Nov. 13, 2013 | NO. 79

ISSUE BRIEF
THE ASAN INSTITUTE for POLICY STUDIES

후쿠시마 방사능과 원자력의 미래

박 지 영
연구위원
아산정책연구원

2011년 3월 11일 후쿠시마 사고는 전 세계에 큰 충격을 주었고 이웃하고 있는 우리나라 입장에서는 사고의 영향에 대한 깊은 우려와 함께 이에 대한 정확한 분석이 중요하게 대두되었다. 당시 국내에서는 우리나라 근해 오염도 측정, 공기 중 방사능 측정, 식품안전 등에 대한 조사가 이루어졌고, 국내에 영향을 미치는 심각한 정도의 오염은 없는 것으로 잠정 결론지었다. 그러나 사고 이후 2년 반이 경과한 현 시점에서도 후쿠시마 원전 사고는 수습되지 않고 있으며, 방사능 피해에 대한 우려는 수그러들지 않고 있다. 방사능에 대한 막연한 우려는 수산물 섭취를 제한하는 등의 불편함을 초래하였고 원전에 대한 불신은 국내 전력수급에 대한 장기계획을 변화시키는 등 점차 국내 문제화 되어가는 양상이다. 그러나 수산물을 거부하고 국내 원전을 없애는 것 등은 우리가 처한 상황을 고려할 때 제한적이고 소극적인 대처 방식이며 적절치 못한 측면도 있다. 따라서 현재 후쿠시마 사고로 인한 방사능의 영향을 확인하여 과도한 불안감을 없애는 것이 필요할 것이다. 또한 후쿠시마 사고의 수습과 유사사례 방지를 위한 대책 수립 과정에서 우리의 역할을 다시 모색해 볼 필요가 있다.

1. 후쿠시마 사고로 인한 방사능 문제

후쿠시마 사고 직후 국내에서 관측된 방사능의 최대농도는 공기 중 방사성요오드(I-131) 0.0031Bq[1]/m^3, 방사성 세슘(Cs-137) 0.0013Bq/m^3 등으로 2010년 대비 유의한 차이

가 없는 것으로 보고되었다.[2] 또한 원자력안전기술원에서는 국내 해안 해수 40개 시료에 대한 방사능을 측정한 결과, I-131은 검출되지 않았으며, 극미량의 Cs-137이 평소와 비슷한 수준으로 검출되었다고 밝혔다.

사고 후 2년 6개월이 지난 현 시점에서 대기 오염 정도는 주변국이나 일본 내에서도 후쿠시마 주변을 제외하고는 크게 우려할 만한 상황은 아닌 것으로 보인다. 사고지역 주변은 방사성 물질로 인하여 여전히 높은 방사능 준위를 보이고 있으나 폭발 등으로 인한 공기 중 부유물질 발생은 없는 상태이다. 일본은 일본 내 방사능 농도를 실시간 제공하고 있으며[3] 후쿠시마 50km 이내 주변 지역을 제외하고는 일본 내 공기 중 방사능 농도는 대부분 정상수치를 유지하고 있다. 이에 따라 출입제한지역도 줄여, 현재 반경 10km를 유지하고 있다. 그러나 사고지역 인근은 여전히 평상시보다 300배 가량 높은 방사능 수치를 보이는 곳도 있으며, 일본 영토 내에서의 평상시 대기 방사능 농도를 0.037~0.071μSv[4]라고 볼 때 2013년 9월 기준 사고지역 인근은 0.02mSv로 이러한 방사능 수치는 연간 피폭량으로 환산할 경우 175mSv에 이르는 양이다. 참고로 일반인의 인공방사능에 의한 연간 허용 피폭선량은 1mSv이며 작업종사자의 경우 50mSv이다. 국내의 경우 원자력안전위원회에서 실시간으로 대기 중 방사능 농도 수치를 제공하고 있는데 사고 전후 지속적으로 정상수치를 유지하고 있다.

