

3 원자력발전과 KEPIC 인증

글 조위영 \ KEPIC인증추진팀 차장 \ 전화 02-3433-7365 \ E-mail piriboy@ssyenc.com

1. 머리말

2009년 12월 5,000MWh의 아랍에미리트(UAE)의 해외 첫 원전 수주소식은 비단 약186억 달러에 달하는 수주규모보다도 1962년 100kW급의 연구용 원자로 TRAGA MARK-II 를 시작으로 1978년 국내 최초 상업용 원전인 고리원전 1호기 가동 이후 30여년만에 달성한 해외 원전건설이라 점과 그간 꾸준히 축적되어 온 국내 원전건설 기술의 첫 해외진출 사례라는 점에서 더 큰 의미가 있다고 하겠다.

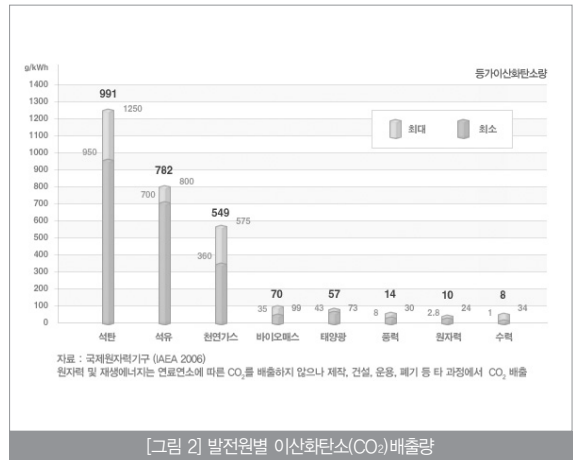


[그림 1] 건설 중인 신월성원자력 1·2호기

더욱이 최근 세계적으로 석유공급의 불안과 고유가시대에 따른 원유수출국의 에너지자원 무기화는 특히 우리나라와 같이 소비에

너지중 화석연료 비중이 85%에 달하는 자원빈국으로서는 국운을 걸고 해결해야할 중요한 문제가 아닐 수 없다.

또한 환경적인 측면에서도 원자력발전은 다른 어떠한 에너지원보다 발전원별 온실가스 배출량이 가장 적어 앞으로 있을 온실가스 감축을 앞두고 향후 그 효율성에서 더욱 주목받는 에너지원이다.



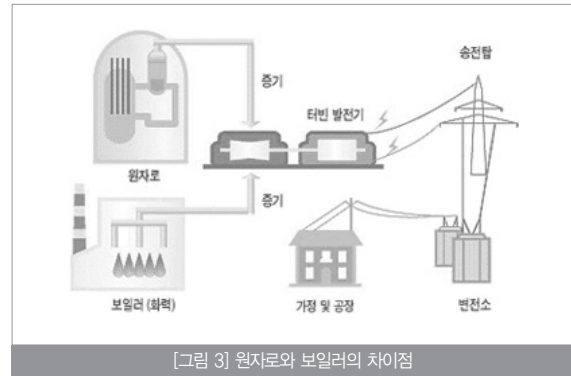
[그림 2] 발전원별 이산화탄소(CO₂)배출량

이에 원자력발전의 기본과 특히 UAE 원전 수출로 주목받고 있는 원자력발전 기술규격인 KEPIC에 대하여 소개하고, 향후 원자력발전의 전망과 당사가 추진하고 있는 KEPIC인증의 의의에 대해서도 간략히 짚어보고자 한다.

2. 원자력발전 및 건설 개요

2-1. 원리

원자력발전의 기본원리는 물을 끓여서 발생한 증기로 터빈을 돌려 전기를 생산하는 것으로 일반화력발전의 원리와 동일하다. 다만 원자력발전은 U₂₃₅의 원자핵이 붕괴되면서 큰 에너지와 중성자가 방출되는데 이 방출된 중성자가 핵분열의 연쇄반응을 일으켜 에너지·질량 증가의 법칙(E=mc²)에 따라 원자핵의 질량손실만큼 발생하는 막대한 에너지(공식중 특히 C가 제곱임을 주목하라!)를 이용한다는 점이 다를 뿐이다.



