

국내 원자력 격납건물 시스템 및 검사 현황

박지홍, 홍재근, 이병훈, 박반욱 | 한국기계연구원

1. 서 론

우리나라는 원자력의 평화적 이용을 통한 과학기술 향상 및 국민복지증진을 위해 1958년 원자력법을 공포하고 이를 기반으로 꾸준한 연구 활동을 수행하여 왔다. 또한, 산업체에서 요구하는 에너지의 안정적인 수급을 위하여 원자력 발전 도입을 추진하여 마침내 1978년 고리 원자력발전소 1호기가 국내에서는 처음으로 상업운전을 시작하였다. 이후 2007년 현재 20호기(고리 4호기, 영광 6호기, 울진 6호기 및 월성 4호기)의 원자력발전소가 가동되고 있으며 원자력발전소에서 제공하는 전력공급은 수력 및 화력 등을 포함한 전체 전력의 40% 이상을 담당하고 있다. 또한, 원자력발전량에 관해서는 한국은 세계 6위를 차지하고 있으며, 앞으로도 전력공급에 있어서 원자력발전의 의존도는 더욱 커질 것이다^[1,2,3]. 모든 원자력발전소는 안전 확보를 최우선으로 하여 어떠한 가상의 조건에서도 정상운전 및 안정성 유지가 확실하게 보장되도록 설계되어진다. 특히 체르노빌 및 TMI(Three Mile Island) 사고 이후 원자력발전소 격납건물의 중요성은 지금까지 원자력발전소의 안전에 대한 가장 중요한 이슈 중 하나로 인식되어 왔다. 이는 원자력발전소 격납건물은 원자력발전소의 마지막 보루로 최악의 경우 발생할 수 있는 방사성물질 유출 방지의 기능을 담당하고 있기 때문이다. 특히 국내에서는 미국, 캐나다, 프랑스 등 여러 나라에서 다양한 원자력발전소가 도입되었으며 원자력 격납건물 또한 다양한 형태로 변화, 발전되어 왔다. 이러한 다양한 발전소의 건설 및 운영 경험을 바탕으로 마침내 국내 기술에 의한 한국표준형 원자력발전소가 정착되게 되었다. 그리고 원자력시설에 관한 검사에 있어서 특정한 발전소에 따라 다양한 기술기준(Code 및 Standard 등)이 적용되고 있다^[4]. 본 글에서는 현재까지 운전, 유지되고 있는 국내 원자력발전소의 격납건물 시스템의 특성, 기술기준 적용 및 가동 중검사 현황 등을 한국표준형 원전 중심으로 간략하게 살펴보았다.

2. 국내의 원자력 격납건물 현황 및 발전단계

현재 국내에서 건설되어 운전되고 있는 원자력발전소를 원자로형(Reactor type)에 따라 살펴보면 미국 Westinghouse type의 가압경수로(Pressurized water reactor: 냉각재/감속재로 경수, H₂O 사용), 캐나다 CANDU type의 가압중수로(Pressurized Heavy Water Reactor: 냉각재/감속재로 경수, D₂O 사용), 프랑스 Framatome type의 가압경수로 및 한국표준형원전(KSNP: Korea Standard Nuclear Power Plant)의 가압경수로

가 있어 마치 원자력 백화점 같은 양상을 띠고 있다. 원자력발전 기술의 점진적 발전에 따라 전력용량의 증가가 이루어졌고 격납건물의 크기와 형태도 변화를 가져왔다. 전력용량의 관점에서 보면 고리 1호기가 587 MWe의 전력용량으로 시작하여 최근 건설된 울진5/6호기의 경우 1,000 MWe로 증가하였으며 조만간 1,400 MWe의 신규 발전소 건설이 계획된 상태이다^[1]. 또한 국내의 원전 격납건물은 크게 4단계로 변화되어 왔는데 그 과정을 살펴보면 다음과 같다.

