

## 원전 상용기기(Commercial Grade Item) 승인 및 평가 방법론

김장열, 김정택, 권기춘, 이기영, 구인수  
한국원자력연구소  
305-353 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

### 요 약

상용기기(Commercial Grade Item : CGI)란 구조물, 시스템, 컴포넌트 또는 그것들의 일부분을 구성하는 것으로써 안전기능(safety function)에 영향을 미치지만 basic component로써 설계되거나 제작되지 아니한 것을 의미한다. 즉, ASME/NQA-1 Appendix B의 엄격한 품질보증 프로그램하에서 설계되고 제작되지 아니한 것으로써 원전 이외의 분야에서 상용적으로 널리 사용되고 있는 기기들을 의미한다. 본 논문에서는 이러한 원전 안전등급 분류기준 Non-Nuclear System (NNS) Simple에 해당되는 Non-Safety CGI를 Safety Application의 Nuclear Grade Item으로 사용하기 위한 CGI 평가 및 승인 절차를 제안하고 새로운 CGI 생명주기 모델을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 CGI Dedication 절차 및 CGI 생명주기 모델은 우리나라 원전 계측제어시스템의 디지털 upgrade plan 및 교체, 신규원전 상용기기 평가방법론에 적용할 수 있을 것이다. CGI Dedication은 10여년전부터 원자력계가 고민해온 분야로써 원전 계측제어시스템의 디지털화에 따라 상용 (Commercial Off The Shelf : COTS) 소프트웨어의 승인과 함께 전세계적으로 hot issue 가 될 만큼 활발한 연구와 논의가 현재 진행되고 있는 분야이다.

### 1. 서 론

10 CFR PART 21의 Commercial Grade Item(CGI)의 정의에 의하면 CGI란 dedication이 되어야 비로서 basic component가 될 수 있다고 정의하고 있다. 여기서 basic component라 함은 ASME/NQA-1 품질보증(quality assurance) 프로그램하에서 설계되고 제작된 Nuclear Grade Item을 의미한다. 즉, CGI란 첫째, 특별한 시설이나 장비에 종속되지 아니한 것이어야 하며 둘째, 원자력시설 이외에서 적용한 경험 데이터가 있어야 하고 셋째, catalog과 같은 것을 토대로 vendor로부터 구매할 수 있는 것이어야 한다고 정의하고 있다.

원자력 전력사업자들은 원전 계측제어시스템의 upgrade plan 및 교체, 또는 신규 설계시 CGI의 사용 필요성을 절실히 느끼고 있다. 왜냐하면 운전중인 발전소가 대부분이고 기존의 생산중단 품목들이 많아져서 spare part나 교체부품들을 새롭게 구매하여야 하기 때문이다. 그러나 많은 전력사업자들은 기술적 사항과 인허가 문제 때문에 원전 관련 안전성 시스템에 이러한 CGI 들을 사용하는데 주저해 왔다. 그 이유는 이들 CGI 들이 ASME/NQA-1과 같은 엄격한 품질보증 프로그램과 원자력 Code & Standard를 준용하여 개발한 것이 아니기 때문이다. 이러한 원자력분야의 특성(CGI 안전성 및 규제사항) 때문에 미국을 비롯한 많은 선진국들이 이 분야에 대해서 10여년동안 고민해 온 것이 사실이다.

본 논문에서는 이러한 CGI Dedication에 관한 평가 및 승인에 관하여 최신의 신규 인허가 요건

들을 분석한 다음 분석된 내용을 토대로 우리나라 현실에 적합한 1단계 예비승인절차와 2단계 상세승인절차라는 CGI Dedication 절차를 제안하고 생명주기 모델도 함께 제시하였다.

## 2. 규제요건

원전에서의 Class 1E equipment는 전 생명주기를 통하여 안전기능 요건을 만족시켜야만 한다. 이것은 설계, 제작, 설치, 운영 및 유지보수 등의 품질보증 프로그램을 통하여 성취된다. 현재 우리나라에는 CGI Dedication에 관한 고유의 규제요건은 없고 주로 NRC-IEEE 프레임워크를 준용하고 있기 때문에 여기에 맞추어 규제 프레임과 관련 표준 및 Regulatory Guide(RG)를 분석해 보고자 한다. 먼저 CGI에 적용되는 규제 프레임워크를 Code & Standard로 부터 계층구조적으로 나열해 보면 다음과 같다.

