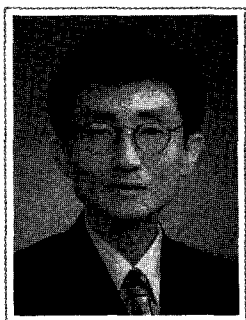


원자력 안전의 금전적 가치

최 광 식

한국원자력안전기술원 책임연구원



우 리 나라는 1978년 고리 1호기의 운전을 시작으로 원자력을 우리의 주력 에너지원으로 개발·추진하여 현재 16기의 원전이 가동중이며 4기가 건설중으로서 원자력 발전이 국내 총전력의 43%를 공급하고 있다.

1999년 산업자원부의 장기 전력수급 계획에 의하면 향후 8기의 원전을 추가 건설하여 2008년의 고리 1호기 폐지, 2013년 월성 1호기의 폐지를 고려할 때 2015년에는 총 26기의 원전이 가동될 예정이다.

우리 나라의 이러한 원자력 발전 프로그램과는 달리 세계적으로 원자력산업은 침체 국면이 지속되고 있는데 이는 1979년의 미국의 TMI 사고, 1986년 옛 소련의 체르노빌 사고 이후 국제적인 반핵 운동의 확산, 대중들의 원자력에 대한 거부감의 확산 등에 기인한다.

1997년 리우의 유엔환경개발회의에서 기후 변화에 대한 기본 협약이 채택된 이후 1997년의 교토의 정서에 따라 선진국들은 2012년까지 1990년 대비 5.2%의 온실 가스를 감축하도록 되었다.

그것이 발효되면(2001년이나 2002년) 탄소세 부과 등으로 원자력 발전의 경쟁력이 다시 회복될 것이라는 기대와 함께 원자력의 안전성에 대한 대중들의 우려와 환경 단체들의 활동 등으로 원자력산업의 미래에 대한 부정적 전망이 공존하고 있는 것이 오늘의 현실이다.

이러한 원자력 안전에 대한 범세계적인 우려와 관심은 국제적으로

도 원자력안전협약·방사성폐기물관리협약 등 원자력 안전의 국제 규범화로 나타나고 있고, 국제원자력규제자협의회(INRA)·서유럽원자력안전규제자협의회(WENRA) 등 규제 기관간의 협의 체계 구축 등의 움직임도 활성화되고 있다.

위에서 보았듯이 원자력의 안전성의 확보는 세계의 원자력산업의 추진에 있어서 가장 중요한 선결 과제임을 알 수 있으며 이러한 인식에 근거하여 우리 나라에서도 사업자와 규제 기관은 원자력 안전성을 확보하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있는 것이 현실이다.

우리는 원자력 이용의 전제가 안전성의 확보이며 원자력 안전성을 확보하여야 원자력산업을 계속 추진할 수 있다든가, 원자력 사고가 발생하면 큰 국가적 혼란이 초래되고 정부가 불신을 받기 때문에 원자력 안전성을 확보하여야 한다고 말하지만, 보다 정확하게 말하면 원자력 안전성의 확보가 필요한 것은 그

것이 확보되지 않아 큰 사고가 발생할 경우 바로 그것이 국가적으로 인명이나 재산 피해를 발생시키고 이것은 곧 국가의 금전적 손실로 이어지기 때문이다.

인명 피해란 국가적인 노동력의 손실, 그리고 국가가 피해자에 대하여 지급하는 배상금 등의 경제적 손실과 그 가족들의 정서적 피해라고 할 수 있다.

방사능 누출에 의한 환경의 오염은 제염 비용을 수반하고 그리고 국민들의 불안감 해소를 위한 각종 국민 이해 활동 등의 국가적인 비용도 발생시킨다.

그러므로 원자력의 안전성을 확보하고 그것을 유지하는 것은 사고에 의해 초래될 이러한 여러 가지 비용의 발생을 미리 방지하는 것이며, 그런 측면에서 원자력 안전성은 금전적인 가치가 있다고 보는 것이 타당할 것이다.

국가적으로 원자력 안전성을 지키려고 노력하는 것은 곧 그것의 금전적 가치를 추구하는 것이라고 할 수 있으며 이러한 안전성의 확보에 의해 얻어지는 금전적 가치와 안전성 확보에 들어가는 비용을 비교하여 안전 수준을 결정하고 그와 관련한 정책 결정을 하는 것이 합리적이다.

그렇다면 원자력의 안전성은 어느 정도의 금전적인 가치가 있는 것이며 그리고 그것을 어떻게 계량화

할 것인가? 이에 대한 인식과 논의가 지금까지 우리 나라에서 상대적으로 부족하였다는 것이 필자의 인식이다.

본고에서는 일반적인 안전성의 정의로부터 출발하여 리스크와 안전성에 대한 여러 논의를 검토하고 원자력 안전성의 특성과 그것의 금전적인 가치를 측정하는 방법에 대해 환경경제학에서 사용하는 방법론을 사용하여 논의하고 외국에서 원자력 안전의 금전적 가치를 측정하기 위하여 사용한 방법론과 우리나라에서 이러한 원자력 안전성의 금전적 가치의 측정과 관련하여 수행한 연구 현황을 간략히 소개하여 보고자 한다.

안전성과 리스크

인류는 지구상에 생존해오면서 끊임없이 각종 위험들에 노출되어 왔는데, 과거에는 자연으로부터의 위험이 대부분이었으나 오늘날에는 문명의 발달과 산업화로 인한 위험이 급속하게 증가하고 있다.

한 나라에는 여러 가지 위험 요소들이 산재해 있는데 전국적 도로망의 발달과 자동차 이용으로 인한 교통 사고, 항공기에 의한 사고, 대형 교통 수단의 발달에 의한 지하철이나 철도의 사고, 가스 저장·공급 시설의 사고, 각종 유독성 물질 보관 시설에서의 유출 사고, 그리고

방사성 물질에 의한 피폭 사고 등이 그것이다.

안전(Safety)의 사전적 의미는 '위험으로부터 벗어나 있는 것'이라고 말할 수 있고 또한 재난의 피해에 노출되지 않는 정도를 말한다고 볼 수 있다.