첫째 단계에서, 고리 1, 2호기는 웨스팅하우스 형(Westinghouse type)의 가압경수로(PWR)이며 격납건물은 금속격납구조(Metal containment structure)로 되어 있다. 이는 격납건물 외부형상은 원통형 외벽(Cylindrical wall)을 가지는 몸체건물(Shell)과 얇은 돔(Shallow-dome) 형태의 지붕(roof)으로 구성되며, 내부에 1½ inch 두께의 금속구조물(Metal structure)과 외부의 콘크리트구조로 이루어져 있다. 주로 금속구조물이 격납건물의 압력 유지(Pressure retaining) 및 방사성물질의 누출을 방지하는 역할을 하고 있다.

둘째 단계에서, 월성 1, 2, 3, 4호기(CANDU type의 가압중수로) 및 울진 1, 2호기(Framatome type의 가압중수로)는 접착식 텐돈시스템(Grouted tendon system)인 프리스트레스 콘크리트 격납건물(Prestressed concrete containment)이다. 프리스트레스 콘크리트(Prestressed concrete)는 콘크리트 구조가 압축응력에는 강하나 인장응력에 약한 단점을 보완하기 위한 방법이다^[4]. 외부형상은 원통형 외벽으로 된 몸체건물과 얇은 돔 형태의 지붕으로 구성되며, 특히 CANDU type의 가압중수로는 금속격납건물과 달리 내부에 금속구조물이 없고 외부의 콘크리트 구조물(Concrete structure)이 압력유지(Pressure retaining) 및 방사성물질의 누출을 방지하는 역할을 하고 있다. Prestressed concrete는 인장하중 하에서 내장된 철근에 의해 발생된 압축응력의 크기와 분포상태가 외부하중에 의해 초래된 콘크리트의 인장응력과 서로 상쇄되도록 설계된다. 이는 Pre-tensioning과 Post-tensioning 공법으로 구분되며, 원자력 격납건물에서는 주로 Post-tensioning 공법으로 건설된다^[4]. 또한 Post-tensioning 공법은 콘크리트 tube 내의 텐돈(Tendon) 강선을 접착(Grout)시켜 구조물과 접착시키는 접착식 텐돈시스템(Grouted tendon system)과 그리스 등의 방사성물질을 주입시키는 비접착식 텐돈시스템(Ungrouted tendon system)으로 나누어진다^[4].

셋째 단계에서, 고리 3, 4호기 및 영광 1, 2호기는 Westinghouse type의 가압경수로이며, 격납건물구조는 비접착식 텐돈시스템(Ungrouted tendon system)인 Prestressed concrete containment이다. Concrete 구조물 안쪽에 1/4 inch 두께의 liner plate가 있으며, 형상은 원통형 외벽(Cylindrical wall)로 된 몸체건물(Shell)과 반구형 돔(Hemispherical-dome) 형태의 지붕(Roof)으로 구성된다. 바깥의 콘크리트 구조가 주로 격납건물의 압력유지(Pressure retaining) 역할을 한다. 접착식 텐돈시스템(Grouted tendon system)과 비교하여 비접착식 텐돈시스템(Ungrouted tendon system)은 시공 및 유지비가 많이 드는 단점이 있으나 가동중에 텐돈(Tendon)의 Prestress 손실을 측정할 수 있고 필요시 텐돈(Tendon)의 교체도 가능하여 격납건물의 수명연장이나 안정성 확보 측면에서 매우 뛰어난 장점을 가지고 있다^[4].

