

원전 해체 시 오염 콘크리트에 적용되는 제염기술의 비교

신경욱*, 채경선, 박병목, 전상환, 정두성, 정도영
 세안기술(주), 서울 금천구 가산디지털2로 184, 910호
 *and9211@sae-an.co.kr

1. 서론

국내 원전은 1978년 고리 1호기 상업운전을 시작으로 최근 신월성 2호기 상업운전까지 총 24기의 원전이 상업운전 중에 있다. 이 중 월성 1호기는 2012년 11월 운영허가기간 만료로 발전을 멈춘 이래 최근 발전을 재개하였고, 고리 1호기는 1차 계속운전이 종료되는 2017년 6월 이후 영구정지될 예정이며, 원자로 냉각기간 5년을 거쳐 원전 해체가 이루어질 전망이다. 원전 해체는 즉시해체(Immediate dismantling) 및 지연해체(Deferred dismantling), 영구밀봉(Entombment) 하는 방식이 있으며, 해체 수행은 해체준비, 제염, 절단/철거, 폐기물 처리, 부지복원의 단계로 진행된다. 이 중 제염단계에서 제염기술의 선정 및 적용은 작업자의 방사선 피폭 및 방사성폐기물 발생에 중요한 영향을 준다.

2. 본론

2.1 The generation of radioactive waste

원전 해체폐기물은 비방사성폐기물과 방사성폐기물로 구분할 수 있고, 비방사성폐기물은 일반폐기물처럼 매립 또는 재활용으로 처리하며 방사성폐기물은 영구처분 또는 제염을 통해 비방사성폐기물처럼 처리할 수 있다. 다음은 원전 해체로 인한 방사성폐기물의 예측 발생량이다[1].

Table 1. Typical radioactive material generation from decommissioning

Radioactive material generation	GCR (250MWe)	PWR (900~1300MWe)
Irradiated carbon steel	3000	-
Activated steel	-	650
Graphite	2500	-
Activated concrete	600	300
Contaminated ferritic steel	6000	2400
Steel likely to be contaminated	-	1100
Contaminated concrete	150	600
Contaminated lagging	150	150
Contaminated technological waste	-	1000

2.2 Concrete decontamination techniques

원전 해체 시 제염기술은 크게 원자로 냉각재계통을 화학적인 방법으로 제거하는 계통제염 기술과 절단된 기기 또는 배관 표면을 물리적·화학적인 방법으로 제거하는 기기제염 기술 및 건물 표면을 물리적 방법으로 제거하는 제염기술로 구분할 수 있다. 이 중 건물표면 등의 콘크리트 제염에 적용하는 물리적 제염기술은 다음과 같다.

2.2.1 Scarifying techniques

코팅 또는 비코팅된 콘크리트 표면을 물리적으로 연마하는 기술로 오염되지 않는 깊이까지 다층의 오염된 표면을 제거할 수 있으며 이와 같은 기술의 종류로는 Needle Scaling, Scabbling, Shaving/Milling 등이 있으며, 손에 쥐고 사용할 수 있는 소형장비를 통한 Scarifying techniques은 다음과 같다[2].

Table 2. Comparison of Scarifying Techniques

Technique	Advantage	Drawbacks
Needle scaling (hand held)	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible handling • Suitable for hard to reach areas • No secondary waste • Light weight tool 	<ul style="list-style-type: none"> • High vibration level • Low yield(limited surface area coverage)
Scabbling (hand held)	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible handling • Suitable for hard to reach areas • No secondary waste • Light weight tool 	<ul style="list-style-type: none"> • High vibration level • Rough finishing • Low yield(limited surface area coverage)
Shaving/Grinding (hand held)	<ul style="list-style-type: none"> • Very good finishing • High yield • High performance • Low vibration level • Collection of dust and debris by default • No secondary waste 	<ul style="list-style-type: none"> • Fine dust • Not suitable for surface • Sensitive to metal inserts • High consumable cost

2.2.2 Abrasive blasting techniques

표면의 유리성 또는 고착성 오염물질을 제거하는 대표적인 방법이며 연마재는 플라스틱, 유리, 스틸 비드, 스틸 그리트 및 산화 알루미늄 등을 사용하고 연마재의 선택은 물질이나 표면 등에 따라 달라질 수 있다. 장점으로는 표면의 페인트, 코팅제거

등 표면처리에 효과적이고 다양한 기하학적 구조를 갖는 노즐을 사용 손이 닿기 힘든 코너의 표면의 처리가 가능하다. 주의 할 사항은 이차폐기물이 발생하므로 연마재의 재순환을 항상 고려하고 재순환된 연마재는 표면의 상호오염을 발생시킬 수 있으므로 연마재의 재사용을 위한 효율적인 연마재의 오염 분리 시스템이 필요하다. 또한 미세 먼지가 발생하므로 필터가 장착된 환기시스템과 공기 중 오염 감시 등도 필요하다. 대표적인 Blasting 기술은 다음과 같다[2].

