



09

이태현 전북 논산대건중 1

원전에서 발생하는 오염수와
폐기물에서 방사성 물질만
없앨 수 있을까요

A



이덕환 교수가 답하다

2011년 동일본 대지진으로 발생한 지진과 쓰나미로 후쿠시마 제1 원자력 발전소에서 폭발사고가 일어나 원자로 4기가 파괴됐습니다. 그 결과 방사성 물질이 누출돼 주변 지역을 오염시키고 있습니다. 후쿠시마 원전 사고의 여파는 10년이 지난 오늘날까지도 지속되고 있습니다.

최근에는 후쿠시마 원전의 노심에서 흘러나온 오염수의 태평양 방류 문제로 국제 사회가 떠들썩합니다. 오염수 내에는 대부분의 방사성 오염 물질과 달리 쉽게 제거할 수 없는 방사성 물질인 삼중수소(Tritium, T)가 들어 있기 때문입니다. 결국, 일본 정부는 앞으로 30년에 걸쳐서 삼중수소가 남아있는 오염수를 400배 이상 묶힌 후에 태평양으로 방류하기로 했습니다.

원전을 가동하는 과정에서 발생하는 폐기물을 처분하는 일이 불가능한 건 아닙니다. 방사성 폐기물에서 방사성 동위원소를 분리하는 기술로는

증발, 화학적 침전, 이온교환, 역삼투, 전기투석, 정밀여과 등 다양한 기술이 개발돼 있습니다. 방사선이 많이 나오지 않는 중준위 폐기물은 드럼통에 넣어서 콘크리트 구조물에 넣어둡니다. 사용 후 핵연료를 포함한 고준위 폐기물은 사용 기간이 50년 정도인 건식 저장시설을 이용하거나 지하 500m 깊이에 묻어야 합니다.

뭍힘이 최선의 방법

일본은 후쿠시마 사고 현장에서 발생한 오염수를 모아 대형 저장 탱크에 보관 중입니다. 보관된 양이 무려 125만 t(톤)에 이릅니다. 지금도 후쿠시마 원전에서는 오염수가 하루 140t씩 흘러나오고 있습니다. 오염수를 저장 탱크에 무한정 넣어둘 수는 없습니다. 저장 탱크가 사고로 파손될 수도 있고, 부식에 의해 누출될 가능성도 있습니다.

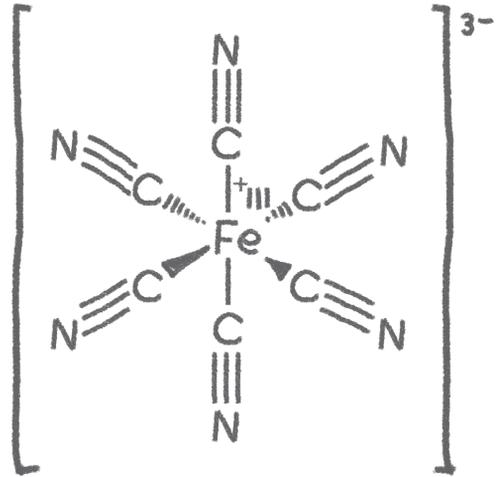
파괴된 핵연료에서 흘러나온 지하수가 방사성 물질로 심하게 오염돼 있는 건 사실입니다. 후쿠시마 원전 오염수에서는 세슘(Cs)-137을 비롯한 200여 종의 방사성 핵종이 검출되고 있습니다. 앞으로도 오염수는 계속 흘러나올 수밖에 없습니다. 일본 정부가 파괴된 핵연료를 수거해서 안전하게 관리하는 기술을 서둘러 마련해야 합니다.

오염수에 들어 있는 방사성 물질 중에서 삼중수소를 제외한 나머지는 이온교환수지를 이용하는 다핵종처리설비(ALPS)로 제거할 수 있습니다. 오염수가 ALPS 속 이온교환수지를 통과하면, 오염수에 녹아있던 방사성 핵종이 이온교환수지에 붙어있던 수소 이온이나 수산화 이온과 교환되는 식입니다. ALPS를 거친 처리수에 남아있는 방사성 물질은 삼중수소 이외엔 모두 국제적으로 허용되는 기준을 넘지 않습니다. 이는 국제원자력



기구(IAEA)도 인정하는 사실입니다.

ALPS 외에도 흡착제를 활용해 오염수 속 방사성 물질을 없앨 수 있습니다. 제올라이트와 같은 점토, 실리카, 알루미나, 산화 소듐으로 만든 흡착제, 친수성 하이드로젤에 프러시안 블루(페로시아닌화 철)를 고정한 흡착제 등이 개발되고 있습니다.



프러시안 블루

오염수 내의 세슘은 체내의 주요 전해질 중 하나인 포타슘과 화학적 성질이 비슷합니다. 이 때문에, 인체에 쉽게 흡수돼 포타슘을 대체하고 방사선을 내뿜는 매우 위험한 물질입니다. 원전 사고로 세슘을 흡입했을 때 치료제로 사용하는 프러시안 블루는 세슘과 빠르게 결합해 체외 배출을 촉진해 줍니다.

