

01 _ 1986년 4월 26일 체르노빌 원전 폭발

인간 역사상 최대의 핵 재난

글 | 김성호 _ 한국원자력연구소 종합안전평가부 위촉연구원 shokim@kaeri.re.kr

체르노빌 원전 사고는 1986년 4월 26일 새벽 1시 23분(우리나라 시간 아침 7시 23분)에 구소련 우크라이나 지방의 체르노빌에 위치한 전기출력 1천MW(e)급 원전 4호기에서 발생한 방사성 물질 외부환경 누출 사고이다. 그 당시 체르노빌 원자력 발전소 부지내에서는 플루토늄 연료의 흑연감속 경수냉각 비등경수로(RBMK) 4대가 운영되고 있었다.

터빈 정지 테스트 중 운전원 실수가 부른 참사

구소련에서 주로 플루토늄 생산 원자로로 개발되어 상용 원자로로 사용되고 있는 RBMK 유형은 ‘채널화된 대규모 동력로’를 뜻하는 러시아어 ‘리액터 불쇼이 모쉬노스찌 까날리니’에서 나왔다. 핵분열 연쇄반응이 쉽도록 핵분열로부터 발생하는 고속 중성자들의 속도를 줄이는 감속재로 흑연을 사용하고 있는데, 이 흑연은 화재 위험성이 매우 크다. 중성자들과 흑연 원자들의 충돌에서 발생하는 열을 제거하는 냉각재로는 물(경수 H₂O)을 사용한다. 사고 당시 RBMK형에서는 구소련 특유의 발전소 사고 국지화 시스템인 격납건물을 사용하고 있었다. 반면에, 우리나라에서는 물을 감속재와 냉각재로 병용하므로 화재 위험성이 전혀 없으며, 이러한 통상적인 격납건물 대신 원자로 전체를 두께 1m 이상의 철근-보강 콘크리트 격납용기로 감싸도록 설계하여 사고 발생시 방사성 핵물질을 격납용기내로 국한시켜 외부환경 누출을 방지하거나 지연하도록 하고 있다.

