경수로형 사용후핵연료 건식저장 구조물 및 구조재료의 공학적 요건

채경선, 박병목, 신경욱, 박장순, 전상환
세안기술(주), 서울시 금천구 가산동 481-10 벽산디지털밸리2차 910호
gschae7@sae-an.co.kr

1. 서론

국내 원전의 사용후핵연료 소내 임시저장시설의 용량한계 등을 고려하여 중간저장에 대한 기술개발 및 시설확보의 필연성 인식으로 사용후핵연료 관리정책에 유연성을 갖기 위한 연구개발 등이 수행되고 있다. 사용후핵연료 건식저장시설은 사용후핵연료를 재처리하거나 또는 방사성폐기물로 영구처분하기 전에 안전하고 건전하게 중간저장하는 것으로서 그 설계특성은 국민의 건강과 환경에 부당한 위해를 유발하지 않고 사용후핵연료를 적절하게 인수, 취급 및 저장하고 필요시 회수할 수 있는 기능을 보장하는 것이 목적이다. 이를 위해 사용후핵연료 건식저장시설이 갖추어야 할 기본적인 안전기능으로서 방사성물질을 적절하게 가두어 두는 격납기능, 작업자 및 일반인에게 방사선 피폭상의 영향이 미치지 않도록 하는 차폐기능, 캐스크에 장입된 핵연료집합체와 캐스크를 구성하는 기기의 건전성 유지를 위해 사용후핵연료가 방출하는 붕괴열을 일정한 수준 이내로 관리하는 잔열제거기능, 임계조건에 도달하지 않도록 유지하는 핵임계방지기능을 시설의 예상 수명기간동안 유지할 수 있도록 해야한다. 국내 월성 원자력발전소의 중수로형 사용후핵연료 건식저장시설에 대한 건설 및 운영경험을 바탕으로 경수로형에 대한 건식저장시설의 접목을 위해서는 경수로형 사용후핵연료의 특성에 적합한 안전기능을 달성할 수 있도록 설계되어야 하며 경수로형 사용후핵연료 건식저장시설이 확보해야 할 안전성인자 및 해당 공학적 요건과 적용사례에 대한 분석이 필요하다.

2. 본론

2.1 건식저장설비

사용후핵연료 건식저장 설비는 격납기능, 임계제어, 차폐, 열제거, 구조적안전성, 운영지원 등과 관련한 시설들로 구성될 수 있다. 사용후핵연료 집합체를 운반 및 저장하기 위하여 장입하는 용기(Cask) 재질은 금속이나 콘크리트 등으로 될 수 있고, 캐스크 본체, 덮개, 바스켓 등으로 구성되는데, 바스켓은 캐스크에 장입될 핵연료집합체를 일정한 기하학적 배치상태로 유지하기 위한 구조물이다. 캐스크의 이송을 포함한 취급을 위한 캐스크 취급설비와 공기조화, 화재방호, 전력, 계측제어 등의 운영, 관리 및 연계계통 등이 있는데 건식저장시설의 기본형태를 Fig.1에 예시하였다.

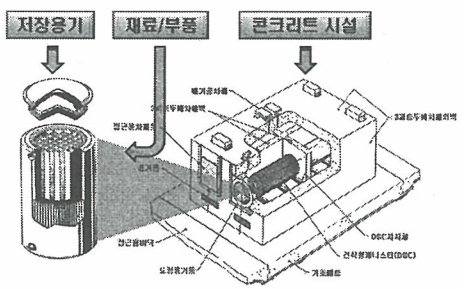

Fig. 1. Structures, Systems and Components of Dry Storage Facility

2.2 설계 및 성능요건

사용후핵연료 건식저장시설이 확보해야 할 안전성인자 및 해당 공학적 요건으로서 부지특성, 주요설계기준, 구조적 안전성, 재질의 적합성, 열적 안전성, 화재방호, 차폐안전성, 임계안전성, 격납기능, 핵연료등의 취급, 물리적 방호 및 보안, 운영체계 과정 및 절차, 시험 및 유지보수, 방사성폐기물 관리, 방사선방호, 사고해석, 기타 보조/서비스 계통, 기술지침/운전제한조건, 품질보증, 해체, 회수가능성 등으로 분류하고([1]-[3]), 해당되는 정성적 기술적 요건에 부합성을 시설운영자가 인허가 신청시 정량적 평가자료로 제시하도록 하고 있다. 여러 문헌([2]-[4])에 제시된 건식저장시설의 설계 및 성능관련 요건은 정성적 요소가 많다. 상용화할 건식저장시설 설계특성의 제반요소가 사용후핵연료의 연소도, 냉각기간, 보관될 사용후핵연료량, 구조재료의 선택, 형태 및 크기, 중량 등에 따라 다양해질 수 있기 때문일 것이다. 또한 명시된 설계 및 성능기준외의 품목에 대해서도 적용가능한