[그림 3] 원자로와 보일러의 차이점

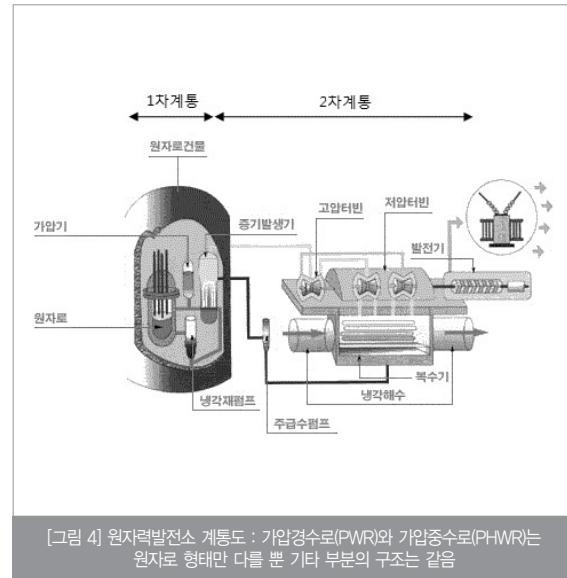
2-2. 가압경수로(PWR)와 가압중수로(PHWR)

1986년 원전사고가 발생한 체르노빌 4호기(우크라이나)는 비등수형 원자로(BWR : Boiling Water Reactor)로 핵반응이 일어나는 원자로 용기속에 냉각수를 끓여 직접 증기를 만드는 방식이다. 따라서 터빈부의 오염이 불가피하고 감속재로 흑연을 사용하는 우리나라의 원전시설과 설계개념이 기본적으로 다르다. 더욱이 우리나라 원전시설은 방사능이 직접 발생하는 원자로(1차)측과 터빈(2차)측이 시스템적으로 완전히 분리되어 근본적으로 방사능 오염으로부터 차단되어 매우 안전하다.

표 1 가압경수로(PWR)와 가압중수로(PHWR) 비교

구분	가압경수로(PWR)	가압중수로(PHWR)
연료	농축우라늄(U ₂₃₅ 2~5%)	농축우라늄(U ₂₃₅ 0.7%)
냉각재, 감속재	경수(H ₂ O)사용	중수(D ₂ O)사용
개발국가	미국(세계 원전의 60%)	캐나다(세계 원전의 5%)
적용	고리, 영광, 울진 등 우리나라 대부분	월성원자력 1·2·3·4호기

※ PWR : Pressurized Water Reactor / PHWR : Pressurized Heavy Water Reactor

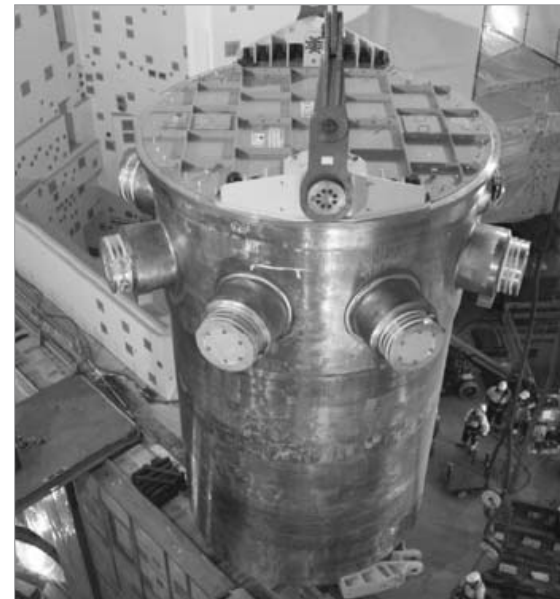


[그림 4] 원자력발전소 계통도 : 가압경수로(PWR)와 가압중수로(PHWR)는 원자로 형태만 다를 뿐 기타 부분의 구조는 같음

2-3. 원자력발전의 안전성

원자력발전이 타 산업과 차별되는 가장 중요한 점은 안전성에 있으며, 이러한 안정성을 확보하기 위한 물리적인 측면의 5겹 방사능 밀폐장벽(Multi-Barrier)과 시스템적인 측면인 원자력 품질시스템(KEPIC/ASME) 체계가 확립되어 있다.