마지막 단계에서, 위의 격납건물 시스템은 가동중 검사시 텐돈(Tendon)의 Strand 재료시험을 할 수 있도록 탈인장(Detensioning)할 수 있는 텐돈(Tendon)과 응력검사(Prestress force measurement)만 가능한 텐돈(Tendon)으로 구분하여 건설되었다. 이 경우 미리 지정한 탈인장 텐돈(Tendon)으로 인해 가동중검사의 근본취지인 텐돈(Tendon)의 무작위 선정(Random Sampling)이 어려운 단점이 있다. 또한 텐돈(Tendon)의 Strand 수도 50, 53, 55가닥으로 1가닥을 탈인장할 경우, 규정된 텐돈(Tendon)의 Prestress를 유지하기 위해 새로운

표 1. 원자력 격납건물 현황

원자력발전소명		용량(MWe)	원자로형	격납건물 시스템	텐돈 수	상업운전일 (예정일)
고리	1 호기	587	PWR ¹ 가압경수로 (Westinghouse)	Metal Containment (Shallow dome roof) Height(44.55m) ID(32.08m) Metal Thick.(38mm)	없음	1978
	2 호기	650				1983
월성	1 호기	679	PHWR ² (CANDU)	Grouted tendon in Prestressed concrete (Shallow dome roof) Height(42.29m) OD(43.06m) Wall Thick.(1.07m)	수평(147) 수직(124)	1983
	2 호기	700				1997
	3 호기	700				1998
	4 호기	700				1999
울진	1 호기	950	PWR (Framatome)	Grouted tendon in Prestressed concrete (Shallow dome roof) Height(59.44m) ID(39.62m) Wall Thick.(1.22m)	수평(223) 수직(144)	1988
	2 호기					1989
고리	3 호기	950	PWR (Westinghouse)	Ungouted tendon in Prestressed concrete (Hemispherical dome) Height(59.44m) ID(39.62m) Wall Thick.(1.22m)	수평(117) 수직(72)	1985
	4 호기					1986
영광	1 호기	950	PWR (Westinghouse)	Ungouted tendon in Prestressed concrete (Hemispherical dome) Height(59.44m) ID(39.62m) Wall Thick.(1.22m)	수평(117) 수직(72)	1986
	2 호기					1987
영광	3 호기	1,000	PWR (KSNP) ³	Ungouted tendon in Prestressed concrete (Hemispherical dome) Height(66.75m) ID(43.89m) Wall Thick.(1.22m)	수평(165) 수직(96)	1995
	4 호기					1996
	5 호기					2002
	6 호기					2002
울진	3 호기	1,000	PWR (KSNP) ³	Ungouted tendon in Prestressed concrete (Hemispherical dome) Height(66.75m) ID(43.89m) Wall Thick.(1.22m)	수평(165) 수직(96)	1998
	4 호기					1999
	5 호기					2004
	6 호기					2005
신고리	1 호기	1,000	PWR (KSNP) ³	Ungouted tendon in Prestressed concrete (Hemispherical dome) Height(66.75m) ID(43.89m) Wall Thick.(1.22m)	수평(165) 수직(96)	건설중
	2 호기	1,400				계획
	3 호기					1,400
	4 호기	1,400				
신월성	1 호기	1,000	PWR (KSNP) ³	Ungouted tendon in Prestressed concrete (Hemispherical dome) Height(66.75m) ID(43.89m) Wall Thick.(1.22m)	수평(165) 수직(96)	건설중
	2 호기					1,000
미정	1 호기	1,400	PWR (KSNP) ³	Ungouted tendon in Prestressed concrete (Hemispherical dome) Height(66.75m) ID(43.89m) Wall Thick.(1.22m)	수평(165) 수직(96)	계획
	2 호기					1,400

¹PWR: pressurized water reactor, Fuel: Enriched Uranium(U235 2~5%), Coolant: H₂O

²PHWR: pressurized heavy water reactor, Fuel: Natural Uranium(U235 0.7%), Coolant: D₂O

³KSNP: Korea Standard Nuclear Power Plant

Strand로 대체하도록 되어있다. 마침내 한국표준형 원자력발전소(KSNP: Korea Standard Nuclear Power Plant)가 개발되어 텐돈(Tendon)의 무작위 선정(Random Sampling)이 가능하고, Stand 수가 55가닥으로 구성되어 텐돈(Tendon)의 탈인장 경우에 새로운 Strand 대체 없이도 규정된 Prestress를 유지할 수 있도록 설계되었다. 영광 3호기를 포함하여 이후에 건설된 원자력발전소(영광 3, 4, 5, 6호기 및 울진 3, 4, 5, 6호기)는 한국표준형 원자력 발전소로 건설되었고, 또한 현재 건설중 혹은 향후의 원전도 마찬가지이다. 국내의 원전격납건물 현황을 표 1에 간단히 요약하였다.