- o 10 CFR 50 Appendix B : Quality Assurance Program
- o 10 CFR 21 : CGI Dedication
- o ASME NQA-1a-1995, Chapter 10 : Commercial Grade Items
- o Industry Guides/Standards
  - IEEE 7-4.3.2-1993, "Standards Criteria for Digital Computers in Safety Systems of Nuclear Power Generating Stations"
  - EPRI NP-5652, "Utilization of Commercial grade Items in Nuclear Safety Related Applications"
  - EPRI TR-102260, "Supplemental Guidance for the Application of EPRI Report NP-5652"
- o NRC Guidance
  - Regulatory Guide 1.152 Rev 1.152 rev. 1 endorsing IEEE 7-4.3.2-1993
  - Generic Letter 89-02, conditionally endorsing EPRI NP-5652
  - Generic Letter 91-05, providing additional NRC guidance

이들 규제 프레임워크를 분석해 보면 CGI가 Dedication 될려면 첫째, 안전성 요건을 만족하여야 하며, 둘째는 필수특성(Critical characteristics)들이 design input data에 비추어 만족되어야 하고 셋째는 일정한 승인 방법론이 충족되어야 함을 알 수 있다. 즉, 이것은 ASME/NQA-1의 품질보증 프로그램에 거의 필적하는 평가과정을 요구하는 것을 알 수 있다.

## 3. CGI 평가 및 승인 절차

Safety-related applications에 사용될 CGI 들은 basic component로써 Safety-related item에 준하는 품질요건을 거의 만족시켜야 한다. Safety-related applications에 적용할 CGI 들을 평가하고 승인위한 제 1 단계인 예비승인절차와 제 2 단계인 상세승인절차를 제안한다.

- o 1 단계 : 구매문서에 기술한 acceptable item에 대한 요건을 보증하기 위한 기술적 평가를 수행한다. 이 기술적 평가를 본 논문에서는 예비승인절차라고 명명하였다.
- o 2 단계 : 기술적 평가 결과를 토대로 합리적 승인 방법론(acceptance methods)을 선정한다. 이때의 승인 방법론은 하나 또는 그 이상이 될 수 있다. 2 단계를 본 논문에서는 상세 승인절차라고 명명하였다.

1, 2단계를 모두 통과하면 accepted item이 되지만 1단계 기술적 평가 과정에서 안전성 기능 요건을 만족시키지 못하면 Non-Safety item으로 분류되어야 한다(이는 CGI를 Safety-related application에 적용할 수 없음을 의미한다). 이외에도, 10 CFR 21에서 요구한 CGI 정의 요건을 만족시키지 못할 경우는 별도의 특별 구매(basic component) 형태로 해결하여야 한다.

### 3.1 예비승인절차

예비승인절차에서는 CGI에 대한 기술적 평가를 시행한다. 첫째, CGI가 안전성 기능(safety function)을 만족하는지를 체크한다. 그리고 CGI가 이 CGI 정의에 부합되는지를 확인한다. 그런다음 필수특성(critical characteristics) 매트릭스를 작성한다. 이 필수특성 매트릭스는 설계사양서에 있는 design input data에 따라 선택 항목이 달라질 수 있다. 필수특성 일부를 예로 들면 다음과 같은데 예비승인절차에서는 물리적, 성능적, 보전성 등의 세가지 요소를 모두 평가한다.

- o 물리적(Physical) 특성
  - 제품/부품 확인(Product/part identification)
    - . 모델 및 부품번호(Model/part number)
    - . 펌웨어 개정번호(Firmware revision number)
    - . 소프트웨어 개정레벨(Software revision level)
  - 하드웨어의 물리적특성(Physical characteristics of hardware)
    - . 크기(Size)
    - . 마운팅(Mounting)
  - 장비 인터페이스의 물리적 특성(Physical characteristics of device interface)
    - . 전력(Power)
    - . 신호(Signal)
    - . 통신망(Data communications)
    - . Human-Machine Interfaces(HMI)
- o 성능(Performance) 특성
  - 온도(Temperature)
  - 습도(Humidity)
  - 지진(Seismic)
  - 내환경(EMI/RFI) 등
- o 보전성(Dependability)
  - 신뢰성(Reliability)
  - 안전성(Safety) 등

### 3.2 상세승인절차

상세승인절차에서는 1단계에서 시행한 기술적 평가(안전성 기능 확인, CGI 정의 요건, 필수특성) 문서들을 토대로 승인 방법론을 결정한다. 이때 EMI/RFI, 지진 시험 등은 내부 실험실을 갖추고 있을 경우 내부적으로 실행할 수 있으며 그렇지 못할 경우 제 3의 기관에 의뢰할 수 있다(10 CFR 21). 원칙적으로 dedication은 qualification과 달리 테스트의 의미가 포함되어 있지 않다. 즉, dedication은 실험 데이터가 이미 있다고 가정하고 시작한다. 하지만 CGI의 경우, EMI/RFI 또는 지진과 같은 실험 데이터 결과를 vendor 측이 제공하지 못하는 경우가 약 80-90%에 이른다. 상세승인 방법론들은 다음과 같이 4 가지이지만 경우에 따라서는 대부분 둘 또는 그 이상을 조합하여 적용할 수도 있다.