- ① 원전연료(펠릿)
- ② 연료피복관(Fuel Cladding) : 두께 0.6mm의 지르코늄 합금의 내경 10mm의 기다란 금속관
- ③ 원자로 용기(Reactor Vessel) : 두께 170~200mm의 금속압력용기
- ④ 원자로 내부철판(Internal Plate) : 콘크리트 안쪽에 설치되는 두께 6~38mm의 강구조물로서 일반적으로 돔(Dome)형태
- ⑤ 원자로 차폐외벽(Concrete Containment) : 두께 1,200mm 철근콘크리트 구조물로 내외부의 충격을 차폐하기 위하여 설치하는 구조물



[그림 5] 프랑스 AREVA가 건설 중인 핀란드 오킴루오트 원전 3호기 : Reactor Pressure Vessel(무게 420ton)

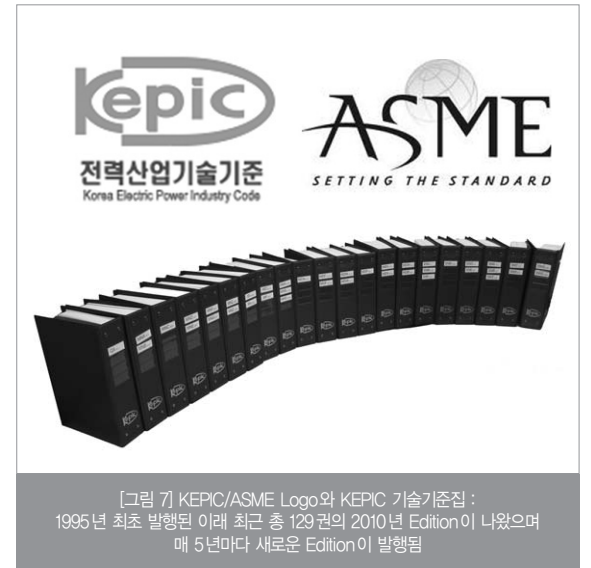


[그림 6] 원자력발전의 안전시스템 : 5겹의 방호시설 + 원자력 품질보증시스템 적용 개념도

3. 원자력 품질보증시스템(KEPIC/ASME)

3-1. KEPIC

KEPIC은 Korea Electric Power Industry Code의 약자로 『전력산업기술기준』이며 약칭 『전력기준』, 간단히 케픽이라 부른다. KEPIC은 크게 ①발전 및 송·변·배전 설비의 재료(Material), 설계(Design), 제작(Manufacture), 설치시공(Installation), 시험검사(Testing & Inspection), 운전(Operation) 및 유지보수(Maintenance)에 관한 기술적 요건(Technical Requirements)과 ②전력설비의 안전성 및 신뢰성 확보에 필요한 품질보증 및 적합성평가(공인검사)에 관한 제도적 요건(Administrative Requirements) 사항으로 구성되어 있다.



[그림 7] KEPIC/ASME Logo와 KEPIC 기술기준집 : 1995년 최초 발행된 이래 최근 총 129권의 2010년 Edition이 나왔으며 매 5년마다 새로운 Edition이 발행됨



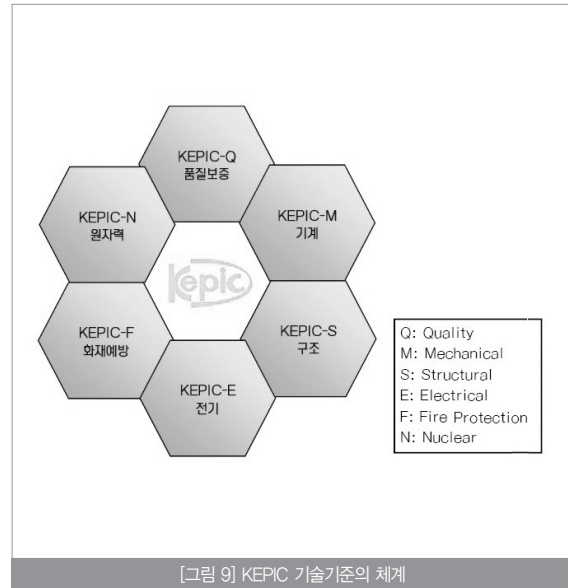
[그림 8] 한국표준형원전(울진 3·4호기) 가압중수로(PWR)

KEPIC을 설명하면서 ASME(The American Society of Mechanical Engineers, 미국기계학회, 통상 『아스메』라고 부르고 미국에서도 실제 그렇게 읽음)를 언급하지 않을 수 없는데 왜냐하면 KEPIC의 기술기준 대부분이 ASME Code를 기본으로 하기 때문이다. 이는 1969년 착공한 최초의 상용원전인 고리원전의 원천기술이 미국 Westinghouse사의 기술이전을 기점으로 오늘날 한국형의 표준형 원전(OPR1000)과 신형 가압중수로(APR1400)의 개발이 있기까지 기술적 모태가 된 점도 있겠지만, Pressure Vessel(압력용기)에 있어서는 이미 1880년에 결성된 ASME의 축적된 Data와 노하우를 무시할 수 없기 때문이다.

