

한계 접근법에 의한 방화벽 관통부 내화성능 평가

박준현

한전 전력연구원

Determination of Penetration Seal Fire Rating by Bounding Approach

Jun-hyun Park

Korea Electric Power Research Ins.

1. 서론

원자력발전소에서는 방화벽을 관통하는 개구부(fire barrier opening)는 방화벽과 동등한 내화성능을 갖는 밀봉재로 시공할 것을 요구하고 있다. 또한 관통부 밀봉재는 내화시험을 통해 내화성능이 입증되어야 하며 개별 관통부가 적정 내화성능을 유지하고 있다는 것을 입증하는 인증서류를 구비할 것을 요구하고 있다^{1,2)}. 그러나 국내 장기 가동중인 원자력발전소의 경우에는 방화벽 관통부의 내화성능에 대한 개념이 정립되기 이전에 건설되었기 때문에 관통부 내화성능이 미달되거나 내화성능 인증서류가 구비되어 있지 않는 경우가 대부분이다. 국내 원자력산업계에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 장기 가동원전을 대상으로 방화벽 관통부 내화성능 개선 연구를 수행중이다^{3,4)}. 그림 1은 대표적인 방화벽 관통부의 배열 상태를, 그림 2는 방화벽 관통부 내화성능평가에 대한 전반적인 흐름을 보여주고 있다.

장기 가동중인 원전에서는 호기당 3000-4000개의 관통부가 존재하므로 개별관통부에 대해서 일일이 내화성능을 확인하는 것은 비용측면에서 어려움이 따르므로 규격과 형상이 유사한 관통부별로 그룹을 형성하여 내화성능을 평가하는 방법을 사용한다. 이 경우에 특정 그룹을 대표하는 관통부와 유사한 형상의 내화시험결과가 존재하면 이 시험결과를 이용한 성능평가 가능하지만 시험결과가 없는 경우에는 시험체를 제작하여 내화성능을 확인해야 하는 어려움이 따르게 된다. 이러한 경우에도 시험체 제작과 내화시험에 많은 비용이 수반되므로 가급적 시험을 수행하지 않고 기존 시험자료를 활용하여 공학적으로 평가하는 방법의 필요성이 대두되었다. 본 논문에서는 기존의 평가방법을 개선한 한계 접근법에 의한 내화성능 평가법의 특성을 소개하고 이 방법을 활용한 시범적 평가결과를 기술하고자 한다.

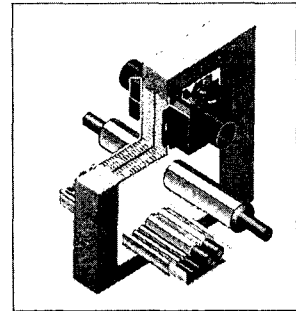


그림 1. 대표적인 관통부 형상

2. 공학적 평가방법

전통적인 내화성능 평가법은 관통부 재료에 대한 많은 시험데이터가 물리적 인자에 대한 다양한 비교·분석이 필요하다. 반면에 공학적 분석에 의한 평가법은 관통부 내화성능에 중대한 영향을 미치는 물리적 인자와 그 영향을 정의하고 유사성을 분석하여 유사성이 입증되면 전통적인 평가법과 동일한 방법으로 관통부 내화등급을 결정하게 된다. 만약 평가대상 내화충전재와 시험체의 물리적 인자가 동일하지 않은 경우에는 공학적인 분석을 통하여 보정치를 적용하여 내화등급을 결정한다. 이러한 방법은 추가적인 내화시험을 하지 않으면서 신뢰성과 효율성 있는 성능평가가 가능한 이점이 있다.

개선된 공학적 분석에 의한 관통부 내화성능평가는 그림 3과 같이 두 단계로 이루어진다⁵⁾. 1단계는 유사성 분석 단계로서 관통부 내화성능에 중요한 영향을 미치는 물리적 특성만을 비교하여 내화등급을 결정한다. 2단계에서는 유사성이 입증된 관통부에 대하여 물리적 인자의 차이점을 상세하게 평가하고 1단계에서 결정된 내화등급에 보정치를 반영하여 내화등급을 재 계산하게 된다.