3. 한국표준형 원자력발전소 격납건물 시스템

한국표준형 원전격납건물은 다음과 같이 요약할 수 있다. 비접착식 텐돈시스템(Ungrouted tendon system)의 Prestressed concrete 구조로 165개의 수평 텐돈(Tendon)은 240° 간격의 Hoop 형태로, 96개의 수직 텐돈(Tendon)은 Inverted U 형태로 원통형 몸체(Cylindrical Shell)와 반구형 돔(Hemispherical Dome)에 설치되어 있다 (그림 1). 각각의 텐돈(Tendon)은 55개의 Strand로 구성되며 한 개의 Strand (지름: 1/2 inch)는 7개의 소선(Wire, 지름: 4~5 mm)으로 꼬여져 있다 (그림 2). 그림 3 및 표 2는 텐돈(Tendon)의 정착부품(Anchorage component)에 대한 설명과 역할을 보여주고 있다.

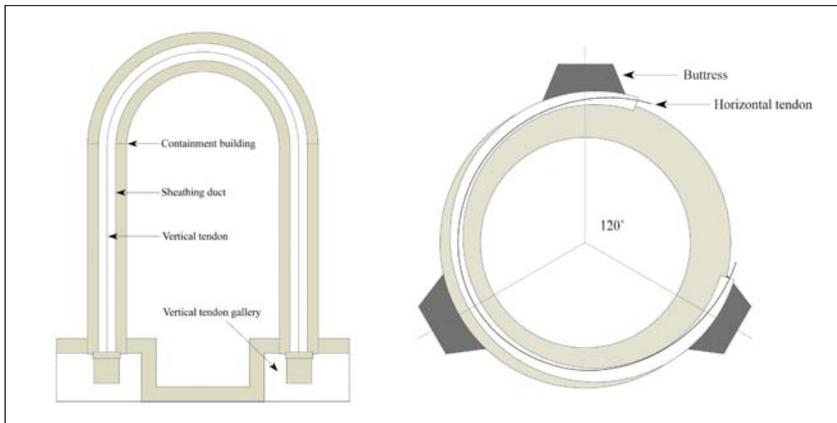
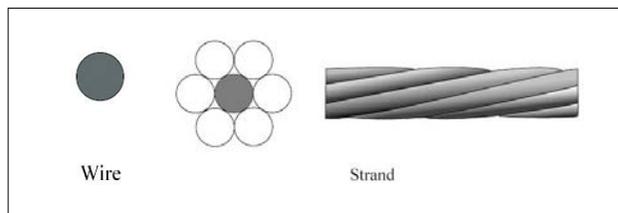


그림 1. 한국표준형 원전 격납건물



*Tendon : A separate continuous multiwire or multistrand tensioned element anchored at both ends to an end anchorage assembly

그림 2. 7 연선 스트랜드(Seven Wire Twisted Strand) ^[16]

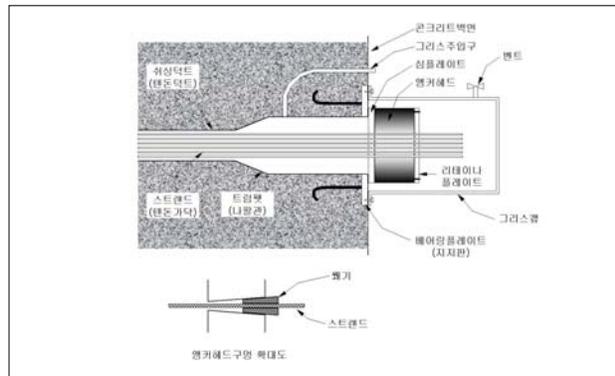


그림 3. 텐돈정착부품(Tendon Anchorage Components)

