목표치를 설정하며, 제반 요구조건을 만족시킬 수 있는 제품을 연구개발하기 위해 필요한 신뢰성 관리활동에 대한 요구사항을 설정한다. 시스템 신뢰성 요구는 경험적 데이터에 근거한 분석으로 전개할 수 있다.

4. 신뢰성 설계시의 고려사항

연구개발자는 신뢰성 관리체계에서의 신뢰성 활동계획에 따라 시스템을 설계하여야 한다. 시스템 설계시 신뢰성 향상을 위해서는 다음과 같은 방법이 이용될 수 있다.

1) 고 신뢰성 부품 사용

시스템의 신뢰도는 구성부품의 신뢰도 수준에 의해 결정되므로 부품선정 및 적용기준에 따라 인종되거나, 품질 및 신뢰성이 확인된 부품중 고 신뢰성을 가진 부품을 사

용한다.

2) 부하경감

실제로 가해지는 부하보다 부품의 강도를 크게하여 규정 정격용량 이하에서 운용하면 고장이 줄어든다는 사실은 주지의 사실이다. 이러한 개념을 적용하여 예상부하보다 강도가 큰 부품을 사용하거나 부하를 줄이는 방법으로 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 부품에 따라 부하경감에 따른 고장 감소율은 부품의 종류 및 형태에 따라 각기 다르다. 예를 들면, 저항은 적용 전력부하비에 따라 고장률이 감소되고, 콘덴서는 적용전압 부하비에 따라 고장률이 감소한다.

3) 설계단순화

시스템의 기능 및 성능을 유지하는 범위내에서 설계를 단순화하면, 사용부품수가 적어지게 되므로 신뢰성이 높아지게 되고 잠재고장이 줄어들게 된다. 설계단순화의 한 예로 부울리안 대수기법을 이용한 논리합수를 이용하면 불필요한 게이트를 확인하여 제거할 수 있다.

4) 중복구조 사용

중복구조는 기능을 수행하는 주 구성품 이외에 여분의 구성품을 별도로 부가하여 주 구성품이 고장나더라도 부가된 구성품이 대신 기능을 수행할 수 있도록 하여 신뢰성을 높이는 구조이다.

일반적으로 중복구조 사용은 신뢰성을 향상시킬 수 있는 부하경감, 설계의 단순화, 고 신뢰성 부품 사용과 같은 기법을 더이상 사용할 수 없거나, 다른 설계개선 방법이 중복구조보다 더 많은 비용이 소요될 때 사용한다.

5. 신뢰도 배분

설계과정의 첫 단계로 전체 시스템의 신뢰도 목표로부터 서브시스템, 기능블럭, 회로팩의 신뢰도 목표를 배분하는 것이다. 배분과정은 시스템구조의 상위수준에서 하위수준으로 차례로 수행된다.

신뢰도 배분기법으로는 균등배분기법, AGREE 배분기법, ARINC 배분기법, 등급에 따른 배분기법, 동적계획법 등이 사용되는데, 각 기법의 특성을 고려하여 적절한 배분기법을 사용하여 신뢰도를 배분해야 한다.

신뢰도 배분과정은 초기 계획단계에서 시스템 내에서 절충을 하는데 가장 융통성이 많으므로, 가능한 한 초기에 시작되어야 한다. 초기에 수행되어야 할 다른 이유로는 하위수준(시스템, 서브시스템, 어셈블리)의 신뢰성요구를 수립할 시간을 주기 위해서이다.

시스템의 하위수준에 대한 신뢰성요구가 정의된 후, 그것들은 모든 하드웨어 수준에 대해 책임있는 연구개발자에게 배분되어야 한다. 이러한 업무는 만일 설계되어야

하거나 달성되어야 할 규정된 신뢰성 요구가 없다면, 신뢰성은 아무도 책임지지 않는 애매하고 미정된 일반적인 목적이 되어버리기 때문이다.

6. 신뢰도 예측

신뢰도 예측 분석은 주로 설계된 시스템의 신뢰도가 목표를 충족시키는 지를 정량적으로 평가하기 위해 수행되는데, 예측결과 그 자체로는 시스템의 신뢰도에 중요한 기여는 못하지만, 설계안의 실현가능성 평가, 설계대안의 비교, 설계심사시 잠재문제의 확인, 데이터 결함측정, 절충안 결정, 신뢰성 목표의 배분 및 신뢰도 성장과 실증시험의 기준을 제시하는데 매우 효과적인 기법이다.