3. 관통부의 물리적 특성

1단계 유사성 분석에서 관통부 밀봉재 내화성능에 영향을 미치는 주요 물리적 인자를 확인하여야 한다. 관통부 형상 및 재료에 대한 물리적 특성을 다

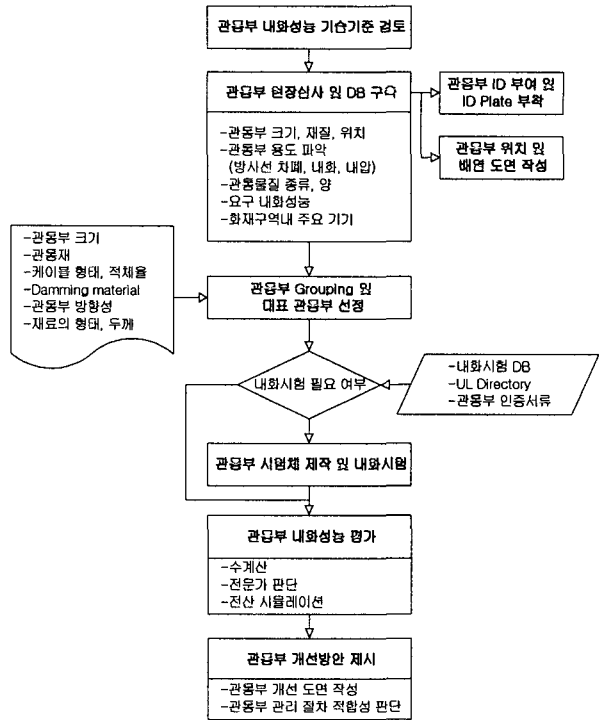


그림 2 방화벽 관통부 성능평가 흐름도

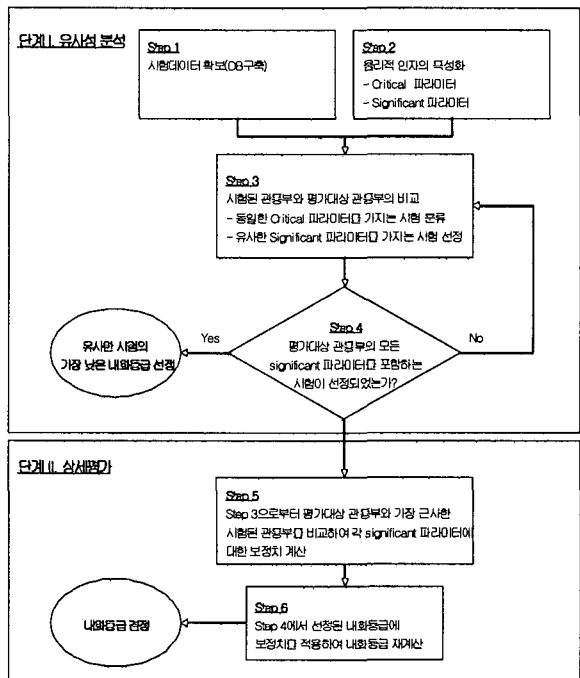


그림 3 공학적 분석에 의한 내화성능평가 절차

음과 같이 3가지로 분류하였으며 표 1은 실리콘 폼으로 충전한 케이블트레이 관통부의 물리적 인자의 중요도를 정리한 것이다.

- 매우 중요한 인자 : 화재 상황에서 관통부의 거동을 완전히 변화시키므로 내화등급 결정에서 대단히 중요하다. 평가대상 관통부와 비교 대상 시험체간의 매우 중요한 인자가 다르면 시험데이터를 활용하여 공학적 분석에 의한 내화성능평가가 불가능하다.
- 중요한 인자 : 내화등급에 상당한 영향을 미치는 인자로 평가대상 관통부와 비교 대상 시험체간에 차이가 있는 중요한 인자가 내화성능에 미치는 영향을 분석하고 보정해야 한다.
- 중요하지 않은 인자 : 내화등급에 거의 영향을 미치지 않으므로 검토가 불필요하다.