3-2. KEPIC 기술기준의 체계

KEPIC의 체계는 원자력발전(원자력안전등급), 화력발전(원자력 비안전등급), 송배전으로 되어 있으며 이들 각각은 다시 아래의 5 가지 분야별로 구성되어있다.

- ① KEPIC-Q(품질보증)
- ② KEPIC-M(기계)
- ③ KEPIC-S(구조)
- ④ KEPIC-E(전기)
- ⑤ KEPIC-F(화재예방)
- ⑥ KEPIC-N(원자력)



[그림 9] KEPIC 기술기준의 체계

3-3. 건설사 인증범위

KEPIC에 따른 자격인증은 ①발전사업자 ②설계자 ③제조사 ④제작자 ⑤재료업체 ⑥역무업체 ⑦설치(시공자) ⑧기기검증시험수행 조직 등으로 분류할 수 있으며(등록기술자, 비파괴검사원, 공인검사기관까지 더 세분해서 분류할 수 있으나 생략함) 이에 대한 인증 업무는 공인된 공인검사기관(AIA : Authorized Inspection Agency)에서 수행한다.

대표적인 AIA에는 ①KIMS(한국기계연구원) ②HSBC ③LLOYD 등이 있다.

이 모두에 대하여 설명하기에는 내용이 방대하여 여기서는 당사와 같은 설치(시공자)에 한하여 KEPIC 기술기준에 따른 인증분야와 범위를 알아보고자 한다.



[그림 10] 건설중인 Westinghouse사의 AP1000 원자로 : Sanmen 1호기_China

건설사가 국내 원전건설시장에 참여하기(주의 : KEPIC은 New Construction에만 적용함) 위해서는 KEPIC인증(해외원전의 경우 ASME인증임. 다만 UAE와 같이 사업구조가 한전을 주계약자로 하여 한수원, 한국전력기술, 두산중공업, 현대, 삼성 등 한전 자회사 및 협력사가 각각의 역할을 분담하는 방식의 경우 KEPIC 적용 가능함)이 반드시 필요하며, 이러한 원전공사를 수행할 수 있는 자격여부를 사전에 심사하는 제도가 바로 KEPIC인증제도이다.

표 2 건설사[설치(시공자)] 인증분야와 범위

인증분야	인증범위(대상품목)
원자력기계 (KEPIC-MN)	<ul style="list-style-type: none"> KEPIC MNX의 적용을 받는 전 품목의 설치 용기부품과 부속물, 지지물, 용가제를 사용한 관제품 (1, 2, 3, MC 등급), 배관계통의 부품과 부속물, 배관 반조립품(1, 2, 3등급), 저장탱크 부품과 부속물(2, 3등급)의 현장 제작
원자력전기 (KEPIC-EN)	<ul style="list-style-type: none"> 전기1급 전 품목의 설치
원자력구조 (KEPIC-SN)	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 격납구조 내진 1급 철근콘크리트구조, 강구조의 사공 및 그 구성품 및 부속물의 현장 제작
원자력공조 (KEPIC-MH)	<ul style="list-style-type: none"> 안전성 관련 공조기기 및 품목의 설치

3-4. 인증분야별 세부기준

1) 원자력기계(KEPIC-MN)

앞서 언급하였듯이 국내 전력산업 여건에 맞추어 KEPIC의 상당 부분은 미국기술기준요건을 그대로 사용하고 있다.

원자력 기계분야의 경우 ASME Code Section III Division 1의 기술요건을 그대로 가져온 관계로 체계는 물론 단위까지 ft-lb를 채택하고 있으며, 마찬가지로 원자력품질보증 요건인 KEPIC-QAP 또한 ASME NQA-1을 번안하여 그대로 채택하고 있다.

