

## 원전 계측 제어 국제표준

### 구인수

한국원자력연구원  
스마트개발본부 표준설계부 책임연구원



#### 원자력시설계측제어산하위원회(SC45A) 임무<sup>1)</sup>

원전 계측 제어 국제표준은 국제전기기술위원회(IEC: International Electro-technical Commission) 산하 원자력계측기술위원회인 TC45 (Technical Committee No. 45, Nuclear Instrumentation) 산하의 원자력시설계측제어분과위원회인 SC45A (Sub-Committee 45A, Instrumentation and Control of Nuclear Facilities)가 담당하고 있다. 원자력계측기술위원회는 1) 원전 안전의 감시, 제어, 2) 방사선 검출 및 방호, 3) 전 세계의 특수 핵물질 안전 보장을 위한 감시 및 제어 등의 관련 등 원자력 평화적 이용을 위한 계측 제어 기능, 계통 및 기기를 선도하는 표준을 제정한다.

원자력시설계측제어산하위원회는 원자력발전소, 원자력 연료 관련 시설과 사용후연료와 방사성폐기물의 중간 및 최종 저장 등의 모든 원자력 에너지 관련 생산 설비의 계측 제어 계통에 사용하는 모든 전자 및 전기 기능과 관련 계통 및 기기의 표준을 마련하는 것이다.

관련 기술위원회인 신뢰성기술위원회(TC 56), 산업공정측정, 제어및자동화기술위원회(TC 65), 전자기호환기술위원회(TC 77) 등과 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency), 국제방사선보호위원회(International Commission on Radiological Protection), 국제방사선단위및측정위원회(International Commission on Radiological Units and Measurements) 등과 리에종(liaison)을 두어서 서로 간의 조화를 이루도록 한다.

경북대 전자공학과 졸업  
청주대 전자공학 석사, 충남대 박사  
전자기술사(산업계측제어)  
한국원자력연구원(1980~ )

1) www.iec.ch



원자력계측기술위원회인 TC45와 국제원자력기구와의 협정에 따라 원자력 분야 안전 표준은 국제원자력기구 안전지침의 원칙과 용어를 따른다.

원자력 분야는 안전 개념이나 안전 방법론이 잘 갖추어져 있으므로 원자력 설비계측제어산하위원회는 일반적 접근 방법과의 차이에 따른 안전 요소를 기술하고, 원자력 에너지 관련 시설이 안전에 대처하는 방향을 제시하는 것이다.

원자력시설계측제어분과위원회는 개념, 설계, 제조, 시험, 설치, 사용 허가, 운전, 유지 보수, 경년 열화 관리, 개선, 폐기 등 원자력 시설 관련 모든 계측 제어 계통의 개념단계부터 폐기까지 모든 생명 주기에 관련하고 있는 표준을 제정, 관리한다.

분과 위원회는 감시, 제어와 안전 작동 기능에 필요한 방사선 감시 계측을 포함한다.

이 위원회는 국제 협약의 틀 속에서 핵물질 관리 및 통제, 핵물질 안전 보장과 불법 악용을 방지하는 제반 시설의 계측 제어 계통을 포함한다. 방사선과 환경 감시와 중복 기능은 공동 수행이나 리에중을 이용한다.

이 위원회의 주 관심사는 원자력 계측 제어 요건에 부합하기 위해 특히 컴퓨터 계통과 인공 지능을 포함하는 정보 처리와 제어 등 최신 기술 등 전자 기술의 적용이다.

전략적 임무는 국제원자력기구와 국제전기위원회 사이 문서와 위원회 표준 개발이 시장 요구에 적절한지와 같은 세부 기술 관점의 일관성을 유지하기 위해 국제원자력기구의 안전 기준을 검토, 의견을 제시한다.

SC45A 위원회 실무 구성 조직

원자력시설계측제어분과위원회의 표준 개발 임무는 전체 7개의 작업반으로 구성된 작업반에서 개발한다.

작업반은 최근 2009년 9월 요코하마 회의 이후 전기 계통의 사건 등이 원전의 특수성 고려가 있어야 한다는 중지에 따라 본 분과위원회의 작업반 구성을 하고 있으며, 일부 작업반은 그 임무가 종료되어 전체적으로 작업반의 재임무 부여가 진행중이다.

특히, 상위 안전 지침인 국제원자력기구의 원자력 시설 설계 기준인 IAEA-NS-R-1에 따른 계측 제어 안전 지침인 NS-G-1.1과 NS-G-1.3이 개정 작업에 있으며, 이는 요건에 관한 하위 국제 표준 문서와 조화를 이루기 위한 작업의 일환이다.

