

케이블이 통과하는 방화벽 관통부의 내화성능 유효성 평가

박준현, 오승준*

한국전력공사 전력연구원, (주)케이엠이엔티

Qualification of Cable Penetration Seals in Fire Barriers

Jun-Hyun Park, Seung-Jun Oh*

Korea Electric Power Research Institute

Knowledge Management Engineering and Technology, Inc.*

1. 서론

원자력발전소 화재방호 규정에서는 방화벽 관통부(Penetration Seal)는 방화벽과 동등한 내화성능을 갖는 구조로 시공할 것을 요구하고 있다. 또한 방화벽 관통부의 내화등급은 시험 등을 통해 성능이 입증되어야 하고 이와 관련된 문서를 구비하여야 함을 규정하고 있다. 그러나 1980년대 이전에 설계된 일부 원자력발전소에서는 위와 같은 방화벽 관통부 규제요건이 도입되기 이전에 시공되었기 때문에 적정 내화성능임을 입증하는 인증서류가 구비되어 있지 않다. 또한 발전소 운영기간 동안 화재방호 개념에 대한 이해가 부족한 상태에서 많은 관통부의 재질과 구조가 변경되어 내화성능이 미흡한 관통부가 상당수 존재할 뿐만 아니라 관통부 변경 등에 대한 이력관리가 미흡한 실정이다. 본 논문에서는 발전소에 시공된 관통부의 내화성능을 평가하는 방법과 이 평가에서 얻어진 주요 경험에 대하여 기술하였다.

2. 관통부 밀봉재의 일반적 특성

원자력발전소 방화벽 관통부에 시공된 주요 재질은 실리콘폼, 압면, 몰타르 등이다. 방화벽 관통부는 기본적으로 내화성능을 만족해야하며 관통부가 시공된 방화벽의 운전조건에 따라 부가적으로 내압 성능, 수밀 기능, 방사선 차폐 기능 등을 가져야 한다. 관통부 밀봉재 재질별 운전특성은 표 1과 같다. 방화벽을 관통하는 관통재는 주로 배관, 케이블, 덕트 등이며 배관의 경우에는 배관 열팽창을 수용할 수 있는 밀봉재가 시공되어야 한다. 케이블 관통부의 경

표 1. 관통부 밀봉재 재질별 운전 특성

	내화	내압	수밀	방사선 차폐	움직임
저밀도실리콘폼	○	○	○	×	○
고밀도실리콘폼	○	○	○	○	×
압면	○	×	×	×	○
몰타르	○	○	○	○	×
담관 (방화석고보드)	×	×	×	×	-
Boot Seal	○	○	○	×	○

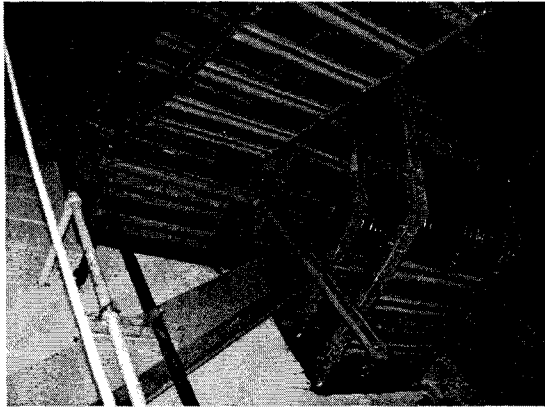


그림 1. 케이블 트레이 관통부

이들과 같은 가연성 재질이 통과하는 관통부에는 T급 시험기준을 적용한다.

우에는 케이블 절연체가 가연성 물질이기 때문에 다른 관통부에 비해 더욱 내화성능이 중요시 된다. 전형적인 케이블 트레이 관통부는 그림 1과 같다. 실리콘 폼이 시공된 케이블 관통부에서 내화성능을 좌우하는 중요한 요소는 밀봉재 두께, 댐판 유무, 관통부 크기, 자유면적 크기 등이며 케이블 적체율 등은 내화성능에 미치는 영향이 작아 무시가능하다.

원자력발전소 화재방호 규정에서 허용하고 있는 관통부 밀봉재의 내화시험 기준은 표 2와 같다. 배관과 같은 불연성 재질이 관통하는 관통부에는 F급, 케

표 2. ASTM E-814 성능시험기준

시험기준 내화등급	성능시험 기준		적용 관통부
	가열시험	주수시험	
F급	<ul style="list-style-type: none"> 가열시험시 화염이 개구부를 관통하거나 반대면에 어떤 종류의 화염도 발생하지 않아야 함 	가열 반대면에서 물이 흘러나오지 않고 원상태 유지	불연성 관통재(배관, 덕트, 전선관 등)
T급	<ul style="list-style-type: none"> 가열시험시 화염이 개구부를 관통하거나 반대면에 어떤 종류의 화염도 발생하지 않아야 함 가열 반대면 온도는 181 °C를 초과하지 않아야 함 	가열 반대면에서 물이 흘러나오지 않고 원상태 유지	가연성 관통재(케이블 등)

3. 성능평가 절차

방화벽 관통부 밀봉재의 성능평가 절차는 그림 2와 같으며 평가 단계별 수행 내용은 다음과 같다.