어떤 사회 체계 속에서 안전성을 논의하고 이에 대한 대책을 마련하기 위해서는 이에 대한 공통의 척도나 기준이 필요하다.

그런데 이를 위해 사람들은 보통 안전한 정도보다는 위험한 정도를 정량화하여 사용한다. 즉 1인 사망 사고가 발생할 확률이 1E-6/년이므로 다른 것보다 안전하다고 표현하지, 사망 사고가 일어나지 않을 확률이 0.99999/년이므로 안전하다고는 말하지 않는다.

이것은 우리가 현재 상태에서 안전하다고 생각하면 앞으로 더 높은 안전을 위해 무엇을 해야 한다는 의무감이 생기지 않는 성향이 있는 반면, 위험은 신속히 대처해야 하는 것으로 인식되어 평상시에도 감시의 대상이 되며, 위험이라는 용어 자체가 사람들에게 주의를 환기시키는 효과가 있기 때문이다.

국가적인 리스크 관리

개인들은 자신들의 리스크에 대한 이해·성향·선호, 그리고 경제적 능력에 따라 리스크 저감을 위한

행동을 개별적으로 선택한다. 즉 항공기보다는 느리지만 안전한 기차를 탄다든가 차량 구입시에 비싸더라도 에어백을 장착한 차를 산다든가 하는 것이다.

그러나 개인 차원에서 할 수 없는 분야에 대해서는 국민들은 정부가 국민들이 원하는 적정 수준의 리스크 저감을 위해 조치를 해 줄 것을 요구한다. 국민들은 이런 것들을 정부에 기대하고 정권을 선택하여 세금을 내고 있다.

국가는 이들 개별적인 국민들의 리스크에 대한 인식과 국가에 대한 요구를 종합적으로 수용, 반영하여 적정 수준의 리스크 유지 관리를 위한 정책을 결정하고 이를 시행한다.

정부는 그러나 국민들이 요구한다고 하여 무작정 리스크를 저감할 수 없다. 리스크 저감에는 비용이 들기 때문에 그것이 그 국가의 경제적 능력이 미치지 못하는 수준이면 전부 만족시켜 줄 수 없는 것이다.

그러므로 한 국가의 경제가 성장하고 국민들의 생활 수준이 높아지면서 그에 따라 안전 수준을 높이고 그에 대한 비용 지출도 증가시켜가는 것이 일반적이다.

오늘날 한 사회에 존재하는 여러 위험 요소들 각각의 리스크 수준이 다른데, 이는 그 시대 상황과 리스크에 대한 그 사회의 선호가 반영된 결과라고 볼 수 있으며, 이 상태에

서 리스크 저감을 위한 국가적 노력은 경제학적으로 접근한다면 단위 비용당 위험도 저감이 가장 큰 부문에 우선적으로 기울이는 것이 합리적이라고 할 수 있다.

그러나 여러 위험간의 형평성이라는 측면에서 보면, 어떤 분야의 위험도가 몹시 높는데 그 보다 위험도가 낮은 다른 분야의 위험도를 더 낮추기 위하여 자원을 그 쪽에 많이 투입하는 것은 불합리하다.

즉 교통 사고 위험도가 대단히 높는데 그보다 실제 위험률이 훨씬 낮은 원자력 사고의 위험도를 더욱 낮추기 위하여 이 부문에 자원을 우선 투입하는 것이 정당하나하는 문제가 제기될 수 있다.

국가의 경제 성장과 생활 수준의 성장에 따라 그 위험도 수준을 역시 골고루 낮추어가는 것이 바람직할 것이나 이것은 이상적인 이야기이고, 실제로는 부문별로 국민들이 특별히 혐오하는 리스크나 이해 집단들의 정치적 활동이 강력한 부문의 리스크에 정부가 우선적으로 예산을 투입하여 이를 저감시키는 과정을 밟게 되는 것이 일반적인 현상이라고 하겠다.

리스크의 특성에 대한 논의

위험도 분석 혹은 위험도 평가에서 전통적으로 사용하는 리스크의 개념은 사건의 발생 확률에 결과의

심각성을 곱한 것으로 정의된다.

이는 그 당시 최선의 과학적 지식과 통계 자료 내에서 계산되는 것으로 여러 가지 불확실성이 내포되고 또한 새로운 과학 지식, 새로운 통계 자료 등의 축적에 따라 변할 수도 있는 것이다. 때문에 이를 계산할 때는 보수적인 가정과 민감도 분석 등 여러 가지 기법을 통하여 불확실성을 극복하려고 노력하게 된다.

지금까지 정책 및 의사 결정은 이러한 계산된 위험도(risk)에 기초하여 이루어져왔다고 볼 수 있다. 그러나 일반 국민의 위험 인식과 위험 수용은 이러한 객관적인 계산된 위험도에만 기초하고 있지는 않는다.

여러 가지 연구에 따르면, 일반인의 위험 인식 및 수용은 어떤 대상의 객관적인 위험도뿐만 아니라 사람에게 주관적 위험을 유발시키는 그 대상의 위험 특성에도 영향을 받는다.

위험도는 과학 지식의 불확실성과 통계 자료의 미비 등으로 인해 위험과 관련된 모든 면을 명확하게 반영하여 계산할 수 없다. 또한 어떤 경우에는 인간의 가치 판단, 윤리성 등이 개입되어야만 하는 경우도 있으며, 당사자의 위험에 대한 성향이 다를 수도 있다.

객관적인 위험도(risk)와 위험 특성에 따른 주관적 위험인지(subjective risk perception)에 관해서 여

러 가지 연구가 있는데, 이들의 연구는 여러 가지 기술들간의 객관적 위험도와 실제 사람이 내리는 위험 판단에는 상당한 차이가 있음을 보여주며, 그러한 차이가 나는 이유를 각 기술이 갖는 위험의 특성(risk characteristics)에서 찾고 있는데 이는 다음과 같은 것들이다.