표 1 관통부 물리적 인자의 중요도 (● 매우 중요, ◎ 중요, X 중요치 않음)

물리적 인자	중요도	물리적 인자	중요도
내화충전재 재질	●	자유공간	◎
설치위치	●	방화벽 재질	X
관통부 종류	●	트레이 재질(강재)	X
내화충전재 두께	◎	트레이 종류(Ladder/Solid)	X
댐판(damming board)	◎	트레이 크기	X
방화벽 두께	◎	케이블 적체율	X
트레이 재질(알루미늄)	◎	케이블 크기	X
케이블 절연재/자켓재질	◎	관통부 수 및 근접성	X
관통부 개구부 크기	◎	관통부 라이너	X

그림 4, 5는 표 1의 중요인자 중에서 자유공간 크기 변화, 댐판의 유무에 따른 내화성능 변화를 나타내고 있다.

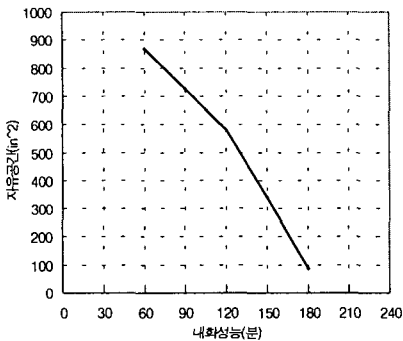


그림 4 자유공간 크기에 대한 내화성능 변화

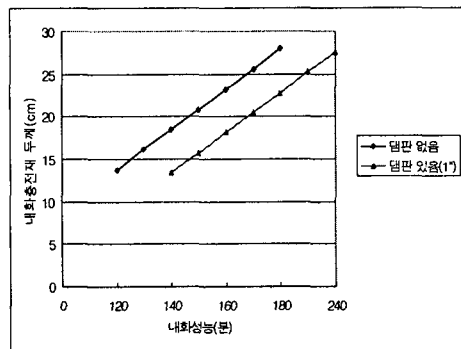
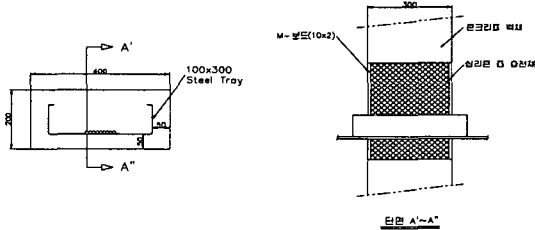


그림 5 댐판이 내화성능에 미치는 영향

4. 내화등급 평가 결과

평가 대상 관통부의 내화등급을 공학적 방법으로 계산하기 위해 한계 접근법을 이용하여 평가 대상 관통부와 가장 유사한 배열인 시험체를 선정하였다. 평가 대상 관통부의 배열 상태는 그림 6과 같다.



4.1 물리적 특성 비교

평가 대상 관통부는 실리콘 폼으로 밀봉된 케이블 트레이 관통부로 매우 중요한 인자인 밀봉재 재질, 관통부 설치위치, 관통부 종류가 비교 대상 시험체와 동일하다. 평가 대상 관통부와 비교 대상 시험체간에 차이를 보이는 중요한 인자의 비교는 표 2와 같다.

그림 6 평가대상 관통부 배열

표 2 중요한 인자 유사성 분석

중요한 인자	평가대상 관통부	시험체 데이터	선정기준
내화충전재 두께	30 cm	30 cm	동일
덤펀	1cm M-보드 (양면)	없음	평가대상 관통부는 시험된 관통부 보다 높은 내화등급을 가짐
방화벽 두께	30 cm	30 cm	동일
케이블트레이 재질	강재	강재	동일
케이블 종류	전력, 제어, 계측	전력, 제어, 계측	동일
케이블 절연재질	CV	CV	동일
개구부 크기	40 × 20 = 800 cm ²	40 × 25 = 1000cm ²	평가대상 관통부는 시험된 관통부 보다 높은 내화등급을 가짐
자유공간	800cm ² - 7.1cm ² = 792.9 cm ²	1000cm ² - 82.3cm ² = 917.7 cm ²	평가대상 관통부는 시험된 관통부 보다 높은 내화등급을 가짐

4.2 보정치 계산

평가 대상 관통부와 비교 대상 시험체 사이에 차이를 보이고 있는 중요한 인자는 덤펀의 유무, 개구부 크기, 자유공간의 크기이다. 차이를 보이고 있는 중요인자 3개에 대해 그림 4, 5를 바탕으로 내화성능에 미치는 영향을 평가하였다. 표 3은 중요한 인자별 보정치 산출 결과를 보여준다.