- 방화지역의 가연성물질을 조사하여 화재하중을 산출한다. 화재하중 80,000Btu/ft²는 등가시간으로 1시간 내화등급에 해당한다. 그림 3은 발전소 건물의 방화지역별 요구 내화등급을 보여주고 있다,
- 시공된 관통부에 대해 크기, 재질, 배열 등 성능평가에 필요한 자료를 수집한다.
- FILK 및 UL Directory, 관통부 밀봉재 제조사 시험자료 등 과거에 시험된 자료를 확보하여 성능평가에 필요한 자료를 골라낸다. 표 3은 성능평가에서 사

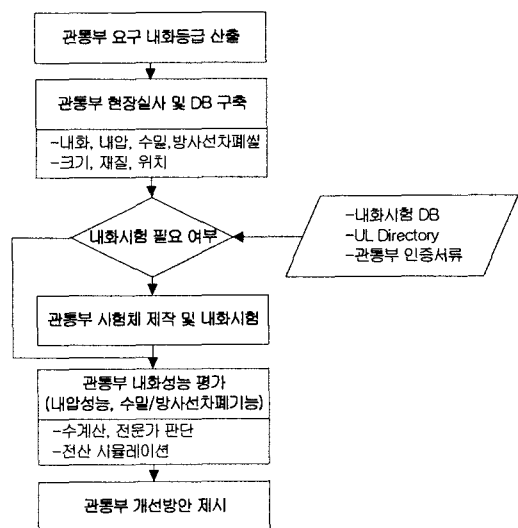


그림 2. 관통부 밀봉재 성능평가 절차

용한 관통부 밀봉재 시험체 데이터를 간략히 나타낸 것이다.

- 현장에 시공된 관통부 밀봉재와 시험데이터를 비교하여 시공된 관통부의 내화등급을 결정한다. 비용측면을 고려하여 내화시험은 최소화하고 비교 시험체가 존재하지 않아 인증이 곤란한 경우에 한하여 내화시험체를 제작하여 시험을 통해 인증한다.
- 내화성능이 미흡한 경우에는 성능개선방안을 제시한다. 이때는 내화성능 및 부가기능을 고려하여 종합적인 개선안이 되도록 한다.

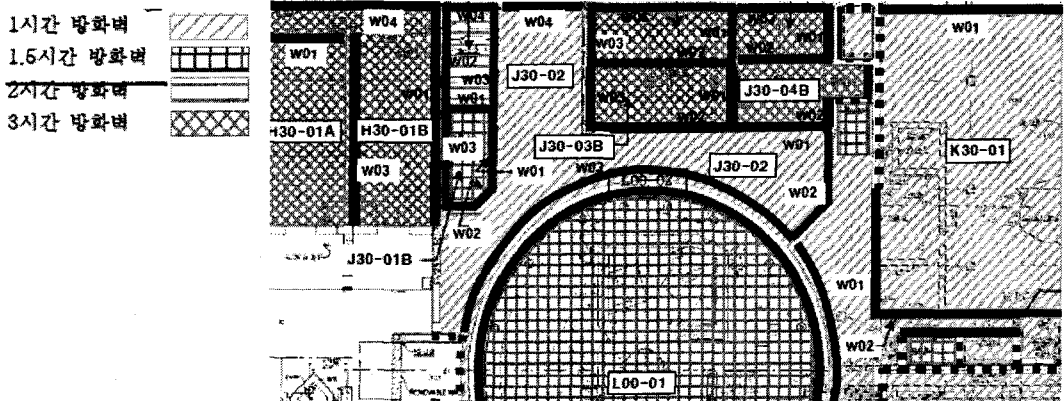


그림 3. 방화지역별 요구 내화등급

표 3. 관통부 밀봉재 시험 데이터

시험 번호	제목	시험 기관	시험 방법	구조설명	밀봉재	밀봉재 규격(또는 상품명)	밀봉재 두께	덤펠	관통재	시험결과	F급 분	T급 분
03-59 80-00 3	케이블관 통부	SRI	IEEE 634	ALC 벽체에 케 이블트레이가 통하고 암면이 양 쪽에 9"씩 시공	암 면 (Kaow ool)	Kaowool 9" + Flamemastic 71A coating(3/8")	양쪽면 9"씩	-	케이블트레 이 폭 24"* 높이 4"	3시간 가열 시험, 주수시 험 만족	180	180
1995- 01	내화충전 재(FILK 인증)	FILK	F S 012	ALC 벽체에 암 면과 덤펠이 시공	암면	암면(125t)+DC fire stop foam(25t)	150	Gyp sum 보드 9t	없음	2시간 가열 시험, 주수시 험 만족	120	120
2001- 03	내화충전 재(FILK 인증)	FILK	F S 012	ALC 벽체에 암 면, 실리콘폼, 철판이 시공	암 면 + 실 리 콘 폼	암면(100k, 125t), LG-LDR 40(25t)	150	1.2t 강판	없음	2시간 가열 시험, 주수시 험 만족	120	120