신뢰도 예측은 서브시스템으로부터 시스템까지 이어지는 상위 수준에서 시스템의 신뢰성을 나타내기 위해 하위 수준의 신뢰성 데이터를 조합한다. 어느 수준에서 요구에 미달하는 예측은 관리 및 기술적 관심의 필요성을 나타내 준다. 예를 들면, 신뢰성 목표치에 미달하는 경우에는 설계 단순화, 고 신뢰성의 부품 사용 등으로 해결될 수 있다.

신뢰도 예측기법으로는 유사제품에 의한 예측기법, 유사 복잡도에 의한 예측기법, 부품수에 의한 예측기법, 부하분석에 의한 예측기법 등이 있다.

7. 신뢰도 모델링

신뢰도 모델은 크게 두가지로 구성된다. 하나는 신뢰도 블록 다이어그램(reliability block diagram), 상태 천이도(state transition diagram), 고장목(fault tree) 또는 기타 사용자가 제시한 적합한 모델로 시스템의 구성요소 또는 기능들간의 상호의존성을 나타내는 것이고, 다른 하나는 위의 다이어그램을 시간, 고장률 자료 등과 수학적 연관시켜 시스템의 신뢰도를 유도하기 위한 수학적 모델로 구성된다. 여기서 수학적 모델은 신뢰성시험 및 다른 관련 시험에서 얻은 정보뿐만 아니라 시스템 형상, 임무 매개변수(mission parameter) 및 운용조건의 변경 정보가 있으면 쉽게 수정될 수 있어야 한다. 신뢰도 모델은 예측의 목적, 시스템의 복잡성 및 요구되는 정확도 등에 따라 적절히 선정되어야 한다.

신뢰도 모델링은 신뢰성 관리체계에서 가능한 한 초기에 개발하는 것이 바람직하다. 비록 수치적인 입력 데이터가 없더라도 초기 모델의 주의깊은 검토에 의해 초치가 필요한 문제점을 찾을 수 있다. 예를 들어 임무가 미완료된 채로 종료되거나 수락할 수 없는 결함을 일으킬 수 있는 단일 고장조건과 같은 사항에 대해 규명할 수 있다. 그리고 신뢰성 관리체계의 단계가 진행됨에 따라 상세한

수준까지 모델을 계속적으로 확장하는 것이 필요하다.

8. 고장형태, 영향 및 치명도 분석(FMECA)

고장형태, 영향 및 치명도 분석은 제품 또는 시스템의 구성요소를 필요한 범위로 세분화하여 각 구성요소가 고장을 일으키면 어떠한 고장형태가 되는가를 조사하는 것이고, 고장영향 분석은 각각의 구성요소별로 발생가능한 고장형태가 상위 제품 또는 시스템에 미치는 영향이 어떠한가를 분석하는 것이다. 이 분석을 통하여 고장의 치명도를 분석하고 그 정도에 따라 적절한 사전조치 또는 중점관리를 수행해야 한다. 이러한 분석활동은 장래 운용현장에서 발생할 수 있는 고장을 설계나 연구개발단계의 초기에 분석하여 대책을 세우거나, 설계변경을 통해 고장발생을 사전에 방지하거나 그 고장영향을 줄이기 위해 실시하는 것이다.

고장형태, 영향 및 시정조치를 결정하는데 필요한 기술이 많고 다양하기 때문에 FMECA는 많은 분야의 정보를 요구한다. 이런 이유로 분석을 위해 어느 분야의 그룹이 선택되는지는 중요하지 않다. 중요한 것은 분석에 영향을 줄 수 있는 필요한 지식을 가진 모든 분야의 전문가에 의해 수행되는 것이다. 이러한 FMECA 분석은 설계의 진행과 같이 이루어질 때, 즉 개발을 수행하는 수단으로 이용되는 경우에 가장 효과적이다.

