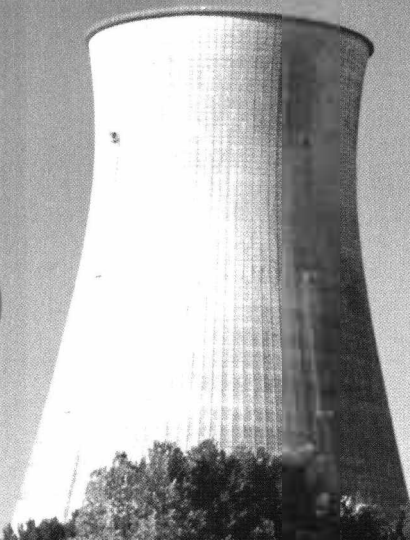
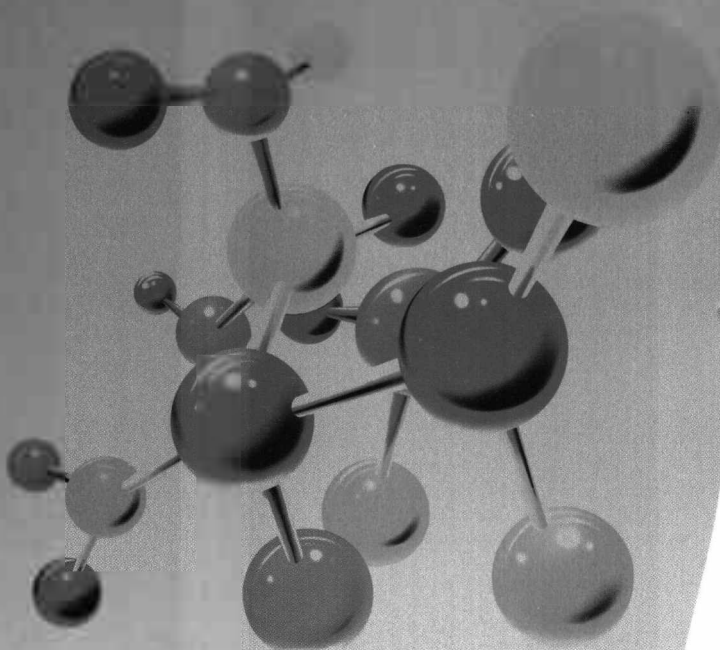


# 원자력발전의 국제경쟁력과 표준화

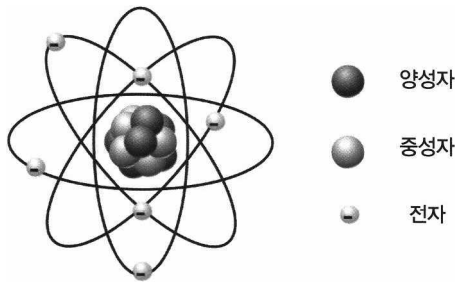
원자력의 세계적인 기술표준 동향과 표준화의 필요성



원자력은 최근에 기후변화정책, 온실가스 감축의 대응방안으로 세계 각 국가의 주요 정책으로 채택되면서 새롭게 주목받고 있다. '제3의 불'로 일컬어지는 원자력발전의 원리와 세계 각국의 실태, 그리고 국제표준화 흐름과 국내 표준화 동향에 대해 알아본다. 2012년 7월호에서는 원자력발전의 공적 표준화작업(KS와 국제표준)과 사실상 표준(단체표준) 실태 및 현황에 관해 보다 자세히 소개할 예정이다. <편집자>

**1945**년 8월 6일 히로시마에 투하된 원자 폭탄은 원자력의 위험성을 알리는 동시에 새로운 에너지원으로서의 가능성을 확인시켜주는 계기가 되었다. 그리고 냉전시대에 원자력은 자의 반 타의 반으로 국력 신장의 중요한 수단이 되었다. 또한 경제발전이 국가의 주요 목표가 되었을 때는 산업개발에 필요한 전기에너지를 저렴하게 제공하는 에너지원이 되었다. 구소련의 체르노빌 원전사고(1986년 4월)와 미국의 쓰리마일 아일랜드 원전사고(1979년 3월)로 인해 원자력산업은 침체기를 맞이하게 되지만, 최근 기후변화정책, 온실가스 감축의 대응방안으로 녹색성장이 세계 각 국가의 주요 정책으로 채택되면서 새로이 주목받게 되었다.