표 3 KEPIC-MN의 구성과 ASME Section III 상관관계

구분	제목	참조기준	
일반요건	MNA 원자력기계 일반조건	ASME Sec. III NCA General Requirements	
	MNB 1등급 기기	ASME Sec. III NB Class 1 Components	
	MNC 2등급 기기	ASME Sec. III NC Class 2 Components	
	MND 3등급 기기	ASME Sec. III ND Class 3 Components	
	기기요건	MNE 금속 격납용기	ASME Sec. III NE Class MC Components
		MNF 기기 지지물	ASME Sec. III NF Supports
		MNG 노심지지 구조물	ASME Sec. III NG Core Support Structures
		MNZ 부록	ASME Sec. III Appendices
공통요건	MDF, MDN, MDW, 재료규격	ASME Sec. II Material Specifications	
	MEN, 비파괴검사	ASME Sec. V Nondestructive Examinations	
	MQW, MQB, 용접/경남염인정	ASME Sec. IX Welding and Brazing Qualifications	

① KEPIC/ASME 상의 인용방법

■ MNX/NX의 타분야 인용

- MNB/NB 2000은 MNB/NB 2000 전체
- MNB/NB 2500은 MNB/NB 2500 전체를 인용

■ 타 KEPIC/ASME 인용

- MNB/NX 상 인용된 타 MNX/NX, MD/Sec. II, ME/Sec. V, MQ/Sec. IX 및 MD/Sec. XI 이 있음

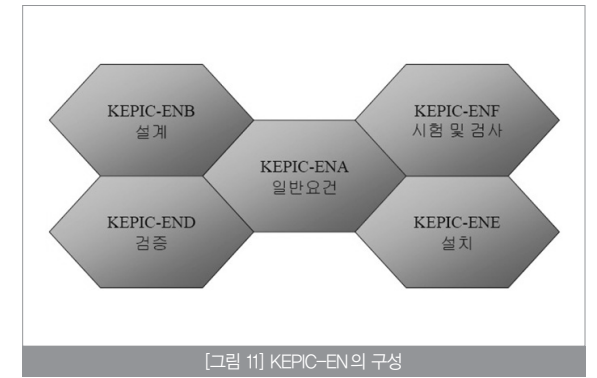
■ KEPIC/ASME 이외의 규격인용

- 시험방법 예) MNB/NB 2321.1 → ASTM E208-91
- 치수 예) MNB/NB 2700 → ASTM B16.34-98 → MSS SP-6-63
- 교정 예) MNB/NB 2433.1(1) → AWS A4.2-74
- 설계 예) MND/MD 3852.5(2) → API 2000-68

■ 부록(MNZ)인용

- 의무조건 예) MNB/NB 5320(5) → 부록 VI
- 임의조건 예) MNB/NB 6212(2) → 부록 G

2) 원자력전기(KEPIC-EN)



[그림 11] KEPIC-EN의 구성

① 구성

분류기호	제목	참조기준
KEPIC-ENA	General Requirements	ASME Sec. III NCA / ANS 51.1
KEPIC-ENB	Design	IEEE 279, 308, 317, 352, 379, 384, 387, 420, 494, 567, 577, 603, 628, 690, 741, 765, 946 / ANS 4.5, 58.6 / ISA S67.04
KEPIC-END	Qualification	IEEE 323, 334, 344, 381, 382, 383, 420, 535, 572, 600, 627, 628, 649, 650 / ANSI C37.81, C37.105, C37.82
KEPIC-ENE	Installation	IEEE 336, 628, 690 / ISA S67.01
KEPIC-ENF	Inspection & Testing	IEEE 338, 415, 450, 749 / ISA S67.06

※ KEPIC-ENC는 없음

② 전기1급기기(ENA-2221)

■ 안전기능을 수행하는 계통/기기

- 비상원자로 정지
- 격납용기 격리
- 원자로 노심 냉각
- 격납용기 열 제거
- 원자로 열 제거
- 방사능물질 누출방지

■ 전기1급기기/계통의 성능요건

• 발전소 정상운전의 설계기준사조조건(DBE : Design Basis Event) 굉장히 중요한 개념으로 특정사고 시퀀스에 초점을 맞춘 사고대책은 실제로 사고가 발생했을 때 유용하지 않을 수 있다는 입장에서 사고 시나리오를 지배하는 지배인자의 조합을 바탕으로 구체적인 안전대책을 세운다는 개념임) 발생 기간 중 이나 사고 후에도 계속 작동이 요구되는 계통이나 기기(Safety Related Equipment)에 대한 성능요건

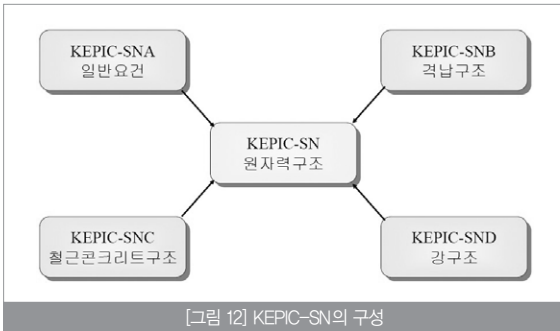
③ 각종 등급의 비교

분류항목	R.G 1.29	R.G 1.26	ANSI 51.1	KEPIC/ASME	한수원규정
적용범위	내진등급	품질그룹	안전등급	기기등급	품질등급
일반요건 기기요건	내진 I 급	A	SC-1	1등급	Q
		B	SC-2	2등급	Q
		C	SC-3	3등급	Q
전기계통	내진 I 급	D	NNS	-	T,R,S
		-	SC-3	전기1급	Q
	내진 II&III 급	-	-	전기비1급	T,R,S