표 2. 텐돈정착부품(Tendon Anchorage Component)

명칭	역할 및 설명
Bearing plate	• Anchorhead의 정착력을 콘크리트 내에 전달하는 역할
Anchorhead	• 텐돈(Tendon) 가닥이 인장된 상태에서 콘크리트에 압축을 가하기 위한 고정단 역할
Shim plate	• 텐돈(Tendon) 설치 때 Anchorhead의 정착치수를 조절하기 위한 Bearing plate와 Anchorhead 사이에 끼우는 판(Plate)
Retainer plate	• Anchorhead의 텐돈(Tendon) 가닥 구멍에 끼운 Wedge가 정착될 때 튀어나오거나 쏟아지는 것을 방지하기 위해 막아주는 판(Plate)
Wedge	• Anchorhead의 텐돈(Tendon)가닥을 붙잡아 주는 역할
Strand	• 직접적으로 콘크리트에 압축응력을 발생시키는 역할 • 7개의 소선(Wire)이 꼬인 상태의 Prestress element • 재료: ASTM A416, Grade 270, Low Relaxation Strand ^[16]
Sheathing duct	• 콘크리트 내에 텐돈(Tendon) 가닥이 들어가는 통로
Trumpet	• 텐돈(Tendon) 입구의 작업성을 위해 설치된 유도관
Grease	• 텐돈(Tendon)의 Strand 등의 부식, 열화를 방지하는 재료
Grease cap	• 정착된 텐돈(Tendon)의 바깥부분과 정착부를 보호하기 위한 그리스 보호통
Grease injection access	• 그리스를 주입하는 통로
Vent/drain	• 내부공기 및 내부자유수의 배출 통로

4. 원자력 격납건물 검사 기술요건

원자력발전소 격납건물은 “과기부고시 제 2004-13호 원자로 시설의 가동중검사에 관한 규정”^[6]에 따라 주기적으로 검사하여야 하며, 국내의 원전 격납건물은 다양한 형태로 구성되어 특정한 격납건물에 맞는 적절한 요건을 적용하여야 한다. 또한 발전사업자의 기술시방서 및 절차서(Technical Spec.)^[6]에 최소기술요건을 포함하고 있다. 표 3에 국내의 원전 격납건물에 적용하는 검사 기술요건을 간략히 기술하였다.

5. 한국표준형 격납건물 가동중검사 절차

검사항목은 크게 4개의 카테고리(Concrete/Anchorage hardware/Tendon/Material test)로 분류하고, 검사항목 및 내용을 표 4에 요약하면 다음과 같다. 한국표준형 원전 격납건물 가동중검사 절차를 개괄적으로 살펴보면 다음과 같은 순서로 진행된다.

A. 검사계획서 검토(Review of Inspection Plan)

우선 검사시기, 대상 및 적용기술요건 등 검사에 필요한 모든 서류를 확인 검토한다.

B. 텐돈샘플 선정(Tendon sample selection)

한국표준형 격납건물은 돔(Dome) 및 몸체(Shell)의 96개의 수직텐돈(Vertical tendon) 및 135개의 수평텐돈(Horizontal tendon)에서 각각 공동텐돈(Common 혹은 Control tendon), 탈인장 텐돈(Detensionable tendon) 및 응력검사 텐돈(Tendon)을 선정하는데 기술시방서(Technical Spec.)에 기본적으로 ASME^[11] 혹은 NRC Regulatory Guide^[10]의 기본요건을 포함하고 있다.