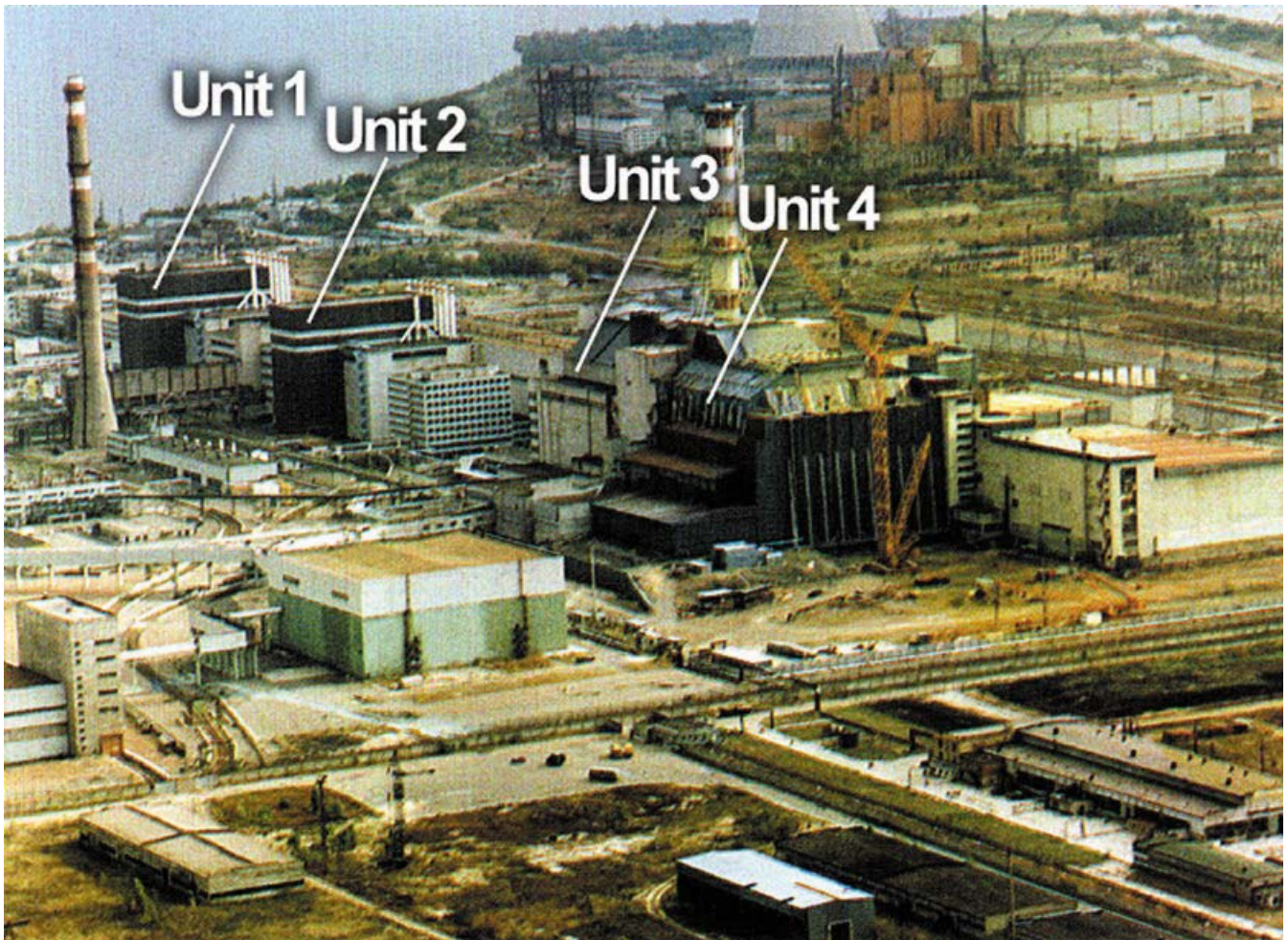
이 원전은 터빈정지 테스트 중에 운전원의 실수로 출력 폭주가

발생하였다. 이 때 노심의 냉각 실패로 노심이 녹아버렸고, 수증기 폭발과 수소 폭발이 연속적으로 일어났다. 그리고 용융된 노심이 격납건물로부터 흩어지면서 많은 양의 방사성 물질이 외부환경으로 누출되었다.

이 사고로 약 500만 주민이 살고 있던 벨로루시, 러시아, 우크라이나 지역이 방사성 물질인 요오드(I 131)와 세슘(Cs 137) 등으로 오염되었다. 반감기가 8일에 이르며 체내흡수 후 주로 갑상선에 침착되어 갑상선암을 유발시킨다고 알려진 요오드131은 사고 몇 주 후에는 대부분 소멸하였다. 하지만 장수명 핵종인 Cs 137은 37kBq/m² 이상의 방사능 오염을 유발하였다. 이는 반감기가 30년이나 되고, 체내흡수 후 근육에 농축되어 존재하게 된다. 여기서 Bq(벵크렐)은 방사능의 국제단위이며 1초당 1원자 붕괴를 의미한다.

체르노빌 사고 이후 방사선 개인 피폭의 연구를 통한 방사선의 보건 영향에 대한 지식의 범위는 지속적으로 확장되고 있다. 하지만 이에 관한 정확한 정보가 피폭지역 주민이나 생존자 등에게 제공되지 못하고 있다는 사실이 심리적이거나 정신 건강상으로 볼 때, 아직도 무기력한 운명론과 같은 심리적인 부작용을 유발하고 있는 점을 간과해서는 안 될 것이다.