※ R.G : Regulatory Guide(미국원자력규제 위원회 규제지침)
NNS : Non-Nuclear Safety(비안전성 품목)

3) 원자력구조(KEPIC-SN)

① 구성



[그림 12] KEPIC-SN의 구성

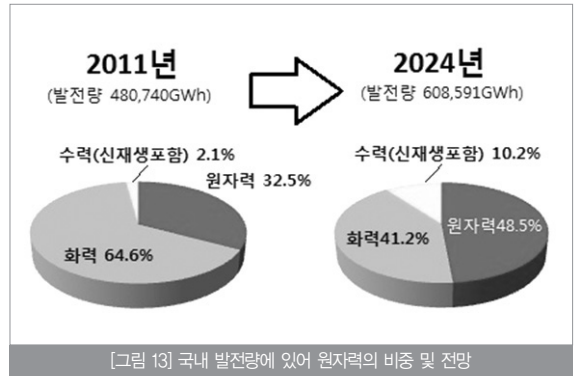
분류기호	제목	참조기준
KEPIC-SNA	General Requirements	ASME Sec.Ⅲ Div.1 NCA
KEPIC-SNB	Concrete Containment	ASME Sec.Ⅲ Div.2 CC
KEPIC-SNC	Reinforced Concrete Structures	ACI 349
KEPIC-SND	Steel Structures	AISC N690

② 적용범위

- 콘크리트 격납구조(SNB)와 내진1급 철근콘크리트구조(SNC) 및 강구조(SND)에 대한 설계와 시공(격납구조(SNB)의 기술기준은 압력을 받거나 내부압력을 갖는 구조물에 한정하여 적용)
 - 내진 안전관련 기기의 방호
 - 이들로부터 나오는 방사선 혹은 위험물질의 유출방지를 위한 내압구조물
- 내진1급 구조물
 - 안전 정지 지진(SSE : Safe Shutdown Earthquake) 발생시 안전관련기기가 그 기능을 발휘할 수 있도록 지지하는 구조물 (콘크리트 차폐 구조물과 지지구조물)
 - KEPIC-MN상의 건축구조물 (Building Structure)

4. 맺음말

최근 발표한 우리나라의 국가 중장기 전력수급계획에 따르면 대내적으로 전력소비의 지속적인 증가와 기후변화 대응 및 저탄소 녹색성장 기조로 2011년~2024년까지 원자력 발전설비 건설에 총 44조원을 투자하여 원자력발전의 비중을 현재 32.5%에서 48.5%까지 끌어올릴 계획에 있다(국가에너지기본계획, 2010.12.).



[그림 13] 국내 발전량에 있어 원자력의 비중 및 전망

또한 해외 원자력발전 전망은 더욱 희망적이다. 미국은 30년만에 처음으로 오바마 현 대통령이 신규 원전건설을 위해 83억달러 지원을 발표(2010. 2.)하였고, 세계적으로도 현재 58기의 원전건설이 진행중이며, 2030년까지 총 56개국에서 300여기 이상의 원전건설이 이루어질 전망이다(WNA, World Nuclear Association, 세계원자력기구, 2009. 10.).

이제 원자력발전은 더 이상 선택이 아닌 필수이며 시대의 트렌드로서, 우리에게 있어 원전건설시장은 먼 미래의 목표가 아니며, 진입장벽이 높아지기 전에 서둘러야 할 당면과제로 쌍용건설 KEPIC인증 추진은 그 힘찬 첫걸음이라 하겠다. **S**

참고문헌

- 1) KEPIC 기술기준(2010, Edition)
- 2) ASME Code(2010, Edition)
- 3) Magazine Power(2010. 2~2011. 2)
- 4) 국가에너지기본계획(지식경제부, 2010. 12.)
- 5) 해외 원자력시장 동향분석(지식경제부, 2010. 7.)
- 6) 원자력산업(한국원자력산업회의, 2010. 7.~9.)