표 3. 원자력 격납건물 가동중검사 기술요건

격납건물 시스템	발전소명	원자로형	주요 기술기준
<u>Metal</u> Containment	<u>고리</u> #1, #2	PWR (Westinghouse)	-
<u>Grouted</u> tendon in prestressed concrete	<u>월성</u> #1, #2, #3, #4	PHWR (CANDU)	<ul style="list-style-type: none"> • 과기부고시^[5] • US NRC Regulatory guide 1.90^[7] • CAN/CSA-N287.7^[8]
	<u>울진</u> #1, #2	PWR (Framatome)	<ul style="list-style-type: none"> • 과기부고시 • US NRC Regulatory guide 1.90 • RCC-G Part 3^[9]
<u>Ungouted</u> tendon in prestressed concrete	<u>고리</u> #3, #4 <u>영광</u> #1, #2	PWR (Westinghouse)	<ul style="list-style-type: none"> • 과기부고시 • US NRC Regulatory guide 1.35^[10] • ASME Sec. XI, Div.1 IWL^[11] • ACI 201^[12]
<u>Ungouted</u> tendon in prestressed concrete	<u>영광</u> #3, #4, #5, #6 <u>울진</u> #3, #4, #5, #6 <u>신고리</u> #1, #2, #3, #4 <u>신월성</u> #1, #2	PWR (KSNP)	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM A416-74, A512-67, D992-71, D95-70, D664-58, D974^[11] • APHA No. 427^[11] • LTP^[13] • FSAR^[14] • KEPIC, MIL^[15] • 격납건물 포스트텐셔닝 시스템 가동중 검사 기술시방서 및 검사절차서^[6] • 콘크리트 열화 점검절차서^[6] • KS M 2001^[6] • CP 3A & 1 D.16^[6]

C. 콘크리트 및 텐돈정착부품 검사(Concrete & Tendon Anchorage Components Examination)

모든 콘크리트표면 및 텐돈정착부품(Tendon Anchorage Component)은 콘크리트열화 점검절차서, ACI 201.1,^[12] 콘크리트 안전정밀검사 및 기술시방서(Technical spec.)^[6]에 따라 검사한다.

D. 장비교정, 응력 및 연신율 측정(Equipment Calibration, Prestress Force & Elongation)

기술시방서(Technical Spec.)에 따라 Jacking force ram, 압력게이지(Pressure gauge), 로드셀(Load cell) 등의 장비(Equipment)를 국가표준 검증기관에서 정확도 및 정밀도를 시험 전 및 시험 후에 각각 평가를 받는다. 텐돈(Tendon)의 응력검사(Prestress force measurement)는 Lift-off test 혹은 그와 유사한 방법으로 측정한다.

E. 재료시험(Material Test)

텐돈(Tendon) Strand/Wire 재료 검사를 위해 수직텐돈(Vertical tendon) 및 수평(Horizontal tendon)에서 각각 1개를 완전히 제거하여 전체길이를 조사하여 열화증거를 조사한다. 또한 텐돈(Tendon) Strand 양끝에서 최소 1개씩, 중앙에서 1개를 채취하여 ASTM Spec.에 따라 기계적 시험(항복강도, 인장강도, 연신율)을 수행하여 기술시방서(Technical spec.)의 최소 요건을 만족시켜야 한다. 그리스(Grease) 화학시험에서는 water content, alkalinity, water soluble chlorides, nitrates 및 sulfide가 ASTM D95, ASTM D974, ASTM D512, ASTM D3867 및 APHA 428 요건을 충족시켜야 하며, 점도(Viscosity), 색깔(Color), 냄새(Smell) 등이 기술시방서

표 4. 검사 항목 및 내용(Examination Items and Contents)