9. 허용오차 분석

규격내 부품의 오차가 조립됨으로 인해 회로, 서브시스템이나 장비의 출력이 규격 값을 벗어나 불합격될 수 있다. 그런 경우 어떤 부품도 고장으로 판명되지 않거나 어떤 입력도 불합격으로 판명되지 않는다. 이런 조건의 발생을 방지하기 위해 부품 및 회로의 허용오차 분석을 실시하는 것이 필요하다. 이 분석은 구성품의 연결점 및 입·출력점에서 규정된 운용온도 범위에 대한 매개변수(parameter) 부품 및 회로의 전기적 허용오차가 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이 분석은 시스템의 성능과 신뢰성 측면에서 발생하는 문제점의 범위를 규명하는데 비용면에서 효과적인 것으로 증명되어 있으며, 이러한 분석을 통하여 취약한 부분이 생산에 앞서 시정될 수 있다.

허용오차 분석은 제조과정의 변동, 온도 등으로 인해 예상되는 부품 값의 변동을 고려한다. 조사되어야 하는 특성으로는 릴레이 개폐시간, 트랜지스터 이득, 저항, 인덕턴스, 캐패시턴스 및 구성품의 매개변수를 들 수 있다. 최대 규격내 입력신호나 전력전압, 위상, 주파수 및 대역폭 즉, 신호 및 부하의 임피던스도 역시 고려되어야 한다. 전압, 전류, 위상 및 파형과 같은 회로에서의 변수들은 회

로 구성품의 성능에 대한 효과가 분석될 수 있다. 결국에는 최악조건하에서 회로부하 임피던스, 전력소비 등이 고려되어야 한다. 이와 같은 허용오차 분석은 개발되는 시스템에 구성된 회로가 요구되는 조건하에서 규격상의 요구에 맞는다는 것을 확인하기 위해 이용된다.

10. 시험 용이성 설계

시험 용이성이란 시험대상체의 고유한 속성으로서, 어떤 제품이나 시스템이 규정된 시험기술로 그 기능 및 성능이 용이하게 입증될 수 있는 정도로, 시험대상체의 입력과 출력기능에 결함이 있는 경우, 용이하게 그 결함을 탐지하여 적절한 조치가 취해질 수 있도록 하는 수단이다.

시험은 제품의 신뢰성 관리에 있어 하나의 중요한 요소로, 연구개발단계에서는 요구된 성능을 구현하고 요구조건이 충족되는 지를 확인하는 수단이며, 생산단계에서는 연구개발단계에서 설계된 신뢰성이 완성되었는가를 입증하고 생산공정결함을 제거하는 수단이 되며, 설치·운용단계에서는 운용품질이 지속적으로 유지되는 것을 확인하고 고장결함을 탐지하여 신속하게 수리될 수 있도록 하는 수단이 된다. 이러한 시험 용이성을 향상시키기 위해서는 다음 사항을 설계에 반영하는 것이 필요하다.

- 시험대상체는 설계지침, 생산 및 유지보수 정책의 요구조건에 따라 입증될 수 있는 특성 또는 속성이 정의되어야 함
- 시험접근이 용이하고 충분해야 함
- 단순하고 효율적인 방법에 의해 시험될 수 있도록 설계되어야 함
- 소프트웨어의 경우, 각 시험대상체는 의도된 기능을 알아볼 수 있도록 문서화되어야 함

11. 설계심사

설계심사는 연구개발의 각 단계에서 설계 및 개발 결과가 필요한 신뢰성 관리활동을 통하여 제반기능, 성능, 신뢰성, 안전성 등의 설계 요구조건이 만족되는 것을 평가하고, 도출된 문제점을 개선·시정함으로써 최적설계를 성취하기 위한 활동으로, 연구개발 초기에 체계적인 설계심사계획이 수립되어 이에 따라 설계심사가 수행되어야 한다.

설계심사는 연구개발 단계중 단위업무가 수행되어 그 결과가 정량적·정성적으로 평가할 수 있는 시점에서 수행되어야 하는데, 일반적인 연구개발 절차를 고려할 때 다음과 같이 구분하여 수행하는 것이 필요하다.

1) 예비 설계심사

예비 설계심사는 사용자의 요구조건을 만족시키기 위

해 연구개발 초기에 작성한 설계기준, 신뢰성 활동계획, 형상관리 절차, 품질정보관리 계획, 부품선정, 적용기준 등의 적절성 및 타당성 등을 평가하기 위한 심사이다.

2) 상세 설계심사

상세 설계심사 세부설계가 완료된 후 설계지침의 제반 요구사항과 신뢰성 요구사항, 적용부품 등의 적합성·충분성을 평가하고 시스템내에서 회로팩 또는 유니트, 기능블럭, 서브시스템 수준에서 서로간의 인터페이스를 만족시키는 지 등을 평가하기 위한 심사이다.

