

원자력의 대국민 이해를 위한 방사선 관련 단위 통일

최 종 서

한전 원자력환경기술원 연구개발실 위촉연구원

박 중 길

한전 원자력환경기술원 연구개발실 책임연구원

1942년 12월 2일, 미국 시카고 대학 축구장 한 편에 위치한 실험실에서는 역사적인 실험이 수행되었다.

이탈리아 출신의 물리학자 엔리코 페르미(Enrico Fermi)의 주도하에 설계된 세계 최초의 원자로 CP-1(Chicago Pile-1)에서 핵분열에 의한 연쇄 반응이 성공된 것이다.

이는 아인슈타인의 「질량-에너지 보존 법칙」, 즉 중성자가 어떤 물질을 구성하는 원자핵과 충돌하면 새로운 두 종류의 물질이 생기며 이 때 반응 전후의 질량 감소(mass defect) 만큼 에너지가 발생한다는 것을 증명한 실험으로, 새로운 개념의 에너지를 인류에 소개한 순간이

었다.

이를 기반으로 미국 아르곤 국립 연구소에서는 전기를 생산하는 최초의 원자로 EBR-1을 개발하여, 1951년에는 이 원자로에서 나온 전기를 사용하여 건물 조명을 하였다. 이어서 1956년에는 최초의 상용 원자로인 영국의 콜더 홀(Calder Hall) 발전소가 가동되었다.

독일의 오토 한과 그의 조수 스트라우스 만에 의해 중성자 조사에 의한 우라늄 원자의 핵분열 현상이 발견된 이래, 원자력은 기존의 에너지원에 비해 훨씬 큰 에너지를 내는 방법으로써 평화적 이용이 연구되어 왔다.¹⁾

그러나 이러한 발전 단계에서,

새로운 거대 에너지원으로서의 원자력은 당시의 시대 상황(제2차 세계 대전 말기)이 반영되어 살상 무기로서 일반에 널리 인식되어졌다.

1945년 7월 16일 미국의 뉴멕시코주 알라모고르(Alamogordo) 사막에서 최초의 핵실험이 행해진 이후, 1945년 8월 6일 역사상 최초의 원자폭탄(원폭)이 일본 히로시마에 떨어졌다. 이 원폭으로 세계 대전은 종결되었으나, 그 위험성은 전세계에 큰 충격을 주었다.

따라서 이후 현재까지 원자력의 '평화적 이용'에 있어서도 선입견들로 인해 관련 발전소 또는 폐기물 처분장 등의 건설에 어려움이 많이 따르고 있다.

1) 이은철, 북한핵과 경수로 지원(부록 1), 서울대 출판부, 1996

원자력의 평화적 이용에 대한 우리 나라 일반 대중의 인식

원자력이 대체 에너지로서 활용되면서 원자력발전소(원전)가 세계 여러 곳에서 가동되고 있다. 향후 인구 증가에 비례한 전력 수요의 급증에 따라 원자력에의 의존율이 점차 늘어날 전망이다.

1994년 통계를 보면, 원자력은 세계 30개국에서 가동중인 425기(총설비 용량 356GW)의 원자로에서 전세계 발전량 중 18%를 공급하고 있다. 또한 66기가 이미 건설중에 있고 추가로 59기는 발주가 끝난 상태이다.²⁾

우리 나라의 원전 운영 현황을 보면, 고리·영광·월성·울진 등지에 2000년 1월 1일 현재 기준 총 16기(총설비 용량 1,371만6천kW)의 원전이 가동중이다. 원자력에 의한 에너지 생산은 전체 발전량 중 약 42%를 차지하고 있다. 이미 원자력 발전은 우리 나라의 중추적 에너지 공급원이 된 것이다. 그러나 이에 대한 대중의 인식이 아직은 그렇지 못한 것이 현실이다.

1995년 한국원자력안전기술원이 갤럽조사연구소에 의뢰해 일반 국민 1,500명과 원전 지역 주민 400

명 등 총 1,900명을 상대로 실시한 「원자력 안전과 규제에 관한 국민의식 조사」 결과, 응답자의 72%는 정부가 주장하는 원전 및 방사성 폐기물 관리의 안전성을 믿지 않고 있는 것으로 나타났다.

조사 결과를 보면, 원전의 안전성 신뢰 여부에 대해 37.2%가 '원전의 안전성을 믿을 수 없다'고 했으며, 35%는 '방사성 폐기물 관리가 안전하지 못하다'고 응답했다. 또한 원자력 관련 정보 공개 여부에 대해 79.1%가 '정보가 제대로 공개되지 않고 있다'는 반응을 보였다.

원전의 안전성 여부 관련 정부 발표에 대해서는 일반 국민의 56.6%와 원전 주민의 49.9%가 이를 신뢰하지 않고 있으며, 오히려 환경 단체나 원자력 관련 전문 연구기관의 발표를 더 신뢰하는 것으로 나타났다.

반면에 원전 건설에 대해서는 21.9%가 현재 수준 유지, 줄여야 한다는 의견은 13.5%인데 반해, 서서히 '늘려야' 한다는 의견은 63.7%를 차지했다.³⁾

또한 1996년에 한국원자력문화재단이 한국갤럽에 의뢰하여 성인 1,600명을 대상으로 기피 시설을 조사한 결과, 기피 시설 1위는 방사성 폐기물 처분장이었다.

응답자의 30.9%가 국내 원전 시

설이 '안전하다'고 한 반면 '안전하지 않다'는 응답은 55.5%였고, '모르겠다' 및 무응답이 13.6%였다.

그러나 막상 원전에 대해서는 85.8%가 필요성을 인정했고, 전력난 해소를 위해서는 원전 시설을 더 세워야 한다는 비중도 66.4%였다. 지역 경제 및 지방 재정 확보에 도움이 된다면 이를 유치하겠다는 의견도 61.9%인 것으로 나타났다.⁴⁾

상기의 두 갤럽 조사를 보면 한 가지 공통점이 있다. 원자력에 대해 국민들은 입장에 따라 상반되는 '이중 잣대'를 갖고 있다는 점이다.

즉 원자력의 안전에 대해 불신을 갖고 있으며 관련 시설에 대해 거부감을 갖고 있지만, 우리 나라의 현실상 원자력의 필요성은 인정하고 있다는 점이다.

원자력에 대한 국민들의 상반되는 의식은 향후의 대민 수용(public acceptance) 정책에 있어서 가장 염두에 두어야 할 사항이 아닌가 생각된다.

