

핵 오염수, 모르는 것을 안전하다고 하는 것이야말로 가장 비과학적

최무영교수 (서울대학교 물리학과 명예교수)

물리학자로서 저는 후쿠시마 핵폐수 투기 문제를 오직 과학의 관점에서 고찰하고 말씀드리려 합니다.

핵폐수는 안전하며 바다에 내버려도 아무런 문제가 없고, 이는 과학적 결론이니 믿어야 한다고 합니다. 그런데 과학은 믿을 수 있다는 신뢰성은 어디서 올까요? 이를 답하기 위해서는 과학의 의미와 성격, 그리고 종합적 기능을 살펴볼 필요가 있습니다. 먼저 과학은 열려 있습니다. 조직적 회의(의심)를 위한 비판적 사고에 활짝 열려 있어야 하지요. 그리고 정량성을 지닌 지식의 실증적 검토와 이를 통한 재현성이 과학을 신뢰할 수 있는 이유입니다. 아울러 과학의 덕목으로서 보편성, 공평, 공공성 등이 과학의 객관성과 합리성을 담보합니다. 문제는 과학적 판단에서 비인식적 가치가 개입하면 바로 왜곡이 될 수 있다는 점입니다. 예컨대 권력과 이윤, 이념과 종교 등 비인식적 가치에 의해 왜곡되어 큰 해악을 끼친 경우를 과학사에서 여러 차례 볼 수 있습니다. 이러한 왜곡을 막기 위해서는 교차 검증, 곧 독립적이고 반복적 검증이 반드시 필요합니다.

그런데 후쿠시마 핵폐수에 대해서 알려진 일본과 국제원자에너지안전단체IAEA의 자세는 이러한 기준에서 크게 부족해 보입니다. 시료 채취와 검사 핵종, 대표성과 모형에 관한 가정, 생명 영향 평가 등에서 검증의 보편성과 공평성을 찾기 어렵습니다. 특히 파문을 일으킨 스트론튬(⁹⁰Sr) 농도의 경우를 보면 정량성과 재현성도 신뢰하기 어려워 보입니다. 더욱이 IAEA의 일반안전지침(General Safety Guide) 8-9에도 언급된 정당성 기준을 무시하면서 공공성을 위반했다는 의심이 갑니다. 결국 신뢰성 근거가 상당히 미흡하고 특히 교차 검증을 하지 않은 상황이니 과학적 검증이라 볼 수 없습니다. 따라서 과학적으로 타당한 결과를 얻었다고 믿기 어렵습니다.

여기서 과학의 성격과 한계를 올바르게 인식하지 못하면 위험할 수 있습니다. 무엇보다 과학에 대한 오해로서 과장된 신뢰를 들 수 있는데 이는 위험한 낙관주의와 과학(만능)주의를 가져오며 나아가 과학을 신화로 여기게 됩니다. 실제로는 과학이 무기력할 수 있지요. 이번 후쿠시마나 지난번 체르노빌 핵 사고를 처리하는 과정이 이를 보여준다고 하겠습니다. 과학의 또 다른 한계로 세분화에 따른 무능력함을 들 수 있습니다. 과학은 절대진리를 추구하는 것이 아니며 단 하나의 정답을 주지 않는 경우가 많습니다. (예컨대 후쿠시마 핵폐수를 마시면 얼마나 피폭이 될지 계산해보면 조건에 따른 변수의 불확실성으로 결과가 수백 배 달라질 수도 있습니다. 이와 관련해서 흔히 기준값보다 작으면 안전하다고 생각하기 쉬운데 기준값이란 안전이 아니라 현실적인 관리 기준을 가리킵니다. 기준값보다 작더라도 피폭량과 함께 암 위험도는 늘어나며 어린이와 여성에게는 더욱 위험합니다.) 특히 위험과 연관관계가 불확실한 경우에는 판단을 유보하고 “잠재적 위험성”으로서 예의주시해야 하지요. 이를 “위험성 없음”으로 오인한다면 매우 비과학적인 태도입니다.

덧붙여서 현대사회에서 이를 포함한 대부분 심각한 문제들은 (세분화된) 하나의 전문분야에 국한 되지 않고 여러 영역에 걸쳐 있다는 사실을 강조합니다. 제대로 이해하고 해결하기 위해서는 조각난 분야에 매몰되어 환원론과 결정론에 기반을 둔 기계론적 사고에 갇히지 말아야 하고, 온전한 전체를 볼 수 있어야 합니다. 이것이 올바른 “과학적” 태도입니다.