3) 최종 설계심사

최종 설계심사는 생산단계로의 기술이전단계 이전에 시제품을 제작하여 이의 기능, 성능, 환경요인, 신뢰성 등을 시험평가하고, 필요시 현장에서 운용시험을 실시하여 관련 시스템과의 정합성, 운용 용이성, 신뢰성 등을 평가하여 전반적인 설계요구조건에 대한 적합성·충분성을 평가하기 위한 설계와 생산단계로의 기술이전을 위한 제반 기술자료의 타당성, 충분성 등을 평가하기 위한 심사이다.

12. 외주업체 관리

개발되는 장비의 상당부분은 외주업체에서 생산되며, 경우에 따라서는 장비의 상당부분이 외주업체에 의해 개발되는 경우도 있다. 이때 필요한 경우에는 외주업체에 대해 적절한 조치를 적시에 취할 수 있도록 지속적으로 외주업체를 관리하는 것이 필요하다. 이러한 신뢰성 업무 및 요구를 외주업체에서 바르게 이해하고 있는 지를 파악하는 것이 필요하다. 이와 같은 상호간의 이해가 신뢰성 보증을 위한 관리체계에서 신뢰성 요구를 달성하는데 기본적인 사항이 된다.

이를 위하여 필요시 외주업체에서 적시에 적절한 조치가 취해지고 있는 지를 파악하기 위하여 계속적으로 외주업체의 활동을 확인하여야 한다. 그러므로, 연구개발자와 외주업체의 공식적인 회합에 참여하여 정보를 획득하고, 이러한 정보를 토대로 외주업체의 관리상황을 계속 주시하고, 필요한 사후조치의 근거를 제시하는 것이 바람직하다.

13. 부품 및 재료 관리

부품 및 재료 관리는 적절한 선정, 인증 및 조달기준을 확인하는 업무로 구성된다. 부품 및 재료는 궁극적으로 시스템이나 제품을 구성할 조립품을 이루는 기본적인 품목이다. 계획단계에서부터 순기단계를 통하여 지속적으로 부품의 적용, 선정 및 관리와 같은 활동은 부품 및 재료의 신뢰성에 초점을 두어 시스템 신뢰성을 최적화하는데 기여할 수 있다.

시스템의 신뢰도는 부품의 신뢰도 수준에 의해 결정된다. 따라서 시스템이 요구된 신뢰도를 만족하기 위해서는 신뢰성이 있는 부품을 사용해야 한다. 신뢰성이 있는 부품을 사용하도록 하기 위해서 '부품 선정 및 적용기준'이 마련되어야 하며, 일반적으로는 부품 인증절차를 통해 인증부품을 목록화하여 설계자들에게 제공한다. 인증부품이 없는 경우에는 IECQ 등의 국제적인 품질인증제도하에서 인증된 부품이나 유사한 시스템에 사용되어 품질이 확인된 부품을 사용하는 것이 필요하다.

부품 및 재료 관리의 기본목적은 표준 및 비표준 부품의 선택, 사용을 관리하는 것이다. 어떤 시스템의 경우에는 생산업체에서 비표준 부품의 사용을 제안할 필요가 생길 수 있다. 비표준 부품 사용의 제안은 표준부품을 사용하는 다른 방법이 우선 연구된 후에 제안되고 승인되어야 한다. 이러한 부품 및 재료 관리는 설계 초기에 시작되어, 제품의 수명기간을 통해 계속되어야 한다.

14. 환경부하선별

환경부하선별은 취약부품이나 작업결함을 노출시켜 이를 시정하기 위해 특별히 설계된 시험이다. 이것은 상위 시스템수준의 시험이나 현장사용의 초기에 고장을 일으킬 수 있는 결함을 제거하기 위해 부품, 구성품, 서브시스템, 시스템에 비용면에서 효과적이고 적절하게 적용되어야 한다. 환경부하선별에 대한 절차 및 시험조건은, 운용상의 수명형상을 상세히 모의하는 것보다는 현장사용 초기의 전형적인 고장을 유발할 수 있도록 설계되어야 한다. 환경부하 형태(진동과 열 사이클)는 순서대로 적용되고, 가장 비용에 효과적인 어셈블리 수준에 부과되어야 한다.

