

계측제어 기기의 현장적용을 위한 품질보증 사례

안병주¹, 이승준¹, 정창기², 정우중²
 1. 삼창기업(주), 2. 전력연구원

The Case Study of Qualification Assurance for Instrumentation and Control in Nuclear Power Plant

Byungju Ahn¹, Sungjoon Lee¹, Woojong Jung², Changki Jeong²
 1. Samchang Enterprise co., LTD. 2. Korea Electric Power Research Institute.

Abstract - This paper describes QA methodologies for developed TBN control system that will be applied to nuclear power plants. The details are the development of QA Manual, QA Procedures, Equipment Qualification Procedure, Commercial Grade Items Dedication, and Software Verification & Validation Plan.

1. 서 론

원자력발전소에 사용되는 기기는 안전에 직접적인 영향을 미치는 안전성 관련 기기(Class 1 E)와 안전에 직접적인 영향이 없는 비안전성 관련기기(Class Non 1 E)로 분류할 수 있다. 이들 기기들은 설계에서부터 적용 단계까지의 과정을 체계화하여 개발되어야 하며 기기의 성능 검증을 통해 수명이나 성능이 보장되어야만 현장에 적용하여 운영할 수 있다. 현재 원자력 발전소에서 운영 중인 계측제어시스템은 건설 때부터 적용한 아나로그 회로에 기반을 둔 외국제품으로 노후화에 따른 기능 저하 및 예비품 확보에 어려움이 많아 점차 디지털화로 변경, 개조 및 교체 되어가고 있다. 본 사례는 국산화 개발한 제품이 외국제품과 비교하여 동등 이상의 기능과 성능을 보장 받기위해 품질보증체계를 확립하고 관련 절차를 문서화 하여 연구 및 품질관리를 수행할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 품질보증 기술기준의 현황

원자력 발전분야에 적용되는 대표적인 품질보증 기준은 KEPIC QAP 및 ASME NQA-1으로 과학기술부령 제16호 「원자로 시설 등의 기술기준에 관한 규칙」 제4절 「원자로시설의 건설 및 운영에 관한 품질보증」에 제시된 18개항의 요건으로 구성되어 있다. 또한 KEPIC END 1100 「전기 1급 기기검증」 기준은 원자력 발전소에 사용되는 전기1급(Class 1E)기기의 검증에 필요한 기본 요건을 기술한 것으로 검증원칙, 검증절차 및 방법에 관하여 명시되어 있다. 이들 기준이 원전기기의 성능검증 분야에 적용되기 위해서는 품질보증에 관한 기본개념의 이해를 바탕으로 업무의 특성을 감안하여 적용되어야만 실질적으로 이행 가능한 품질시스템을 구축할 수 있다.

2.2 품질보증계획서 개발

품질보증계획서는 KEPIC QAP 및 ASME NQA-1을 기준으로 18개 항목을 정립하였으며 소프트웨어 확인 및 검증(Software Verification and validation : V&V)은 ANSI/IEEE 7.4.3.2 - 1982 「Software Verification and validation Requirement」를 기준으로 절차화 하였다.

2.2.1 조직

품질에 영향을 미치는 업무를 수행하는 조직체계, 책임 및 권한, 협조관계 등을 규정하였으며 품질확인을 수행하는 담당자의 권한이 있으며 조직상 독립이 되게 하였다.

2.2.2 품질보증계획과 담당자 요건

품질보증계획에는 적용 대상업무와 범위를 명시 하였으며 업무의 기술적인 특성과 중요도에 따라 관리될 수 있도록 수립하였다. 또한 품질에 영향을 미치는 업무를 수행하는 요원이 적절한 숙련도를 달성, 유지할 수 있도록 교육 및 훈련사항을 규정하였다.

2.2.3 설계관리

설계관리는 기기의 설계 및 현장 적용이 규제요건과 설계기준에 적합하게 수행되도록 관리하기 위해서 설계 입력, 검토, 분석, 출력, 검증 및 설계유효성 확인을 명시 하였다.

2.2.4 구매문서 관리

기자재 구매 및 용역에 대해 문서작성 및 관리에 관한 요건을 정립하였으며 상용제품의 구매에 대해서는 별도의 절차서를 개발하여 시행토록 하였다.

2.2.5 지시서 절차서 도면

품질에 영향을 미치는 업무는 문서화된 절차서, 지시서에 규정되어야 하며, 이에 따라 수행되어야 한다. 이러한 문서는 규정된 업무가 만족스럽게 수행되었음을 결정할 수 있는 적절한 정량적 또는 정성적인 합격기준이 포함되거나 인용되어야 한다.