기술기준(일반설계기준)이 제시되어야하며 이에 따라 설계, 제작 및 건설되도록 하고 있다. 정성적 요건의 경우를 예로 들면, "설계수명동안 예상되는 방사선누적피폭을 견딜 수 있어야한다". "연료의 붕괴열은 저장설계에 가정된 설계최대치 이내임을 연료연소도, 초기농축도, 원자로운전이력 및 붕괴열을 고려한 승인된 계산이나 측정에 의해 검증하여야 한다". "용기설계압력은 핵연료피복관내의 모든 자유기체가 핵연료봉으로부터 용기로 방출된다는 가정하에 계산된 용기내에서 발생할 수 있는 압력이어야한다". "용기는 누설건전성을 유지하도록 설계되어야하며, 안전저장에 저해되도록 변형되어서는 않된다"고 명시하고 있다. 성능기준의 경우도 설계사건 등을 정하고 해당사건이 발생할 경우에도 안전성이 확보되어야하고, 이에 대한 방책이 강구되어야한다는 것이다. 건식저장 시스템을 구성하는 구조재료, 구조물등의 전반적인 공학적 요건은 사용후핵연료의 안전한 건식저장을 목적으로 한다는 점에서 인허가 요건의 범주내 포함될 것이므로 인허가와 연계된 요건분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

현재 전 세계 상업적으로 이용되고 있는 건식저장시설은 규제요건, 부지특성, 운전제한조건, 감시, 보수, 운전, 설계기준사고, 품질보증, 해체 등과 관련한 다양한 안전성관련 공학적요소를 고려하여 개발된 것일 수 있으므로, 이를 참고로 할 수 있고, 건식저장시설의 설계범위 및 세부사항은 안전성분석보고서를 포함한 기술적 설계사양서 등에 제시하며, 설계의 적합성에 대해서는 인허가 기관등의 사전승인이나 허가를 받아야 할 것이다.

2.3 적용사례

10CFR72에 따라 부지별허가와 일반허가 제도를 시행중인 미국의 사용후핵연료 중간저장시설의 인허가는 NRC가 사용후핵연료 저장시설의 안전성평가와 관련하여 사용후핵연료 독립저장시설(ISFSI)과 캐스크에 대하여 별도의 심사지침을 개발하여 적용하고 있는데, 부지별허가로 인증받은 미국내 원전은 Surry 원전등 약 11개소이며, 부합성인증서(CofC)로 승인받은 캐스크는 NAC-MPC 등 약 30여종이다. 다양한 종류의 캐스크들은 그 이름만큼이나 설계조건들이 다양하므로 국내에서도 핵연료가동 이력을 고려한 국내 특성에 적합한 경수로형 건식저장시설에 적용할 설계 및 성능사양이 갖추어져야 한다. 몇 가지 건식저장용기 설계특성을 Table1.에 나타내었다

Table 1. Dry Storage System Parameters

Description	HI-STAR100	HI-STORM100	MAGNASTOR
Fuel Type	PWR	PWR	PWR
# Assemblies	24	24	37
Max.Heat Load(kw)	19	27	35.5
Min.Cooling Time (years)	5	3	4
Max.Fuel Burnup (GWd/MTU)	42.1	68.2	60
Dual Purpose Canister -Length(m) -Outer Diameter(m)	4.83 1.74		4.69-4.87 1.83
Tranfer Cask -Length(m) -Outer Diameter(m) Loaded Weight(t) (with water) -HI-TRAC 100 -HI-TRAC 125 -HI-TRAC 125D	4.98-5.12 2.32-2.4 87.09 - 90.26 107.23 - 111.13 103.65 - 107.05		4.84 2.24 104.1
Storage Cask -Length(m) -Outer Diameter(m) -Loaded Weight(t)	5.87-6.17 3.37 163.29		3.45 5.54-5.72 145.15-145.6
NRC Part72 Docket	72-1008	72-1014	72-1031

3. 결론

사용후핵연료 건식저장시설의 정성적인 공학적 요건에 대해 상용할 시설 설계특성의 제반요소가 연소도, 냉각기간, 보관될 사용후핵연료량, 구조재료의 선택등에 따라 다양해질 수 있으므로, 상업적으로 이용되고 있는 시설의 설계 및 운영특성을 참고로 하여 국내 경수로형의 사용후핵연료 특성에 적합한 설계특성을 결정하고 독자적 건식저장체계를 구축할 일이다.

4. 감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행중인연구과제입니다.(No.2009171020001A-12-3-020)

5. 참고문헌

[1] 교육과학기술부(한국원자력안전기술원) "방사선안전규제기술개발", KINS/GR-360, 2007.

[2] IAEA, "Design of Spent Fuel Storage Facilities", IAEA Safety Series No116.

[3] "Design Criteria for an Independent Spent Fuel Storage Installation(Dry Storage Type)", ANSI/ANS 57.9, 1982(R2000).

[4] "Design of an Independent Spent Fuel Stor--age Installation(Dry Storage)", Reg. Guide 3.60.