환경부하선별은 신뢰도 수락시험과 혼동되어서는 안된다. 환경부하선별은 시험을 실시하는데 전수시험이 권장되나, 수락시험에서는 수명형상에 대해 매우 실제적인 모의가 필요하므로, 전수시험이 권장되지 않는다. 신뢰도를 확인하기 위한 시험계획에서 제품의 수명이 지수분포(exponential distribution)를 따른다고 가정할 때 환경부하선별은 필수적인 절차이다. 왜냐하면 그러한 시험들은 초기고장이 제거되었다고 가정하기 때문이다.

15. 설계인증시험

설계인증시험은 제품이 생산에 들어가지 전에 최소 수락가능 신뢰성 요구를 충족시킨다는 보증을 하기 위하여 실시한다. 설계인증시험은 운용상 실제적이어야 하고, 입증된 신뢰성의 측정치를 제시하여야 한다. 통계적 시험계획은 제품의 실제 신뢰도가 최소 수락가능 신뢰도 요구보

다 낮을 확률을 제한하는 수락기준을 미리 정의하여야 한다. 그리고 이러한 기준들은 비용 및 일정계획에 맞게 부과되어야 한다.

신뢰성 관리체계의 계획에서는 과다비용 및 일정지연을 피하기 위해 환경부하선별 및 신뢰도 성장시험에서 가능한 초기에 투자하도록 하는 것이 필요하다. 적절히 계획된 신뢰성 관리체계에서는 환경부하선별 및 신뢰도 성장시험을 강조하며, 설계인증시험 및 신뢰도 수락시험을 최소한으로 제한한다.

이 시험은 시험조건 및 절차가 생산품의 운용수명, 임무 및 환경의 형상을 모의하므로 어느 정도까지는 사실적이다. 실제적인 시험은 제품이 사용된 후에야 발견될 수 있는 결함 및 불량을 발견할 수 있게 해 주고, 시험실과 실제 운용 신뢰도 값과의 차이를 줄여 준다. 그러므로 모든 신뢰성시험에서 시험의 실제성이 먼저 고려되어야 한다. 발견될 수 있는 운용상 결함의 일부분만을 발견하는 시험은 시간과 자원의 낭비이다. 반대로 서비스 중 일어나지 않을 고장을 유발하는 시험은 그러한 고장을 시정하는데 불필요한 시간 및 자원이 필요하게 된다. 결국, 신뢰성시험이 현장 서비스를 모의해야 하는 정도는 시험의 목적에 달려 있다.

16. 신뢰도 성장시험

신뢰도 성장시험은 설계결함과 결점을 노출시키기 위해 실제적으로 모의되거나 가속된 환경하에서 장비를 시험하는 것이다. 이 시험은 시정조치의 조기 시행 및 그들의 유용성을 입증하기 위한 근거를 제시하기 위해서 행해진다. 그러나, 시험의 실시 자체가 신뢰도를 향상시키지 않으나, 시험에서 나타난 결과로 취하는 시정조치가 실제 신뢰도를 향상시키며, 이로 인하여 운용도중에 발생하는 고장의 재발을 방지하게 된다.

예측된 신뢰도 성장은 시험 제품으로부터 나온 취약부품과 작업결함을 선별함에 의해 달성되는 자명한 성장과 설계시정에 의해 달성되는 단계적인 성장으로 구분될 수 있다. 이러한 신뢰도 성장시험에서는 운용 효율성을 감소시키는 고장과 유지보수 및 보급지원 비용을 높이는 고장을 시정할 수 있도록 수행하는 것이 필요하다.

연구개발단계에서 처음 한 두개 제품을 사용하여 신뢰도 성장시험을 수행하는 것이 필요하다. 이러한 신뢰도 성장시험을 지연시키면 관리체계의 후기에 커다란 역행문제를 일으키고, 필요한 설계시정을 방해할 수도 있다. 신뢰도 성장시험은 다음과 같은 순서로 수행하는 것이 바람직하다.