4. 성능평가 결과

대상 원자력발전소의 방화벽 관통부에 대해서 내화성능을 평가한 결과, 상당수의 관통부가 내화성능이 미흡한 것으로 나타났다. 성능기준을 만족하지 못하는 주요 유형은 시공측면과 성능측면 두 가지로 구분할 수 있으며 불만족 상태 유형과 그에 대한 개선 방안은 표 4에서 요약하여 나타내었다.

표 4. 관통부 성능평가 불만족 유형 및 개선 방안

유형	불만족 상태	개선 방안
시공측면	밀봉재가 시공되어 있지 않음	적합한 재질로 시공
	시공 방법 및 상태가 부적합	시공 방법/설계 개선
	밀봉재가 부분적으로 또는 전체적으로 파손	부분 보수, 재시공 또는 재질 개선
성능측면	부적합한 재질로 시공	재질 변경
	재질은 적합하나 요구 내화성능에 미달	구조 또는 재질 변경
	최대 인증규격 초과하여 인증 곤란	구조 또는 재질 변경
	인증되지 않은 재질 또는 구조	구조 또는 재질 변경

발전소에서 관통부의 많은 부분을 차지하는 것이 케이블 관통부이다. 케이블 관통부는 다른 관통부와는 달리 절연체가 가연성물질이기 때문에 화재에 취약한 관통부이다. 또한 발전소 운영기간동안 케이블 재포설, 신증설이 빈번하게 발생하게 되므로 관통부 개보수 요인이 어느 관통부보다 많다. 따라서 케이블 관통부 관리 및 내화성능 유지가 원자력발전소 방화벽 관통부 내화성능 유지에서 관건이라 할 수 있다. 케이블 관통부의 내화성능을 확보하기 위한 방안중의 하나는 관통부 구조개선을 통해 밀봉재의 단면적을 축소하는 방안이다. 그림 4의 좌측 그림처럼 관통부 크기가 커서 내화성능을 만족할 수 없는 경우에 조적방화벽을 시공하여 개구부를 수개로 분할하고 단면적을 축소함으로써 요구 내화등급을 만족시킬 수 있다. 이러한 구조변경 방안은 관통부의 배열, 내화등급, 시공조건 등을 종합적으로 고려하여 결정되어야 한다.

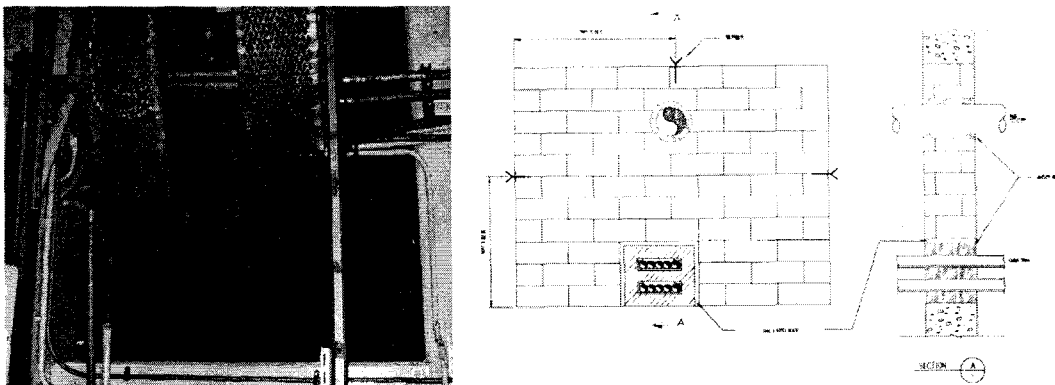


그림 4. 케이블 트레이 관통부 구조변경(좌: 현상태, 우: 개선방안)

관통부 밀봉재 정보를 효과적으로 관리하고 이를 성능평가에 효과적으로 활용하기 위해서는 관통부 데이터베이스가 무엇보다 필요함을 실감하였다. 수천 개 관통부의 특성 파악하고 이를 시험체 데이터와 비교하여 내화등급을 결정하는 일을 수작업으로 한다는 것은 너무나 비효율적이기 때문이다. 그림 4는 본 연구에서 개발한 관통부 데이터베이스로서 관통부 기본정보에 대한 화면을 보여주고 있다. 여기에는 관통부 기본정보, 밀봉재, 성능평가, 관통재 등 성능평가에 필요한 정보와 성능평가 결과를 나타내고 있다. 이러한 데이터베이스를 개발하여 사용함으로써 업무 효율 향상은 물론 성능평가 인증서류를 체계적으로 유지 관리할 수 있는 기틀을 마련하였다.