즉 위험에 노출되는 것이 자발적인가, 개인이 위험을 통제할 수 있는가, 일어날 확률은 작지만 결과가 심각한가, 친숙한 위험인가, 위험의 결과가 공포감을 유발하는가, 미래 세대에 영향을 미치는가, 특정한 희생자를 요구하는가(위험 배분의 형평성), 그 대상에 대해 잘 이해하고 있는가하는 것들에 의해 특정 대상의 전체 위험 판단이 영향을 받는다고 한다.

이중에서 리스크가 자발적 리스크인가에 대해서 살펴보면, 교통 사고의 리스크는 사람들이 높다는 걸 인정하지만 사람들은 그것을 수용하면서 자동차를 구입하고 교통 수단으로 이용한다. 그것은 그것의 이용이 대부분 본인의 선택으로 인식하기 때문이고 또한 자동차 운전의 경우 자신이 자신의 리스크를 통제할 수 있다는 소위 '통제의 환상'에 기인하기도 한다.

원자력의 경우를 보면 국민들은 자신들이 원자력 시설의 도입과 이용에 명시적으로 동의하였다고 생각하지 않고 자신의 의지와는 관계

〈표 1〉 원자력 사고와 일반 산업 재해 비교

구 분	일반산업 재해	원자력 사고
사고 발생률	높음	희박
피해 심각도	낮음	높음
피해 대상	종사자 및 소수의 관련자	종사자 및 다수의 일반 대중
환경 피해	국지적	광역적
피해 효과	즉시 피해 발생	정기간에 걸쳐 피해 발생

없이 자기 지역이나 자기 나라에 들어선 원자력 시설에서 발생하는 방사선의 리스크에 대해서 수용하고자 하는 의식이 부족하므로 리스크에 관한 논의에 있어 이러한 데 대한 고려가 필요하다고 하겠다.

또한 우리는 통계적으로 얻어진 리스크나 과학자들이 계산한 객관적인 사망률 등의 수치에 일차적으로 의존할 수밖에 없으나 대중들이 실제 인지하는 리스크는 그것과 다를 수 있다.

즉 일상적으로 발생하는 교통 사고는 연간 사망률이 직접적인 통계 수치로 제시되지만, 자주 발생하지는 않으나 한번 발생시 다수의 피해자가 발생하는 경우 연간 사망률은 대중들의 입장에서는 그 의미가 같지는 않다.

원자력에 의한 연간 사망 확률 데이터는 대부분의 경우 0에 가깝게 나타나지만 그렇다고 해서 국민들이 이를 그대로 받아들이지 않는다.

과학자나 정책 결정자들은 원칙적으로는 객관적인 자료에 의하여 일을 처리할 수밖에 없으나 실

제 정책적인 결정은 많은 경우에 대중들이 인지한 리스크에 영향을 받게 된다.

원자력 안전의 특성

인류는 지구상에 생존해오면서 끊임없이 각종 위험들에 노출되어 왔는데, 과거에는 자연으로부터의 위험이 대부분이었으나 오늘날에는 문명의 이기로부터의 위험이 급속하게 증가하고 있다.

수많은 인공적인 위험 요인들 중에서도 안전에 관한 논란이 가장 활발한 것이 발전용 원자력 시설들이다.

원자력 안전의 문제는 이러한 원자력 시설이 존재함으로써 제기되는 것인데, 원자력 시설의 안전은 본질적으로 방사선과 불가분의 관계이며, 방사선의 생성 자체를 줄이는 것과 함께 원자력 시설에서 생성된 방사선의 외부 유출과 이로 인한 인간들의 피폭을 방지하는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

현재 전세계적으로 경주되고 있

는 원자력 안전성 확보 노력은 궁극적으로 방사선 또는 이를 방출하는 방사성 물질의 외부 유출을 방지하는 것이라 할 수 있다.

따라서 원자력 안전을 한마디로 정의한다면 '원자력 이용으로부터 발생 가능한 방사선 재해로부터 인간과 환경이 입게 될 위험도가 없는 상태' 라고 할 수 있다.

원자력 사고를 일반 산업 재해와 비교해보면 <표 1>과 같다.

원자력 안전의 금전적 가치 측정이 왜 필요한가

원자력 안전성을 확보하기 위해서 사업자측에는 시설의 개선·보수 및 안전 인력의 확보, 보수 기간 동안의 발전 정지 등으로 인하여 비용이 발생하고 규제 기관에도 여러 가지 규제 비용이 발생하는 데 비해 원자력 안전성의 확보는 바로 가시적인 금전향으로 나타나지 않으므로 안전성 확보를 위한 비용을 지출하고서도 이것이 과연 얼마나 안전성을 향상시켰으며 그것이 국가적으로 얼마의 이익을 끼쳤는지를 사업자나 규제자가 정확하게 알지 못하는 것이 현실이다.

원전 현장에서 규제자가 종종 사업자로부터 "우리는 싼 전력을 국민에게 공급함으로써 국익에 기여하고 있는데 규제는 사업자에게 비용만 부과시키고 어떤 국익에 기여

하고 있는가" 하는 질문을 받는 것은 바로 이렇게 원자력 안전의 편익을 금전으로 제시할 수가 없기 때문이다.

그러므로 원자력 안전의 금전적 가치를 측정하는 것은 국가적으로 최적 규제를 하기 위해서, 그리고 기타 원자력과 관련된 정책 결정에 있어서 여러 가지로 중요하다고 볼 수 있다.

원자력 안전의 공공재적 특성

대부분의 재화나 서비스와는 달리 깨끗한 공기나 물과 같은 환경재의 경우 그 소유권이 명확히 설정되어 있지 않다. 이러한 것을 공공재(public goods)라고 하는데, 공공재화는 이러한 소유권 설정이 불안전함으로써 소위 시장 실패를 초래하게 된다.

이러한 공공재의 특징으로는 먼저 비배타성(nonexcludability)을 들었는데, 이것은 일단 공급되면 그 공공재에 대한 대가를 지불하지 않은 사람도 공공재를 소비할 수 있으며 그것을 막을 방법이 없다는 것을 의미한다.

그 다음으로 비경합성(nonrivalness)인데 이것은 어떤 사람이 공공재를 소비한다고 해서 나머지 사람이 소비할 수 있는 공공재의 양이 줄어들지 않는다는 특성을 말하며, 국방 서비스나 거리의 가로등 같은 것들

이 이런 것에 해당한다.