Categories	항목(Items)	주요 점검 내용(Main Contents)
Concrete	<ul style="list-style-type: none"> 외부표면검사 (Dome, Shell, Buttress 포함) Anchorage component 주위 표면검사 Gallery Ceiling 검사 콘크리트안전 정밀검사 	<ul style="list-style-type: none"> Crack • Spalling • Corrosion Grease 유출 • 철근부식도 Deterioration • Disintegration Distress & Damage • 부등침하 콘크리트 화학분석(염화물시험 및 중성화) 피복두께 • 콘크리트 비파괴강도
Anchorage Hardware	<ul style="list-style-type: none"> Bearing plate Anchorhead Shim plate Strand & wire Wedge Retainer plate Grease cap, Gasket ring, Vent cock Grease injection access 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion • Wear • Abrasion Crack • Dent • Scratch • Failure Fracture • Deformation • Degradation Damage • Grease Leakage Strand/Wire/Wedge Slip & Breakage Wedge Balance & Mismatch Wedge Looseness
Tendon	<ul style="list-style-type: none"> Prestress force 	<ul style="list-style-type: none"> Lift-off force test
Material Test	<ul style="list-style-type: none"> Grease 	<ul style="list-style-type: none"> Chemical Analysis Color • Viscosity • Smell
	<ul style="list-style-type: none"> Free water 	<ul style="list-style-type: none"> Chemical analysis • Quantity
	<ul style="list-style-type: none"> Strand/wire 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion • Crack • Mechanical damage Yield Strength Ultimate Tensile Strength Elongation

(Technical Spec.)요건을 충족시켜야 한다. 또한 그리스캡(Grease cap)에 담겨진 자유수(Free water quantity) 및 pH를 기록 분석하고, 그리스 제거량 및 퇴채유량을 기록 및 비교 분석하여 그리스유출 평가를 한다. 이러한 모든 검사가 끝난 후 모든 그리스캡(Grease cap)은 부식방지를 위해 반드시 코팅(Coating) 처리를 한다.

F. 평가(Evaluation)

마지막으로 모든 검사결과는 “과기부고시 제 2004-13호 원자로 시설의 가동중검사에 관한 규정”에 명시한 기술기준 및 기술시방서(Technical Spec.)에 따라 평가하여 합격/불합격을 결정하고, 불합격시 적절한 보수/교체 프로그램에 따라 조치한다.

6. 고찰 및 결론

국내 원자력발전소는 1978년에 고리 1호기가 처음 상업운전을 시작하여 현재 20 호기가 가동중이며 원자력에 관한 세계 6위의 규모를 가지고 있으며, 신고리 및 신월성 등에서 건설 혹은 향후 계획 중인 발전소를 포함하면 전력공급에 있어서 원자력 의존도는 더욱 커질 것이다. 초기에 미국, 캐나다, 프랑스 등 여러 나라에서 원자력발전소가 도입되어 국내의 원자력발전소는 원자력백화점을 방불케 할 정도로 다양하였다. 따라서 원전 가동중검사에 있어서 여러 검사기술기준 등이 발전소 형태에 따라 다르게 적용되고 있다. 원자력발전소와 함께 원전 격납건물도 다양한 형태로 변화, 발전되어 마침내 한국표준형 원자력발전소가 정착되게 되었다. 국내 원자력발전소 격납건물은 다음과 같이 4단계로 변화를 해왔다. 첫째 금속격납건물(Metal Containment), 둘째 접착식 텐돈시스템(Grouted Tendon System)의 Prestressed Concrete Containment, 셋째 비접착식 시스템(Ungrouted Tendon System)의 Prestressed Concrete Containment, 마지막으로 한국표준형 격납건물이 있다. 가동중검사에서 과기부고시에서는 최소기술요건으로 규정하였으나 발전사업자는 원전의 안전성확보에 역점을 두어 기술기준 개념을 한층 더 보수적이고 엄격하게 적용하고 있다. 전반적인 가동중검사 결과에서 한국격납건물은 78년 이후 지금까지 20기에서 중대한 열화증거는 대체로 없었고, 78년 상업운전을 시작한 고리1호기는 설계수명 30년으로 건설되어 현재 정부 및 발전사업자가 수명연장을 추진 중이다. 현재 원전 격납건물 가동중검사에 있어서 미국, 캐나다 및 프랑스의 기술기준을 주요 검사기술기준으로 채택하고 있으나, 최근 대한전기협회에서 개발한 국내기술기준인 전력산업기술기준(KEPIC)^[1]이 주요 기술기준으로 채택되기 위해 준비 중이다. 특히 격납건물에 설치되는 텐돈 정착부품(Tendon Anchorage Hardware)이 초기 건설시 대부분 미국의 VSL에서 전량 수입하였으나 시간이 흐름에 따라 많은 부품이 국산화 개발되었다. 그러나 원자력발전소 한 호기 당 최소 30,000 set 이상이 필요한 웨지(Wedge) 및 고가의 Prestressing Equipment 등 중요 부품이 아직도 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서, 향후 원전 건설계획이 많은 우리나라에서는 이러한 부품의 국산화개발이 시급한 상황이다.

