

점토(벤토나이트 : bentonite)를 이용한 방사능 오염제독기술 적용방안



朴正日
화학학교 평가실장
육군 소령

벤토나이트란?

벤토나이트란 지금부터 100여년전 미국 와이오밍주에서 발견되어 Foat Benton이라고 하는 지층면을 따라서 벤토나이트라고 이름 지었고 시판된 것이 시초입니다.

그것은 백악기 제3기층(약 2,000만년전)의 화산화가 바다 밑에 쌓여져 와산성(불이 일어날 수 있는 산)의 열수 작용(물이 뜨거워 질 수 있는 작용)이나 지아성작용에 의해서 된 것이고 염토광물 몬모나이트의 결정을 주성분으로 하고 있습니다.

벤토나이트는 느슨한 결합구조의 실리카와 알루미늄층 사이에 치환성의 Na, Ca 또는 Mg의 양이온이 존재하여, 이들 각각은 쉽게 분리되어 점토가 물 속에서 퍼질 때 양이온이 벤토나이트의 성질에 쉽게 영향을 줍니다. 물 속에서 Na-벤토나이트의 비교적 많은 박편이 물 속에서 잘 분산되어지고 점토와 교질 강도, 현탁의 정도를 향상시킵니다. 핵토라이트도 이와 유사한 성질을 가집니다.

이러한 물성으로 인하여 활성점토로 알려지기도 합니다.

현재

핵무기 폭발로 인한 방사능 오염시 적용하고 있는 제독방법으로는 물 세척이나 흡을 이용한 덮기방법이 있다. 물론 이러한 방법은 핵무기 폭발시 발생하는 방사선의 경우 반감기가 수시간에 불과하므로 방사선 피폭으로 인한 인체의 피해를 최소화하기 위해서는 비교적 효과적이라 할 수 있다.

그러나 반감기가 수백년에서 수천년에 이르는 방사능에 대해서는 이와 같은 물세척이나 흡덮기로는 그 피해를 줄이기에는 많은 제한사항이 있다.

지금까지 군에서 교리상 정립하여 활용하고 있는 방사능 제독방식의 문제점은 첫째, 물을 이용한 세척시 물과 함께 방사성 동위원소가 흘러 내려 강물과 지하수를 재오염시키고, 둘째, 물과 함께 건물이나 지표면 내부로 스며들어 장기간 오염효과를 줄 수 있으며, 셋째, 물이 건조되거나 흡을 파헤칠 경우 미세한 오염입자가 대기중으로 확산되어 2차오염을 유발하게 된다.

이로 인해 동위원소가 내장된 장비파손시에는

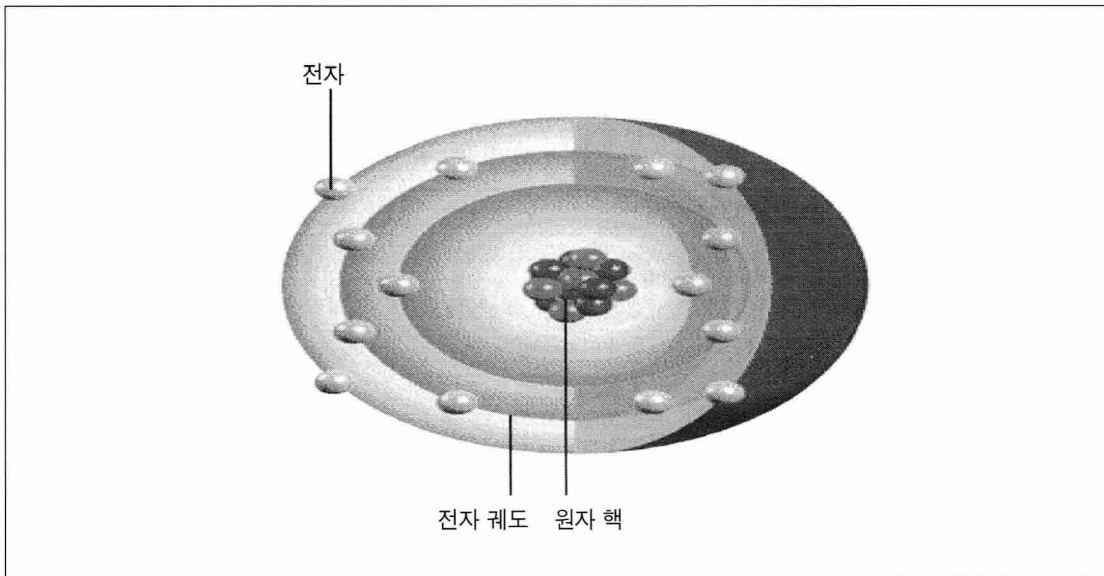
물론, 국내에 운전중인 원자력 발전소와 방사성 동위원소 취급업체에서 사고가 발생되어 방사능 물질이 누출될 경우 방사능 제독을 위해 군이 실질적으로 수행할 수 있는 부분은 매우 한정되어 있다.