2.2.6 문서관리

품질보증 활동을 효과적으로 수행하기 위해 문서관리 방법, 변경관리 등의 요건들을 기술하였다.

2.2.7 구매자재, 기기 및 용역의 관리

구매자재, 기기 및 용역이 해당 구매서류에 명시된 기술요건과 품질보증요건을 만족하도록 관리하기 위해 구매계획, 공급자 평가 및 선정, 구매자재, 기기 용역의 관리 요건 등을 기술하였다.

2.2.8 자재, 부품 및 구성품의 식별과 관리

불량 또는 결함이 유발될 수 있는 자재, 부품 및 기기 등을 적절한 방법으로 식별 관리하기위한 요건을 기술함.

2.2.9 특수 작업관리

품질에 영향을 미치는 특수작업에 대해 자격인증관리, 작업수행 방법 및 서류기록 관리 등을 기술하였다.

2.2.10 검사

품질보증활동이 절차서, 규격서, 도면 및 구매서류의 품질요건에 따라 수행하는 검사행위의 요건을 기술함.

2.2.11 시험관리

개발제품이 수요처에서 요구하는 규격을 만족하고, 제기능을 충분히 발휘 할 수 있음을 입증하기 위한 시험 업무에 대하여 사전계획의 수립, 시험방법, 시험결과 문서화 등 시험관리 및 전산프로그램의 시험요건에 대하여 기술함.

2.2.12 측정 및 시험장비의 관리

측정 및 시험장비의 효율적인 관리로 시험결과 정확성을 보증하고, 제반 검사 및 시험업무의 원활한 수행을 위한 측정장비의 검·교정계획과 검·교정시험, 측정장비 및 시험장비의 식별 및 관리와 기록관리에 대해 기술함

2.2.13 취급, 운송 및 저장

자재, 장비 및 제품의 손상, 품질저하 등을 최소화하기 위한 취급, 운송 및 저장 등에 대한 요건을 기술함.

2.2.14 검사, 시험 및 운전상태

제품의 검사, 시험 또는 운전에 대한 상태를 적절한 방법으로 표시하여 부주의한 취급 및 오동작을 방지하며, 필요에 따라 꼬리표를 부착하여 기기의 운전상태 관리 요건을 기술함.

2.2.15 부적합자재, 부품 및 구성품

부적합 품목의 사용 방식을 위한 식별방법, 격리 및 처리 요건을 기술함.

2.2.16 시정조치

품질에 위배되는 사항들을 조기에 발견하여 시정함으로써 제발방지의 관리 요건을 기술함.

2.2.17 품질보증기록

품질 업무에 대한 객관적인 증빙자료로서 유지되어야 할 품질보증기록의 생산, 유지 및 보관을 위한 요건 및 절차를 기술함.

2.2.18 품질보증 감사

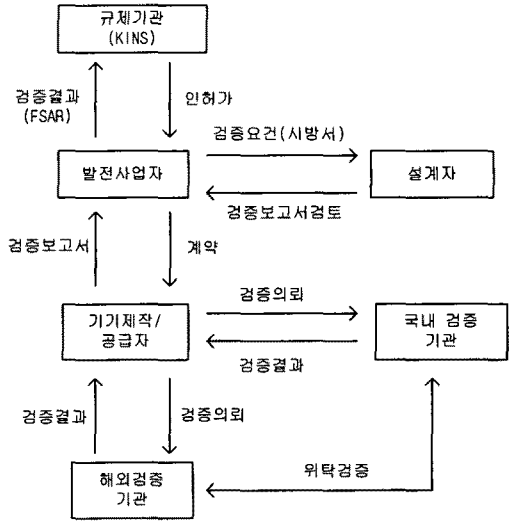
품질보증계획서를 효율적으로 운영하고, 품질에 관련된 업무가 이 계획서에 따라 이행되고 있는지 품질보증 감사의 계획, 실시 및 시정조치 등의 품질활동을 기술함.

2.3 품질보증절차서 및 기술행정 절차서 개발

품질보증계획서에서 수록한 품질보증 요소 18개 항목에 대한 요건을 준수하기 위해 세부 시행 절차서(절차서/지침서, 개정 및 관리, 설계관리, 공정관리, 인수검사, 부적합제품관리, 설계확인, 공급자 결합관리 등)를 개발하여 수행하였으며 또한 개발담당자가 생성해야 할 문건에 대한 요건과 방법 등을 기술한 기술행정 절차서(하드웨어 및 소프트웨어 개발계획서 작성지침, 소프트웨어 형상관리 계획서 작성지침, 하드웨어 및 소프트웨어 요건 규격서 작성지침, 하드웨어 및 소프트웨어 설계 설명서 작성지침 등)를 개발하여 개발담당자가 원활하게 업무를 수행할 수 있도록 하였다.