필요성을 인식함에도 안전성에 신뢰를 갖지 못한다는 것은 앞으로 올바른 원자력 상식과 공개된 원전 운영을 포함하는 적절한 원자력 홍보가 얼마나 중요한지를 나타내는 것이다.

2) 국제원자력학회협의회, 「향후 50년간의 원자력 전망과 추진 전략」, 1996

3) 《한겨레신문》 사회면 통계, 1995년 12월 23일자

4) 《동아일보》 사회면, 1996년 12월 29일자

**방사성 폐기물 처분장
부지 선정 과정에서의 메시지**

상기의 갤럽 조사를 통해 일반 대중은 원자력이 필요하지만 폐쇄된 원자력 관련 정보와 방사선에 대한 막연한 공포 등의 이유로 안전성에 대해 신뢰하지 못하고 있음을 알 수 있었다.

이러한 사항들이 실제 정책 시행 과정에서는 어떻게 걸림돌이 되었는지를, 1989년부터 1995년에 걸쳐 시도되었던 처분장 부지 선정 과정을 통해 살펴보는 것은 앞으로의 '원자력 시설에 대한 국민 이해 개선행 방안'을 위한 중요한 사례가 될 것이다.

처분장 선정 계획은 안면도-경북 울진-굴업도 등을 오간 끝에 번번히 환경 단체와 주민 반대로 좌절되고 말았다.

충분한 지역 역학 조사와 검증을 통해 장기적으로 대상 지역에 대한 지원과 홍보가 이루어진 뒤 처분장 선정 지역 발표를 했으면 어땠을까 할 정도로 처분장이 쉽게 단기간에 선정·발표되는 인상을 주었다. 또한 미리 선정 사실을 감지한 지역 주민의 강력한 시위로 힘없이 쫓기듯 다음 지역으로 넘어가고 말았다.

이는 단순히 지역 주민의 소위 남

(표 1) 방사성 폐기물 처분장 부지 선정 관련 일지

사업 연도	내 용
88. 12. 28	제221차 원자력위원회 「방사성 폐기물 종합 관리 시설 건설 기본 계획, 확정
88.12~89.3	한국원자력연구소, 동해안 3개 후보지(울진·영덕·영일) 조사 중 주민 시위로 중단
90.9~91.6	제226차 원자력위원회, 충남 태안군 안면도에 처분장을 포함한 원자력 제2 연구소 설치키로 의결. 90년 11월 주민 소요로 추진 사업 중단(정근모 과기처 장관 인책 사퇴). 91년 6월 안면도 입지 계획 철회
91. 9	과기처, 방사성 폐기물 처분장 자진 신청 공모
91.12.27	서울대 인구 및 발전문제연구소, 처분장 적정 후보지 6개 지역 발표, 경북 영일·울진, 전남 장흥, 충남 태안(안면도), 강원 고성·양양
92.5	안면도에서 원자력환경관리센터 직원의 주민 설득 작업 중 주민 시위 발생
93.6	고성 시위
94.1.5	후보 지역에 500억원의 발전기금 지원을 골자로 한 「방사성 폐기물 관리 사업의 촉진 및 시설 주변 지역의 지원에 관한 법률」 제정·공포(94.6.1 시행)
94.5.17	경북 울진군 기성면 주민, 과기처에 유치 신청서 제출
94.5.2~6.1	울진군 기성면 반대 시위. 과기처, 울진에 처분장 건설 의사 없다고 발표
94.6.2	과기처, 처분장 확보 사업 범정부 차원에서 추진키로 발표
94.10	과기처, 공보처와 공동으로 라디오·TV 광고 시작
94.11.12	방사성폐기물 관리사업추진위(위원장 국무총리)와 산하 기획단(단장 과기처 차관) 구성
94.12.22	원자력위원회 처분장 후보지로 굴업도(경기도 울진군) 의결, 최종 후보지로 발표
95.10	굴업도 부근에서 지진 발생 가능성이 높은 활성 단층 징후 발견, 굴업도 백지화 검토

비(Not In My BackYard : NIMBY) 현상으로만 볼 문제가 아닌, 복합적인 문제인 것이다.

방사성 폐기물 처분장 부지 선정과 관련한 주요 일지를 정리하면 <표 1>과 같다.⁵⁾

원자력발전소의 '화장실' 이라고 불리는 방사성 폐기물 처분장의 건설은 장기적인 안목에서 볼 때 누구나 그 필요성에는 공감할 것이다. 그러나 결과적으로는 현재까지도 추진되지 못하고 있는 현실이다.

처분장 부지 선정 과정을 살펴보

면 아래와 같은 문제점이 있었음을 지적할 수 있다.

첫째는 역시 일반 대중에 대한 원자력 홍보의 부재를 들 수 있다.

'자식에게 오염, 손자에게 기형, 후손에게 멸망주는 원자력발전소 결사 반대!' 이러한 구호는 당시 방사성 폐기물 처분장 후보 지역에서 흔히 듣고 볼 수 있는 내용이었다. 이렇게 감정적인 내용이 선전 문구로 사용될 수 있는 것은 이 내용이 사실이라고 믿기 때문이다.

만일 기본적으로 지상에는 자연

5) <중앙일보> 17면, 1994년 12월 22일자

방사능이 존재하며, 원전은 폭탄과는 다른 구조로서 방사능을 조절하여 자연 방사능 이하로 운영되며, 우리가 검진받을 때 흔히 쓰는 엑스레이가 방사선의 일종임을 이해하고 있고, 또한 방사선 방호 원칙에 따라 피폭 선량을 제한하고 있음을 인식한다면 무조건적인 충동 문구가 난무하지는 않았을 것이다.

둘째는 원자력 운영 관련 정보(사고 정보 등)의 폐쇄 문제를 들 수 있다.

원전 주변 지역의 주민들은 가동 중인 원전에 이상이 생겼을 때 그 내막을 제대로 알린 적이 없다는 데 대해 불신과 함께 우려를 갖고 있는 경우가 많다.

1995년 7월에 기사화된 고리 원전의 방사능 누출 사고는 그 한 예라고 할 수 있다. 당시 폐기물 드럼통 수송 과정에서의 방사능 누출 사고로 오염된 지역의 방사선량은 0.3~5밀리렘(mrem) 수준이었다. 보통 병원에서 엑스레이 조사시 피폭되는 선량이 30~100밀리렘임을 감안하면 그다지 높은 수준은 아니었다. 그러나 문제는 사후 처리 절차에 있었다. 사고 후 바로 보고도 되지 않은데다 한동안 이 사실을 숨겼던 것이다.