이러한 제한사항을 극복하기 위해 국·내외 민간 연구기관에서는 체르노빌 원전사고 이후 진흙, 드라이아이스(이산화탄소), 젖은 모래 등을 이용하여 방사성 동위원소를 흡착후 별도의 폐기장소에 분리하여 폐기하는 방법에 대해 연구 중에 있다.

현실적으로 방사성 물질에 대한 붕괴율을 인위적으로 조정하는 것은 불가능 하기 때문에, 우선 신속하게 1차 오염된 장소에 흡착 및 고정시켜 2차오염을 방지하고, 흡착된 오염물질을 회수하여 격리시키는 방향으로 연구가 진행되고 있는 것이다.

이러한 측면에서 이 글에서는 저비용으로 쉽게 활용할 수 있는 점토(벤토나이트)를 이용한 방사능 제독기법을 소개하고자 한다.

원자



핵무기 폭발과 방사성 동위원소의 특성 비교

구 분	핵무기 폭발시 발생하는 방사능 물질	원전사고시 누출되는 방사성 동위원소
반 감 기	수시간	수백년~수천년
제 독 용 이 성	- 건조한 표면일 경우 접촉력이 작아 제독용이 - 장비는 물과 세제를 이용하여 쉽게 제독가능 - 피복류는 털거나 솔질로, 신체는 샤워시 제독가능	- 오염대상표면에 강하게 접촉되어 제독 불리 - 강한 접촉력으로 인한 물질 표면의 내부 침투로 제독불리

방사성 동위원소의 활용실태

● 방사성 동위원소(radioisotope)의 개념 및 특성

원자(atom)란 원소의 성질을 잃지 않는 최소 단위로써, 양성자, 중성자 그리고 전자로 구성되어 있으며, 양성자와 중성자를 일컬어 원자핵이라 한다.

이러한 원자핵은 양성자와 중성자의 수에 따라 동위체, 동중체, 동중성자체, 핵이성체 등의 4가지 핵종으로 구분되며, 이중 동위원소란 양성자의 수는 같으나 중성자의 수가 다른 원소를 의미한다.

이러한 방사성 동위원소는 극미량이 존재해도

쉽게 검출할 수 있는 방사선을 방출하므로, 이를 기준으로 하여 물질의 이동을 정확하게 추적할 수 있다는 장점이 있다.

또 방사선의 투과 과정에서 물질에 물리적 또는 화학적 작용을 주고 또한 물질에 따라서 투과 산란 등의 작용이 다르다는 특성을 지니므로 이러한 특성들을 이용하여 의학, 농학, 이학, 공학 등은 물론 군에서도 각 분야의 기초연구나 응용 연구에 광범위하게 사용되고 있다.