Table 3. Comparison of Abrasive Blasting Techniques

Technique	Advantage	Drawbacks
Grit Blasting	<ul style="list-style-type: none"> • High to very high yield • Suitable for hard to reach areas • Collection of dust and debris by default • Low abrasive cost • Continuous recycling of abrasive possible 	<ul style="list-style-type: none"> • Secondary waste • Risk of cross-contamination (abrasive recycling) • High personal safety • High dust formation • Deep abrasion produce rather rough surface finish
Sponge Blasting	<ul style="list-style-type: none"> • Low safety requirements • Flexible handling • Suitable for hard to reach areas • Insensitive to metal inserts • Suitable for rough surface 	<ul style="list-style-type: none"> • Secondary waste • Continuous recycling of abrasive not possible • High dust formation • Blasting media has to be collected manually • High abrasive cost • Low performance

2.2.3 Other Decontamination Techniques

2.2.3.1 High pressure water jetting

콘크리트 표면의 청결과 오염 콘크리트 제거에 매우 효과적인 방법으로 한 번의 작업으로 수 cm의 콘크리트층 제거가 가능하다. 하지만 제염 시 분사된 물은 오염 콘크리트에 의해 일부 오염되고 오염된 물은 콘크리트 경계면에 확산되어 오염이 확산의 우려가 있다. 이때 사용한 물은 수집 장치 및 필터를 활용 재순환하여 사용함으로써 이차폐기물량을 최소화할 수 있다. 이 기술은 금속표면에 더 효과적으로 적용할 수 있다.

2.2.3.2 CO₂ Ice Blasting

영하 78°C로 동결된 드라이아이스 펠릿을 가속하기 위해 압축공기를 이용한다. 핫셀이나 글로브 박스 내부에서 얼룩진 오염제거에 이용되며, 이는 CO₂ 펠릿과 표면의 연마작용이 아니라 높은 온도 차에 의해 작은 폭발에 기인한 것이다. 다른 블라스팅 기술과 비교하면 드라이아이스는 즉시 증발하기 때문에 이차폐기물의 발생이 없지만 현재 기술

로는 콘크리트의 고착성 오염이나 코팅을 연마하기에는 충분하지 않다.

2.2.3.3 Liquid Nitrogen Jetting

고압 액체질소 분사기술은 노즐 타입과 연마재 첨가에 따라 페인트 제거, 물질의 두꺼운 층 제거 및 연마재 첨가 시 절단작업을 수행할 수 있다. 이차폐기물 발생이 없고 자동화라는 장점이 있지만 오염 확산 방지 및 질소증발로 인한 충분한 환기, 산소결핍 등의 안전적 측면을 고려해야 한다[2].

Table 4. Comparison of Other Decontamination Techniques

Technique	Advantage	Drawbacks
CO ₂ Ice Blasting	<ul style="list-style-type: none"> • Suitable to remove smearable contamination • Preserve substrate • No secondary waste 	<ul style="list-style-type: none"> • Not aggressive enough to strip coating or fixed contamination • High safety requirement • Risk of anoxia • Ventilation requirement
Liquid Nitrogen Jetting	<ul style="list-style-type: none"> • Versatile (coating stripping, removal of thick concrete layer) • High yield • Suitable for hard to reach areas • Suitable for rough surface • Insensitive to metal inserts • No secondary waste 	<ul style="list-style-type: none"> • High safety requirement (personal & facility) • Ventilation requirement • High investment cost • Process components implantation • Complex technology

3. 결론

원전 해체 시 발생하는 콘크리트 폐기물의 표면을 제거하면 상당량의 콘크리트를 재활용 할 수 있고 콘크리트 폐기물 감용 효과도 얻을 수 있다. 본 내용에서 기술한 콘크리트 제염기술은 단순한 기술뿐만 아니라 복잡한 기술도 있다. 그러므로 상황에 맞는 적절한 제염기술을 선택함으로써 방사선작업 종사자의 피폭저감 및 방사성폐기물 발생량의 저감에 도움이 될 것이다.

4. 참고문헌

- [1] Managing Low Radioactivity Material from the Decommissioning of Nuclear Facilities- IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES no. 462.
- [2] DECONTAMINATION AND DISMANTLING RADIOACTIVE CONCRETE STRUCTURES (NEA/RWM/CPD(2010)3.2011).
- [3] 서범경, "국내외 제염해체 시장 및 기술개발현황", 제16회 원자력안전기술정보회의, 1-30(2012).