무조건적으로 원자력과 관련해서는 안전하다고 강조하면서 발생하는 이런 작은 사건이 주변 주민은 물론 국민 전체의 정서에도 악영향

을 끼치는 것이다.

사람은 누구나 '개인적'이므로 사고의 규모에 관계없이 위험도를 '나'와 결부시킨다. 따라서 실제로는 아무런 해가 없더라도 이를 최첨단의 '기술'만이 아닌 '심리적'으로도 '내'가 안전하다고 느낄 수 있도록 적극적인 증명을 할 필요가 있다.

또한 인정할 것은 인정하고 이해를 구하는 자세가 필요하다. 소문으로 사건 내용이 퍼져나가는 경우의 악영향을 고려한다면, 누출 사고 등의 발생시 제염 조치 등 대책을 강구한 뒤 사고 내용 및 조치 결과를 공고할 필요가 있을 것이다.

이와 관련하여 최근 과학기술부에서 추진한 바 있는 「원전 사고·고장 정보 공개 지침」의 개선 작업은 의미있는 정책 반영이라고 생각된다.

또한 정기적으로 주변에 대한 선량 평가 결과를 알리고, '발전소의 달' 등을 기획하여 원자력에 대한 세미나 또는 간담회를 포함하는 '문화제'를 개최하는 것도 안전성에 대한 신뢰를 얻어내는 방안일 것이다.

세번째는 국가 주도 사업에 대한 정부의 일관성있는 정책 수립의 필요성이라고 할 수 있다.

1994년 당시에도 선거 공백기인 점을 감안하여 무리하게 일정을 추진했다는 비판이 나왔듯이, 선거 등에 무관하게 장기 계획에 따라 수행

되어야 한다는 것이다.

또한 1994년 1월 제정된 「방사성 폐기물 관리 사업의 촉진 및 시설 주변 지역의 지원에 관한 법률」을 바탕으로 과연 실질적으로 발전소 인근과 그 지역에 도움이 되는 사업이 무엇인가를 검토해야 할 것이다. 자칫 일부 지역에 편중 지원의 시비를 불러일으킬 수 있기 때문이다.

이와 함께 <표 1>에서도 보듯이 정부는 1988년 말 처분장 확보 사업에 착수한 이래 1994년 6월에야 범정부 차원에서 추진키로 발표하였다.

주무 부서인 과기처와 실무 담당 기관인 원자력연구소 위주의 제한된 인원으로는 처음부터 무리가 있었다는 점을 인식해야 할 것이다.

1994년 5월 17일, 이미 원전이 가동되고 있는 울진군 내의 기성면에서는 2,155명의 서명을 담은 유치 신청서를 제출하였다. 그 전에 5월 11일에는 1,808명의 서명을 담은 반대 진정서를 제출한 바 있었지만, 위험 시설에 대한 첫 자체 유치 신청이라는 점에서 상당히 의미있는 경우였다.

그러나 막상 처분장 해당 지역 주민의 유치 의사에도 불구하고 주변 지역 주민들의 강경 반대로 계획이 취소됨으로써 위험 시설 확보에 바람직한 선례로 기대되었던 울진의 경우 역시 무산되고 말았다. 이는 상기의 세 가지 이유가 복합된 사례

라고 할 수 있다.

원자력에 대한 국민 이해 개선을 위한 방사선 관련 단위의 통일

1. 방사선 관련 단위 통일의 필요성

앞에서 살펴보았듯이 앞으로도 원자력 사업의 성패는 기술 개발만이 아니라 효과적인 대 국민 이해를 얻을 수 있는냐에 달려 있음을 알 수 있었다.

이를 위해서는 일반인의 방사능에 대한 인식 척도라고 할 수 있는 방사선 관련 단위의 통일이 선행되어야 할 것이다.

1999년 5월 19일자 <경향신문>에서는 경기도 광릉수목원 내의 토양이 플루토늄에 오염되었다는 내용의 보도를 낸 바 있다.

해양연구소의 연구 결과 과거 중국 핵실험의 영향으로 발생한 플루토늄이 분진에 섞여 날라와 축적됨으로써, 지표층 토양 1kg당 1.22베크렐(Bq)의 방사능이 검출되었다는 내용이다.

이에 대해서는 곧 과학기술부가 우리나라의 토양 내 플루토늄 준위가 kg당 0.18~1.85 베크렐의 분포를 보이고 있으며, 외국의 플루토늄 준위와 비교하여도 특별히 높게 나타나는 것은 아니라고 해명한 바 있

다.

또한 지난 8월에는 환경부가 한 국자원연구소에 의뢰해 1년여 간 전국의 지하수를 조사한 결과를 발표한 바 있다.⁶⁾

이 보도 내용을 보면 대전·충청 지역의 지하수 내 우라늄 농도를 나타내는 데 ppb(parts per billion)라는 단위를 사용했다. 또한 지하수의 알파선 측정 결과는 피코퀴리(pCi)로 표기했다. 방사능 관련 기사 보도에 무려 3가지의 단위가 사용된 것을 알 수 있다. 여러 개의 방사능 단위가 혼재되어 쓰이는 예이지만, 이러한 경우는 신문 검색을 통하여 흔하게 찾아볼 수 있다.

실제로는 보도된 방사능의 양들은 미약한 양인 경우가 많다. 그러나 이렇게 통일되지 못한 단위에 의한 표현은 일반인으로 하여금 혼란을 줄 수 있다.

쉽게 위험의 정도를 판단하기 어려운 상황 때문에 결국 정보를 받아들이는 일반인의 입장에서는 방사능의 위험성에 대한 두려움을 연상시키는 결과를 낳을 뿐이다.

방사선의 선량보다는 사고가 발생했느냐 아니냐, 즉 0이냐 100이냐의 인식을 갖게 되는 것이다. 사고 발생 자체가 중요하며, 사고가 났다면 그 위험도 규모를 떠나 위험하다고 느끼며 불신하게 되는 것이다.

일반 환경 분야에서는 대기나 수질 오염과 관련한 측정값은 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이나 mg/ℓ 등으로 나타낸다. 그러나 이들은 질량비 값인 ppm(parts per million)으로 환산될 수 있으며, 대부분의 대기 또는 수질 관련 오염도는 ppm 단위로 일반에게 소개된다. 더구나 각종 환경법에 명시된 오염 기준치를 함께 발표함으로써 오염도에 대한 일반인의 판단을 도와주고 있다.