1. 의장 및 간사

의장은 회의 전체를 총괄 운영하고 각 실무 작업반의 업무 배분을 조정할 수 있다. 간사는 실질적인 모든 회의의 진행을 원활하게 진행시킬 책임을 진다.

모든 문서 발행과 관련한 실무 진행은 본부, 간사, 실무 작업반 의장과 유기적인 관계를 이루어 진행한다.

모든 실무 작업반의 행정적 총괄과 비전 및 목표 등 산하 위원회 정책 결정 등의 주요 사항은 의장 주재하에 결정한다.

2. WG A2 : 센서 및 측정 기술 작업반

원자력발전소의 계측 제어 계통에서 사용하는 모든 종류의 센서나 계측기에 대한 표준과 기술보고서를 생산하며, 현재 의장은 프랑스의 Jean-Pierre Burel이 맡고 있다.

주요 발간 표준 문서는 온도 계측기의 특성과 시험 방안, 국부 출력 감시 교정을 위한 감마 온도계 응용, 원자로 출력 중성자속 측정을 위한 노내 계측기, 노내 온도 측정, 축은 저항체 응답 시간, 광역 중성자속 측정을 위한 평균 자승 전압법 등 9종 등이며, 현재 진행 중인 표준 문서는 3종이다.

3. WG A3 : 디지털 프로세서의 원전 안전 등급 적용 작업반

안전 관련 계통의 일반 요건, Category A 기능을 수행하는 안전 통신망 요건, 안전 등급에 최신 소자의 사용, 안전 등급 소프트웨어 사용 요건, 컴퓨터 기반의 하드웨어 요건, 공통 원인 고장 대처 방안에 관한 요건 등이 작업반은 가장 최신의 디지털 기술을 원자력 시설에 도입하는 요건에 관한 표준이나 보고

서를 제정, 개정하는 가장 바쁜 작업반이며, 현재 의장은 독일의 Arndt Lindner가 맡고 있다. 현재 진행 중인 문서는 2종이다.

4. WG A5 : 특정 공정 측정 및 방사선 감시 작업반

정상, 사고 전, 사고 후의 방사선 감시 계통 등 원전의 특정 공정 계측, 핵연료나 폐기물의 중, 장기 저장 관련 시설의 계측 제어 계통 요건의 표준 개발을 담당하며, 현재 의장은 스웨덴의 Frigyes Reisch가 맡고 있다.

5. WG A7 : 원자로 안전 계통 전기 기기의 신뢰성 작업반

기능적 등급 분류에 확률론적 방법 적용, 주기적 가동중 시험 요건, 안전 등급 논리 특성과 시험 방법, 전기 관통부 시험, 전기 기기 검증, 격납 용기 감시 계측, 내진, 전자기 호환성 시험 요건 등과 같이 계측 제어 계통의 안전에 관한 신뢰도를 높이는 결정론적인 방법과 확률론적 방법을 적용하여 계측 제어 계통의 고신뢰 설계와 관련한 표준 개발을 담당하며, 현재 의장은 영국의 Nick Wall이 맡고 있다. 현재 진행 중인 문서는 1종이다.

6. WG A8 : 제어실 작업반

컴퓨터 기반 운전 절차, 안전 변수 표시 설계 기준, 주제어실 및 2차 제어실 설계, 주제어실 설계 확인 검증, visual display unit 적용, 제어실 기능 분석 및 직무 배분 등 인간공학적 설계 원칙에 입각한 제어실 설계 관련 표준 문서 제정, 개정을 수행한다.

현재 의장은 일본의 Yushi Fujita가 맡고 있으며 다음 회의부터는 다른 일본 전문가로 교체될 예정이다. 현재 진행 중인 표준 문서가 1종이다.

7. WG A9 : 계측 계통 작업반

컴퓨터 보안, 부적절 노심 냉각 감시, 금속 파편 등 음향 감시, 냉각재 누설 감시, 원자로 내부 구조물의 진동 감시, 비상정지 설정치 산정 및 유지 등 컴퓨터 관련 최신 기술을 이용하여 원자력 시설의 안전을 지원하는 관련 표준 제정 및 개정 업무를 수행하며, 현재 의장은 미국의 Edward Quinn이 맡고 있다. 현재 진행 중인 표준 문서가 1종이다.

8. WG A10 : 원전 계측 제어 계통 개선 및 현대화 작업반

전선 노화 관리, 전기 기기 상태 감시, 안전 기능의 전기 연동, 가동중 원전 현대화, 안전 계측 채널 성능 평가 등 기기 단종, 열화, 플랜트 수명 연장 등 가동 중인 플랜트의 개선, 현대화 및 교체에 관한 표준을 제정, 개정하는 업무를 수행하며, 현재 의장은 미국의 Clark Artaud가 맡고 있다.

