



새 천년 : 가치, 위험의 인식 그리고 과학기술의 주요역할

- Gilbert S. Omenn -

방사선방호 및 방사성 폐기물 유출 및 산물에 대한 관리의 새 천년의 공공정책, 종사자교육 및 기술 개발에 있어 매우 중요하다. 자유, 지탱능력, 투명성 그리고 기술로부터 오는 이익과 위험에 대한 의사결정에의 대중 참여 등에 대한 가치 남용은 새 천년의 공공 정책 의사결정 체계를 형성하게 될 것이다. 위험의 확인과 평가, 그리고 위험 관리에 대한 의사전달 시 초기에 제3자를 개입시키는 것이 유용하다. 특정 환경문제를 더 넓은 공중보건과 생태계의 항목에 포함시키는 것은 모두에게 도움이 될 것이며, 또한 귀중한 자원을 가장 효과적으로 사용하기 위해 더 나은 결정을 도와줄 것이며, 과정과 결과에 대한 대중의 신뢰를 높여줄 것이다.

서론

새 천년 비전리방사선 뿐 아니라 전리방사선의 사용이 증가함에 따라 NCRP¹⁾는 계속해서 중요한 역할을 하게 될 것이다. 인류는 자연 방사선의 영향에 대해서도 지속적인 관심을 가지게 될 것이다. 방사성 핵종의 산업 및 군사적 이용이 증가할 뿐

아니라 진단 및 치료 등의 의료상 이용도 더욱 확장될 것이다. 지구 온난화 위기에 대한 관심이 점차 증가하면서 원전을 통한 전기의 생산이 다시 활기를 찾고 있고 아마도 20세기의 원전보다 더욱 표준화된 설계와 건설수준을 보일 것이다. 따라서 방사성 액체 및 고체 폐기물 관리에 대한 효율적인 프로그램이 필요하다. 제2차 세계대전과 냉전체제

1) National Council on Radiation Protection and Measurement



의 유산인 방사성폐기물들을 처분할 수 있는 가능성과 경제성있는 방법을 찾아야한다. 우리는 원전운전을 조심스럽게 감시하고 제어해야한다. 우리는 수많은 낡은 원전들과 연구용 원자로들을 폐로해야 한다.

NCRP와 사회 전체의 기술 프로그램들은 새 천년에 적합한 미국적 가치관의 강제적인 배경에 따라 수행되어야 한다. 다음은 그 가치관의 4가지 특별한 관련 내용들이다:

1. 발언의 자유, 종교의 자유, 빈곤과 공포로부터의 자유

이 네 가지 자유는 Franklin Delano Roosevelt가 1941년 의회에 대한 무기대여 교서와 대국민 연설에서 주장했던 내용이다. 이러한 인간의 권리들은 미국인과 다른 세계인들을 움직여왔다.

2. 지탱능력 또는 지탱가능한 발전

갈수록 상호의존도가 높아지는 세계는 우리의 후손들이 처하게 될 환경을 보호하고 향상시키는 동시에 경제적 활력 및 견고한 경제 성장을 보증해야하는 복잡한 도전을 받게 될 것이다.

3. 공공 및 사적인 의사결정의 투명성

인터넷을 통해 올바른 혹은 잘못된 정보를 얻는 대중은 갈수록 강력해지고 있으며 정부, 전문기관 및 심지어는 개인 회사가 주는 어떤 정보도 쉽게 받아들이지 않을 것이다.

4. 과학기술로부터 얻어지는 이익은 기대하지만 위험은 배척하는 태도

과학자와 공학자들이 기술을 만들어내고 문제를 해결하는 능력을 촉진함으로, 또 한편으로는 인권, 지탱능력, 투명성 등에 대한 주장에 기초

하여서, 미국인과 세계인들은 과학과 기술이 경제적 성장, 삶의 수준 향상 및 환경보호 등을 도와주기 바라고 있다. 이와 함께 조직적인 원전 반대운동과 유전자 변형 농작물과 식품에 대한 최근 시위에서처럼, 오해된 기술로부터 오는 재난에 대한 공포는 더욱 커질 것이다. 또한 이러한 예들은 대중에게 새로운 기술을 이해시킬 뿐 아니라 대중의 관심과 공포를 다루는데 실패함으로써 오는 위험을 보여준다.

약 200년전, Thomas Jefferson은 오늘날 우리가 민주적 의사결정에 있어서 “대중참여”라고 부르는 것에 대해 언급했었다: “나는 사회의 궁극적인 힘의 보고가 바로 대중이라고 본다. 만일 그들이 올바른 재량을 가지고 자신들의 제어능력을 행사하기에는 덜 개화되었다고 생각한다면 그 해결책은 그들의 발언권을 빼앗는 것이 아니라 그들을 계몽시키는 것이다.”