예컨대 하천 수질 환경 기준에 따르면, 상수원수 1급(여과 등에 의한 간이 정수 처리 후 사용)의 경우, 생물학적 산소 요구량(Biological Oxygen Demand : BOD)은 1ppm 이하로 규정되어 있다.

그런데 측정 결과값이 9ppm이 나왔다면 해당 하천의 수질은 공업용수 2급 또는 농업 용수로 분류될 것이다.

이처럼 기준치와 실측치가 함께 제시되므로 굳이 ppm이 어떤 의미인지는 모르더라도 이들을 통해 그 물이 안전한지 아닌지를 판단할 수 있게 되는 것이다.

한편 방사선 관련 단위의 경우는 현재 쓰이는 단위 기호만 8개에 이른다. 이들은 각각 필요성에 의해 만들어졌지만 이제는 오히려 방사선을 이해하는 데 장애물이 될 수도 있다.

6) <조선일보> 사회면 1999년 8월 11일자

물론 각 단위들은 원자력 관련 전문가 사이에서 유효하게 쓰일 것이다. 그러나 이제 더 이상 원자력 사업은 전문가 사이에서의 대화만으로는 수행해 나갈 수 없다.

효과적인 원자력 사업의 추진을 위해서는 국민적 합의 형성이 매우 중요하며, 일반 대중의 원자력에 대한 이해와 신뢰를 얻어야만 하는 입장인 것이다. 따라서 원자력을 대변하는 용어처럼 되어버린 '방사선'에 대하여 일반인이 이해할 수 있도록 돕고, 원전 가동이나 방사성 폐기물 처리에 대한 신뢰를 얻기 위해서는 '이해의 척도'라고 할 수 있는 단위에 친숙할 필요가 있는 것이다.

'방사선' 하면 떠오르는 친숙한 단위 하나가 일반인의 원자력 안전에 대한 판단을 하는 데 기준이 될 것이며, 모든 원자력 관련 발표 또는 홍보 작업을 간편하게 만들 수 있는 것이다.

2. 방사선 관련 단위의 종류 및 통일 단위로서의 mSv의 타당성

1895년 독일의 물리학자 뢰트겐(Roentgen)은 진공 방전 실험을 하던 중 X선을 발견하였다. 현대 의학 발전에 큰 기여를 한 X선 촬영은 바로 뢰트겐의 X선을 이용한 것이다.

이듬해인 1896년에는 파리 공과 대학의 베크렐(Becquerel)이 우라늄 광물에서 방사능의 존재를 확인하였다. 이어서 폴란드의 퀴리(Curie) 부부는 강한 방사선을 내는 폴로늄(Po)과 라듐(Ra)이라는 원소를 발견하여, 1903년에 베크렐과 함께 노벨 물리학상을 받았다.

이들은 방사선의 존재를 확인하고 '단위 시간당 방사선을 내는 능력'인 방사능의 개념을 세움으로써, 방사선 분야만이 아닌 현대 과학의 초석을 쌓는 데 공헌하였다.

이들의 이름을 딴 뢰트겐(R), 베크렐(Bq) 및 퀴리(Ci)는 현재 방사선과 방사능의 단위로 쓰이고 있다.

그러나 20세기 초 방사선 분야가 급속히 발전되면서 이와 함께 예기치 못한 방사선 장애도 발생하였다. 이에 따라 1928년에는 국제 X선·라듐 방어위원회(International X-ray and Radium Protection Committee)가 발족되었다.

이 기구는 1950년부터 현재의 명칭인 국제방사선방어위원회(International Commission on Radio-logical Protection : ICRP)로 개편되어 오늘에 이르고 있다.

ICRP는 방사선 방호 전반에 걸친 개념 및 지침을 수립하여 이를 권고안으로 발표하여 왔으며, 가장

권위있는 방사선 방호 관련 권고로서 국제 기구 및 각국에서 법령이나 규정으로 채택되어 사용되고 있다.

ICRP는 1965년 방사선 방호에 관한 권고안을 ICRP Publication (Pub.) 9를 통해 발표하였고, 1977년에는 방사선 방호에 관한 새로운 개념을 제시한 Pub. 26을, 1990년에는 방사선 작업자 및 일반인의 연간 피폭 선량 한도를 대폭 하향 조정한 새로운 권고안인 Pub. 60을 발표하였다.^{7) 8)}

ICRP의 권고안은 계속되는 생물학적·의학적 연구 결과를 반영하면서 개정되어 더욱 안전한 방사선 방호 체계를 구축해나가고 있다.

예컨대 방사선 작업자 및 일반인에 대한 최대 허용 피폭 선량이 경험적으로 결정된 Pub. 9와는 달리 Pub. 26에서는 방사선 방어의 최적화를 나타낸 ALARA(As Low As Reasonably Achievable) 개념을 바탕으로, 방사선 피폭으로 인한 위험도를 정량적으로 나타낸 위험도 계수(risk factor)를 산출하여 다른 일반 산업의 위험도와 비교, 이와 동등한 선량 한도를 최대 허용 피폭 선량으로 설정한 바 있다.

1928년 ICRP가 최초의 권고안을 낸 이후, 1955년부터는 ALARA 개념을 도입하였다. 그러나 이 개념이 명확히 명시된 것은 ICRP Pub.

7) 이경희, 이형원, 방사선 방호에 관한 ICRP 권고 동향의 분석, 전력기술 통권 제6호(제2권 제3집), 1991.9

8) 이재기, ICRP60-선량 한도의 하향 조정과 배경, 방사선방어학회 춘계 심포지엄, 1993

26에서라고 할 수 있다.

ALARA 개념을 포함하는 방사선 방호 체계의 원칙은 크게 세 가지, 즉 '행위의 정당화', '방어의 최적화' 및 '선량 한도'의 내용으로 구성되어 있다.

행위의 정당화는 피폭으로 얻는 개인이나 사회의 이익이 피폭으로 인한 위해보다 높아야 한다는 것이고, 방어의 최적화는 경제·사회적 여건을 고려하여 모든 피폭은 합리적으로 가능한 한 낮게 유지해야 한다는 것이다.

여기서 주목할 것은 선량 한도이다. 다소 애매할 수도 있는 정당화와 최적화를 실제적으로 보강하는 것으로, 개인의 피폭 선량은 ICRP가 권고한 선량 한도치를 초과해서는 안된다는 내용이다.

방사선에 의한 인체 피폭에 따른 생물학적 효과를 나타내기 위한 피폭 선량으로 ICRP 26에서는 선량 당량(dose equivalent) 및 유효 선량 당량(effective dose equivalent)을 정의한 바 있다.