- 시험 제품에서 결점을 제거하고 시험기간을 줄이기

위해 환경부하선별 수행

- 환경시험 수행
- 조합된 부하를 통한 시험, 분석 및 조치

17. 신뢰도 수락시험

신뢰도 수락시험은 납품된 제품이나 생산 로트의 운용 서비스 평가를 모의하기 위해 시행한다. 신뢰도 수락시험은 운용상 실제적이어서 하고, 입증된 신뢰성의 추정치를 제시하여야 한다. 통계적 시험계획은 제품의 실제 신뢰도가 최소 수락가능 신뢰도 요구보다 낮을 확률을 제한하도록 수락기준을 미리 정의하여야 하며, 이러한 기준들은 비용 및 일정효율에 맞게 부과되어야 한다. 신뢰도 수락시험은 제품의 수명형상 및 운용환경을 모의하는 것이 필요하다.

18. 고장보고 및 분석

고장보고 및 분석은 제품에 대한 고장 추적 방법과 시정조치 절차를 수행하는 것이다. 고장보고 및 분석 업무에서는 고장보고를 처리하는 절차를 정의하여야 한다. 고장처리는 중요한 것이며, 적절한 시기에 처리를 하기 위하여, 또한 고장난 부품에 대해 요구되는 분석을 시행토록 하기 위하여 적절히 관리되어야 한다. 운용단계에서 고장보고, 분석 및 시정조치 업무는 사용자로부터 반환된 고장난 하드웨어의 분석을 수행할 수 있어야 한다.

고장원인의 초기 제거가 신뢰도 성장 및 수락가능한 현장신뢰성을 얻는데 중요한 역할을 한다. 고장원인이 빨리 밝혀질수록 효과적인 시정조치를 취하기가 더 쉽다. 설계되고, 문서화되고, 기초 하드웨어가 완성되어서도 시정조치는 계속 취할 수 있지만 그 시행이 더욱 어려워지므로, 개발단계의 초기에 고장보고 및 분석 체계를 적용하는 것이 중요하다. 그리 복잡하지 않은 제품을 제외하고는 고장원인을 제거하고, 취해진 조치를 기록하는 기본 목적을 달성하는데 고장보고 및 분석업무가 이용되어야 한다.

IV. 신뢰성 관리체계의 수립

1. 신뢰성 업무에서의 고려사항

신뢰성 활동에 책임이 있는 모든 조직에 당면한 중요한 문제는 신뢰성 요구를 달성하는데 실제적으로 도움이 될 수 있는 업무의 선정이다. 따라서 특정 제품에 대하여는 신뢰성 관리체계가 제품의 복잡성 및 형태와 같은 요소를 토대로 하여 제품 요구사항이 수정될 필요가 있다. 여기

서 수정되어야 할 사항은 특정 제품, 적용할 수 있는가에 대한 사항 및 제품의 순기 단계와 다음과 같은 요소에 달려 있다.

- 제품의 복잡도와 기능성
- 이용 가능 자원
- 적절한 신뢰성 특성
- 신뢰성 입증에 위한 요구사항

일반적으로 앞에서 언급한 18개의 신뢰성 업무는 특별한 경우를 제외하고는 순기 단계에서 실시되어야 하는 사항이다.

신뢰성에 대한 요구사항을 달성하기 위한 기술적 업무가 정의되고 나서, 필요한 자원이 정의되어야 하며, 목표를 효과적으로 달성할 수 있도록 시행되어야 한다. 신뢰성 목표가 다른 활동의 비용이나 일정계획, 제약조건 때문에 양보되지 않는다는 것을 보증하기 위해 업무추진요원 및 진행일정의 확보도 필요하다.

2. 신뢰성 업무의 적용에 관한 사항

신뢰성 관리체계가 효율적으로 적용되기 위해서는 적절한 신뢰성 업무가 선정될 수 있도록 기준을 확인하는 것이 필요하다. 이러한 활동은 제품의 신뢰성 요구사항을 획득하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 따라서 신뢰성 관리체계의 필요한 사항을 적합하게 하도록 하기 위하여 업무를 선정하는 일반적인 지침을 수립하는 것이 필요하다.

제품의 신뢰성을 향상시키는데 있어서 각 활동의 상대적인 효율성을 정확하게 예측하는 것은 불가능할 수 있다. 따라서 신뢰성 업무의 선택과 각 업무에 배분된 자원은 유사 제품의 과거 경험을 토대로 이루어진다. 이에 신뢰성 업무를 적용하기 위한 지침으로 다음과 같은 사항이 이용될 수 있다.