해양수 오염 정도에 대해서는 일본 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Authority)에서 주기적으로 인근 해안 시료채취 및 분석결과를 공지하고 있고 우리나라도 원자력안전기술원에서 주기적으로 국내 연안 시료를 채취하여 분석하고 있다. 분석결과는 원자력안전위원회를 통해 공지되고 있으며 사고 직후부터 현재까지 정상수치를 벗어난 바 없다. 우리나라 해수 방사능 분석은 2011년 3월 후쿠시마 원전 사고 이전에는 21개 정점에서 6개월마다 실시하고 있었으나 후쿠시마 사고 이후 지금까지 동중국해역까지 확대하여 27개 정점에서 3개월마다 실시하고 있다. 사고 이후 해수에 대한 감시는 후쿠시마 원전으로부터 유출된 오염수가 우리나라 해역에 영향이 있을 수 있다는 우려를 감안하여 최근 한층 강화 되었다. 그리고 해양수산부와 협의하여 동중국해역은 월 2회, 중북부해역은 월 1회로 해수의 분석 주기를 단축하여 모니터링을 강화하기로 결정하였다.[5]

오염수 방출로 인한 수산물 오염의 경우 국내에서는 사고 직후인 2011년 5월 연안 해양 시료 분석결과 정상 수치가 공지되었고,[6] 2011년 7월 수입 냉장대구에서 kg 당 97.9Bq/

kg이 검출된[7] 바 있으나 국내산 수산물의 오염이 보고된 적은 없다. 일본의 경우 2011년 9월 우럭에서 kg당 670Bq 검출이 보고되었으나 이는 어로활동이 금지되어 있는 곳에서 조사목적으로 채취한 시료 분석결과였다. 일본 및 국내에 적용되는 일본산 식품에 대한 기준치는 100Bq/kg이며 오염된 냉장대구와 같은 정도의 식품 기준치인 100Bq/kg의 식품을 10kg 섭취하더라도 방사능에 의한 피폭량은 0.013mSv로 이에 따른 영향은 미국 왕복 비행 시 피폭량의 1/7 수준밖에 되지 않는다.[8] 식품의약품안전처에 따르면 후쿠시마 원전 사고가 발생한 2011년 3월 14일부터 올해 7월 5일까지 수입 일본산 수산물 1만 2,588건을 검사한 결과 130건에서 방사능이 검출됐지만 이들 모두 기준치 이내였으며 부적합 판정은 없었다.

표 1. 방사선량 비교

방사선량	영향
0.013mSv	100Bq/kg 생선을 10kg 섭취 시 받은 정도의 피폭량
0.1mSv	일반 흉부 X-ray 촬영을 한번 받은 정도의 피폭량 서울-뉴욕 왕복 비행 시 받게 되는 피폭량
1mSv	일반인에 대한 연간 인공방사능 허용 피폭량
2.4mSv	1년간 받는 자연방사선량
10~30mSv	CT 촬영 시 받게되는 피폭량
50mSv	작업종사자에 대한 연간 인공방사능 허용 피폭량

해양에는 후쿠시마 사고 이전에도 방사능이 존재하고 있으며 최근 해양 방사능과 관련된 추정치를 보면[9] 해양에서는 자연적으로 존재하는 U-238에 의한 방사능 37,000PBq[10], K-40에 의한 15,000,000PBq이 추정되고 있다. 인공방사능으로는 핵무기 실험에[11] 의한 400PBq 중 대부분, 체르노빌 사고로 인한 85PBq 중 일부가 해양에 존재하는 것으로 추정된다. 후쿠시마 사고에 의한 방사능 준위는 해양으로 직접 방출된 3~30PBq, 공기 중으로 방출된 10~30PBq[12] 등으로 약 10~45PBq정도로 추정하고 있다. 이는 자연적으로 존재하는 방사능과 비교해서는 매우 낮은 수치이고, 인공적으로 생성된 방사능 준위와 비교해도 지난 핵무기 실험에 의한 해양 오염도의 약 10% 정도에 해당하는 정도이다. 또한 후쿠시마로부터 매일 600억 Bq이 방출되어 해양에 단순 누적된다고 가정할 때 1년간 방사능의 양은 0.02PBq 정도로 기존 해양 방사능 준위를 크게 변화시키지 않는다.

따라서 이러한 후쿠시마 사고로 인한 전 지구적 방사능 준위 변화에 따른 수산물 영향은 일본 내 사고지역 부근을 제외하고는 크지 않을 것으로 여겨지고 있다. 일부 연구결과에[13] 따르면 1년간의 어류 섭취를 통해 받게 되는 방사능에 의한 인체피폭은 미국 서해안의 경우 자연 방사능에 의해 570.7μSv, 후쿠시마 사고로 인한 인공 세슘에 의해 0.9μSv 일 것으로 추정되었으며 일본의 경우 자연 방사능에 의해 1,339.7μSv, 후쿠시마 사고로 인한 인공 세슘에 의해 32.6μSv일 것으로 추정하였다.[14]