이들 단위는 방사선 피폭시 같은 방사선 양일지라도 방사선의 종류 및 방사선에 조사되는 인체 부위에 따라 위험도가 다를 수 있으므로, rem(Roentgen Equivalent Men) 또는 Sv(Sivert)로 표시한다.

이처럼 선량 당량은 다른 방사선 관련 단위와는 달리 피폭에 따른 위험도를 고려한 단위라고 할 수 있다.

(표 2) 방사선 관련 단위의 종류

종류	단위명	기호	정의	비고
방사능	베크렐	Bq	1초에 1개의 입자가 붕괴	SI 단위
	퀴리	Ci	1초에 3.7×10^{10} 개의 입자가 붕괴	$1\text{Bq} = 2.7 \times 10^{-11}\text{Ci}$
조사선량	킬로그램당 콜롱	C/kg	공기 1kg중에 1콜롱의 이온을 만드는 감마(γ) 또는 엑스(X)선의 양	SI 단위
	뢴트겐	R	공기 1kg중에 2.58×10^{-4} 콜롱의 에너지 흡수가 있을 때의 선량	$1\text{C/kg} = 38776\text{R}$
흡수선량	그레이(Gray)	Gy	1kg당 1줄의 에너지 흡수가 있을 때의 선량	SI 단위
	라드	rad	1kg당 0.01줄의 에너지 흡수가 있을 때의 선량	$1\text{Gy} = 100\text{rad}$
선량당량	시버트(Sivert)	Sv	방사선의 종류·질 및 조사 조건에 따른 생물학적 영향	SI 단위
	렘	rem	적 영향을 고려한 단위	$1\text{Sv} = 100\text{rem}$

현재 쓰이는 방사선 관련 단위를 정리하면 <표 2>와 같다.

방사선이란 물질의 원자핵으로부터 입자 또는 전자기파의 형태로 튕겨나오는 에너지라고 할 수 있으며, 단위 시간당 입자나 에너지를 튕겨내는 능력을 방사능이라고 한다.

방사능을 나타내는 SI 단위 (Systeme International, 국제 표준 단위)로는 베크렐이 있다. 이는 방사선이 단위 시간당 핵으로부터 튕겨나가는 횟수에 바탕을 두고 있다. 즉 1베크렐은 1초에 1개의 방사선이 핵에서 튕겨나오는 것이다.

퀴리 부인의 이름에서 따온 1퀴리는 라듐 원자(^{226}Ra) 1g이 1초 동안에 방사선을 튕겨내는 능력으로 정의되며, 높은 방사능 물질을 다룰 때 쓰인다.

방사성 물질에서 튕겨나오는 방사선의 세기를 선량(dose)이라고 한다.

어떤 방사선이 물질에 부딪치면

그 물질 내의 원자들과 상호 작용을 일으켜 에너지를 잃게 된다.

방사선의 세기는 물질에서 잃어 버린 에너지의 크기로 나타내며, 방사선의 단위는 흡수되는 물질에 따라 상호 작용의 효과가 다르게 표시되므로 복잡해진다.

그래서 선량은 방사선과 작용하는 물질에 따라 조사 선량, 흡수 선량 및 선량 당량으로 나누게 된다.

조사 선량은 방사선이 공기중을 통과할 때 공기중 원자와 충돌, 이온화시킴으로써 어떤 전기량을 만들 수 있는 방사선 크기를 의미하며, '뢴트겐' 또는 'R'으로 표시한다.

흡수 선량은 공기 대신 다른 물질에 방사선의 운동 에너지가 옮겨진 양을 기준으로 정한 단위이며, '그레이' 또는 '라드'로 표기한다. 이들 단위는 물리적 관점에서 사물을 대상으로 한 방사선의 세기를 표시

한 양이다.

반면 선량 당량은 사람을 기준으로 한 단위이다. 즉 일반 물질에 방사선이 흡수되었을 때 '라드'라는 흡수 선량 단위를 쓰는데, 일반 물질 대신 사람의 몸을 대상으로 할 경우 선량 당량을 쓰며 단위로는 '렘' 또는 '시버트'를 사용한다.

방사선의 종류에 따라 인체에 대한 방사선 장애도는 다를 수 있으므로, 이를 고려하여 방사선의 종류에 따른 인체의 흡수 선량을 선량 당량이라고 할 수 있다.

여기서 더 나아가 신체의 조직에 따라 방사선에 민감한 영향을 받을 수 있으므로 신체 조직에 따라 가중치를 두어 '유효 선량'을 사용한다. 이는 선량 한도의 기준으로 사용되고 있다.

따라서 방사선 관련 단위의 통일을 위해서는, 사람이 받을 수 있는 위해도를 고려한 시버트를 표준 단위로 사용할 것을 제안하고자 한다.

이는 향후 모든 대민 홍보 및 방사능 측정 관련 발표시 시버트로 방사능 관련 단위를 환산하여 나타내며, 필요시에는 방사선 선량 제한치를 측정치와 함께 발표하여 일반 대중이 방사능 오염도를 판단하는 데 도움을 주도록 하자는 것이다.

다만, 처음에는 시버트 대신 렘을 이용하고자 하였는데 이는 렘이 보다 적절한 크기의 방사능 값을 갖는다고 판단되었기 때문이다.

즉 자연에는 기본적으로 자연 방사능이 존재하는데, 이로 인한 피폭은 대략 연평균 0.1렘 정도이며, 병원에서 의료 방사선으로 받는 양 역시 연간 약 0.1렘 정도이다.

만일 이를 시버트로 표시한다면 시버트는 렘의 100배이므로, 0.001시버트 또는 1 밀리시버트(mSv)가 될 것이다.

우리가 접하는 정도의 방사능은 렘으로 표시할 때 우리에게 익숙한 수치 범위인 0.1~100렘 정도로 나타낼 수 있으며, 단위를 복잡하게 보이게 하는 밀리(m), 마이크로(μ) 등의 접두어를 쓰지 않을 수 있다.

그럼에도 불구하고 시버트를 표준 단위로 제안하고자 하는 것은 시버트가 SI 단위이기 때문이다.

이미 국제 표준 단위로서 사용되고 있고 단위라는 것이 한 번 인식되면 바꾸기가 쉽지 않음을 감안하되, 일반에게 편한 수치 범위를 고려하여 밀리시버트(mSv)를 표준 단위로 제안한다.