〈그림 1〉 원자모형



최근 후쿠시마 원전사고(2011년 3월 11일)로 인하여 원자력에 대한 회의적인 시각이 커지고 있지만, 그린 에너지원으로서의 장점과 경제성 때문에 '원자력 르네상스 시대'는 계속될 것으로 예상된다.

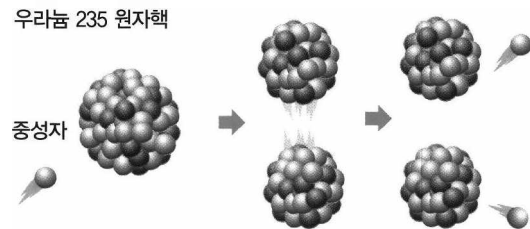
우리나라는 UAE 원전 수출에서 볼 수 있듯이 지난 40년간의 경험과 우수한 연구개발 결과를 바탕으로 원전 선진국 진입을 눈앞에 두고 있다. 그러나 우리나라의 원자력 표준화 수준은 원자력기술에 비해 많이 미흡하다. 원자력산업이 세계적인 경쟁력을 갖추고 수출산업으로서 경제개발에 일조하기 위해서는 무엇보다도 표준화작업이 동반되어야 한다.

표준화작업은 R&D 개발과 달리 정부, 산업계, 연구개발기관 등 모든 관련 기관의 적극적인 참여와 협조를 필요로 하고 있다.

### 핵분열연쇄반응의 열에너지로 전기에너지 생산

원자력이란, 원자의 핵이 분열될 때 또는 융합될 때 나오는 막대한 에너지를 말한다. 전자를 핵분열에너지, 후자를 핵융합에너지라고 한다. 현재 원자력발전소에 적용되는 것은 핵분열에너지이고 핵융합은 아직 연구 단계에 있다. 핵분열에너지에 대해서 간단히 설명하자면 다음과 같다. 원자는 원자핵과 전자로 구성되는데, 우라늄(Uranium, 원자번호 92)과 같이 무거운 핵종들은 중성자를 흡수하면 〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 쪼개진다. 이를 핵분열이라고 한다. 핵분열을 하면 막대한 에너지와 평균 2~3개의 중성자가 나온다. 이 중성자는 또 다른 핵과 충돌하고 흡수되는 과정을 거치면서 또 다시 핵분열을 유도하게 된다. 이와 같은 방법으로 핵분열이 연속해서 일어나게 되는데, 이를 핵분열연쇄반응(fission chain reaction) 이라고 한다.

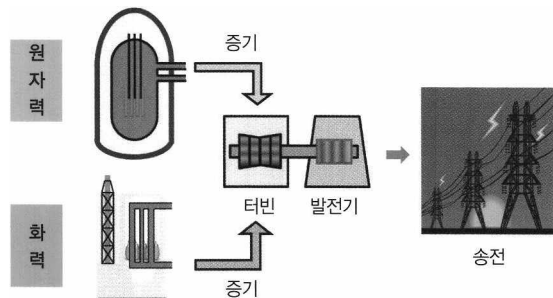
〈그림 2〉 원자핵분열 과정



우라늄 235 중성자를 흡수하면 원자핵이 2개로 분열된다. 이를 핵분열이라 하는데 이 때 막대한 에너지와 2~3개의 중성자가 나온다.