현재 진행 중인 문서가 2종 6건에 이르며, 이는 현재 세계적으로 가동 중인 원전의 열화 문제 및 배관 감육 관련 감시가 주류를 이루고 있다.

SC45A 위원회 표준 체계

원자력시설계측제어분과위원회의 표준 문서는 입력 또는 상위 표준에 해당하는 IEC TC1<sup>2)</sup>, IEC TC 77<sup>3)</sup>, 국제원자력기구, 국제방사선방호위원회, 국제방사선단위및측정위원회 등의 표준 문서이며, 이 분과 위원회의 표준 문서는 분류 체계상 계통 표준 문서로 분류하고, 같은 계통 표준 문서 체계로는 국제 표준기구 ISO TC 85<sup>4)</sup>가 해당한다.

본 위원회의 표준에 상세 내용인 기기 표준 문서는 IEC TC 8<sup>5)</sup>, IEC TC 35<sup>6)</sup>, IEC TC 56<sup>7)</sup>, IEC SC62C<sup>8)</sup>, IEC TC65<sup>9)</sup>, IEC TC112<sup>10)</sup>, IEEE-NPEIC<sup>11)</sup> 등 다른 기술위원회 표준을 사용한다.

2) Terminology  
3) Electromagnetic compatability  
4) Nuclear Energy



원전 계측 제어 표준 문서

1. 일반 원칙 관련 표준

안전 관련 계측 제어 계통의 일반 요건과 안전 관련 계측 제어 계통의 안전 등급 분류에 관한 표준이며 일반 요건은 플랜트 안전 목표를 달성하기 위한 계측 제어 관련 요건을 기술하며 이는 전체 계측 제어 계통 구조의 안전 관련 생명 주기 개념과 개별 계통의 생명 주기를 기술한다.

이 문서는 크게 계측 제어 기능, 안전 해석 결과에 따른 계통 및 기기, 계측 제어 안전 등급 범주화, 플랜트 배치 및 운전 등 각종 계측 제어 상위 요건을 기술하며, 심층 방호와 공통 원인 고장 관련 등 계측 제어 계통 구조, 컴퓨터 기반 계통과 각 개별 계통의 요건, 통합, 설치, 운영, 보수 유지 등의 요건을 기술한다.

안전 관련 계측 제어 계통의 안전 등급 분류 표준은 일반 요건 하위 문서로서 계측 제어 계통의 안전 등급 분류에 대해 범주 A, B, C의 기능 요건, 할당 기준, 분류 절차 및 각 등급의 기술 요건을 기술하고 있다.

그 외에 일반 요건으로 관련 표준 문서의 용어 관련 문서와 각종 특정 노형 관련 일반 요건을 기술한 표준 문서로 구성한다. 관련 표준은 총4건이나 특정 노형 관련은 7건의 추록을 포함한다. 따라서 일반 원칙 관련 표준 문서 건수는 11건이며, 총4종이다.

여기서 우리나라와 국제표준 간의 큰 차이는 안전 등급 분류 체계이다. 안전 관련 계통은 전기 등급 분류가 1급과 비1급인 반면 IAEA NS-G-1.3과 국제 표준 문서는 분류 방법만을 제시하고 있으며, 원자력 시설계측제어 산하위원회의 안전 등급 분류 체계는 범주 A, B, C 또는 등급 1, 2, 3으로 분류한다.

등급 1급은 범주 A, B, C 기능을 모두 가지며, 등급 2급은 범주 B, C, 등급 3급은 범주 C 기능만을 허용

한다. 그러나 우리나라 1E와 비1E와 비교한다면 범주 A 기능만 1E급에 해당한다.

따라서 국제 표준을 이해할 때에 범주 A 기능을 우리나라 1E급으로 이해하면 될 것이다.

최근 소프트웨어를 사용하여 기능 구현을 하게 됨에 따라 우리 인허가 등급 체계도 전기 등급, 품질 등급 등 기존 등급 체계에 부가하여 디지털 속성에 따른 IC-1, IC-2, IC-3 등의 분류 체계를 유연하게 적용할 준비가 되어있다.