그러나 앞서 제시된 방사능 준위와 그에 따른 영향을 근거로 후쿠시마 사고로 인한 피해를 논하기에 시기상조인 이유는 후쿠시마 사고와 이로 인한 영향이 지속되고 있기 때문이다. 사고 발발 후 2년 6개월이 지난 지금까지도 사고는 수습단계에 들어서지 못하고 있으며 연일 새로운 뉴스가 흘러나오고 있다. 물론 현재 유출되고 있는 방사능 양은 사고 당시와 비교할 때 낮은 수준이다. 그러나 문제는 오염수가 아직까지 통제되지 못하고 있으며 통제하기 위한 대책이 아직 확실하게 마련되어 있지 않다는 것이다. 이러한 상황에서 현재까지 유출된 오염수의 정확한 양은 물론 얼마나 더 많은 양의 오염수가 바다로 유출되어야 현 사태가 종결될지 모르는 것 때문에 불안감이 더해지고 있는 것이다.

2. 후쿠시마의 현재와 일본의 대응

지난 7월 일본의 도쿄전력회사(Tokyo Electric Power Company, TEPCO)는 후쿠시마 원전 인근 지하수에서 최고 500,000Bq/L의 트리튬, 890,000Bq/L의 베타선, 12,000 Bq/L의 Cs-137이 검출되었다고 발표하였다.[15] 이는 사고원전을 냉각시키기 위해 주입되는 오염된 냉각수 저장탱크에서의 누수와 사고원자로로부터의 오염수가 지하수와 만나 방출되는 것으로 조사되었다. 일본은 이를 막기 위해 저장탱크를 보수하는 것은 물론이고, 사고원전 주변에 동토 파수벽을[16] 세워 오염수가 해양으로 흘러나오지 못하도록 차단할 계획을 세웠으며 이를 위한 단계를 진행 중이다. 과거 체르노빌 사고는 후쿠시마 사고보다 훨씬 심각한 사고였음에도 사고 장소가 내륙에 위치함으로써 주변과의 차단이 가능하였다. 반면 후쿠시마 사고의 경우 육상 및 대기를 통한 방사능 누출은 체르노빌보다 훨씬 적었으나 해양으로 유출되는 방사능 때문에 사고 후 30개월이 더 지난 현 시점에서도 우려의 목소리가 있는 것이다. 지하수 문제로 오염원을 고립시키지 못하고 있고, 해양에 인접한 원전에서의 사고는 인류 최초이므로 이에 대한 대책에 고심하고 있

는 실정이다. 또한 사고 시 용융된 핵연료봉에 대한 처리문제 등과 함께 후쿠시마 원전은 완전한 수습까지 아직 멀고 험한 길을 앞에 두고 있으며 천문학적인 수습비용이 투입되어야 할 것이다.

사고수습 초기 국제사회의 도움을 거부하고 사고수습이 통제하에 있다고 큰소리치던 일본 정부 및 도쿄전력은 현재 web을 통해 RFI(Request for Information)를 구하고 있다. 내용은 ① 하루 400톤에 달하는 오염수의 안전한 저장을 위한 저장조와 누수방지 문제, ② 오염수 처리문제, ③ 인접 항만해양수의 방사성 물질 정화 문제, ④ 사고원전 내의 오염수 차단과 토양 제염을 포함한 오염원 처리 문제, ⑤ 오염지역으로의 지하수 유입 차단 등이다. 그러나 이러한 시급한 오염수 처리 관련 내용 이외에도 사고원전 내 핵연료봉 인출 및 차폐, 사고시설 제염 및 해체 등 산적한 사고수습에 대해 도쿄전력과 일본정부가 얼마나 심각하고 철저하게 대응하고 있는지에 대해서는 우려가 지속되고 있다. 사고 후 상당기간이 지나기까지 일본정부는 도쿄전력에 사고수습을 맡긴 채 일방적으로 보고결과를 신뢰하는 양상을 보였고, 수개월 전 비로소 사고수습에 문제가 있음을 시인하게 되었다. 따라서 현재의 문제는 일본정부에 대한 신뢰성 저하와 함께 일본정부의 발표내용 전반에 대한 불신을 키우게 되었으며 인류 역사상 최초로 발생한 사고에 대한 일본 도쿄전력의 기술적 사고수습 능력에 대한 의구심은 수그러들지 않고 있다.