2.4 기기성능검증 절차 수립

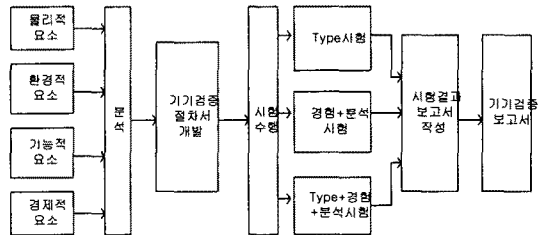
현행 기기성능검증 수행 체계를 보면 일차적으로 성능검증 기관과 기기제작/공급자와의 계약에 의해 수행된다. 기기제작/공급자는 발전사업자로부터 기기공급 계약을 맺고 구매 규격서에 명시된 기기검증 규격을 기기검증 기관에게 제시한다. 이들 상호관계는 [그림1]과 같다.



[그림 1] 현행 국내 원전기기 성능검증 수행체계

2.4.1 절차수립

발주자의 구매규격서의 기기검증 규격을 기준으로 [그림2]와 같이 물리적, 환경적, 기능적, 경제적 요소를 분석하고 기기제작/공급자와 시험기관은 기기검증 절차서를 개발한다. 시험 수행에 있어서는 실제시험, 경험 및 분석에 의한 시험 중 어떤 것을 선택 할 것인가를 선택 한 후 시험을 수행하고 시험기관에서는 시험결과보고서 및 기기검증 보고서를 의뢰자에게 제출 한다.

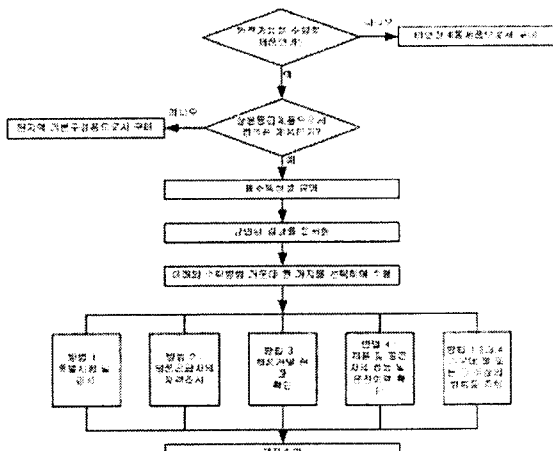


[그림 2] 기기검증 절차

2.5 상용등급제품 인증 절차 수립

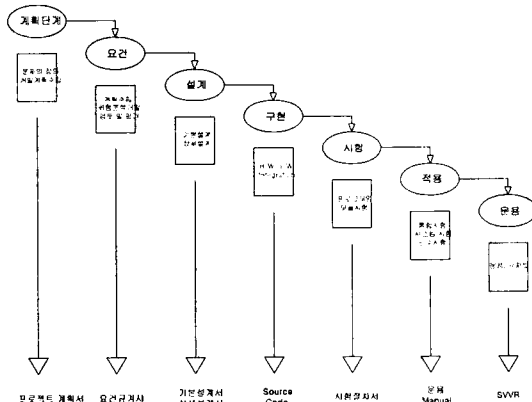
상용등급제품은 10 CFR 50에 따라 인허가를 취득한 원자력에 사용될 경우, 기본기기로 설계 및 제작되지 않았으나 안전기능에 영향을 주는 구조물, 계통, 부품 및 부속품을 의미한다. 그러나 설계와 제조과정에서 반드시 결점 혹은 고장의 확인과 수정을 보증하는 검사와 입증해야 하는 제품은 상용등급제품에 해당되지 않는다. 상용제품인 경우 EPRI NP-5652의 인증 절차에 따라 [그림 3]과 같이 상용등급제품 정의의 기준과 일치하면 필수성과 문서결과물을 확인한다. 수락에는 특수시험과 검사, 공급자의 상업제품에 관한 조사, 재원(Source)확인 및 수락 가능한 업체/제품의 성능기록 등의 방법으로 각각 또는 조합으로 사용한다.

[그림 3] 상용등급제품 인증절차



2.6 소프트웨어 확인 및 검증 계획 수립

소프트웨어의 품질보증은 [그림4]와 같이 소프트웨어의 생명주기(Life Cycle)동안 생산된 산출물들이 이전 단계에서의 요구사항을 만족 시키는 지를 지속적으로 평가하여 최종 산출물이 적정 품질을 갖출 수 있도록 절차화하였다.