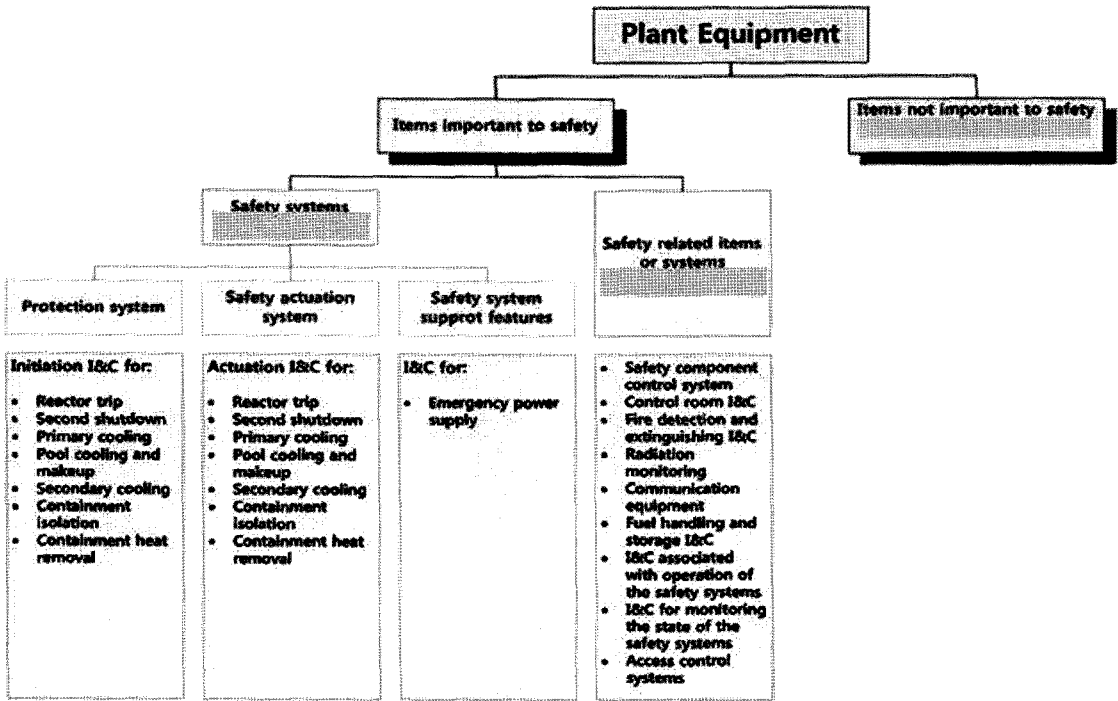
2. 주요 설계 요건

안전 관련 계측 제어 계통에 관해서 격리 요건, 컴퓨터 하드웨어 설계 요건, 범주 A, B 및 C에 관련된 소프트웨어 개발 공정에 관한 요건, 범주 A 기능에 대한 자료 통신망 요건, 디지털 시스템에 관한 공통 원인 고장 대처, 가동중 시험, 전기 관통부 설계 요건, 안전 계통 전기 기기 검증 요건, 전자기 내성 시험 요건, 열화 관리 등 주요 설계 요건에 관한 표준 문서는 총10종이다.

3. 기술 설계 요건

광역 중성자속의 평균 자승법 요건, 노내 자발 중성자속 측정 요건, 노내중성자속 측정, 노내 온도 및 일차측 온도, 안전 계측 채널 성능 평가, 측온 저항체 관련 요건, 안전 논리 시험 요건, 설정치 요건, 안전 기능 연동, 내진, 부적절\*노심 냉각 감시 등 세부 계통이나 기능, 기기에 대한 상세 요건 관련 표준 문서이며, 총13종이다.

- 6) Primary cells and batteries
- 7) Dependability
- 8) Equipment for radiotherapy, nuclear medicine and radiation dosimetry
- 9) Industrial-process measurement, control and automation
- 10) Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems
- 11) Institute of electrical and electronic engineers - Nuclear power engineering



〈그림〉 안전 등급 등급 분류 예문<sup>12)</sup>

4. 응용 설계 요건

비등 경수로의 안정성 감시 및 노심 냉각 감시, 격납 용기 감시, 가압 경수로의 노심 냉각 감시, 냉각재 누출 감시, 급속 파편 감시, 노내 진동 감시, 플랜트 방사선 감시, 정상 및 사건 공정 연속 방사능 감시, 사고 전, 후 방사선 감시, 감마선 피폭 감시 등 감시 설계 요건에 관한 표준 문서이며, 총 11종이다.

5. 기타 표준

기술보고서 형태로 발간한 문서로서 아직 표준 문서로 만들기에는 국제적 이해를 모으기 위해 개발되었으며, 가동 원전의 계측 제어 기능의 개선 및 교체, 핵연료 및 폐기물 중간 및 최종 저장, 확률론적 안전 등급 분류 평가 등 기술보고서는 4종이다.