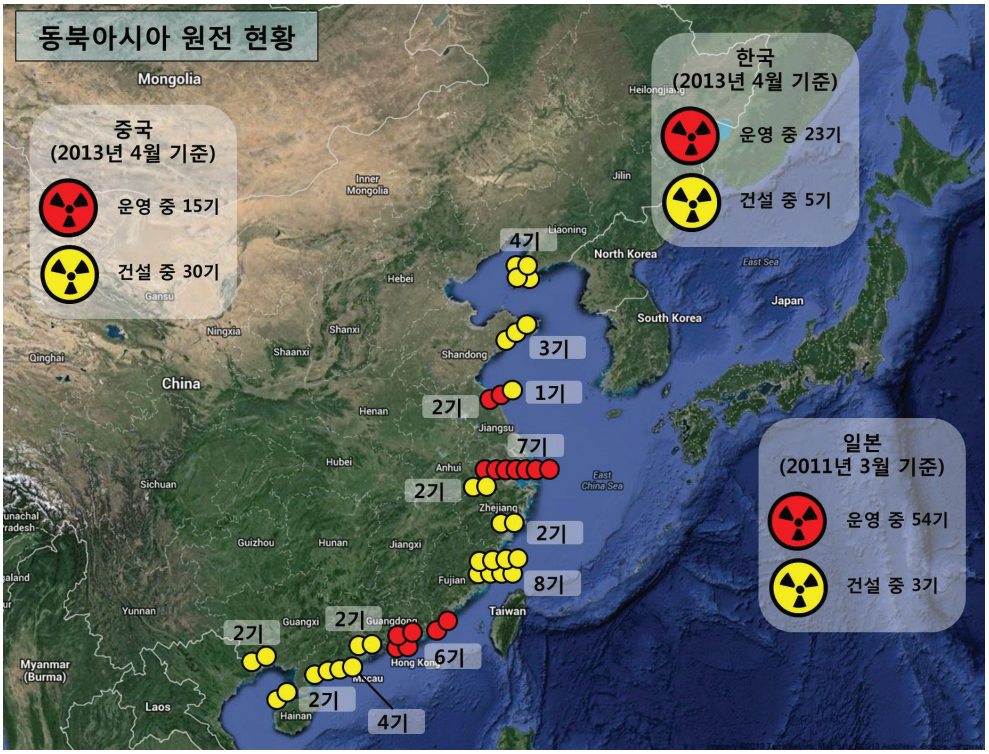
3. 무엇이 정말 문제인가?

후쿠시마 사고는 지진과 쓰나미로 인한 원자로의 냉각전원 상실과 이에 따른 노심용융, 폭발에 의한 격납용기 손상 등이 순차적으로 진행되며 발생하였고, 사고의 직접적인 원인은 자연재해였다. 그러나 보다 근본적인 원인은 일부 경고에도 불구하고 강화되지 않은 쓰나미 대비 설계 안전도 부족과 사고 수습과정에서 드러난 미흡한 대응 등이라고 할 수 있다. 사고 직후 국내외 전문가들은 후쿠시마 사고를 기회로 공학적으로 더욱 안전한 원자력발전을 꾀할 수 있을 것이며, 후쿠시마는 원자력발전사에 교훈으로 남을 수 있을 것이라 판단하였다. 그러나 거듭되는 인간의 실수와 자의 및 타의에 의한 정보 왜곡, 원자력발전을 둘러싸고 있는 일본정부 및 산업계의 거버넌스 문제, 국제사회 역할의 한계 등을 지켜보면서 일본의 후쿠시마 사고를 일본만의 문제로 회부해 버릴 수만은 없다.

우리는 일본의 원전사고와 사고 수습과정이 인접국인 우리나라에 주는 교훈을 되새겨볼

필요가 있다. 동북아시아는 원자력발전소가 과밀하게 위치한 지역이다. 인접국 중국은 우리나라 서해와 마주보고 있는 중국 해안선을 따라 수십 기의 원자로를 건설·운영 중이며 앞으로도 그 수는 늘어날 전망이다. 중국 해안에 위치한 원자력발전소 사고는 후쿠시마 사고와는 비교할 수 없을 정도로 우리나라에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 이는 핵무기가 비단 그것을 소유하고 있는 나라 단독의 문제가 아니듯이 원자력발전 또한 한 국가 단독의 문제가 아님을 말해준다. 때문에 지역 및 국제사회의 역할이 중시되어야 하고, 이를 위한 제도적 장치가 마련되어야 한다.

그림 1. 동북아시아 원전 현황[17]



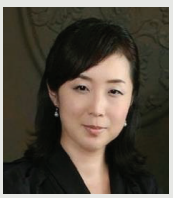
현재 한중일 3국은 원자력안전에 대한 협의체를 구성하여 운영하고 있으나 실질적 협력이 활성화되지 못하고 있다. 일본에서 진행하고 있는 web을 통한 정보수집, 지역협력 제안 등은 모두 적극적이지 못한 대응이므로 3국의 비상 대비 정보공유와 협력체제 구성을 위한 노력은 매우 시급하다.