한 가지 유의해야 할 점은 방사성 동위원소의 반감기는 위의 표에서와 같이 핵무기 폭발시 발생하는 방사능 물질의 반감기와는 달리 매우 장기간 소요된다는 점이며, 이로 인해 동위원소 누출시 신속히 오염원을 제거하여 인체의 피폭량

방사성 동위원소 함유 군 장비 현황

장 비 종 류	동 위 원 소	반 감 기
• 소총, 105밀리 곡사포, 155밀리 자주포 • M1A1겨냥틀, M1나침반, KM58/59 등명구	³ H	12년
• M3A1 방사능 원체세트	⁶⁰ Co	5.3년
• 휴대용 화학작용제 탐지기(CAM)	⁶³ Ni	100년
• AN/PDR-27S 방사능 측정기	⁸⁵ Kr	10.8년
• M5478구난장갑차, M88A1구난전차 • 무선타자 송수신기(AN/GRC 26, 26D, 41, 46, 122, 142), 무선 단말장비(AN/TRC-24, 24L/P, 35, AN/MRC-69, 73) • 다목적 확성기 • 20TDN 크레인, 로라, 휠도자 • IM-174B/PD 방사능 측정기	²²⁶ Ra	1602년
• 야간조준경(AN/TVS-2, AN/PVS-1, 2), 토우 야시장비세트	²³² Th	141억년
• 화학 자동경보기(KM8K2)	²⁴¹ Am	432.2년

* 관련근거 : 한국방사성동위원소협회(www.ri.or.kr), 국군화생방방호사령부 화생방 기술정보지(02-05호)

을 최소화하는 것이 필수적이다.

● 군 장비중 방사성 동위원소 보유현황

현재 군에서 방사성 동위원소는 소총에서부터 나침의, 자주포, 탐지기 등 다양한 장비에 활용되고 있다.

일례로 화학자동경보기(KM8K2)의 경우 ‘아메리슘-241’ 이 사용되고 있으며, 방사능량은 250 μ Ci정도이고 반감기는 약 430년이다. 이 외에도 ‘휴대용 화학작용제 탐지기(CAM)’ 는 ‘니켈-63’ 이 내장되어 있으며, 방사능량은 10mCi 이며 반감기는 약 100년이다.

P.64 아래 표는 이러한 군내 방사성 동위원소가 사용되고 있는 장비의 현황을 정리해 놓은 것이다.

이러한 방사성 동위원소가 내장된 장비에 대해서는 특별한 관심 및 취급 절차가 필요하며, 장비의 파손으로 인한 방사능 물질의 누출시, 핵무기 폭발시 군에서 일반적으로 적용하고 있는 물세척이나 흡덮기 방법 등을 통한 제독방법으로는 인체에 미치는 피해효과를 줄이기 어려우며, 오히려 2차오염을 유발할 수 있다.

오염물질의 대상물체 표면 내부로의 침투현상을 방지하고 대기중 부유현상으로 인한 2차오염을 방지하기 위해서는 오염물질을 고정(fixation)시켜 일정한 장소에 고립(isolation)시

켜 폐기시켜야 한다.

점토(벤토나이트 : bentonite)를 이용한
방사능 제독방법

● 점토의 개념 및 특성

점토(clay)란 지름이 0.004mm 이하의 미세한 흡입자를 의미하며, 암석이 풍화 및 분해되면서 주로 규소와 알루미늄과 물이 결합하여 점토광물을 형성하게 된다.

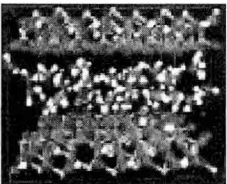
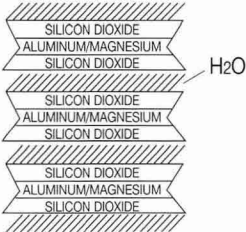
이러한 점토는 2층 또는 3층 구조를 갖게 되는데 이러한 층사이에 물, 마그네슘, 알루미늄 등의 광물을 함유하게 된다.