- ① 특별시험(special tests) 및 감사(inspections)  
: EMI/RFI, 지진 시험 등의 부가적 특별 시험 또는 추가시험이 요구될 때. 이 시험은 제 3자에게 의뢰할 수도 있다. (10 CFR 21)
- ② 공급자 조사(survey of suppliers)  
: 공급자측의 품질보증 프로그램, 품질보증 절차서, 부품번호(part number), Catalog

등 주로 공급자측이 제공한 자료 등을 토대로 dedication 한다.

③ 소스 검증(source verification)

; 전력회사가 직접 vendor의 현장에 가서 품질보증 활동을 입회하는 것을 의미한다.

④ Qualified Vendor data에 의한 승인 / 운전이력 데이터(acceptable supplier/item performance)

; 이는 최소한 1년이상인 운전이력 경험데이터, 최소한 2개 이상의 독립된 운영위치에서 중대한 오류가 없었다는 운전이력 데이터 등의 보고서 등을 토대로 dedication 한다. 또는 기확보된 qualified vendor list를 통하여 dedication 할 수도 있다.

### 3.3 CGI 생명주기 모델

본 논문에서 새롭게 제시한 CGI Dedication 생명주기 모델은 그림 1과 같다. 이 생명주기 모델은 CGI의 upgrade plan 및 교체, 신규설계 등 모든 CGI Dedication 생명주기에 적용할 수 있는 것이 그 특징이라 하겠다. 여기서 “like for like CGI”의 경우 기존 CGI와 제작자 및 part number가 같은 경우를 의미하는데 테스트를 제외하고는 별도의 dedication 절차를 요구하지 않는다. 그러나 기존 CGI의 대체 또는 전혀 다른 새로운 CGI의 경우 dedication 방법은 본 논문의 3장에서 제안한 예비승인절차 및 상세승인 절차를 반드시 통과하여야 한다.

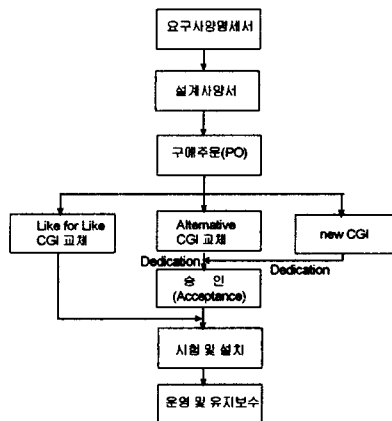


그림 1. CGI Dedication 생명주기 모델

## 4. 결 론

Commercial Grade Item (CGI) 승인 및 평가 방법론은 10여년전 부터 세계의 원자력계가 고민 해온 분야이다. 본 논문에서는 이러한 CGI 승인 및 평가 방법론을 제안하고 생명주기 모델을 우리나라 실정에 맞게 제시함으로써 앞으로 계측제어계통의 upgrade plan 및 교체, 신규설계시 상용기기 평가 방법론 요건을 개발하는데 중요한 계기가 될 것으로 판단된다.

최근에는 계측제어 분야의 디지털화에 따라 CGI 평가 및 승인은 상용(Commercial Off The Shelf : COTS) 소프트웨어의 승인과 함께 hot issue가 되고 있다. 이는 CGI가 Software based control의 경우 이에대한 상용 소프트웨어의 승인 절차 및 방법론이 아직까지 명확하게 정립되지 않았기 때문이다. 따라서, 앞으로는 CGI 평가 및 승인과 상용 소프트웨어의 평가에 대한 보다 많은 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

- [1] USNRC Generic Letter 89-02, *"Actions to Improve the Protection of Counterfeit and Fraudulently Marketed Products"*
- [2] USNRC Generic Letter 91-05, *"Licensee Commercial Grade Procurement and Dedication Programs"*
- [3] IEEE 7-4.3.2-1993, *"Standards Criteria for Digital Computers in Safety Systems of Nuclear Power Generating Stations"*
- [4] EPRI NP-5652, *"Utilization of Commercial Grade Items in Nuclear Safety Related Applications"*, 1988
- [5] EPRI TR-102260, *"Supplemental Guidance for the Application of EPRI Report NP-5652"*, 1994
- [6] NUREG/CR-6421, *"A Proposed Acceptance Process for Commercial Off the Shelf (COTS) Software in Reactor Applications"*, 1996.