- 설계변경이 필요한 경우에는 보다 초기에 수행될수록 전체 비용이 낮아진다.
- 복잡한 제품에 대해서 설계 평가, 심사 및 인정부품의 사용, 안정된 제조공정 수행방법 및 기법이 전체 시스템의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다.
- 연구개발 및 생산단계에서의 신뢰도 입증시험은 복잡한 제품의 신뢰성을 증가시키는 효율적인 방법이며, 목표 신뢰성이 달성된 정도를 확인하는 수단이 된다.
- 실제의 신뢰성 향상은 고장식별, 보고 및 시정조치의 효율적인 절차, 신뢰성 체계의 관리 등 여러 활동요소에 달려 있다.

표 1은 효율적인 신뢰성 관리체계를 수립하는데 포함

표 1. 순기 단계에서의 신뢰성 업무 적용

| 업 무 | 세부사항 | 순 기 단 계 | | | |
|--------|-------------------|---------|------|-----|------|
| | | 계 획 | 연구개발 | 생 산 | 설치운용 |
| 1 | 신뢰성 활동 계획 | * | * | * | * |
| 2 | 신뢰성 활동 심사 | * | * | * | * |
| 3 | 제품 요구사항 | * | * | * | * |
| 4 | 신뢰성 설계시 고려사항 | * | * | * | * |
| 5 | 신뢰도 배분 | + | * | * | * |
| 6 | 신뢰도 예측 | * | * | * | * |
| 7 | 신뢰도 모델링 | * | * | * | * |
| 8 | 고장형태, 영향 및 치명도 분석 | * | * | * | * |
| 9 | 허용오차 분석 | * | * | * | * |
| 10 | 시험용이성 설계 | * | * | * | * |
| 11 | 설계심사 | * | * | * | * |
| 12 | 외주업체 관리 | * | * | * | * |
| 13 | 부품 및 재료 관리 | + | * | * | * |
| 14 | 환경부하선별 | * | + | * | * |
| 15 | 설계인증시험 | * | * | * | * |
| 16 | 신뢰도 성장시험 | * | * | * | * |
| 17 | 신뢰도 수확시험 | * | + | * | * |
| 18 | 고장보고 및 분석 | + | + | + | * |

* 특정 순기단계에서 적용
+ 특정 순기단계에서 선택 적용

되어야 할 것으로 판단되는 시점과 업무를 요약한 것이다. 특정 순기단계에 포함된 기본적인 업무를 확인하는 것으로 초기에 이용될 수 있다.

3. 신뢰성 관리체계의 분석에 대하여

관리체계 요소는 최종제품 신뢰성에 기여하는 모든 요소가 제품의 순기를 통하여 적절히 고려되고 전개하는데 도움을 준다. 이러한 요소의 성공적인 적용을 위해서는 다음과 같은 사항을 측정하는 것이 필요하다.

- 제품의 기술규격서가 사용자의 신뢰성 요구사항을 반영한 정도
- 기술 규격서가 개발 및 제조공정에 종합된 정도
- 제품 구조 및 설계의 신뢰성 특성
- 부품 및 재료의 신뢰성과 품질
- 제품에 적용된 생산 및 시험절차와 그 실시
- 서비스 제공에서의 정비유지 및 제품지원 기능

신뢰성 관리체계의 분석은 훌륭한 공학적인 판단, 제품에 대한 기술적인 경험 및 신뢰성공학에서의 과거의 경험을 토대로 이루어지는 것이 필요하다. 이러한 분석은 전체 신뢰성 관리체계에서 취약부분을 식별하고, 이를 고립

시키기 위한 업무를 수행하여 제품의 신뢰성을 향상시키기 위한 것이다.

신뢰성 관리체계의 분석은 지속적인 신뢰성 관리체계가 제품 순기의 모든 단계를 통해 적절하다고 평가하는 것이다. 특히 이 분석에서는 관리체계 활동과 신뢰성공학 활동과 같은 순기의 초기단계(예를 들어 계획 및 연구개발단계)에서 수행된 신뢰성 활동을 깊이 있게 검토한다. 순기의 차후단계(예를 들어 생산, 설치 및 운용단계)에서 수행된 활동은 관리체계가 적합한 지와 순기의 초기단계에서의 여러 활동에 대한 적절한 피드백 방법이 수행되는가를 보증하기 위하여 검토한다.