관통부 기본 정보		밀봉재 정보		성능평가(시험) 정보													
관통부 번호	FS203-WC1-06	관통부 직경	(in)	내화시험 번호	방시1943-33-1(구조1)												
관통부 수	1 (개)	관통부 가로	62.9 (in)	내화성능 평가	2시간 T급 내화성능을 갖는 시험체에 수용되므로 1시간 T급 내화등급 만족												
관통부 형태	사각	관통부 세로	62.9 (in)	내압시험 번호													
<input type="checkbox"/> 안전정지기기 방화벽		관통부 면적	3956.41 (in ²)	내압성능 평가	N/A												
방화벽 재질	시멘트	밀봉재 재질	silicone foam	수밀/방사선 차폐기능 평가	현상태 사용, 후속 재시공 시에는 고밀도 살리핀 폼으로 변경												
방화벽 두께	9.84 (in)	밀봉재 상세 사양		중합 평가 결과	안결												
Elevation	109.22 (ft)	밀봉재 두께	9.84 (in)	개선방안	구조변경 불필요, 파손부위만 보강												
내화등급	1 (hr)	영장 재질		개선방안 도면													
<input type="checkbox"/> 내압 씰	내압 씰 압력 (psi)	영장 두께	(in)														
<input type="checkbox"/> 수밀 씰		밀봉재 시공 상태	부분보수 필요														
<input checked="" type="checkbox"/> 방사선 차폐 씰		기타															
관통부 위치 도면	FS203-WC1	점검주기(차수)	6차														
관통부 상세 도면	FS203-WC1-06																
관통부 대표 도면	Wall Detail 11																
밀봉재 설치일																	
관통부 검사일	2005-06-14																
관통부 사진	1387																
		관통부 정보															
		최대 자유면적 (in ²)	930	최대 환형공간 (in)													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>관통재 형태</th> <th>관통재 규격</th> <th>케이블 출전점</th> <th>케이블 절연치</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>cable tray</td> <td>23.7*4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>cable tray</td> <td>23.7*4</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		관통재 형태	관통재 규격	케이블 출전점	케이블 절연치	cable tray	23.7*4			cable tray	23.7*4				
관통재 형태	관통재 규격	케이블 출전점	케이블 절연치														
cable tray	23.7*4																
cable tray	23.7*4																

코드: 14 428 전체: 2392

그림 5. 방화벽 관통부 데이터베이스 기본정보 화면

5. 결론

1980년대 이전에 설계되어 방화벽 관통부 내화성능 인증이 이루어지지 않은 원자력 발전소에 대해서 관통부 성능평가를 수행하고 인증서류를 생산하였다. 케이블 관통부 성능평가 방법은 NRC 및 EPRI에서 허용하고 있는 시험체 데이터를 이용한 한계접근법을 적용하였으며 시험체 데이터로는 FILK, UL Directory, 전력연구원, 밀봉재 제조회사 자료를 활용하였다. 대상 발전소의 내화성능을 평가한 결과 상당수의 케이블 관통부에서 내화성능이 미흡한 것으로 나타났다.

내화성능을 확보하기 위한 시공 및 설비개선 이외에 중요한 요소는 시공된 관통부의 내화성능을 인증하고 이를 유지 관리하는 일이다. 이러한 일을 효과적으로 수행하기 위한 방안으로 관통부 데이터베이스를 개발하여 사용하였으며 이 데이터베이스에는 관통부의 기본정보는 물론 성능평가 정보까지 수록하여 DB 자체가 인증서류로 활용되도록 하였다. 관통부 육안점검이 이루어지거나 수리, 구조변경 등이 발생하는 경우에는 해당 관통부 정보를 수정하여 항상 최신의 정보가 DB에 입력되고 관리되도록 하여야 한다.

참고문헌

1. 고리1 및 월성1 방화벽 관통부 성능평가 최종보고서, 한수원(주), 2006.3
2. TM02NE16.P2004.361, 방화벽 관통부 내화충전구조 성능평가(2차년도), 전력연구원, 2004.6
3. Regulatory Guide 1.189, Fire Protection for Operating Nuclear Power Plants, NRC, 2001.4
4. NUREG-1552, Fire Barrier Penetration Seals in Nuclear Power Plants, NRC, 1996.7
5. TR-1000196, Fire Barrier Penetration Seal Handbook, EPRI, 2000.7