최근 세슘과 같은 방사성 핵종을 걸러내는 페로시아닌화 구리를 입힌 수 μm (마이크로미터· $1\mu\text{m}$ 는 100만 분의 1m) 크기의 수중 나노봇도 등장하고 있습니다. 니켈로 만들어진 이 로봇을 외부에서 원격으로 조정할 수 있어 방사성 폐기물을 원하는 위치로 옮길 수 있습니다. 작업자의 방사선 노출도 없습니다.

현재 저장 탱크에 들어 있는 오염수의 삼중수소 오염도는 리터당 58만 Bq(벵크렐)입니다. 일본의 배출 기준 6만 Bq를 훌쩍 넘어서는 수준입니다. 처리수에서 삼중수소는 물 분자의 수소 자리를 대체해 T_2O 형태로 존재합니다. 삼중수소수와 물 분자는 화학적·물리적 성질이 매우 비슷하기 때

문에 걸러내는 일이 쉽지 않습니다.

오염수를 ALPS로 제거한 처리수 속 삼중수소 문제를 해결할 방법이 전혀 없는 것은 아닙니다. 처리수를 충분한 양의 바닷물로 묽히는 방법입니다. 처리수를 400배 이상 묽히면 삼중수소의 오염도를 일본 정부가 약속한 1500Bq 이하로 낮출 수 있습니다. 독성 물질에 의한 오염을 해결하는 가장 일반적인 방법은 오염 물질의 농도가 충분히 낮아지도록 묽히는 것입니다. 원전 오염수의 경우도 예외가 아닙니다.

물론 처리수를 바닷물로 묽히더라도 삼중수소의 총량은 변하지 않고 그대로 남아있습니다. 그렇다고 걱정할 이유는 없습니다. 방사성 오염 물질의 위험성은 ‘총량’이 아니라 ‘농도’에 비례하기 때문입니다. 1L의 처리수를 400배로 묽힌 부피에 들어 있는 삼중수소를 모두 마시는 것은 현실적으로 가능하지 않습니다.

후쿠시마 오염수에 들어 있는 삼중수소의 총량은 3g 수준으로 파악되고 있습니다. 한없이 넓은 태평양의 바닷물을 모두 심각하게 오염시키기에 턱없이 적은 양입니다. 참고로 우리나라 동해에 한 해 동안 내리는 빗물에 들어 있는 삼중수소의 양이 대략 5g 정도입니다. 우주에서 날아오는 높은 에너지의 우주선(cosmic ray)에 의해서 자연적으로 만들어진 삼중수소입니다.

고준위 폐기물의 처분

사용 후 핵연료를 비롯한 고준위 폐기물에 들어 있는 방사성 동위원소 중에는 물에 잘 녹는 수용성 물질과 그렇지 않은 물질이 있습니다. 물에 녹지 않는 비수용성 동위원소는 지층에서 쉽게 이동하지 못하는 특징이 있

습니다. 35cm 두께의 점토층에 묻어 두면 환경을 오염시킬 걱정을 할 필요가 없습니다. 방사성 핵종의 원자수가 처음의 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간을 반감기라고 합니다. 반감기 430년의 아메리슘-241은 점토층을 통과하는 데에 19만 년이, 그리고 반감기 2만 4360년의 플루토늄은 31만 년이 걸립니다.

하지만 물에 잘 녹는 수용성 동위원소는 지하수에 녹아서 멀리까지 이동할 수 있어서 철저한 관리가 필요합니다. 다행히 수용성 동위원소는 반감기가 매우 짧습니다. 스트론튬(Sr)-90은 반감기가 29년이고, Cs-137은 30년에 지나지 않습니다. 그런 동위원소는 부식이 잘 안 되는 구리 용기에 넣어서 지하에 묻어두면 최대 300년까지 안전하게 관리할 수 있습니다.

방사성 폐기물을 유리 격자에 넣어두는 유리화 기술도 있습니다. 이온 교환 수지를 이용해 방사성 원소를 추출한 뒤 용광로에 넣어서 가열해 유리로 만드는 기술입니다. 실제로 미국 오하이오주 신시내티 남서쪽에 위치한 페르나드 보존장에서 사용하는 기술입니다.

사용 후 핵연료의 양이 엄청나게 많은 것도 아닙니다. 한국이 운영하는 25기의 원전에서 발생하게 될 사용 후 핵연료의 양은 모두 합쳐도 약 5만 t을 넘지 않습니다. 석탄 화력 발전소에서 발생하는 폐기물의 양과는 비교할 수도 없을 정도로 적습니다. 더욱이 사용후 핵연료에서 방사성 물질만 분리하는 기술을 개발하면 방사성 폐기물의 양을 5% 수준으로 줄일 수도 있습니다.

반감기는 방사성 동위원소가 붕괴하면서 방출되는 방사선의 양에 반비례합니다. 반감기가 길어지면 방출되는 방사선의 양은 오히려 줄어들게 됩니다. 우라늄 등 반감기가 긴 동위원소를 무작정 무서워할 이유가 없다

는 뜻입니다. 실제로 화강암과 같은 화성암에는 반감기가 매우 긴 우라늄
이나 토륨(Th)과 같은 방사성 동위원소가 들어 있습니다. 그렇다고 화강암
이 우리에게 심각한 피해를 줄 것이라고 걱정할 필요는 없습니다.