이러한 신뢰성 관리체계의 분석에서 검토되어야 할 요소로는 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

- 전반적인 신뢰성 관리체계
- 신뢰성 추진조직
- 모든 주요 활동의 실시 시기와 전체적인 제품 기준과의 관계
- 신뢰성 관리체계 요소의 선정기준
- 외주업체의 신뢰성관리
- 제품 요구사항과 제품 요구사항을 구매자의 요구에 통합시킨 사항
- 신뢰성 설계시 고려사항
- 신뢰도 배분 및 예측에 이용한 정성적이고 정량적인 접근방법
- 설계과정에서 신뢰성 특성을 확인하기 위한 방법
- 설계과정에서 고려된 인간요소
- 부품 및 재료
- 시험 및 검사 수행
- 고장보고 및 시정조치의 계획과 실시
- 자료관리 체계
- 신뢰성 관리체계를 개발하는데 이용한 표준 및 내부 절차
- 포장 및 취급

V. 결 언


요즈음의 모든 분야는 경쟁시대를 맞고 있다. 경쟁시대에 있어서의 기업발전은 경영합리화를 통한 원가절감, 서비스 품질향상, 기술개발을 통한 새로운 서비스 개발로 경쟁력을 강화하는 것이 필수적인 과제다. 현재 몇몇 제품에 대한 품질평가는 완제품에 대한 시험평가에서 제품

의 순기단계에서 신뢰성 평가를 실시하는 것으로 전환되고 있는 상태이다. 따라서 순기 전반에 걸쳐 신뢰성 관리체계를 구축하여 이를 충실하게 수행하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 가장 먼저, 신뢰성에 대한 요구사항을 정의하는 것과 요구사항과 적합한 지를 입증할 수 있는 방법을 정립하는 것이 필수적이다. 또한 제품의 설계, 개발, 생산 및 설치에 대한 상세한 목표를 수립하는 신뢰성 요구사항의 수준과 서비스 상에서 기대될 수 있는 신뢰성을 규정하는 일이 필요하다. 이와 같은 목표하에서 순기 전반에 걸쳐 신뢰성을 분석, 평가, 확인 및 검증할 때 적용되어야 할 신뢰성 관리체계를 구축하는 일이 필요하다. 그리고 여기에 적용되는 신뢰성 보증을 위한 관리체계에서의 신뢰성 업무는 연구개발에서 뿐만 아니라 생산, 설치 및 운용보전의 각 단계의 관리업무에 서로 연계되어야 한다는 인식을 공동으로 갖는 것이 필요하다.

參 考 文 獻

[1] IEC 300, "Reliability and Maintainability Management," International Electrotechnical Commission, 1984.
 [2] BS 5760, "Reliability of Constructed or Manufactured Products, Equipments and Components, Part 1:Guide to Reliability and Main-

tainability Programme Management," British Standards Institution, 1985.

[3] MIL-STD-785B, "Reliability Program for Systems and Equipments Development and Production", Department of Defense, 1980.
 [4] TA-TSY-000942, "Hardware Reliability Assurance Program Generic Requirements for Telecommunications Products," Bell Communication Research, 1990.
 [5] MIL-HDBK-338, "Electronic Reliability Design Handbook," Department of Defense, 1984.
 [6] IEE, "Guidelines for Assuring Testability," The Institution of Electrical Engineers, 1988.
 [7] Norman B. Fuqua, "Reliability Engineering for Electronic Design," Marcel Dekker, Inc. 1987.
 [8] Patrick D. T. O'Connor, *Practical Reliability Engineering*, John Wiley & Sons, 1985.
 [9] Balbir S. Dhillon, "Engineering Reliability Management," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. SAC-4, no. 7, pp. 1015~1020, 1986.
 [10] B. S. Liebesman, "Reliability Requirements and Contractual Provisions, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 1~5, 1985. 

筆 者 紹 介



卓 在 榮
 1963年 10月 28日生
 1986年 부산대학교 수학과(이학사)
 1988年 한국과학기술원 응용수학과 (이학석사)

1988年~현재 한국통신 품질보증단 전임연구원



宋 炳 龍
 1959年 10月 27日生
 1983年 아주대학교 산업공학과 (공학사)
 1986年 한국과학기술원 산업공학과 (공학석사)

1986年~현재 한국통신 품질보증단 전임연구원