3. 통일 단위 밀리시버트를 이용한 실제 적용

앞에서도 언급했듯이 언론 매체의 방사능 관련 기사를 보면 기자들이 실무자로부터 얻어낸 정보를 그대로 기사화함에 따라, 기사에 쓰이는 방사능 단위는 측정 대상별로 여러 가지 형태가 섞여 쓰인다. 그러나 통일되지 못한 단위의 사용이 일

반 대중에게는 이해에 어려움을 주어 결국 의미없는 수치가 될 수 있다.

따라서 모든 방사능 관련 발표 및 홍보에 쓰이는 단위는 통일시키고, 또한 환경 분야의 ppm과 같이 원자력 분야에서도 익숙한 방사선 관련 단위를 널리 인식시켜야 한다.

만일 원자력 관련 시설로부터 방사능 물질이 누출되어 토양 오염 사고가 발생했다고 하자. 그렇다면 방사성 물질이 토양에 침적되어 오염 문제를 일으키게 될 것이다.

이런 경우 기본적으로 해당 지역의 방사능 오염도에 따라 제염 작업 및 주거 제한, 경작 금지 등의 방호 대책을 실시하게 될 것이다.

방사능 관련 사고는 민감한 사회적 문제일 수 있으므로, 기술적으로만이 아닌 심정적으로도 안심할 수 있도록 적절한 처리가 필요하다.

따라서 제염 등의 방호 대책과 함께 국민이 납득할 수 있게끔 통일된 단위를 사용하여 사고 내용을 판단할 수 있는 기준, 즉 토양 오염의 방사능 기준값을 설정해야 할 것이다.

ICRP 60에 따라 일반인이 받는 선량 제한치는 1년간 1밀리시버트로 정해져 있다.

그러나 실제 방사능 오염이 발생된 현장에서 측정된 표면 오염도나 물질의 방사능으로부터 피폭 선량을 계산하는 것은 간단한 문제가 아니다. 따라서 선량 한도를 만족하는 표

면 오염도나 물질 내의 방사능 허용 농도를 설정하는 작업이 필요하다.

자연에서의 물질 내 방사능 허용 농도와 선량 제한치의 관계는 <그림 1>과 같다..

선량 전환 인자(Dose Conversion Factor)는 실제 측정치(Bq)와 유효 선량(mSv)간의 환산값으로, 여기서는 호흡 및 토양의 외부 피폭에 의한 선량 환산 인자로 각각 독일 ISH(Institute fur Strahlhygiene) 및 Kocher와 Sjoreen의 계산값을 이용하고자 한다.

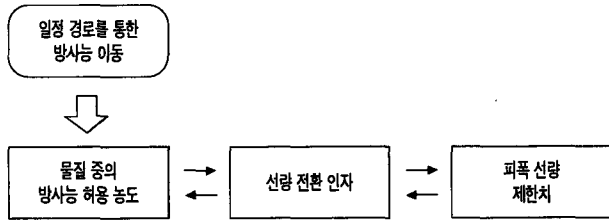
토양중에 누출된 방사능을 측정 한 결과, 토양 표면에서 ¹³⁷Cs(반감기 30년)이 10⁻⁵Ci/kg이 나왔다고 하자.

이 측정치를 토대로 하여 선량이 선량 한도를 초과하는지를 판단하게 된다.

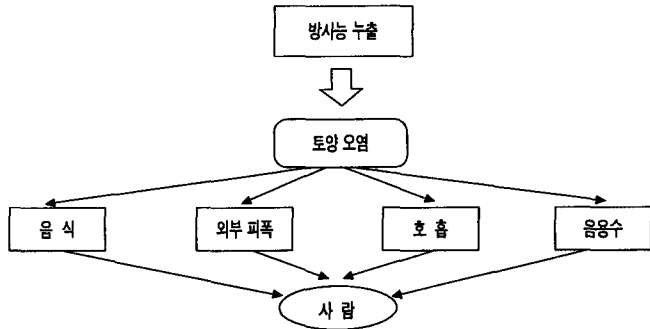
측정치로부터 피폭 선량을 계산하는 방법에는 크게 두 가지가 있다.

그 중 한 가지는 방사성 유출물의 인체에 대한 모든 피폭 가능한 경로를 분석하여 각 매질에 존재할 수 있는 방사성 핵종들과 방사능을 계산하는 방식으로, 원전의 환경 영향 평가의 수단으로 사용되고 있다.

또다른 방법은 피폭 경로별로 직접 측정된 각 환경 시료의 방사능 농도로부터 피폭 선량을 계산하는 방식이다.



<그림 1> 물질 중의 방사능 허용 농도와 선량 제한치의 관계



<그림 2> 토양 오염에 따른 방사능 피폭 경로

전자의 경우는 방사성 유출물에 의한 총체적인 피폭 선량을 추정할 수 있는 장점이 있지만, 방사성 물질의 이동 및 확산 과정에는 많은 불확실성이 내포되는 단점이 있다.⁹⁾ 따라서 본 예시에서는 불확실성을 배제한 후자의 방법을 이용하여 계산하고자 한다.

만일 상기의 방사능량이 그대로 방치된다면 <그림 2>와 같은 경로를 통하여 인체에 피폭을 줄 수 있다.

토양의 용도를 크게 두 가지로 구분하면, 식물 등을 재배하는 경작지

와 사람들이 생활하는 거주지로 나눌 수 있다.

이 두 장소에 대한 피폭 경로는 크게 두 가지로 고려할 수 있는데, 토양으로부터 직접 받게 되는 외부 피폭과 토양으로부터 방사성 핵종이 전이된 동·식물 또는 오염된 물을 섭취하거나, 방사성 물질이 포함된 부유 물질을 호흡함으로써 받게 되는 내부 피폭이다.

거주지의 경우는 외부 선량에 의한 피폭이 대부분을 이룰 것이므로, 음식물 등의 섭취에 의한 피폭은 무시할 수 있다.

9) 한국전력공사, 환경 중의 방사능 측정 및 허용 농도 설정에 관한 연구, 97-15호, 1999

그러므로 지표로부터의 외부 피폭 및 호흡에 의한 피폭만을 고려, 각 피폭 선량을 합산하면 토양 오염에 따른 전체 피폭 선량을 계산할 수 있다.

우선 호흡에 의한 피폭을 보면, 오염된 토양은 바람이나 동물 등의 움직임에 따라 재부유될 수 있고 이를 사람이 호흡하면 내부 피폭을 유발하게 된다.

