

핫셀(hot-cell) 구조물 및 배기시설의 차폐설계

황용화, 이형권, 서항석, 김도식

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

hyh@kaeri.re.kr

1. 서론

차폐 핫셀시설은 핵료봉의 파괴 및 비파괴 실험으로 배출된 고준위의 방사능이 존재한다. 이런 핵물질의 안전 및 건전성을 평가하기 위한 시험을 수행할 때 차폐 핫셀의 건전성을 유지하기 위해서는 셀의 부압유지와 최적의 공기 유동분포가 선행되어야 안전성을 보장할 수 있다. 이와 관련하여 핫셀 배기필터의 성능 및 콘크리트 구조물의 강도에 대해 관찰하고자 하였다.

2. 차폐 핫셀의 차압 및 콘크리트 강도

2.1 핫셀의 HVAC 설계기준

공기유동은 핫셀의 상부인 인터벤션 구역에서 급기되며 핫셀 내부를 관통하여 아래 원통필터를 지나 배출되며 방사능오염을 줄이기 위해 전 공기흐름(one-through)방법을 택하고 있다. 두 구역의 차압을 다르게 설정되어 방사능 오염도가 낮은 구역에서 오염도가 높은 구역으로 공기가 자연스럽게 흐르는 구조로 하고 있다. 핫셀 급배기의 양단에는 해파(HEPA)필터가 설치되어 고농도의 방사성 분진을 1차 포집 후 다중의 2차의 필터에서 여과를 거치게 된다. 핫셀 내의 작업조건은 최저 10℃, 70%이하의 상대습도를 유지하고 있다.

2.2 핫셀의 공기유동 및 환기회수

핫셀의 공기는 수집장치(collector)에서 분배되며 댐퍼(damper)에 의해서 유량이 조절된다. 셀 하단에는 방사선 투과방지를 위하여 300mm 직경의 Cast Iron으로 된 차폐장치(shielding screw)가 설치되어 있다. 변속 콘트롤러에 의해 요구되는 배기속도변화를 얻을 수 있도록 주변구역 보다 300 mmH₂O 이상의 배기동압을 유지하여 셀 외부로 오염공기가 역류되는 것을 사전에 차단하게 하였다. 셀은 Table 1과 같이 부압유지를 위해, 핫셀과 주변부 사이를 마노메타로 연결하여 상시 관찰이 가능하도록 하였다. 셀의 환기회수는

시간당 평균 10회 이상의 환기회수를 요구되나, 여러 요인(fact)에 안전율을 더하여 시간당 27~40회 이상의 환기회수[Table 2]를 가지도록 하였다.

Table 1. performances required of the hot-cell.

	press & unpressd in the room pressure
hot-cell	-15ΔP-25 mmH ₂ O
glove box	25mmH ₂ O = ΔP

Table 2. Renewal/hr and exhaust flow of the hot-cell.

cell No	discharge flow (m ³ /h)	negative pressure (mmH ₂ O)	renewal/hr
9404	1334	22	28
9405	882	22	41
9406	442	26	39
9407	442	27	27
9408	236	25	38
9409	236	24	38

2.3 차폐셀 급.배기구의 필터하우징 및 차압

급기의 transfer 필터는 차폐벽 상단에 610*292*305mm 규격으로 21m²의 표면적과 1700CMH의 유량성능을 갖고 있다. 배기필터는 1개당 300CMH의 통과유량과 Φ 245*380 크기의 원통(cylindrical)으로 된 필터로 구성되어 있다. 인터벤션과 셀과의 차압은 -15mmH₂O ~ -25mmH₂O 사이를 유지하도록 하고 있다.

2.4 핫셀의 구조물의 강도측정

핫셀 시설은 철근콘크리트 구조물로서 건물내부는 정상 운영시 부압을 유지하여 건물 내 공기가 외부로 유출되지 않도록 하여 방사성물질의 외부 확산 오염을 방지할 수 있는 구조로 되어 있다. 지진에 대비하여 수평가속도(horizontal acceleration) 0.2g를 기준으로 하여 내진설계가 되어 있다. 핫셀은 고 방사성물질을 원격조작(manipulate)에 의하여 필요한 각종시험 및 검사를 행할 수 있는

방사선 차폐구조물로서 평가기준은 Table 3과 같다. 콘크리트물의 비파괴 강도측정, 중성화 및 염화물함유량시험과 피복두께 조사에서 대부분 허용 기준치 이내의 양호한 상태로 나타났다. 초음파 속도에 의한 콘크리트는 평균 B 등급의 설계 단면력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

Table 3. a valuable standard of the concrete strength.