이러한 공공 재화인 환경질의 오염을 유발하는 경제 주체가 그 오염으로부터 발생하는 손실을 모두 부담하는 것이 아니므로 시장 기능에만 맡겨놓을 경우 각 경제 주체는 자신이 유발한 오염이 다른 경제 주체의 만족도를 떨어뜨리는 정도를 감안하지 않기 때문에 환경의 과도한 훼손을 초래한다.

이러한 환경질의 저하를 막기 위하여 국가가 정책 결정을 할 경우에 그 환경질의 개선이 국민에게 가져다 주는 편익을 계산하는 것이 필요한데, 이러한 재화는 시장에서 거래가 되지 않으므로 시장 가격이 형성되어 있지 않다.

이를 연구하는 학문이 환경경제학이며, 이 분야에서는 공공 재화의 금전적 가치를 측정하기 위한 여러 가지 방법을 연구하고 있다.

원자력 시설의 운영에 따른 리스크는 운전 중 혹은 사고에 의한 방사능 누출에 의한 사람들의 피폭과 사람들이 피폭을 받아 발생하는 질병과 사망, 그리고 방사능에 의한 환경 오염으로 요약된다.

방사선 사고가 발생하여 주변이 오염될 경우 이것은 공기와 물 등의 오염으로 이어지며 이것을 예방하는 원자력 안전성은 일단 확보되면 모든 국민이 그 혜택을 입는다는 것(비배타성), 그리고 국민 일부가 그 안전성의 혜택을 누린다고 해서 나

머지 사람이 누리는 원자력 안전성의 혜택 역시 줄어들지 않으므로(비경합성) 원자력의 안전성은 국가가 제공하는 국방 서비스와 유사한 공공 재화의 성격을 갖는다고 볼 수 있다.

원자력 안전성의 향상은 원자력 리스크의 저감량으로 나타낼 수 있으며, 원자력 안전의 금전적 가치, 즉 원자력 안전성의 향상으로 가져오는 편익의 금전가로의 환산은 사고로 인해 미래에 발생할 질병과 사망, 그리고 환경 오염의 가치를 금전으로 평가하는 것이다.

그런데 환경 오염의 경우 원래 상태로 되돌리는 제염이 실시된다고 가정하고 그 비용을 산정할 수 있지만, 질병·사망·일반인의 정서적 불안감 등의 가치는 쉽게 그 금전적 가치를 추정할 수 없다.

이를 위해서는 시장에서 거래되지 않는 재화에 대한 가치 측정 방법을 원용할 수밖에 없는데, 이러한 방법론이 많이 개발된 학문 분야가 환경경제학이다.

다시 말해 환경경제학은 환경질과 같은 시장에서 거래되지 않는 공공재의 가치를 측정하기 위한 여러 가지 방법론을 개발하였는데, 이러한 방법론을 위협에 따른 질병·사망·정서적 불안감 등의 가치 측정에 적용하면 이의 금전적 가치를 환산할 수 있는 것이다.

따라서 시장 거래 가격이 존재하

〈표 2〉 환경재의 가치 측정 방법

기 준	전통적 시장 (conventional market)	암묵적 시장 (implicit market)	구성된 시장 (constructed market)
실제 행위 (actual behavior)에 기초	· 생산 영향 측정법 (effect on production) · 건강 영향 측정법 (effect on health)	· 여행 비용 접근법 (travelling cost model) · 특성 가치법 (property value) · 대리 재화법 (surrogate goods)	· 인위 시장법 (artificial market)
잠재적 행위 (potential behavior)에 기초	· 대체 비용법 (replacement cost) · 후부 사업 선정법 (shadow project)		· 가상 가치 접근법 (contingent valuation method)

지 않는 원자력 안전성 향상의 금전적 가치를 구하기 위해서는 환경경제학에서 사용하는 방법론을 사용하는 것이 타당하다고 볼 수 있게 된다.

그러므로 먼저 환경경제학에서 사용하는 공공 재화의 금전적 가치 측정 방법을 살펴보기로 한다.

환경질의 가치와 측정

환경질의 경제적 가치는 보통 사용 가치(use value)와 비사용 가치(non-use value)로 구분한다.

사용 가치는 식량·생물 자원 등의 직접 사용 가치와 홍수 통제·태풍 방지 등의 간접 사용 가치, 생물의 다양성이나 서식지 보존 등의 선택 가치, 그리고 영원히 회복이 불가능한 영향을 미치는 것을 고려한

준선택 가치 등이 해당된다.

그리고 그것이 존재한다는 사실 자체를 가치로 보는 것과 후손에게 물려주는 자연 환경 가치를 포함하는 비사용 가치가 있다.

이러한 환경재의 가치 측정 방법으로는 간접적인 방법과 직접적인 방법이 있다.

간접적인 방법은 사유재가 환경재와 서로 보완적인 관계에 있으며 환경재의 질은 사유재에 합병되어 있다는 가정에 근거하여 이 환경재의 변화로 인해 야기되는 시장 재화의 가격과 수량의 변동을 관찰하는 우회적 방법을 사용한다.

즉 환경질이 개선되면 이와 대체 혹은 보완 관계에 있는 시장 재화에 영향을 미치게 되며, 이러한 재화의 수급 변화를 관찰하여 간접적으로 환경질에 대한 화폐 가치의 측정이

가능하다고 보는 것이다. 여행 비용 접근법이나 만족 가격 접근법(Hedonic Price Approach)이 이에 해당한다.

직접적인 방법이란 가상적 시장을 통해 개인이 환경재에 대해 가지고 있는 주관적인 평가액을 설문 조사 등을 통해 조사하는 방법으로서 가상 가치 접근법이 이에 해당한다.

간접적인 가치 측정 방법이 일반적으로 마샬의 소비자 잉여 이론에 근거를 두는데 반해, 가상 가치 접근법은 직접적으로 환경질 개선에 의한 가치, 즉 지불 의사나 보상의사를 얻을 수 있기 때문에 효용 함수에 대한 가정이나 수요 함수의 도출 등 복잡한 중간 과정을 거치지 않고 지출 함수에서 경제학자 Hicks의 후생 개념을 이끌어 낼 수 있다.