공기중의 핵종 농도는 그 지점의 토양에 비례한다고 가정하면, 공기 호흡에 의한 선량은 아래와 같다.

$$H_{hi} = D_{hi} U_a C_{ai} \quad (1)$$

$$C_{ai} = A C_{si}$$

H_{hi} : 핵종 i 의 공기 호흡으로 인한 피폭 선량(Sv/year)

D_{hi} : 호흡 공기 중 핵종 i 에 의한 선량 전환 인자(Sv/Bq)

U_a : 연간 호흡량(m^3 /year)

C_{ai} : 공기 중 핵종 i 의 농도(Bq/ m^3)

C_{si} : 토양 내 핵종 i 의 농도(Bq/kg)

A : 재부유계수

지표로부터의 외부 피폭은, 일정한 농도로 오염된 토양이 균일한 두께로 무한하게 펼쳐 있다고 가정하면 다음과 같다.

〈표 3〉 피폭 선량 예시에 사용된 각 인자 값

^{137}Cs 의 선량 전환 인자	호흡(Sv/Bq)	8.60×10^{-9}
	외부 피폭(Sv · cm^3 /Bq · yr)	9.51×10^{-4}
연간 호흡량(성인 기준) 평균치)		7368.5 m^3 /yr
재부유 계수		1×10^{-7} kg/ m^3

주: 외부 피폭 선량 전환 인자는 토양 오염층의 두께가 5cm일 경우의 값임.

$$H_{bi} = D_{bi} C_{svi} \frac{1.4}{\rho} \quad (2)$$

$$C_{svi} = C_{si} \rho 10^{-3}$$

H_{bi} : 핵종 i 에 의한 외부 피폭 선량(Sv/year)

D_{bi} : 토양 내 핵종 i 의 부피 농도에 대한 선량 전환 인자(Sv · cm^3 / Bq · year)

C_{svi} : 토양 부피당 핵종 i 의 농도(Bq/ cm^3)

C_{si} : 토양 내 핵종 i 의 농도(Bq/kg)

1.4 : 기준 토양의 밀도(g/cm^3)

ρ : 토양의 밀도(g/cm^3)

상기의 계산을 위해 사용한 각 인자들의 값은 〈표 3〉과 같다.¹⁰⁾

계산 결과 호흡에 의한 피폭은 2.3×10^{-3} mSv/yr, 외부 피폭에 의한 선량은 4.9×10^{-1} mSv/yr로써 호흡보다는 지표면의 외부 피폭에 의한 영향이 더 큼을 알 수 있었다.

이들의 합인 전체 선량은 0.4923 mSv/yr로써 일반인에 대한 1 mSv/yr보다는 낮게 나타났다.

이런 경우 사고 관련 발표시 선량 제한치와 함께 실측값으로부터의 전체 피폭 선량을 제시함으로써, 사고의 정도를 짐작할 수 있도록 해야 할 것이다.

만일 이보다 더 큰 누출 사고의 경우에도 같이 발표하고 접근 금지 등의 조치를 취하되, 반드시 제염 작업 이후의 방사선 선량을 비교하여 발표하면 효과적이라고 사료된다.

상기의 예시는 모든 측정값을 밀리시버트로 바꾸어 위해도를 평가하는 한 방법을 소개하고자 한 것이며, 필요한 모든 경우가 고려되지는 않았다.

예컨대, 반감기가 비교적 긴 Cs에 의한 오염만을 가정하였으나, 반감기가 짧은 핵종들의 경우 붕괴량을 고려해야 하며 여러 핵종에 의한 오염의 경우도 생각해야 한다.

또한 피폭 경로도 더욱 신중하게 고려하고, 보다 정확한 선량 평가 작업을 위해서는 서구인을 대상으로 만들어진 선량 전환 인자의 국산화 작업도 함께 수행해 나가야 할 문제라고 생각된다.

10) 이창우, 김국찬, 이정호, 토양의 방사능 오염 허용 기준치의 설정을 위한 피폭 경로 모델, 방사선방어학회지 제15권 제2호, 1990

향후의 원전 관련 사업을 위하여

지금부터 필요한 일은 원자력 사업에 대한 비전과 일관된 정책을 세우고, 꾸준히 나아가는 일이다.

이를 위해서는 효과적인 대민 홍보에 적극적으로 나서야 한다. 이를 경시하면 지속적인 저항을 받을 것이며, 아무리 좋은 정책도 결국은 꺾이게 될 것이다.

일반 대중은 생각보다 많은 부분에서 방사선을 이용하고 있음에도, 이에 대한 지식은 매우 부족한 경우가 많다. 원자력 관련 종사자들의 보다 적극적인 홍보 활동이 필요한 것이다.

이제 더 이상 원자력 사업은 비밀리에 진행되었던 맨하탄 프로젝트와는 다르다. 엄연히 다른 일반 사업 부문과 다를 게 없는 전력 사업의 한 부분이다.

따라서 국민 경제에의 기여도와 필요성을 알리고, 일반 대중의 이해 기반을 넓혀나가야 한다.

국립보건원 보고에 따르면, 1985년 국내 진단용 X선 장치는 약 6천여대가 설치되어 있으며, X선 검사를 받은 인원은 2천만명으로서 전 인구의 48%가 X선 검사를 받은 것으로 보고 되었다.¹¹⁾

전인구의 절반 가까이 X선 검사를 받았다지만, 과연 그 중 X선이 방사선의 일종임을 얼마나 알고 있을지는 미지수이다.

얼마 전 일본의 동경전력은 대기 오염 물질 배출권을 확보하기 위해 호주에 대규모 삼림을 조성하기로 한 바 있다.¹²⁾ 공해 물질인 이산화탄소(CO₂) 배출량을 늘리는 대신 호주에 대규모 소나무숲을 조성해주는 계약을 체결한 것이다.

1997년 체결된 「지구 온난화 방지를 위한 교토 의정서」에 따른 이 계약으로 동경전력은 80억엔에 이르는 비용을 지불하는 대신, 이 숲이 흡수하는 이산화탄소 양만큼 이산화탄소를 배출할 수 있어 별도의 공해 방지 설비를 만들 필요가 없다.

이런 사례와 같이 이제 더 이상 환경 정책은 구호만이 아닌 실제적인 조치를 바탕으로 수행되는 추세이다.

오존층 파괴를 방지할 목적으로 성립된 비엔나 협약, 몬트리올 의정서 등 점차 환경 보전 관련 협약이 증대되고 있다.

특히 인간의 급격한 에너지 소비 증가로 발생하는 이산화탄소·메탄(CH₄) 등의 온실 가스로 인한 지구 온난화를 방지하기 위해, 1992년 5월 채택되어 1994년 3월 발효된 가

장 규모가 큰 국제 협약인 기후변화 협약은 상기의 보도 내용과 같이 보다 더 구체적으로 시행되고 있다.