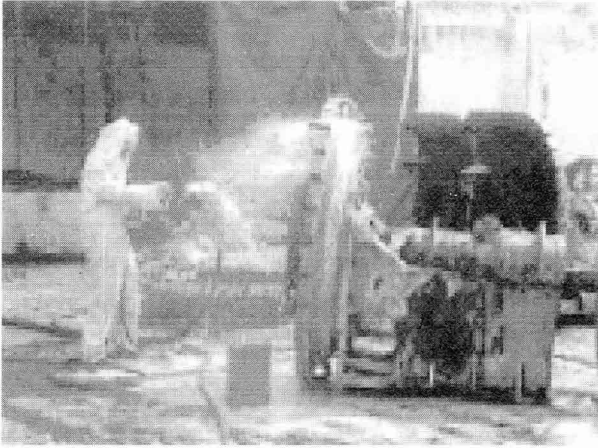
특히 팽창성 3층구조(Si-Ai-Si)로 이루어진 ‘벤토나이트(bentonite)’ 의 경우 흡착제로 널리 활용되고 있으며, 국내에서는 감포, 경주, 구룡포 등지에서 대량생산되며, 국제적으로는 미국의 와이오밍주와 중국 등지에서 생산되고 있다. 이러한 벤토나이트의 구조는 아래 표와 같다.

이러한 벤토나이트의 물리적 특성으로는, 첫째, 점착성을 갖는다는 점이다. 이러한 성질을 이용해 오염원인 방사성 핵종을 물리적으로 흡착하게 된다.

또한 화학적으로 활성을 갖지 않으므로 점착되는 재료의 화학적 특성에 영향을 주지 않으므로, 장비 및 물자 제독시 오염된 물체의 표면에

벤토나이트(bentonite)의 구조

구조식	화 학 적 구 조		색 갈
Al ₂ Si ₄ (OH)			백색, 회색, 담홍색



방사능 제독 장비

화학적 손상을 주지 않는다. 또한 높은 온도에서도 이러한 성질은 변하지 않는다. 특히, 나트륨 이온을 첨가해 줄 경우 발휘되는 '양이온 교환성'으로 인해 물체의 미세한 틈사이나 표면에 존재하는 방사성 동위원소까지도 흡착해 낼 수 있게 된다.¹⁾

둘째, 농후성이다. 즉, 매우 우수한 겔(gel)상태를 형성하여 점성이 낮은 다른 재료들을 걸쭉하게 하거나 농축하는 효과가 있다.

이러한 벤토나이트를 사용한 현탁액은 수년이 지나도 침전이 생기지 않고 완벽한 콜로이드 상

태를 형성하여 방사능 제독제로 사용시 사전에 혼합해 놓은 상태로 보관할 수도 있다는 장점이 있다.

셋째, 팽창성이다. 양질의 벤토나이트는 물과 반응시 원래의 부피보다 16배까지 팽창하며, 무게의 5배까지 물을 흡수한다.

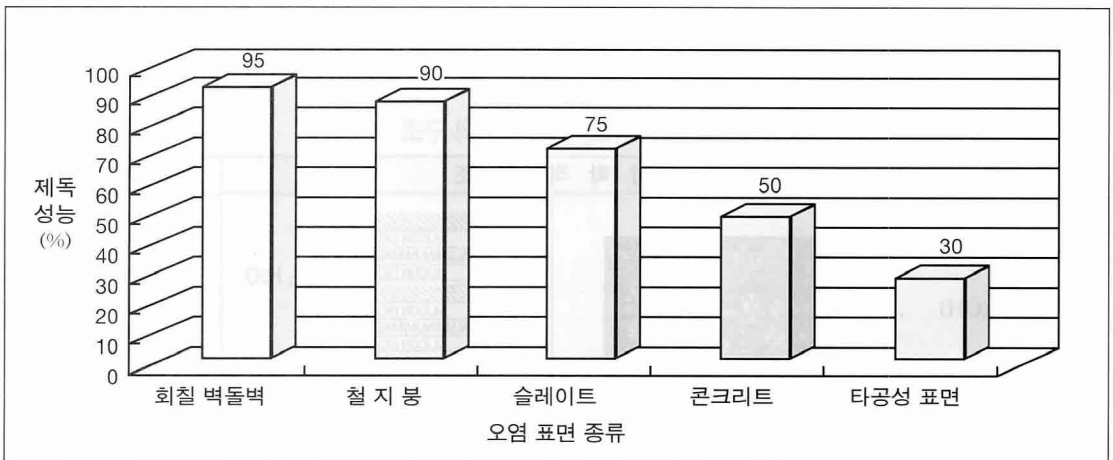
● 점토를 이용한 방사능 제독의 효과

앞에서 살펴본 바와 같은 점토의 물리적 특성을 이용하여 1차로 방사성 동위원소가 누출되어 오염된 지역에 겔상태의 점토를 분사해 오염물질을 흡착하여 대기중으로 확산되지 못하도록 건조시킨 후, 2차로는 진공청소기 등을 이용하여 점토와 오염물질을 수거후 일정한 차폐시설에 격리보관하여 폐기하게 된다.