사회 내의 총체적인 가치 측정의 척도가 없는 상태에서 무형의 공공재에 대한 가치를 측정하는 유일한 방법은 그 가치에 대한 개개인의 인식 수준을 측정하는 것이며, 소비자는 그들에게 무엇이 가치있는가에 대한 최선의 합리적인 판단을 하고 이러한 가치는 그들이 해당 재화에 기여이 지불하고자 하는 의사를 통해 재화의 가격에 반영되어 있고, 이러한 지불 의사를 통해 주어진 양의 재화나 서비스에 대한 개개인의 가치 체계를 계량적으로 측정 가능하다는 것이다.

이러한 개개인의 지불 의사는 집

〈표 3〉 환경 분야의 가치 측정 방법 비교

기준	생산 영향법	여행 비용 접근법	만족 가격 접근법	자상 가치 접근법
목적	산출물 변화의 기회 비용	여행 장소에 대한 보상적 지출	재화의 특성	가상적 시장을 이용해 WTP/WTA를 측정
사용 범위	정부의 방어적 지출	사후 측정	사전·사후 측정	사전·사후의 모든 환경재에 적용
가정 및 어려	사용자의 행위 이론과 관련이 없음	분리 가능성(separability)	분리 가능성(separability)	편의(bias)
측정되는 가치	사용 가치	사용 가치	사용 가치와 쾌적함에 대한 가치	모든 사용·비사용 가치
측정치 의 신뢰성	물리적 영향이 알려진다는 가정하에서 신뢰성이 높음	불확실	타당하지만 모형에 따라 민감하게 나타남	상당히 이론적으로 타당함
결론	추천되기 어려움	측정치에 오차가 발생하기 쉬움	가상 가치법이 사용 불가능한 경우 사용	가장 추천할만한 방법임

계되어 사회 전체의 지불 의사를 결정하게 된다.

가상 가치 접근법은 환경질에 대한 시장이 현실적으로 존재한다는 가정하에 행해지는 방법인데, 소비자가 환경질을 구입하기 위해 지불하고자 하는 가격이나 협오재를 떠맡으면서 보상받으려는 대가를 직접 질문을 통해 알아내는 방법이다.

시장재와 비시장재에 대해서는 경제적인 가치의 개념을 사용하여 평가할 수 있으며, 이는 사용 및 비사용 가치가 포함된다.

시장 가격은 완전한 정보에 기초한 것이 아니므로 가상적 시장이 완벽하지 않다고 해서 그것으로부터 유도된 가격이 받아들여질 수 없는

것은 아니다.

환경재의 경제적 가치를 판단함에 있어서 앞서 언급한 유산 가치 존재 가치 등의 비사용 가치들은 상당 부분 개개인의 주관적 판단에 따라 그 크기가 달라질 수 있으므로 이러한 가치들은 환경재의 특성상 총가치 중에서 사용 가치보다 더 많은 부분을 차지하며, 따라서 환경재의 가치 측정에서는 그 중요성이 더 크다고 할 수 있다.

가상 가치 접근법은 평가 대상물에 대한 적절한 설명과 설문서의 신중한 설계가 이루어질 경우 다른 분석 기법에 비해 측정치의 신뢰성과 타당성을 제고할 수 있으며, 환경재의 총가치 중에서 존재 가치·유산

가치 등의 비사용 가치를 보다 충실하게 반영할 수 있는 기법이기에 환경재의 측정 방법으로 널리 권장되고 있다.

한편 이 방법은 응답하는 집단이 이해할 수 있고 신뢰할 수 있는 가상적인 시장의 설정에 제약이 있으며 응답자가 경험하지 못한 대안을 평가할 때 신뢰성이 감소한다는 점, 가상적인 시장에서 생성된 자료를 사용할 때에 자료 타당성의 인증이 어렵다는 점과 응답자가 전략적으로 행동할 기회와 유인을 제공한다는 점, 설문 설계가 잘못될 경우 각종 편이가 발생할 소지가 있다는 점 등의 약점이 지적되고 있다.

〈표 2〉 〈표 3〉에 환경재의 가치 측정 방법과 그 비교를 정리하였다.

원자력 안전성의 가치 측정

앞에서 살펴본 바와 같이 원자력 안전성의 향상은 작업 종사자와 국민의 방사선 피폭 선량 저감량과 소내 재산 및 소외 재산 예상 피해 금액의 감소로 나타난다고 볼 수 있다.

이중에서 소내 재산 예상 피해 금액의 감소는 사고가 일어났을 경우의 대체 전원(발전 시설의 경우) 비용, 제염, 교체 비용 등과 같은 소내 재산 변화를 표현하는 것으로 사고 발생 빈도의 변화와 사고가 일어났을 때의 피해 정도의 곱으로 표시된다.

〈표 4〉 인체 영향에 대한 금전가 산출 연구 사례

평가자	대상국(연도)	(\$/man-Sv)	평가 방법론
USNRC	미국 (1975)	100,000	10CFR50 App.I
Nordic	노르딕 국가 (1987)	20,000	경제적 가치 평가
NRPB	영국 (1993)	32,000(일반인) 80,000(직업인)	경제적 가치 평가
ICRP 37	국제 (1983)	1,000-100,000	
IAEA	국제 (1985)	3,000	국가간 경제 피폭
CEPN	프랑스 (1990)	1,800(저선량) 5,400(선량 한도 수준)	경제적 가치
HPS	미국 (1993)	4,000(저선량) 20,000(선량 한도 수준)	WTP법
KAERI	한국 (1994)	13,300 (GNP \$5,500 기준) 9,300 (GNP 65% 기준)	경제적 가치
Nakashima	일본 (1986)	4,940	경제적 가치
Beninson	국제 (1979)	1,900-19,000	
Clark	국제 (1979)	2,400-372,000	
Lombard	프랑스 (1985)	2,300-11,300	
Webb	영국 (1985)	15,000-30,300	

주 : NRPB : 영국방사선방호원
CEPN : 프랑스원자력방호평가센터
HPS : 미국보건물리학회

소의 재산 예상 피해 금액의 감소는 사고에 의한 토지·농작물·수자원 등에 미치는 직접적인 피해나 관광 자원과 같은 간접적인 피해의 변화를 나타내는 것으로서, 주민 소개 비용, 임시 이주 비용, 소외 제염 비용, 농산물 처분 비용, 기타 소외 비용 등을 포함한다.