오염 지역에 걸쳐 있는 벨로루시, 러시아, 우크라이나 정부들이 앞으로 생존자와 주민들이 건강한 생활을 향유할 수 있도록 첫째 체르노빌 프로그램의 합리적인 개편, 둘째 체르노빌 재난으로 인한 심리적 불안감을 해소시키는 정보 교환의 노력 등을 적극적으로 추



폭발 사고 이전 체르노빌 원전 4호기(Unit4) [Source : Global Security.org]

진할 수 있도록 국제적인 관심, 재정적인 후원, 과학적인 참여 등이 지속적으로 필요하다.

2005년 9월에 유엔 세계보건기구(WHO), 국제원자력기구(IAEA) 등이 합동으로 발간한 ‘체르노빌원전 사고의 유산: 다각적 영향 및 권고사항’에서 언급된 내용들은 체르노빌 원전 사고 후 20주년이 되는 현 시점에서 체르노빌 재난이 보건뿐만 아니라 환경, 국제적 사회·경제 등에 미치는 다각적인 영향과 이러한 대형 재난에서부터 얻을 수 있는 교훈을 준다.

핵폭발 아닌 증기·수소폭발이 사고 원인

RBMK형 원전 4호기에서는 원자로 운전정지시 터빈을 이용한 비상전력의 단기간 활용 여부를 시험하기 위하여 터빈정지시험을 계획하고 있었다. 이는 우리와 다른 RBMK형 비상전력 공급계통

의 안전성을 입증하기 위한 시험이었다.

터빈의 관성을 이용한 비상발전 테스트를 위해 사고 전날(4월 25일)부터 출력을 낮추기 시작하였다. 이 터빈정지 테스트를 위해 원자로 열출력은 1천mw(t) 근처에서 안정되어야 했으나, 운전원이 자동정지 기능을 차단한 결정적인 실수로 열출력은 30mw(t)로 떨어졌다. 그 뒤 운전원은 열출력을 200mw(t)로 회복 안정시키고 테스트를 시작하려고 했다. 이 때 모든 안전장치를 해제한 원자료가 불안정해지면서 출력이 순간적으로 급격하게 상승하였다. 운전원이 비상정지 버튼을 눌렀지만 이러한 출력 폭주로 인해 대량의 증기가 생성되면서 증기 폭발이 있었다. 이어서 감속제로 사용한 흑연에서 발생한 수소가 폭발하면서 원자로의 뚜껑이 날아갔고 노심이 흩어졌다. 이에 따라 흑연화재가 열흘 동안 이어지면서 전례 없는 많은 양의 방사성 물질이 격납건물로부터 외부환경으로 누출되었

으며 '인간 역사상 최대의 핵 재난'이라는 오명을 얻었다.

우리 나라에서는 이러한 사고 대비책으로 격납용기, 격납용기 안에 열제거 장치 및 수소제거 장치 등을 설치해 증기 폭발이나 수소 폭발의 위험을 근원적으로 방지하고 있다. 여기서 분명히 지적되어야 할 점은 체르노빌 원전 폭발 사고가 핵폭발에 기인한 것이 아니고 엄연히 증기 폭발과 수소 폭발 등에 기인했다는 것이다.

최근 UN 보고서에 따른 피해 규모를 보면, 직접 사망자는 복구에 종사하였던 작업자 50명, 암 및 백혈병 사망자는 3천940명이 고, 갑상선 암환자는 4천 명이 발병하였으나 생존율은 99% 등에 달했다. 피폭 피해자는 60만 명 (피해 복구자 20만 명, 피난민 11만 6천 명, 오염 지역 거주자 27만 명), 피해 지역은 20만km²(장기적인 오염 지역은 반경 100km) 등으로 요약되고 있다.

가난한 피난민의 처지로 몰락한 생존자의 정신·건강상의 부정적 영향은 1) 갑작스럽고 강제적인 소개로 인한 사회적 관계의 단절, 스트레스, 충격 2) 피해자 및 어린이 건강에 대한 걱정 등으로 인한 다양한 불안감 등으로 나타나고 있다. 구소련에 살던 피폭 주민은 사고 초기뿐만 아니라 사고 후 거의 2년 동안 사고와 방사성 오염에 대한 믿을 만한 정보에 접근할 수 없었다. 이러한 정보소통의 지연 때문에 이들은 체르노빌 사고의 공적인 정보를 불신하게 되었으며, 다른 질병도 방사선 피폭 탓으로 돌리는 결과를 초래하였다.