[그림4] 소프트웨어 Life Cycle (IEEE Std. 1012)

2.6.1 단계별 요건사항

- 개념정립 단계(Concept Phase)

이 단계에서는 개발제품과 관련 하여 모든 자료와 기술요건을 분석하고 S/W 관련 개념을 정립하며, 과제 개발계획서와 더불어 S/W에 대한 V&V 계획서, S/W 개발 계획서, S/W 형상관리 계획서를 작성한다.

- 요구사항 분석단계(Requirements Phase)

이 단계에서는 S/W의 기능을 기술하고 시스템 테스트 계획서와 S/W 설계에 도움을 줄 수 있는 요건들을 추가한 S/W 요건 규격서(Software Requirements Specification: SRS)를 개발하여야 한다. SRS의 내용은 IEEE Std. 830(Standard for Requirements Specifications) 지침에 따라야 한다.

- S/W 설계 단계(S/W Design Phase)

이 단계에서는 S/W 시험계획서 및 S/W 설계 설명서(S/W Design Description : SDD)를 작성한다. 이 설명서에서는 ANSI/IEEE Std. 1016-1987, "IEEE Recommended Practice for Software Design Description"의 내용 및 구조를 갖도록 작성되어야 함.

- 구현단계(Implementation Phase)

이 단계에서는 S/W 설계에 따라 source 코드 및 자료 파일을 구현할 것이다. 이 과정에서 V&V 검토는 설계 문서와 코드 및 자료를 확인하는 것 이외에도 S/W 모듈별 단위별 시험 및 본 과제에 사용하는 코딩 기준의 준수 여부를 검토한다.

- 운영 및 유지보수 단계(Operation and Maintenance Phase)

이 단계에서는 개발 시스템 관련 H/W 및 S/W를 통합한 전 디지털 계통에 대한 시험을 수행할 것이다. 이 과정에서는 H/W와 S/W간의 연계가 잘 되었는지를 확인할 것이며, S/W 통합단계에서 수행된 시험의 일부를 H/W에 설치한 후 반복할 것이다. 또한 이 단계에서는 현장 모의 인수 시험(Factory Acceptance Test, FAT)을 수행할 것이다. 이는 계통 타당성 검사 시험으로서 완성된 S/W를 사용 현장과 동일 환경에서 모의된 시험 입력 자료를 가지고 그 성능을 시험하는 것이다.

- 소프트웨어 제거 단계(Requirement Phase)

개발된 S/W를 사용하는 동안 운영자 혹은 사용자에 의해 제기되는 설계오류, 불편함 혹은 자체 운영 후 수정요구 등으로 인해 S/W의 개선이나 수정을 요구할 경우에 수행할 단계임.

2.6.2 소프트웨어 확인 및 검증 보고서

소프트웨어의 생명주기(Life Cycle)동안 생산된 산출물들을 검토하여 확인 및 검증 작업 요약보고서(V&V Summary Report), 결함보고서(Anomaly Report)와 확인 및 검증 최종 보고서(V&V Final Report)를 작성한다.

3. 결 론

국내 I&C 설비 제조업체들이 원전에서 사용할 I&C 설비를 개발하고자 할 때 가장 큰 어려움으로 생각하는 것이 제품의 품질보증이다. 개발제품의 품질보증은 각 회사의 적합한 품질보증 체계를 확립하고 기기성능 검증 방안과 소프트웨어에 대한 확인 및 검증방안을 수립하여 연구개발을 수행하면 제품의 신뢰성을 확보할 수 있을 것이라 사료 된다. 본 논문은 원자력발전소 계측제어 기기(2차 계통의 터빈제어시스템)의 현장적용을 위한 품질보증 사례를 소개하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 10 CFR APPENDIX B Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants.
- [2] ASME NQA 1 Quality Assurance Program Requirements.
- [3] KEPIC QAP 1 원자력 품질보증 일반기준
- [4] KINS-G-002 원자로 설비의 품질보호 계획 일반지침
- [5] EPRI NP-5652 원자력 안전관련 분야에 상용등급제품 활용에 관한 지침 1988.
- [6] IEEE Std. 743.2 Application Criteria Programmable Digital Computer System in Safety System of NPP 1993.
- [7] IEEE Std. 1012 IEEE Standard for Software Verification and validation Plan 1992.
- [8] IEEE Std. 830 Standard for Requirements Specification.
- [9] ANSI/IEEE Std. 1016 1987 IEEE Recommended Practice for Software Design Description.