이러한 소내 및 소외 재산의 예상 피해 금액의 감소량은 현재의 경제적 평가 방법으로 추정 계산이 가능하므로 국민과 방사선 작업 종사자의 피폭 선량의 저감량을 금전향으로 환산하는 것이 중요하다.

또한 이러한 방사선 피폭의 저감에 대한 가치는 인명 피해에 따른 경제적 손실뿐만 아니라 방사선이 라는 위험 특성에 대한 정서적 혐오감까지도 포함한 가치 측정이 이루어져야 할 것이다. 그렇게 함으로써 국가적 리스크 관리에 필요한 입력 자료로 기능할 수 있기 때문이다.

원자력 안전성 향상을 위한 조치로 인하여 작업자 및 국민들의 예상 피폭 선량의 저감량을 구하여 그것을 금전으로 환산하는 계수를 곱해 주면 피폭 선량 저감량의 금전적 가치를 나타낼 수 있게 된다.

이 피폭 금전 환산 계수를 결정하는 것은 곧 우리 나라 사람의 인명 가치를 금전적으로 표시하는 일에서 출발한다. 방사선과 관련한 인명 가치가 정해지면 이것에 방사선 위험도 계수를 적용하여 피폭 선량당 금전을 구할 수 있기 때문이다.

우리 나라는 아직 방사선 피폭 선량의 금전 환산 계수가 정해지지 않고 몇몇 연구가 수행되는 과정에 있는데 다음에서 각국과 우리 나라가 방사선 피폭 선량 저감량의 금전 환산 계수를 구하는 방법과 관련한 연구 수행 현황을 살펴보기로 한다.

각국의 방사선 피폭 금전 환산 계수

〈표 4〉는 방사선의 인체 영향에 대한 금전가를 산출한 각국의 연구 사례를 정리한 것인데 대상 국가·시행 연도·방법론·연구자에 따라 피폭 선량의 금전가는 많은 차이가 남을 알 수 있다. 그런데 여기서 유의할 점은 이러한 금전가는 단지 인체 영향에 따른 경제적 손실만을 고려한다는 것이다.

이는 개인이 남은 여생 동안 사회에 기여하는 경제 활동량으로 그 사람의 가치를 정하는 것으로 개인의 가치를 노동을 통한 것만 고려하게 되어 너무 낮게 책정되며 또한 정량화되지 않는 인자(가족이나 동료에 주는 정신적 영향 등)가 모두 무시되므로 정확한 가치 측정이 이루어

졌다고 보기 힘들다.

미국 NRC는 이런 점을 고려하여 인간의 가치 평가를 위해 가상적 가치 평가법에 바탕을 둔 환산 계수를 사용하고 있는데 다음에서 이를 살펴본다.

미국의 방사선 피폭 금전 환산 계수의 변화

NRC는 1990년대 초반까지 방사선 피폭 금전 환산 계수로 '1000달러/인-렘'을 사용해왔으며 이 값은 〈표 5〉에서 보는 바와 같이 각종의 사 결정에서 사용되었으나 이 수치는 임시로 사용되는 수치이며 새로운 사실이 나타날 경우 바뀔 수 있는 값이었으므로 NRC는 1995년 「규제 분석지침서(Regulatory Analysis Guidelines, NUREG/BR-0058)」 제2 수정판 최종본에서 그간 사용해오던 '1000달러/인-렘' 대신 '2000달러/인-렘'의 변환 계수를 사용하기로 결정하였다.

새로운 환산 계수는 비교적 단순하고 직접적인 논리에 바탕을 두고 있으며 그간 알려진 최신의 연구 결과를 반영하고 있는데 환산 계수는 인간의 통계적 생명가치(Statistical Value of Life)와 이에 대한 위험도 계수(낮은 방사선량의 누출이 건강에 영향을 미칠 수 있는 확률)의 곱을 화폐 단위로 나타낸 것으로 정의되었다.

1995년 Mubayi 등은 「규제 분석에서의 비용-편익 고찰(Cost-Benefit Consideration in Regulatory Analysis)」에서 금전 환산 계수 사용의 타당성을 조사하면서 ICRP·NCRP·UNSCEAR·BEIRV 등이 제시한 '방사선이 인체에 미치는 영향 계수'를 검토하여 위험도 계수(치명적이거나 그렇지 않은 암의 발생 확률이나 심각한 유전적인 효과를 포함한 것)로 7×10^{-4} /렘을 사용할 것을 제안하였다.

그리고 Baum은 1994년 「대중 건강의 가치와 안전 조치 및 방사선 피폭 저감(Value of Public Health and Safety Actions and Radiation Dose Avoided)」에서 11개 분야에서 사용되는 인간의 통계적 수명 가치(Median Value Of Saving A Statistical Life)를 조사하였는데 그 수치는 〈표 6〉과 같다.

이로부터 NRC는 생명 가치에 대한 금전 가치로서 3백만달러를 선정하였는데 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 미국 예산관리국(Office of Management and Budget, OMB)과 미국행정회의(Administrative Conference of the United States)는 WTP 기법의 사용을 권고하고 있고 학계에서도 이를 지지하고 있는데 3백만달러는 〈표 6〉에서 보듯이 WTP의 결과를 반영하고 있다.

둘째, 11개 분야의 중앙값인 2백 50만달러와 차이가 많지 않다.

셋째, 암발생 화학 물질 규제에 사용되는 값인 2백90만달러와 근접한다.

넷째, 영국 NRPB에서 사용하는 3백만달러 ~ 4백50만달러 (1990년 미화로 환산하면 2백40만달러) 값과 비슷하다.