대응 전략

1. 이제까지 우리나라는 원전 수출을 고려하고 있었으나, 수출의 기술 기준이나 표준에 대해 사실상 미국에 많은 의존을 하고 있었다.

이제 다른 나라에 우리 기술로 원전을 설계, 인허가, 건설, 운영을 해야 할 상황에서는 우리의 기술 기준을 가져야 한다.

이미 우리는 사실상 표준인 KEPIC 체계를 갖고 있다. 기술을 도입할 때에 같이 도입한 표준 체계이다. 이제는 기술 확립에 병행하여 우리 기술 기준에 따른 표준 체계를 가져야 한다.

2. 원전 관련 계측 제어 국제 표준은 계통 표준과 상세 표준으로 나눌 수 있으며, 본 분과는 계통 표준을 개발, 유지하는 것이 원칙이나, 원자력에만 관련된

12) Safety of Nuclear Power Plants, IAEA-NS-R-1



메커니즘이나 핵계측 등과 관련한 상세 표준은 본 분과위원회에서 다룰 수밖에 없다.

특히, SC45B의 핵물질 사용 추적과 관련한 측정 및 추적에 관한 표준은 현재 9.11 사태 이후 본 분과위원회가 개발해야 할 시급한 표준 중의 하나이다.

3.

국내의 가장 강점 분야인 IT 기술의 적극 접목으로 다른 선진 국가보다 기술적 우위를 점해야 하며, 현재 왕성하게 신규 표준을 개발하는 분야이다.

이제 국제 현실은 시장의 개방화, 투명화로 인해 우리나라 기술 개발의 패러다임이 우리 시장을 위한 국산화는 소용이 없으며 세계 시장을 석권할 수 있는 기술만이 국산화의 진정한 의미이다.

그렇다면, 진정한 세계 시장을 선도하는 기술은 세계 기술 기준을 선점하여 다른 나라가 관련 제품을 개발할 때에 안전 및 성능 요건의 주체를 국제표준으로 반영하여야 한다.

4.

원전 계측 제어 관련 국제 표준 전 과정을 한 번 겪었으므로 이제 본격적인 표준 제, 개정 작업으로 돌입해야 한다.

최근 원자력 르네상스는 신규 원전만이 아니라 가동 원전의 교체 및 수명 연장 사업도 중요한 수출 항목에 틀림이 없다.

현재 전체 작업반을 대응하는 국내 전문가들이 새로운 국제표준을 개발해야 할 시기이다.

5.

현재 우리나라 전문가는 회의 참석에서는 주최국 외에는 가장 많은 전문가가 참여할 정도로 본 분과위원회는 활성화 되어가고 있다.

참여 전문가에 비해 아직은 신규 제안이 적은 편이지만 IEC 전체로는 전 회원국의 2번째로 활동을 많이 하는 국가로 된 상황이다.

본 분과위원회를 통해 더 많은 신규 제안을 발굴하여 세계의 기술 기준이 되도록 해야 한다.

6.

이런 위상에 걸맞게 가장 빠른 시간에 적어도 하나 이상의 작업반을 우리 전문가가 맡도록 최선을 다해야 할 것이다.

올해 분과위원회의 각 작업반 임무 배분에 대한 토의를 진행하고 있으므로 많은 노력을 기울여야 할 것 같다.

7.

우리나라 APR-1400 수출이 성사된 바 이를 기준으로 관련 첨단 기술에 해당하는 기술, 방법, 인증 등에 대한 각종 기준을 국제 표준화 해야 한다.

국제 표준은 이제 국가 간 수출에 있어 기술적 기준을 제시하고 이에 부합하는 시스템은 안전성 및 성능에 대해 투명성을 갖고 있다고 판단할 것이다.

8.

미국 등 유사 표준을 사용하는 국가 간의 상호 협력을 통한 국제 표준화 작업을 강화하여 국제적으로 인정받고, 투명성과 안전성을 인증할 수 있는 체계를 만들고, 유지해야 할 것이다.

이를 위해 현재의 표준화 기반 구축 정책인 전문가 국제 회의 참가 지원 등의 소극적 전략으로는 국제표준을 완성하여 세계 수출 시장을 선도하기 곤란할 것이다.

원자력 분야는 현재의 국제 표준화 정책을 적극적인 국제 표준 개발 전략으로 선회해야 한다.

원전 계측 제어 분야는 원전의 수명 동안 적어도 10년 내지 20년마다 한 번씩 전체 계측 제어 시스템을 교체한다고 보아야 한다.

그러면 신규 원전 뿐 아니라 가동 원전도 큰 시장일 수밖에 없다.