이때 나오는 열에너지를 이용하여 증기를 만들고 이 증기의 힘으로 터빈을 돌려서 전기에너지를 생산하는 것이 원자력발전의 주요 원리이다.

〈그림 3〉 원자력과 화력발전의 원리



핵분열에너지가 생성되는 곳이 원자로(Reactor)이다. 이 원자로 안에는 핵분열을 일으키는 핵연료와 중성자를 감속시켜 핵분열연쇄반응을 도와주는 감속재(moderator), 핵분열에서 생기는 열에너지를 전달하는 냉각재(coolant), 그리고 핵반응을 조절해주는 제어봉과 독물질 등의 제어물질이 있다. 이러한 원자로 안의 구성 물질 등에 따라 원자로를 구분하기도 한다. 우리나라에서 운전 중인 원자로로는 크게 경수로와 중수로로 구분된다. 경수로는 감속재와 냉각재로 경수(H<sub>2</sub>O)를 사용하며, 중수로는 감속재로 중수(D<sub>2</sub>O)를 사용한다. 세계 각국에는 흑연경수로, 가스냉각로, 비등경수로 등의 다양한 원자로 형태가 있으며, 새로운 원자로에 대한 연구도 진행 중에 있다. 세계 각국은 보다 안전하고 경제성 있는 원자로를 개발하기 위해서 많은 자본과 인력을 투입하고 있으며, 국가적인 차원에서 계획을 세우고 있다. 우리나라도 원자력진흥종합계획과 Nu-Tech 2030 등과 같은 중장기계획을 세우고 원자력 선진국 도약에 힘쓰고 있다.

### 중국 등 원전 추가 건설, UAE 등 60개 국 신규 도입

〈에너지기술 전망(ETP, Energy Technology Perspectives), 2010〉에 따르면 2030년에도 화석연료는 전체 에너지원의 50%를 차지할 것으로 예측됐다.

이에 기후변화대응 및 에너지안보의 유리한 해법으로 '에너지 R&D 혁신'과 '온실가스 감축'이 제시되고 있다. 또한 신재생에너지는 최근 연 6.6%의 높은 증가율에도 불구하고 그 비중은 미미할 것으로 전망되었다. 원자력 발전의 경우 후쿠시마 원전사태로 인해 신규 원전 도입이 주춤할 것이나 저탄소 에너지정책과 에너지의 대량 공급 측면에서 현실적인 대안이 될 것으로 전망됐다.

세계 각국은 녹색성장을 국가발전전략으로 추진하여 기후변화와 국제적인 경제위기에 대처하고 있다. 이러한 상황에서 원전은 경제성이 있는 녹색성장의 주요한 수단으로 평가되면서 전 세계적으로 신규 원전 건설과 도입에 대한 관심이 고조되고 있다. 후쿠시마 원전사고의 여파는 원자력산업 전반에 심각한 영향을 줄 것으로 판단하고 있으나, 원전 신규 건설은 지속될 것으로 전망된다. 중국, 러시아, 인도, 미국, 핀란드 등이 원전의 추가 건설을 추진하고 있으며, UAE와 베트남 등 약 60개 국가는 새로이 원전을 도입하고 있다. 이 뿐만 아니라 원전의 가동연수 증가로 노후 원전 정비시장도 대규모로(88조 원) 형성될 전망이다.

세계 원자력시장이 커짐에 따라 선진 원전 공급자들은 경쟁력 강화를 통해 시장 장악력을 확대하려 하고 있다. 웨스팅하우스사는 미국, 중국에 다수의 원전 건설계약을 수주하였고, 남아공과 인도 등에 신규 사업도 개발

〈표 1〉 세계 주요국의 원자력발전 현황(WNA, World Nuclear Association, 2011년 12월 1일)