따라서 3백만달러/인 $\times 7.3e-4$ /렘 = \$2100/인-렘을 얻고 대표값으로 \$2000/인-렘을 사용하기로 한 것이다.

또한 이 인자는 현가(present value)화하여 적용되며 범위는 보건 효과(health effect)에 국한되어 사용하도록 규정하였다.

이러한 결정은 기존의 변환 계수와 비교하여 구별되는 것인데, 기존의 변환 계수는 '1000달러/인-렘'의 비현가화된 값을 사용하고 있으며 그 적용 범위도 보건 효과뿐 아니라 소외 재산(offsite property) 변화를 포함하는 것이었다.

실제 가치-영향 평가를 수행할 경우 이러한 환산 계수의 수정으로 받는 영향은 복합적인데, 대부분의 규제에서는 방사선 피폭의 결과가 보건 효과만으로 나타나기 때문에 환산 계수의 수정은 인-렘의 화폐 가치의 변화(할인되지 않은 1000달러에서 할인된 2000달러로)로 나타나게 된다.

이 경우 두 배가 된 변환 계수와

〈표 5〉 미국의 1000만달러/인-렘 사용 사례

연도	사례
1974년	10 CFR Part 50에서 routine emission에 대한 기준치를 설정하기 위해 비용 편익 분석을 요구하였고 이에 필요한 금전 환산 계수의 설정이 요구되었음. NRC는 기존 연구에 대한 조사 결과 임시 계수로 1000달러를 사용하기로 결정함
1997년	SECY-77-388A에서 value impact 분석을 하기 위해서는 편익을 동일 단위로 전환할 필요가 있으며 이를 위해 man-rem당 1000달러 혹은 (만약 있다면) 다른 값(agreed upon value)을 사용할 것을 권고함
1983년	NUREG-0933에서 USI와 GI에 중요도 우선 순위를 매기기 위해 1000달러를 사용함
1986년	1983년의 2년간 시험 적용을 위한 정책 성명 NUREG-0880에서 금전 환산 계수로 1000달러를 제시하였으나 이에 대한 의견의 합의가 이루어지지 않아 최종적으로 51 FR 30028에서는 이에 대한 사항이 삭제됨
1985년	GESSAR의 screening criteria로 1000달러가 사용됨
1989년	환경 영향을 고려한 중대 사고 대처 대안 평가 프로그램(Severe Accident Management Design Alternatives)에서 1000달러를 채용함

〈표 6〉 Baum이 조사한 11개 분야에서 사용되는 생명 가치

분야	생명 가치(M = 1990년 Million Dollar)
교통 안전	0.26 M
health care action	0.37 M
Consumer product Safety	0.49 M
미국 정부 기관에서 사용되는 값	1.5 M
consumer choices	2.2 M (최저 2.2M ~ 최고 3.4M)
wage compensation	2.5 M (최저 1.2M ~ 최고 3.7M)
WTP surveys	3.1 M (최저 0.1M ~ 최고 15.6M)
chemical carcinogen regulation	2.9 M
risk reducing regulation	6.1 M
occupational safety	9 M
radiation related activities	15 M
중앙값 (Median) : 2.5 M, 평균값 (Mean) : 3.9 M	

할인율은 상쇄 효과가 있으며 이러한 상쇄 효과로 인해 총금전 가치는 큰 변화가 없고 따라서 규제 결정의 큰 변화는 없다.

실제로 그 동안 사용하던 할인되

지 않은 1000달러와 할인되는 2000달러는 그 의미가 크게 다르지 않은데 20년을 고려하여 7% 할인율을 적용하여 현재 가치를 구해보면 각각 20,000달러와 21,200

달리이다.

그러나 중대 사고와 관련된 규제 의 경우 소의 재산 변화가 나타날 수 있는데 새로운 규칙에 따라 비용이 추가되어 규제 결정에 영향을 미칠 정도의 총금전 가치의 변화를 가져올 수 있다.

새로운 인-렘 환산 계수의 근거와 의미에 대해서는 앞으로도 많은 논의가 있을 예정이며 이러한 논의를 바탕으로 NRC는 이 정책을 수정해 나갈 것임을 밝히고 있다.

우리 나라의 방사선 피폭 금전 환산 계수 산정 연구

우리 나라에서는 방사선 피폭 금전 환산 계수 산정을 위한 연구로는 1994년 한국원자력연구소의 「방사선 방어 및 측정 기술 개발」 연구와 1995년 역시 동일 제목의 원자력연구소의 외부 용역 과제로 한양대학교 부설 방사선종합연구소가 「ALARA 제도 도입에 따른 피폭 방사선량의 금전가 설정」 연구가 수행되었다.

1998년에는 한국원자력안전기술원의 차세대 원자로 안전 규제 기술 개발의 일환으로 「방사선 피폭 비용-이득 분석 및 수치적 지침 개발을 위한 연구」가 서울대학교 기초전력공학공동연구소에 의해 수행된 바 있다.

한양대학교에서 수행한 연구는

피폭 선량의 금전 계수를 설정함에 있어 피폭자 그룹 및 피폭 선량 준위에 따라 서로 다른 a 값을 설정하여 저선량에서부터 예상되는 실제 피폭 선량의 범위(선량 한도 부근)까지의 선량 범위를 일정한 소구간으로 나누고 각 구간마다 상이한 a 값을 부여하는 금전 계수 산정 모델을 사용하여(IRPA 10 , 1996) 기초 금전 계수 및 피폭 선량 준위 구간별 금전 계수를 산정하였다.

서울대학교에서 수행한 연구는 다양한 사회적 인자들을 고려하여 의료 비용 방법, 임금 투자 비용 방법 등 여러 가지 방법론을 이용하여 인간의 경제적 사회적 가치를 구하여 현실에 적합한 객관적 손해 비용을 도출하였으며, 또한 일반 대중과 작업 종사자의 방사선 피폭에 대한 인지 위험도를 정량화하여 주관적 손해 비용을 도출한 바 있다.