60만 명 피폭 피해, 4천여 명 사망

방사선에 피폭된 주민은 사고 발생 후에 원전에 투입된 비상조치복구 작업자, 오염 지역으로부터 소개된 주민, 그리고 미소개 주민 등 세 가지 범주로 분류된다. 당시 원자로 운전원과 사고 발생 직후 파괴된 원자로 근처에 있던 비상조치 작업자를 제외하고, 대부분의 복구 작업자와 지역 주민은 자연 방사선 준위에 비해 더 적게 피폭되었다. 일부 원자로 운전원과 비상조치 작업자는 1986년 4월 26일에 2~20Gy로 추정되는 다량의 외부 감마선을 받았고, 이들 중 28명은 방사선열에 의한 화상으로 사고 후 4개월내에 사망하였으며, 19명은 1986~2004년까지 사망하였다. 소개 후에야 측정된 소개된 주민의 방사선 피폭량은 우크라이나 피난민이 평균 17mSv(개인별 추정치는 0.1~380mSv), 벨로루시 피난민이 평균 31mSv, 가장 높은 두 마을에서는 300mSv 등에 달하였다. 밀리시버트(mSv)는 살아있는 조직에 축적된 방사선 에너지를 나타내는 단위이다.

라돈 가스 등 자연적으로 생성되는 방사선에 노출되는 양은 연간 약 3mSv, X선 사진을 한 번 찍을 때 노출되는 양은 약 0.1mSv, 전신 전산화단층촬영(CT)에서 1회 방사선 노출량은 10mSv이다. 일반 대중은 사고 발생 후부터 20년 동안 외부 방사선원(토양에 침적된 Cs 137)과 음식, 물, 공기 등을 통해 체내로 흡수된 방사성 핵종(주로 Cs 137)으로 인해 방사선에 노출되어 왔다. 그러나 체르노빌 방사성 낙진으로 오염된 지역 주민이 자연 방사선 준위가 높은 인도, 이란, 브라질, 중국 등의 주민보다 오히려 더 적은 양의 방사선을 받았음은 주지할 만한 사실이다. 벨로루시, 러시아, 우크라이나 등의 오염된 지역에 거주하는 약 500만 명에 달하는 대부분의 주민들은 현재 매년 1mSv 보다 적은 양의 체르노빌 방사성 낙진을 받고 있다. 매년 1mSv(=100mRem)가 일반 대중에 대한 피폭선량 제한치에 해당한다.

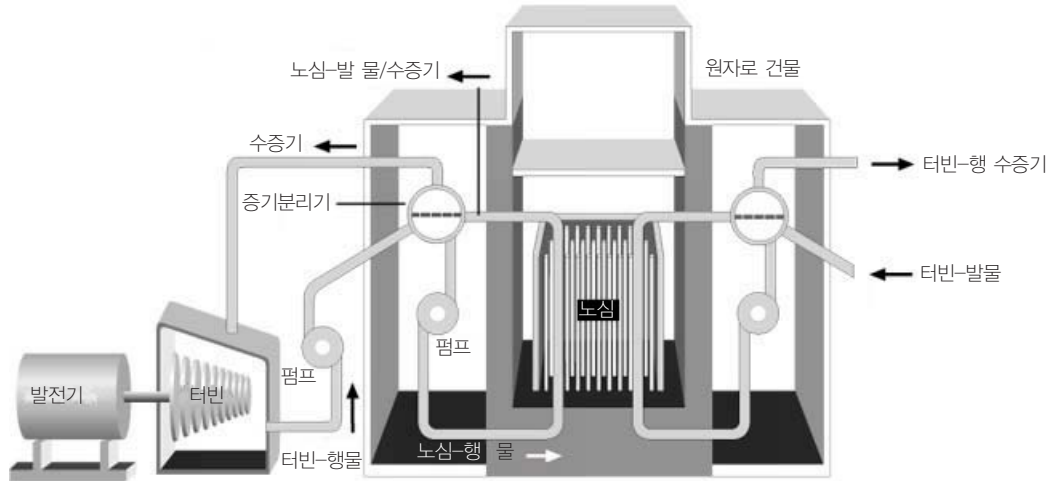
급성 사고사망자수와 관련하여, 유엔방사선영향과학위원회(UNSCEAR)의 2000년도 보고에 따르면 급성 방사선 증후군(ARS) 환자는 애초에 원자로와 응급조치에서 일하던 237명으로 보고되었으나, 나중에 정확한 임상분석 결과 134명으로 확인되었다. ARS를 보인 사람 중 1986년 28명이 사망하였고, 1987~2004년 사이 추가로 19명이 사망하였다. ARS를 보인 나머지 생존자들은 현재 계속해서 추적 관리되고 있다. 그러나 일반인들은 체르노빌에 의한 방사선 영향이 매우 낮아 ARS나 이와 관련한 질병은 전혀 나타나지 않았다.