국가	발전소 수		발전 용량		연 발전량	
	호기	설비용량(MW)	호기	설비용량(MW)	호기	발전량(TWh)
미국	104	1,014,333	1	128	7	8,640
프랑스	58	63,130	1	1,720	1	1,720
일본	51	44,642	2	2,756	10	13,772
러시아	32	23,084	10	8,960	14	16,000
한국	21	18,785	5	5,800	6	8,400
우크라이나	15	13,168	0	0	2	1,900
캐나다	17	12,044	3	2,190	3	3,300
독일	9	12,003	0	0	0	0
중국	15	11,881	26	27,640	51	57,480
영국	18	10,745	0	0	4	6,880
인도	20	4,385	6	4,600	17	15,000
세계	433	369,077	62	62,654	156	173,025

중이다. 또한 원전 수요를 충족시키기 위해 중국의 쇼(Shaw)그룹과 합작회사를 설립하여 중국, 미국 등에 모듈형 제작공장 건설을 추진 중이다. 히타치-GE(General Electric)사와 도시바사는 BWR(비등경수로)을 중심으로 용량별 포트폴리오를 구성하여 세계시장을 도모하고 있다. 그리고 프랑스의 아레바는 그룹 차원에서 EPR(European Pressurized Water Reactor) 마케팅을 주도하여 원전사업 해외진출을 추진 중에 있다. 또한 원전 선진국들은 신형 원전을 개발하여 원전시장을 선점하고 있으며, 안전성을 향상시킨 새로운 개념의 원자로 개발 등을 통해 미래를 대비하고 있다.

현재 운전되고 있는 원자로로는 1980년부터 개발된 제3세대 또는 제3세대 원전의 경제성을 향상시킨 제3.5세대이다. 미국, 일본을 비롯한 원전 선진국들은 제4세대(Gen-IV) 원전을 개발 중에 있으며, 2030년 이후에 실증로 건설을 목표로 하고 있다. 그리고 투자 리스크 감소와 화력발전 대체 대안으로 소형모듈 원자로(SMR, Small Modular Reactor) 개발이 미국을 중심으로 활발

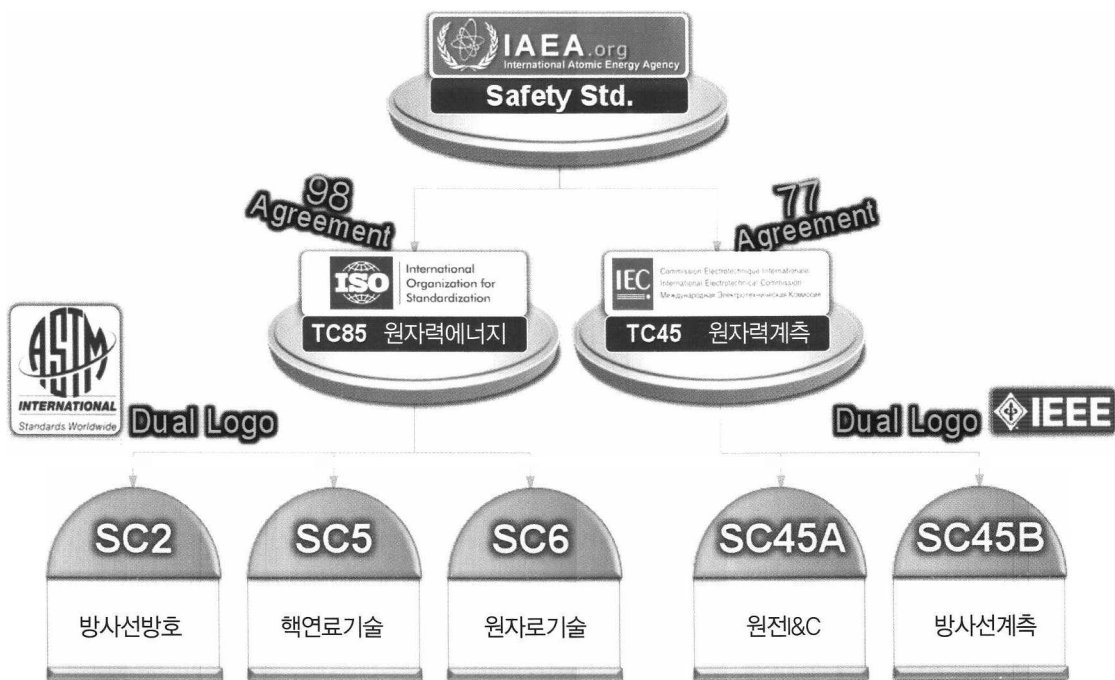
히 논의되고 있다.