지불 용의액 측정 방법을 이용한 방사선 피폭 금전 환산 계수 설정

필자는 이러한 원자력 안전성의 금전 가치 측정을 위한 과제를 수행해 오고 있는데, 필자가 사용하는 방법은 앞에서 살펴본 바와 같이 환경재의 경제적 가치를 설정하는 방법 중 널리 권장되고 있는 가상적 가치 접근법의 지불 용의액 측정(Willingness To Pay: WTP)을 통한 가치 측정이며 그 적용 단계는

일반적으로 다음의 세 가지 단계를 포함하고 있다.

우선 응답자에게 모의 및 가상의 시장에 대해 설명한다. 즉 응답자에게 이용 가능하도록 만들어지며 평가되어지는 재화와 가상적 상황에 대해 세부적인 묘사를 한다.

질문에 사용되는 용어들은 질문이 가능한 한 믿을 수 있는 것이 되도록 미리 검증되어야 하며, 응답자의 입찰액이 진실된 가치를 반영하는지 혹은 단순한 가상적인 시장에 대한 반작용인지 알아보기 위해 질문서 내에서의 내부적인 사전 점검이 이루어져야 한다.

물론 이러한 조사에는 몇 가지의 편의(bias)가 발생할 수 있지만 신중하게 설계된 설문 조사에 의해 이러한 영향을 줄일 수 있다.

두 번째, 평가되는 재화에 대한 최대 지불 용의액과 응답자의 선호를 이끌어내는 질문을 반복적으로 실시한다.

세 번째, 응답자 개개인의 특성들에 대한 질문으로써 소득·연령·학력 등의 사회·경제적인 질문을 포함시켜 설문 분석의 부수적인 자료로 활용한다.

위에서 설명한 가상 가치 접근법으로 피폭 선량 금전 환산 계수를 구하기 위하여 필자는 인터넷상에 설문 조사를 위한 World Wide Web Home-page를 개설하고 원자력 분야 종사자들에게 전자 우편

을 보내거나 각 기관의 전자 게시판에 설문 조사를 홍보하여 온라인으로 설문에 응하게 하였다.

인터넷을 이용한 이러한 온라인 설문 조사는 첫째, 응답자에게 동적인 질문을 할 수 있어 흥미를 유발하여 응답자의 진심을 알아내기 쉬우며, 둘째, 우편 설문에서 어려운 가지 치기 질문(Branching Question)이 용이하고, 셋째, 응답 결과를 바로 보여줄 수 있으며, 넷째, 데이터 기록의 오류가 줄어들며, 다섯째, 응답의 회수가 빠르다는 장점을 가지고 있다.

인터넷 설문 조사의 한계에 대해서 논의가 많으나 원자력 관련 종사자들은 대부분 연구소, 엔지니어링 회사, 기자재 회사, 원자력발전소, 그리고 과학기술부에 근무하며 대부분 개인 전자 우편을 가지고 있고 1인 1PC 업무 환경이 구축되어 있어 인터넷을 자유롭게 이용할 수 있는 사람들이므로 인터넷을 통한 설문 조사가 대표성을 띠 수 있으며 업무 수행중에 책상에서 바로 응답이 가능한 장점이 있다.

금년 초까지 한국원자력연구소·한국원자력안전기술원, 한국전력공사의 4개 원자력발전소 종사자 및 한전 전력연구원에 대하여 실시한 결과 총527명의 설문 응답을 확보하였으며 현재 이를 분석중에 있다.

그러나 일반인에 대해서는 이러한 설문 조사를 인터넷을 통해서 시

행할 수는 없으므로 현재 공신력있는 여론 조사 기관을 통한 설문 조사 수행을 추진중이다.

미국 등의 경우를 볼 때 한 국가의 금전 환산 계수를 정하는 것은 여러 가지 조사 및 연구 결과를 가지고 정책적으로 결정할 사항이며, 현단계에서는 이러한 가상 가치 접근법에 의한 설문 조사 결과의 타당성을 검토하고 그것에 영향을 미치는 인자를 조사하여 보다 정교한 설문 조사 방법의 고안 및 설계를 위한 예비적인 업무를 수행하는 것이 필요하다.

결어

지금까지 원자력 안전성은 그것이 국가적으로 어떤 금전적 이익이 있기 때문에 추구하는 것이고, 그것의 중요 부분을 이루는 방사선 피폭 선량 저감량을 금전값으로 환산하는 계수를 구하는 것이 필요하며, 그걸 위해서 환경경제학에서 사용하는 금전적 가치 측정 방법론을 사용할 수 있다는 것을 설명하고, 가상 가치 접근법의 설문에 의한 지불용의액 측정 방법에 대해 소개하였다.

이렇게 하여 앞으로 여러 단계의 연구를 거쳐서 우리 나라에서 방사선 피폭 금전 환산 계수가 정해지면 이것은 신규 규제 요건을 부과할 때 비용과 편익의 비교, 그리고 여러

대안들에 대한 분석 평가에 사용됨으로써 규제의 합리화에 기여할 것이다.

원자력 안전에 대한 투자는 단기적 관점에서는 원자력 발전 단가를 상승시켜 원자력의 경제성의 저하를 초래하고 다른 발전원에 대한 비교 경제 우위를 떨어뜨리게 되므로 전력 사업자에게는 부담으로 작용한다.

그러나 원자력 안전에의 투자는 장기적으로 대형 사고를 예방함으로써 거시적으로는 원전의 경제성 향상에 기여하게 된다는 것에 주목할 필요가 있다.

보통 단기적으로 실적을 평가받는 원자력 사업자의 경영층에게는 원자력 안전성의 향상을 위하여 돈을 투자하여 사고를 예방하는 것이 하나의 업적으로서 인정받기 어렵고, 규제 기관의 경우는 규제 활동에 의해 원자력의 안전성이 향상된 정도를 가시적으로 보여주지 못하는 것이 원자력 안전성 확보에 있어 하나의 제약 요인이 되고 있으므로, 원자력 안전성의 향상을 금전적으로 환산하는 방법을 개발하는 것은 안전 규제가 실제적으로 안전성을 얼마나 향상시켰는가하는 것을 계량하는 것과 함께 앞으로 풀어야 할 과제이며, 이에 대한 원자력 안전 관련자들의 지속적인 관심과 토의가 있어야 할 것이다. ☞