평가등급	평가 기준
A	$a \geq 100\%$
B	$a \geq 100\%$ (경미한 손상 있음)
C	$85\% \leq a < 100\%$
D	$70\% \leq a < 85\%$
E	$a < 70\%$
※ A = (측정강도 ÷ 설계기준강도) × 100%	

2.5 핫셀의 차폐체 두께

핫셀은 concrete cell, lead cell로 구성되어 있으며, 차폐설계기준은 1주 당 작업시간을 40시간으로 가정하였다. 핫셀 전면 벽체 표면의 경우 시간당 0.025mSv 이하, 핫셀 후면의 경우 일상 작업시 작업종사자의 출입이 통제되는 점을 고려하여 시간당 0.075mSv 이하를 차폐설계기준으로 하였다. 차폐재 및 두께는 Table 4와 같다.

Table 4. shielding thickness of the hot-cell.

hot cell 종류 구분	concrete cell	lead cell
1. 차폐재료	heavy concrete ($e > 3.5$)	lead ($e > 10.3$)
2. 차폐두께	전면 및 후면 : 85cm 상부 : 70cm	15cm

2.6 핫셀의 구조 및 기능

핫셀은 원격조작을 위하여 다음과 같이 차폐창, 차폐도어 및 콘크리트 매설물이 설치되어 있다.

2.6.1 차폐창 (Shielded window) : 작업자가 핫셀 내부를 직접 육안으로 관찰하며 작업할 수 있도록 하기 위하여 설치되며 재질은 lead glass로서 concrete cell 및 lead cell에 설치되었다.

2.6.2 차폐도어

- crane inter-cell door : 핫셀 간에 fuel rod cuts container 나 기타 장치들을 운반하기 위한 inter-cell crane의 통과를 위하여 설치되는 문.
- plug door : 핫셀 내부 장치의 보수 및 제염 작업을 위하여 작업자가 핫셀 내부를 들어갈 수 있도록 핫셀 후면에 설치되는 heavy Concrete 로 된 차폐도어.
- sample inter-cell door : 핫셀 간에 시편, 소공구 또는 소량의 폐기물의 통과를 위하여 설치되는 도어로서 hydraulic system 에 의하여 원격으로 조작된다.
- rod inter-cell door : No.1 cell 과 No.2 cell 간에 PWR fuel rod의 통과를 위하여 설치.

2.6.3 콘크리트 매설물

- toboggan : 핫셀 내부로 전구와 같은 소장치를 gravity 으로 넣을 때 사용.
- roof slab 및 capsule roof slab : capsule 인입, 장치보수 및 내부장치 설치 시 사용
- wall penetration : hydraulic hose, pneumatic hose, electric cable 등의 통과를 위하여 콘크리트에 매설.
- embedded Support plates 내부장치 교정을 위하여 핫셀 내벽에 설치.
- 각종 Sleeves, plug 및 기타 : tele-manipulator, periscope, gamma probe 및 electric plug 등의 설치를 위한 콘크리트 매설물.

3. 결론

핫셀 구조물의 내구성 및 건전성은 허용기준을 만족하고 있는 것으로, 모두 단면내력을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 차후에도 지속적인 유지관리가 필요할 것으로 판단되었다. 핫셀의 차압 마노메타는 허용한계(10 mmH₂O) 이하로 저하되기 전에 신속한 교체의 필요성이 요구되었고, 배기필터의 다중성으로 방사성 오염물의 누출이 거의 일어나지 않는다고 사료된다. 특히 시설 내부압유지 및 여과장치의 저압손화로 압력손실을 줄이는 것이 큰 효과가 있다고 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] 조사후시험 및 폐기물 처리시설 설계 및 공사 방법 승인서, pp.21-24, 1983.