이러한 과정을 거치는 점토 제독방법의 성능은 P.64 아래 표와 같다.²⁾

이러한 방법의 장점으로는 첫째, 점토 자체의 입자 크기가 매우 작기 때문에 제독차 이용시 관내부나 살포노즐에 침전으로 인한 막힘현상은 발생하지 않으며, 현 제독차의 별도 성능개선없이 겔상태의 점토사용이 가능하다는 점이다.

점토를 이용한 방사능 제독성능



둘째, 벤토나이트 자체의 특성은 광물 자체의 화학적 특성에 의한 것이므로 반복되더라도 효과가 감소되지 않으며 시한성 물자와는 달리 비용, 순환보급 등 군수지원 소요에 대한 부담이 적을 것으로 판단된다.

셋째, 자연계에 다량으로 존재하는 무독성 천연 점토를 이용한 제독방법이므로 환경친화적이다.

넷째, 기존의 물세척 방법과는 달리 오염물질을 흡착후 제거하므로 바람으로 인한 오염물질의 대기중 확산에 따른 2차오염 가능성이 없다는 점이다.

다섯째, 원전사고 등으로 인한 광범위 지역에 방사능 오염시 소방차를 이용한 살포도 가능하므로 신속한 민·군 통합작전도 가능하여 활용도가 크게 기대된다.

로 매우 작고 물과 혼합시 침전되지 않기 때문에 제독차나 휴대용 제독기, 소방차 등을 이용하여 분사시 분사노즐이나 내부관에 침전되지 않으며, 현 장비에 대한 별도의 성능개선 소요없이 사용이 가능하다는 점이다.

군내 방사능 함유 장비가 다양하게 운용되고 있고, 원자력발전소나 방사성 동위원소 취급업체에서 방사능 누출사고 발생시 효과적인 민·군 통합작전군 수행역할 증대를 위해 전투실험 등 일련의 절차를 거쳐 방사능 제독제의 조속한 군내 도입 및 운용이 이루어져야 할 것이다. ①

맺 는 말

현재 반감기가 수백년에서 수천년에 이르는 방사성 동위원소가 누출될 경우 신속한 제독을 위해 흡착성과 이온교환능력이 우수한 점토(bentonite)를 이용한 제독방법이 활발히 연구되고 있다.

실험 결과상 오염표면에 따라 성능은 다르지만 최철한 벽이나 철지붕의 경우에는 90% 이상의 제독성능을 보이고 있다.

이러한 제독방법은 기존의 물세척이나 흡탕기 등 군에서 적용해 온 제독방법에 비해 대기중으로 재부유에 의한 2차오염을 방지할 수 있으며, 인원의 피폭가능성을 줄이고, 오염원 자체를 진공청소기 등을 이용하여 쉽게 회수하여 차폐시설내에 쉽게 격리하여 폐기할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

특히, 점토의 입자 자체 크기가 0.004mm 이하

註

- 1) 한국경제신문, '효율적인 방사능 오염제거 신기술 개발', 2000. 1. 28.
- 2) 국군화생방방호사령부, '방사능 물질 제염법 및 제염 기술', 화생방 기술정보지 02-7호, 2002. 7. p. 16.

참 고 자 료

- ▲국군화생방방호사령부, '방사능 물질 제염법 및 제염 기술', 화생방 기술정보지 02-07호, 2002. 7
- ▲한국경제신문, '효율적인 방사능 오염제거 신기술 개발', 2000. 1. 28
- ▲한국 방사성 동위원소 협회(www.ni.or.kr)
- ▲www.wpkorea.com, 벤토나이트의 특성
- ▲양일우 외, 「군사화학」, 육군사관학교, 1996. 3