국내적으로는 일본 정부의 실패를 답습하지 않도록 원자력 관련 거버넌스를 재정비해야 할 것이다. 우리나라도 방사능 문제와 관련하여 정부를 향한 국민의 신뢰는 높지 않으므로, 국민의 안전과 관련된 종합적 판단과 정보를 제공할 수 있는 시스템을 견고히 해야 한다. 국내에서는 원전과 환경에 대한 감시는 원자력안전위원회, 방사능 피해 식품 관련 사항은 식품의약품안전처, 지하수 오염 등의 관리는 환경부로 나누어져 있으며 산업체와 관련된 사항은 산업통상자원부 소관이다. 이러한 업무의 분할은 평상시에는 효율적이나 비상시에는 일원화된 대응이 필요하다. 현재 해수부, 식품의약품안전처, 원자력안전위원회에서는 상호 협력하에 모니터링과 정보제공을 차질 없이 진행하고 있는 것으로 보이나, 현 정부에 들어서면서 약화된 원자력안전위원회의 역할 수행에 미비함이 없도록 제도적 장치를 보완할 필요가 있다. 또한 국제적 역할과 관련하여서도 사고수습과 대응에 대해 동북아지역의 원자력 협력체를 주도적으로 이끌 수 있도록 지원이 필요할 것이다.

우리는 후쿠시마 사고로 인한 오염물질이 모두 환경에 희석되기를 대책 없이 기다리고 있을 것인가? 적극적인 대응과 대책 없이는 우리는 점점 더 후쿠시마의 영향력 안으로 들어가게 될 것이며 원자력에 대한 불신은 원자력 시대의 종말을 앞당기게 될 것이다.

본 문건의 내용은 필자의 견해로 아산정책연구원의 공식 입장과는 다를 수도 있습니다.

1. 베크렐(Bq)은 방사성 물질이 방사선을 방출하는 능력을 측정하는 단위이다.
2. 방사선안전전문가 포럼 (2013) 방사능 무섭니?
3. 해당 자료는 http://new.atmc.jp에서 찾아볼 수 있다.
4. 시버트(Sv)는 사람이 방사선을 쬐었을 때 받는 영향을 나타내는 단위이다.
5. 해당 자료는 http://www.nssc.go.kr/nssc/notice/info_room.jsp에서 찾아볼 수 있다.
6. 원자력안전기술원 발표.
7. 농림수산식품부 발표.
8. 방사선안전전문가 포럼 (2013) 방사능 무섭니?
9. 해당 자료는 www.whoi.edu에서 찾아볼 수 있다.
10. PBq는 Peta Bq이며 Peta = 10^{15}이다.
11. 미국은 1944년부터 1,000번이 넘는 핵실험을 감행하였고 특히 1946~1958년 비키니 섬에서 23차례에 걸쳐 행해진 대기 및 수중 핵실험을 통해 막대한 양의 방사능이 해양 및 대기로 유출, 프랑스는 1960~1996년 210차례의 실험을 감행하였다.
12. 후쿠시마는 해안에 위치하므로 공기 중으로 방출된 양 중 절반가량이 해양에 축적되었을 것으로 추정한다.
13. Nicholas S. Fisher, et al. (2013) Evaluation of radiation doses and associated risk from the Fukushima nuclear accident to marine biota and human consumers of seafood, Proc. *Natl Acad Sci USA* 110(26):10670-10675.
14. 미국의 1년간 어류 섭취량 24.1kg, 일본 56.6kg 적용.
15. Tokyo Electric Power Company 발표자료 (2013.7.22).
16. 오염지역에 벽을 세우고 땅을 얼려 오염수 유출을 방지하겠다는 계획이다.
17. 한국수력원자력, 중국 SNTPC(State Nuclear Power Technology Cooperation) 자료 재구성, 지도출처-구글맵.



박지영 박사는 아산정책연구원 연구위원으로 아산핵정책기술센터 부센터장과 과학기술정책센터장을 맡고 있다. 서울대학교에서 핵공학 학사와 석사, 미국 University of Michigan에서 핵공학 박사학위를 취득하였으며 서울대학교 정책학 석사학위도 취득하였다, 2000년부터 2012년까지 한국과학기술기획평가원에 재직하였으며 R&D 타당성조사 센터장을 역임하였다. 주요연구분야는 핵정책, 근거중심 과학기술정책, 과학기술과 안보정책 등이다.

비매품
94340
9 791155 700228
ISBN 979-11-5570-022-8
ISBN 978-89-97046-06-5(SET)