원자력계와 반핵단체 피해규모 산정 달라

벨로루시, 러시아, 우크라이나의 오염지역 주민 및 응급조치와 복구 작업자의 사망률과 관련하여, 1986년 이래 수행된 직접 방사선 영향에 대한 역학조사 연구에 의하면, 전체 인구의 사망률은 방사선에 기인하여 증가되지는 않았다고 밝혀졌다. 어린이와 성인의 갑상선 암에 의한 사망자 수는 현재까지 세 개의 나라에서 9명으로 보고 되어 있다. 평균적으로 107mSv 이상의 방사선에 피폭된 6만 1천 명의 비상조치 작업자 중 1991~1998년에 사망한 사람의 약 5%(약 230명)가 방사선에 의한 고형암, 순환계질환, 백혈병으로 사망한 것으로 추정되고 있다.

방사선 피폭 관련 질병과 관련하여, 소아의 갑상선암은 발생하기 쉬운 것으로 밝혀졌으며, 1992~2000년 사이 3개국에서 4천 명의 소아 갑상선암 환자가 발생하였다. 그러나 갑상선암은 치료 후 생존율이 높아, 벨로루시의 경우, 1천152명의 갑상선암 어린이 중

RBMK형 원자로



[Source : Nuclear Energy Institute]

체르노빌 원전의 개념도

지금까지 15명이 사망하여, 98.8% 생존율을 보이고 있다. 백혈병 및 고형암의 발병률은 집단 고평폭으로 증가한다고 알려졌다. 순환계질환의 발병률은 희박하지만 최근에 방사선의 고평폭으로 약간 증가하는 것이 관찰됐다. 백혈병 발병은 고평폭의 비상조치 작업자에게는 크지만 일반인에게는 거의 없다. 백혈병은 피폭 후 20년경 과시에는 시간이 경과하면서 질병률이나 사망률이 덜 중요해진다.

최근 고형암 및 순환계질환에 의한 질병률·사망률이 피폭된 비상조치 작업자에게서 약간 증가하였다. 그러나 순환계질환의 발병률은 스트레스, 비위생적인 생활습관 등 혼재인자의 간접적 영향도 받기 때문에 해석상 주의가 요구된다. 어린이와 응급조치 및 복구 작업자의 눈검사에 따르면 사고 후 방사선 피폭으로 백내장이 진행된 것으로 보이고 있다. 또한 250mGy 정도의 피폭에서도 백내장을 유발할 수 있음이 밝혀졌다.

체르노빌 방사선 피폭으로 이전에는 몇 십만 명 정도가 사망할 수 있다는 평가였으나, 최근에는 4천여 명이 사망하였다는 평가가 나오고 있다. 유전이나 생식에 미치는 영향과 관련하여, 체르노빌 영향권내 지역주민은 비교적 적은 양에 피폭되었기 때문에 방사능 누출의 직접적인 결과로서 남성이나 여성의 생식력 감소, 사산, 불임, 어려운 출산, 소아 건강 등에 영향을 주었다는 증거나 가능성은 없다. 다만, 사고 후 기형아 출산의 우려로 낙태 시술이 많아 출산율이 감소하였다.