그러면 결론적으로 후쿠시마 핵폐수는 안전할까요? 물은 필수 자원이고 온 세계 많은 지역에서 물 부족으로 어려움을 겪고 있는데, 왜 버리려 할까요? (그러니 답은 명백하다고 하겠습니까.) 일본에서는 식수는커녕 농업이나 공업용수로 쓰지도 않고 멀리 내버린다는데 한국에서는 마시겠다고, 참으로 괴이한 이야기, 곧 괴담이 아닐 수 없습니다. 과학은 상식과 어긋나지 않습니다. (대부분 경우에 과학은 상식과 어긋나지 않으며, 그렇지 않은 경우는 면밀한 검토를 통해서 상식으로 만들어가게 됩니다. 이른바 상상을 상식으로 만드는 작업이 과학이지요.) 모든 잠재적 위험성은 최소한으로 낮춰야 한다는 당연한 사실이 과학의 명확한 메시지입니다. 세계의 모든 시민이 이러한 “상식”을 가지고 잘 분별해서 판단할 수 있기를 바랍니다. 고맙습니다.

피폭량 계산

방사능 r (Bq: 초당 붕괴 수)

방사선(α, β, γ , 중성자 n, \dots)의 에너지 E (J)

피폭 기간 T (초): $\int_0^\infty dt e^{-t/T} = T = \frac{\tau}{\ln 2} = 1.44\tau$ (τ : 생물학적 반감기)

피폭 기관 (허파, 생식기, 이자, 골수,...) 질량 m (kg) (< 온몸 질량)

⇒ 피폭량 rET/m (Gray = J/kg)

유효피폭량 $P = arET/m$ (Sv = J/kg), 가중값 $a = 1$ (γ) ~ 20 (n)

보기

$^3\text{H} \rightarrow \text{He}$ (β), $E = 2 \times 10^{-15} \text{J}$, 반감기 12y(년), 생물반감기 $\tau = 10$ 일 (OBT유기결합: 1년 이상)

⇒ $T = 10^6 \sim 10^7$ 초

후쿠시마 핵폐수(“처리수”): $r = 7 \times 10^4 \text{ Bq/L}$ (총량: 10^{15} Bq) (cf. 월성 등: 10^{14} Bq/y 배출)

1L 마시면 $P = 0.002 \sim 0.02 \text{ mSv}$ (가슴 X-ray) ($a = 1.5, m = 50 \text{ kg}$)

날마다 1L 마시면?? (특히 아이: 몸무게도 작고 세포분열 활성화)

(^3H 보다 Cs, Sr, I, C, Pu, Am,... 등 훨씬 위험 ↔ 정상운전 핵발전소: ^3H 만 배출)

$^{137}\text{Cs} \rightarrow \text{Ba}$ (β, γ), $E = 2 \times 10^{-13} \text{ J}$, 반감기 12년, 생물반감기 $\tau = 70$ 일 ⇒ $T = 100$ 일 = 10^7 초

생선 (100Bq/kg) 200g씩 1년 동안 일주일에 세 번 먹으면: $r = 2 \times 10 \times 150 = 3 \times 10^3 \text{ Bq}$

$P = 1.5 \times 6 \times 10^3 \times 10^{-13} \times 10^7 \div 10 = 10^{-3} \text{ Sv} = 1 \text{ mSv}$ ($a = 1.5, m = 10 \text{ kg}$)

(이자에 농축: m 작고 τ 훨씬 길 수도 ⇒ **취장암**)

18,000 Bq 우럭 (후쿠시마 만): 한번만 먹어도 $P = 6 \text{ mSv}$

$^{90}\text{Sr} \rightarrow \text{Y} \rightarrow \text{Zr}$ (β), $E = 4 \times 10^{-13} \text{ J}$, 반감기 29년, 생물반감기 $\tau = 18$ 년 (1~50년) ⇒ $T = 10^9$ 초

(뼈와 골수에 농축 ⇒ **골육종, 백혈병**)

후쿠시마 핵폐수 (“처리수”, ALPS 고장? 이유 모름) 430,000 Bq/L

1L 마시면 $P = 1 \text{ Sv}$ (여러 해에 걸쳐서. 하루에 받으면 사망 가능)

생선 오염도 (얼마나 농축되어 있을까?)