❁ 참고 문헌

[1] 한국수력원자력주식회사, KHNP, Homepage (www.khnp.co.kr), 2007

[2] Jihong park et al, to be published, “Present status of nuclear containments in Korea”, 15th International Conference on Nuclear Engineering, Nagoya, Japan, April 22-26, 2007

- [3] Jihong park et al, to be published, "Present status of nuclear containments in Korea", Proceedings of ICAPP 2007 Nice, France May 13-18, 2007
- [4] 홍재근, 박지홍, 이종오, 이주석, "원자력발전소 격납건물 포스트텐셔닝시스템 검사기술", 기계와 재료, Vol 11, No. 04, Page 134, 1999
- [5] 과기부고시 제 2004-13호, "원자로 시설의 가동중검사에 관한 규정", 2004
- [6] Korea Power Engineering Company, "격납건물 포스트텐셔닝 시스템 가동중 검사 기술시방서 및 검사절차서", KOPEC, 1978-2002
- [7] US NRC Regulatory guide 1.90, "Inservice inspections of prestressed concrete containment structures with grouted tendons", USA, 1977
- [8] Canadian Standards Association, CAN/CSA-N287.7, "Inservice testing and examination requirements for concrete containment structures for CANDU nuclear power plants", Canada, 1980
- [9] AFCEN, RCC-G Part 3, "Design and construction rules for civil works of 900 MWe PWR power plants", France, 1981
- [10] US NRC Regulatory Guide 1.35 "Inservice inspections of ungrouted tendons in prestressed concrete containments", USA, 1990
- [11] ASME Sec. XI, Div.1 IWL, "Requirements for class CC concrete components of light water cooled power plants", ASME, USA 1989-2004
- [12] ACI 201.1R-92, "Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service", USA, 1992
- [13] 한국수력원자력주식회사, KHNP, "원자로 격납건물 장기가동중검사점검계획서", 1985-2004
- [14] 한국수력원자력주식회사, KHNP, "Final Safety Analysis Repor", 1978-2005
- [15] 전력산업기술기준, KEPIC MIL "원전가동중검사 격납구조", 대한전기협회, 2005
- [16] ASTM A 416/A 416M "Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete", USA, 1996



박 지 홍

- 한국기계연구원 공인시험평가부 선임연구원
- 관심분야 : 에너지 재료, 용접
- E-mail : jhpark@kmail.kimm.re.kr



홍 재 군

- 한국기계연구원 공인시험평가부 선임연구원
- 관심분야 : 고에너지 빔 용접, 재료파괴인성
- E-mail : jkhong@kmail.kimm.re.kr



이 병 훈

- 한국기계연구원 공인시험평가부 선임연구원
- 관심분야 : 알루미늄 접합, 용접공정
- E-mail : bhlee@kmail.kimm.re.kr



박 반 옥

- 한국기계연구원 공인시험평가부 책임연구원
- 관심분야 : 공인검사, 용접
- E-mail : bupark@kmail.kimm.re.kr