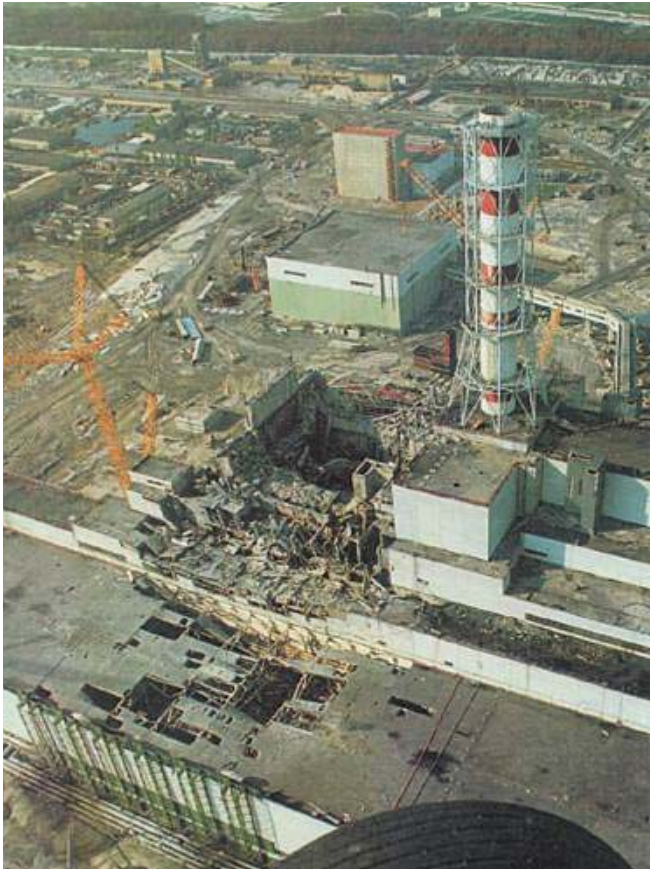
벨로루시에서는 기형아 발생이 증가하였으나 이는 방사선 영향이 아니라 인구의 유입에 의한 것으로 나타났다. 반면 반핵단체에 따르면, 이러한 기형아 증가는 체르노빌 사고에 기인한다고 평가하고 있다.

다양한 에너지 기술·정책 개발 유도

운전원 실수와 발전소 고유의 불안정한 특성으로 인한 체르노빌 원전 사고는 다량의 방사성 물질을 외부환경으로 누출시켜 원전 주변뿐만 아니라 기류를 타고 인접국들을 오염시킨 사고 그 자체로 세계를 한번 놀라게 하였다. 이뿐만 아니라 국지성을 넘어 전세계적인 영향을 유발시키는 이러한 사고 발생 후 구소련 정부의 대내외적으로 부정확하고 불충분한 정보 제공과 국제적인 의사소통 지연 등 폐쇄적인 후속대책은 세계를 두 번 놀라게 하였다.

이전에는 체르노빌 참사는 일차적으로 방사선 피폭으로 인한 인명피해나 재산피해가 주된 근원으로 파악되어 왔다. 하지만 최근에는 체르노빌 사고가 유발시킨 이차적인 빈곤과 스트레스의 근원에 무게 중심을 두는 견해도 나타나고 있다. 이 폭발사고의 파급효과에서 우리가 배워야 할 교훈이 있다.