원전과 별개로 의료, 연구, 산업, 교육 등 다양한 분야에서 방사선기술의 이용이 확대되고 있다. 세계 방사선 기기시장은 2008년 기준 약 500억 불로 지속 성장이 전망된다. 그러나 현재는 일부 다국적기업이 핵심 원전 기술을 보유하여 방사선시장을 주도하고 있다.

### 우리나라, 전 단계에서 강력한 공급체인 보유

2009년 12월에 'UAE 원전수출'이라는 역사적인 사건이 일어났다. UAE와 국내 원전기술의 종합판인 한국형 원전(AP-1400) 4기 수출계약(200억 불)을 체결한 것이다. 단일 건수로는 단군 이래 최대의 수출실적으로서 중형자동차(대당 2만 불) 100만 대 수출에 해당한다. 건설 후 운영지원에 참여할 경우 약 200억 불 추가 수주도 가능한 것이다. 지난 40년간 축적된 우리나라의 원전경험 및 건설능력, 그리고 기술개발을 통한 가격경쟁력이 그 바탕이 되었다. 이는 한국형 원전의 인지도 제고 등을 통해 자동차, 반도체 등에 이은 주력 수출산업

〈그림 4〉 국제원자력기구(IAEA)와 국제표준화기구 구성도



으로 육성하는 계기가 되었다.

또한 우리나라는 원전의 설계에서 보수까지 전 단계에 걸친 강력한 공급체인을 보유하고 있다. 설계는 한국전력기술(주), 주기기는 두산중공업(주), 핵연료는 원전연료(주), 운영은 한국수력원자력(주), 유지보수는 한전KPS(주) 그리고 건설과 보조기기는 다수의 민간기업에서 맡고 있다. 이는 원전 강대국으로 갈 수 있는 기본적인 인프라를 갖추었다는 의미이다. 또한 주목해야 할 점은 정부가 국가발전전략으로서 녹색성장정책을 강력하게 추진하고 있는 것이다. 탈석유 에너지자립 강화를 위해, 국내 전력공급에서의 원자력의 역할을 강화하고 원전 수출강국으로의 도약을 추진 중에 있다. 이를 위하여 원전기술자립을 위한 'Nu-Tech 2012' 사업의 지속적 추진과 세계 3대 원전 수출강국을 위한 'Nu-Tech 2030' 사업을 계획 중에 있다.

그리고 방사선 분야에서도 국내 방사선기술의 고도화, 산업화를 지속적으로 추진하여 의료용/산업용 첨단 방사선장비, 방사선 계측기 등의 수입을 대체하기 위해 기술개발과 관련 산업을 육성하고 있다. 또한 방사선기술과 관련한 인프라를 확충하여 방사성 동위원소의 수급 안정과 방사선 융합기술 개발을 통한 고부가가치 창출을 도모하고 있다.

### ISO와 IEC, 총 320여 종 국제표준 제정

세계 각국은 자국의 안전규제지침에 IAEA(국제원자력기구) 원자력 안전기초지침을 반영하여 제정하고 있으며, 원전 안전성 확보를 위하여 자국의 원자력법에서 기술기준(Code & Standards)을 운용하고 있다. IAEA와 국제표준화기구(ISO, IEC 등)는 안전표준 중복개발 방지와 표준의 실효성을 높이기 위해 안전기준과 표준

개발에 관한 상호협력에 합의했다. IAEA는 원자력 안전과 보안 관련 안전기준을 마련하고, ISO와 IEC는 IAEA의 안전지침상의 원칙 하에서 필요한 표준을 국제표준으로 개발한다. 이를 통해 ISO와 IEC는 총 320여 종의 원자력 안전기준 관련 국제표준을 제정하였다.