표 3 중요한 인자별 적용 보정치

중요한 인자	보정치	보정치 적용 근거
댐판	+8분	그림 6에 따라 10mm 댐판 설치로 내화성능 약 8분 증가
개구부 크기	1.0	개구부 크기가 서로 유사하므로 보정치 적용하지 않음
자유공간	+2분	그림5에 따라 자유공간의 감소로 인한 내화성능 약 2분 증가

4.3 내화등급 결정

평가 대상 관통부의 내화등급은 비교 대상 시험체의 내화등급(180분)에 중요 인자별 보정치를 적용하여 다음과 같이 계산 하였다.

$$FR_{Installed} = FR_{Tested} * F_{Parameter1} * F_{Parameter2} * \dots * F_{ParameterN}$$

$$FR_{Installed} = 180\text{분} \times 1.0(\text{개구부 보정치}) + 8\text{분}(\text{댐판}) + 2\text{분}(\text{자유공간}) = 190\text{분}$$

위 계산은 각각의 인자에 대하여 보정치가 독립적으로 설정되었기 때문에 평가 대상 관통부와 비교대상 시험체간에 차이가 있는 2개 이상의 인자가 내화등급에 미치는 영향을 알 수가 없다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위하여 가장 신뢰할 수 있는 한개 인자의 보정치를 적용하여 재계산하면 다음과 같다.

$$FR_{Installed} = 180\text{분} + 8\text{분} = 188\text{분} \text{ (댐판 영향 반영시)}$$

$$FR_{Installed} = 180\text{분} + 2\text{분} = 182\text{분} \text{ (자유공간 영향 반영시)}$$

따라서 2개 중요 인자에 의한 내화등급 영향을 각각 계산하여 보수적으로 계산한 평가 대상 관통부 내화등급은 182분 이상이라는 결과를 얻을 수 있다.

5. 결 론

장기 가동중인 발전소의 방화벽 관통부 내화성능 평가에서 기존의 평가방법을 개선한 한계 접근법에 의한 내화성능 평가법을 검토하였으며 이 방법을 활용한 시범적인 평가를 수행하였다. 이 연구로부터 얻어진 주요 사항은 다음과 같다.

- 공학적 방법을 이용한 관통부의 내화등급 결정에는 시험을 하지 않고 내화등급을 결정하는 것이므로 과거에 수행된 다양한 시험 데이터 확보가 선행되어야한다.
- 호기당 3000-4000개나 되는 많은 관통부를 기존 시험 데이터와 비교하여 시험체 배열에 수용되는 관통부를 찾아내는데 많은 노력이 필요하므로 효율성을 높이기 위한 관통부 DB 개발이 반드시 필요하다.

- 기존의 시험체 시험 데이터를 활용한 공학적 방법에 의한 관통부 내화등급 결정은 논리적 타당성과 함께 충분히 보수적이므로 진행중인 관통부 내화성능 평가에 적용하는 것이 바람직하다.

참고문헌

- [1] NUREG-1552, Fire Barrier Penetration Seals in Nuclear Power Plants (1996).
- [2] RG 1.189, Fire Protection for Operating Nuclear Power Plants(2001).
- [3] NRC IN 88-04, Inadequate Qualification and Documentation of Fire Barrier Penetration Seals(1988).
- [4] 원자력발전소 방화벽 관통부 내화성능 평가, 박준현, 2003 한국화재소방학회 추계학술대회 논문집.
- [5] EPRI Fire Barrier Penetration Seal Handbook(2000).