이산화탄소는 주로 석탄·석유와 같은 화석 연료의 연소시 발생되는데, 이에 반해 원자력의 경우는 거의 발생하지 않는다.

이런 이점이 인정되어 총전력의 75%를 원자력으로 생산하고 있는 프랑스는 온실 가스 감축 의무 대상국에서 제외된 바 있다.¹³⁾

1997년 기준 이산화탄소 배출량 세계 11위인 우리나라로서는 보다 적극적으로 국제 환경에 대처할 필요가 있으며, 원자력은 그 대안 중 한 가지가 될 수 있을 것이다.

원자력 발전은 차세대 에너지원이 개발되기 전까지는 우리의 편리를 위해 이용해야 할 '필요악' 적 존재라고 할 수 있다.

원자력이 절대적인 대안은 아니다. 그럼에도 불구하고 우리 시대에는 가장 개방된 발전 방식이며, 보다 안전하고 저렴한 방식이 나올 때까지는 인정해야만 한다. 다만 부산물로 생성되는 폐기물 등 방사선 관리는 철저히 수행되어야 할 것이다.

이런 모든 상황에 대해 솔직하게 얘기할 수 있어야 한다. 경제나 국제 정세 동향 또는 건강 등에 관한

11) 추성실, 방사선의 의학적 이용에 따른 방사선 안전 관리 현황, 대한방사선방어의학회지 제15권 제1호, 1990

12) <중앙일보> 경제면, 1999년 7월 9일자

13) 노재식, 기후변화협약과 우리가 해야 할 일 (2), 월간 환경21, 1999년 8월호

텔레비전의 특집 프로그램은 많다. 그러나 아직까지 제대로 된 방사선 관련 다큐멘터리나 특집 방송은 보지 못한 것 같다.

텔레비전이나 인터넷 등 대중매체의 영향은 앞으로 점점 더 커지리라 예상된다.

이들을 통하여 원자폭탄과 원자력발전소가 어떻게 다른지, 자연 방사능이 무엇인지를 얘기하는 것도 홍보를 위한 좋은 방법이라고 생각된다.

방사선에 노출되는 위험에도 불구하고 방사선 진단을 받는 것은 병을 조기에 발견하여 치료하기 위한 일 것이다.

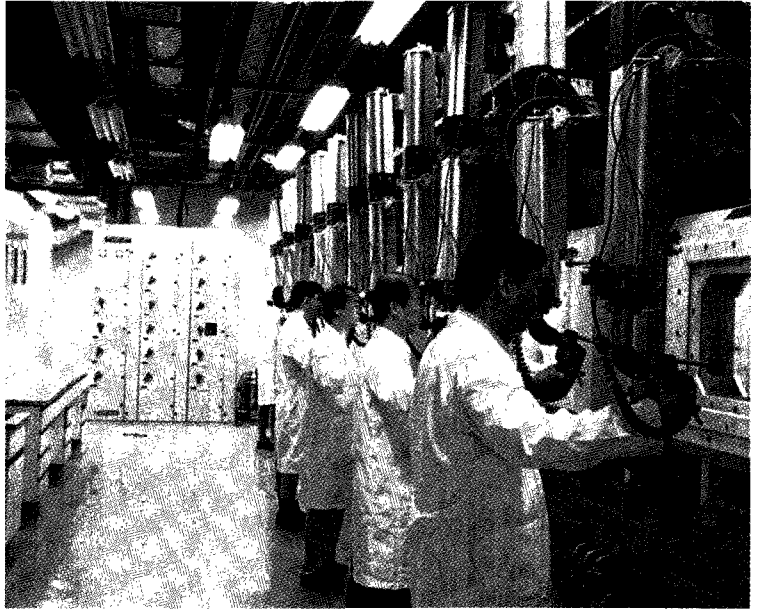
방사선은 이렇게 양면을 가진다. 이제는 대중으로 하여금 이 양면을 골고루 볼 수 있도록 적극적으로 알려야 할 시점인 것이다.

결론

앞으로 원자력 사업은 기술 정책만이 아닌 사회 정책 차원, 즉 대민 이해와 수용에 기반하여야 한다.

무조건 안전하다고 얘기하는 것보다는, 위험할 수도 있지만 충분히 대비할 수 있음을 인식시킬 필요가 있다. 더 이상 원자력 종사자끼리만 얘기해선 안된다.

기본 사항에 관한 한 누구나 알 수 있도록 관련 정보를 공개하고 설명해 주어야 한다. 또한 방사성 폐



원자력 에너지와 방사선은 이미 우리 일상에서 요긴한 생활의 일부이며, 반면에 그 위험성에 대해서는 철저히 관리되고 계속적으로 대책이 강구되고 있음을 알려야 할 것이다. 이를 위해서는 모든 인식의 기준이라고 할 수 있는 방사선 관련 단위의 통일이 필요하다. 효과적인 대민 홍보 및 공지(公知)를 위해서는 현재 쓰이는 복잡한 단위들이 일반인들에게는 오히려 방해가 될 수도 있기 때문이다.

기물 처리장, 원전 건설 등 당면한 문제는 물론이고, 향후 후행 핵주기 분야의 활용 등 보다 전향적이고 자주적인 원자력 사업을 위해서는 사업에 대한 국민 합의 도출이 필수적임을 인식해야 할 것이다.

따라서 원자력 에너지와 방사선은 이미 우리 일상에서 요긴한 생활의 일부이며, 반면에 그 위험성에 대해서는 철저히 관리되고 계속적으로 대책이 강구되고 있음을 알려야 할 것이다.

이를 위해서는 모든 인식의 기준이라고 할 수 있는 방사선 관련 단위의 통일이 필요하다. 효과적인 대

민 홍보 및 공지(公知)를 위해서는 현재 쓰이는 복잡한 단위들이 일반인들에게는 오히려 방해가 될 수도 있기 때문이다.

그래서 피폭에 따른 인체에의 위험도를 고려한 단위인 밀리시버트를 통일 단위로 정하여 사용할 것을 제안하였다.

물론 다른 관련 단위들은 전문가들 사이에서 적절하게 쓰일 것이며, 통일된 단위 사용은 방사선 관련 측정 또는 사고 공지 및 원자력 홍보에 일관되게 쓰임으로써 원자력에 대한 국민 이해 개선의 초석이 될 것이다. ☞