ISO는 필요에 따라 기술위원회(Technical Committee)를 조직할 수 있는데, TC 85(Nuclear Energy)가 원자력에너지를 담당하는 기술위원회로 1956년에 구성되었다. 현재 의장과 간사국은 프랑스가 맡고 있다. ISO TC 85 산하에는 분과위원회(Sub-Committee)가 있는데, 현재 SC 2(방사선방호), SC 5(핵연료기술)와 SC 6(원자로기술) 등 3개가 있다. 또한 TC 85와 각각의 SC에는 WG(Working Group)을 구성하여 국제표준을 제정하고 있다. ISO TC 85에서 제정한 원자력 분야의 국제표준은 현재까지 165종이다.

IEC에도 기술위원회가 있으며, 원자력 분야 업무는 TC 45(Nuclear Instrumentation)에서 수행하고 있다. IEC TC 45 산하에는 SC 45A(원전 I&C)와 SC 45B(방사선계측), 2개의 SC가 있다. IEC TC 45에서 제정한 원자력 분야의 국제표준은 현재까지 155종이다.

현재 원자력 분야 기술표준은 공적 국제기구를 통해 제정되는 공적 표준(de jure standards)과 현실적으로 적용되는 사실상 표준(de facto standards)으로 양분되어 있으며, 대부분의 국가에서 원전 건설과 운영은 자국의 사실상 표준 위주로 이루어지고 있다. 그러나 원자력 수요가 급증하면서 원전시장이 하나의 글로벌시장이 됨에 따라 각 나라별로 서로 다른 규제, 기준, 표준(IAEA, ISO, IEC, ASME, IEEE, JSME, KEPIC, EN 등)에 대해 부합화가 진행 중에 있으며, 그 중 하나가 OECD/NEA를 중심으로 MDEP(다국 간 설계평가 프로

〈표 2〉 원자력 분야 국제표준 및 국가표준(KS) 개발 현황

	ISO TC 85				IEC TC 45			합계
	방사선 방호	핵연료	원전 제어계측	기타	원전 제어계측	방사선 측정기기	기타	
국제표준	61	44	9	27	117	11	37	320
국가표준(KS)	52	11	1	16	39	41	2	162

그램) 등 국제기준의 표준화를 추진하는 방식이다.

세계 주요국의 표준화 동향을 보면, 미국은 ASME와 IEEE 등 자국 표준을 ISO/IEC로 도입하는 Dual Logo 체계를 구축하여 국제표준화를 추진하고 있으며, 유럽 연합은 ISO/IEC 국제표준화기구에서의 강력한 영향력을 통해 유럽표준을 국제표준화하고 있다. 또한 일본은 WTO/TBT 협정에 대응하여 ISO/IEC 국제표준을 국가 기술규제의 기본으로 채택하면서 미국, 독일 등 선진국의 사실상 표준도 수용하는 체계를 구축하였다.

우리나라의 원자력 분야 표준화와 표준화 인프라는 원전규모와 기술수준에 비해 미흡하다. 우리나라도 공적표준(KS)과 사실상 표준으로 구분되어 있다. KS표준은 2000년대 중반 이후부터 '국제표준 부합화계획'에 따라 방사선방호와 원전체측장비 등 162종이 국제표준과 일치하여 개발되었다.