첫째로, 부정적이며 폐쇄적인 사고 후 관리 행태는 인명피해 및 재산상의 피해 규모와 관련하여 사고시점 당시부터 지금까지 체르노빌 사고의 실제적인 영향을 정확하게 파악하지 못하게 한다는 것



폭발 사고 이후의 체르노빌 원전 4호기 [Source : Peter W Becker 2005]

이다. 따라서 이는 리스크가 큰 대규모 공학 설비인 원전을 안전하게 운영하기 위해서는 긍정적이며 개방적인 문화 배경이 사고 전 발생 예방책이나 사고 후 결말 완화대책에서 매우 불가결하다는 점을 시사한다고 볼 수 있다. 더불어 원전의 전과정에 걸친 경영 내내 지속적인 투명성이 확보되도록 전력회사 자체의 감시와 대외적인 감시가 필요하다.

둘째로, 체르노빌 사고는 심리적으로는 피폭지역의 주민과 생존자에게 운명론적인 부작용과 지속적인 불안감 등을 유발하고 있는 실정이다. 이는 생존자가 필요로 하는 정확한 정보를 적시에 충분히 제공하지 못하였기 때문이다. 따라서 사고 발생 전의 위험관리에서 사고 발생 후의 위기관리로 전환한 시점에서는 관련 기관은 정보소통의 적시성을 통해 정확한 리스크 정보를 생존자에게 제공하여 심리적인 스트레스를 극복하도록 도와주어야 할 것이다.

셋째로, 체르노빌 사고는 사회적으로는 기저부하용 에너지원으로 경제적이며 친환경적인 원자력을 이용하려는 시도에 반대할 통

계적인 자료를 전세계의 환경론자들에게 제공하는 빌미가 되어 왔다. 예를 들면, 체르노빌 참사는 비원전국인 덴마크나 노르웨이 등에서도 반원자력 운동을 촉발시켰으며, 독일에서는 당시 진행중이던 바커스도르프 원전 건설을 반대하도록 유도하는 계기가 되었다. 이러한 전세계적인 탈원자력화 움직임의 가속화로 미국에서는 체르노빌 사고 이후에 한 대의 신규 원전도 건설되지 못했다. 따라서 에너지공급 안보의 관점에서, 이는 부분적으로 탈원자력의 다양한 에너지원 조화 정책을 수립하도록 촉진하였다. 우리도 에너지 부문의 공급측면 관리에서 원자력의 제4세대 기술 개발뿐만 아니라 보완적으로 신재생에너지 기술 및 분산형 에너지원 기술의 개발을 장려해야 할 것이다.

넷째로, 체르노빌 원전 사고는 발생 이후 같은 유형인 RBMK형 원자력발전소뿐만 아니라 다른 유형의 원자력 발전소에 대한 안전성, 안전기준, 안전설비, 원자력 기술 등을 체르노빌 원전과 비교하여 재검토하는 기회를 제공하였다. 이를 통해 원자력 발전소의 안전 문화에 대한 자각 수준 및 안전 기술력은 오늘날 더욱 향상되었다고도 볼 수 있다. 따라서 안전성을 더욱 더 강조하도록 대규모 능동-안전의 복잡한 공학 설비 개념에서 소규모 피동-안전의 간단한 고유 설비 개념으로 설계를 진화시킨 차세대 원전을 도입해야 할 것이다.

마지막으로, 지역적으로 볼 때 흑자는 이 사고가 지역 경제에서 무계획적으로 퍼져나간 도시의 정비, 활발한 재산 시장의 형성, 건설 부문의 활황 등을 통해 GDP의 효과가 긍정적일 수 있음을 지적하고 있다. 또한 전세계적으로 학문 부문에서 체르노빌 관련 연구 주제를 형성하였으며, 체르노빌 참사 현장의 방문 프로그램 실행을 통해 지역 경제의 활황에 이바지하고 있다는 것이다. 따라서 사고 현장과 관련된 연구 토픽 및 다양한 이벤트의 개발을 통해 지역 경제뿐만 아니라 국제 경제의 활성화에 이바지한다는 점도 간과할 수는 없을 것이다. ⑤



글쓴이는 서울대 졸업 후 KAIST에서 석사학위를, 독일 슈투트가르트 대학에서 박사학위를 받았다.