사실상 표준으로는 전력산업기술기준(KEPIC, 단체표준)이 사용되고 있다. KEPIC는 전력산업 설비와 기기의 안전성과 신뢰성 및 품질확보를 위하여 설계, 제조, 시공, 운전, 시험 및 검사 등에 대한 방법과 절차를 규정한 상세 기술표준이다. KEPIC은 1987년 3월부터 산업자원부(현 지식경제부)와 과학기술처(현 교육과학기술부)의 기술자립 및 표준화정책에 의거해 개발이 시작되었으며, 1995년에 초판이 발행되었다. KEPIC은 미국의 단체표준인 ASME(기계 분야)와 IEEE(전기 분야) 등을 도입하여 개발하였으며, 1995년 초판 발행 이후로 2000년 판, 2005년 판, 2010년 판(7개 분야 338종 약 6만 쪽)이 발행되었다. 또한 UAE 수출원전 건설에도 적용되고 있다.

또한 원자력 분야 국가표준 확립과 수출산업화 지원을 위해 '원자력 국제표준화 기반구축'사업을 추진해오고 있으며, 국제적인 단체표준에 대응하기 위해 사실상 국제표준 대응사업도 진행하고 있다.

## 수출 지원과 R&D 국책과제 핵심기술 표준화

원자력산업이 국가 주요 수출산업으로 주목받고 있는 지금 가장 먼저 수행해야하는 것이 수출지원을 위한 국가/국제표준화전략을 세우는 것이다. 이를 위해서 현재

정부, 연구기관, 산업계, 표준화기관 등 10여 명의 전문가로 구성된 '원자력표준 중장기로드맵 개발 TFT'가 구성되어 있다.

이 회의체에서는 원전 수출 지원을 위한 표준화전략이 포함되어 있는 로드맵을 개발 중이다. 또한 매년 수천억 원이 지원되는 원자력 분야의 R&D 국책과제의 핵심기술에 대한 표준화가 필요하다. 이를 위해서는 우선 R&D 성과를 표준화로 연계하기 위한 R&D-표준화 연계체계를 구축해야 한다. 이 체계를 활용하여 R&D에 대한 표준화작업 지원과 조율 등 개별 R&D 과제와 표준화의 연계 역할을 수행할 계획이다. 또한 우리 기술을 국제표준화에 반영해야 한다.

현재 우리나라 원자력기술이 국제표준으로 제정된 것은 IEC 1종에 불과하다. 미국, 프랑스 등 주요 원전 선진국들이 자국 표준을 국제표준화하려는 노력에서 알 수 있듯이, 세계 각국은 자국에게 유리한 표준을 국제표준화 함으로써 무역전쟁에서 경쟁력을 갖추려고 노력하고 있다. 우리 기술을 국제표준으로 제정하기 위해서는 무엇보다도 적극적인 표준화활동이 필요하다.

국제표준은 세계 회원국들의 합의과정과 투표로 제정된다. 따라서 기술이 우수하더라도 각국의 지지와 협조가 없으면 국제표준으로 채택될 수가 없다. 이를 위해서는 ISO, IEC 등 표준화기구의 의장단, 미국, 프랑스, 영국 등 표준화기구에서 중요한 역할을 수행하는 국가의 표준화기관들과 유대관계를 구축해야 한다. 지역적으로는 중국, 일본 등 아시아권 국가들과 국제표준 제정에 관한 상호 협력체계를 구축하는 것이 필요하다.

이와 같이 원자력 표준화는 우리나라 경제발전의 동력이 될 수 있는 원자력산업의 경쟁력을 갖추기 위한 필수적인 요소이다. 이러한 표준화작업의 원활한 수행을 위해서는 정부의 계획적이고 지속적인 표준화정책 수립과 지원, 산업계와 연구개발기관의 표준화 인식 제고, 그리고 표준화기관의 표준화전략 수립이 필요하다. (2012년 7월호에서는 원자력 분야의 공적 표준화작업(KS/국제표준)과 사실상 표준(단체표준) 실태 및 현황에 관해 보다 자세히 소개할 예정이다.) 