위험 인식

특정 분야에 대한 문외한이나 또는 과학적으로 훈련된 사람이나 집단은 기술과 그 적용으로부터 오는 위험에 대해 다양한 반응을 보여왔다. 특정 기술을 묘사하는데 있어서 위험 인식의 전조가 될 수 있는 유용한 방법을 소개한다. 아래 표에서 보여주듯이 위험은 보통 “인식 가능”과 “인식 불가능”으로 표현될 수 있으며 한 개인이나 사회에 의해 “통제 가능”과 일단 고삐가 풀리면 “강제 노출”로 이어지는 “통제 불가능”으로 표현할 수도 있다 (표 1과 표 2).

대중은 외관상 전문 과학자들의 의견이 일치하지 않을 때, 그림 1의 만화에서 보여주듯이 보건과 환경에 대한 우리의 위험 평가 결과 및 규제기관의



표 1. 위험에 대한 대중의 인식에 영향을 주는 인자들

| 인식가능 | 인식불가능 |
|----------------|--------------------|
| 노출 대상에게 알려진 경우 | 노출 대상이 모르는 경우 |
| 즉각적 영향 | 지발적 영향 |
| 오래된 위험 | 새로운 위험 |
| 과학적으로 알려진 위험 | 과학적으로도 불분명한 미지의 위험 |

표 2. 통제가능 또는 통제불가능하다고 인식되는 위험의 특징

| 통제가능 | 통제불가능 |
|------------|------------|
| 두렵지 않다 | 두렵다 |
| 비극적이지 않다 | 비극적이다 |
| 치명적이지 않다 | 치명적이다 |
| 정당하다 | 부당하다 |
| 후손에게 낮은 위험 | 후손에게 높은 위험 |
| 쉽게 저감 가능 | 쉽게 저감 불가능 |
| 위험이 점점 감소 | 위험이 점점 증가 |
| 자발적이다 | 강제적이다 |

보호능력을 불신한다.

미 대법원의 Daubert와 Merrell Dow에 대한 판례에서 판사는 “증거”와 “과학적 증거”를 구분해야하며 전문가의 증언을 받아들이는데 적합한 기준이 필요하다는 판결을 내렸다. 과학, 기술, 정부에 대한 카네기 위원회와 연방 재판 센터, 그리고 과학발전에 관한 미국 연합²⁾ 등은 CASE, 즉 법원에서 지명하는 과학 전문가 프로그램을 개발했다. 희망컨대 법원에서의 적절한 전문가 활용은, 알려진 사실, 부가 연구와 분석을 통해 밝혀질 수 있는 사실, 그리고 추측

이나 여론에 속하는 사실들을 명백히 해주어 대중매체, 지방, 주 및 연방 공청회 장소로 퍼져갈 것이다.

위험 평가, 위험 관리 및 위험 전달

지난 20여년 간 규제 의사결정에 대한 유용한 체계가 마련되었다(표3). 위험 확인, 위험 설명, 위험 저감 및 위험 의사전달에 관한 많은 문헌들이 있다.

인간 보건에 있어서 대중이 보호를 원하는 생물

2) AAAS : American Association for the Advancement of Science



학적 위험 목록이 점점 증가하고 있다(표4). 1970년 이후 의회는 표5와 같은 수많은 법규들을 제정했다. 이러한 법규들은 모두 보건과 생태계에 가해지는 위험을 명백히 고려할 것을 말해준다. 전체적으로 우리는 그러한 위험 평가의 목적들을 표6과 같이 열거할 수 있다.

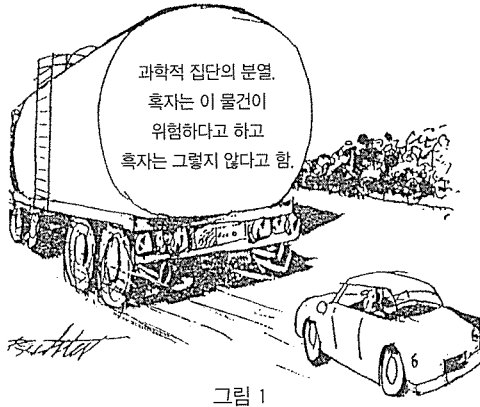


표 3. 규제 의사결정의 구조

| | |
|-------|--|
| 위험 확인 | 역학 일평생 침식성 바이오어세이 단기간 체외 검사 조직/활동 |
| 위험 설명 | 효능 (선량 반응도) 피폭 분석 다양한 수용능력 |
| 위험 저감 | 정보 대용 규제/금지 |

표 4. 생물학적 결과

| | |
|-----------|-------------|
| • 암 | • 신경행동학적 독성 |
| • 돌연변이 | • 기관 고유의 영향 |
| • 선천적 결손증 | • 내분비 조절/파열 |
| • 생식성 독성 | • 생태계 영향 |
| • 면역 독성 | |

1990년의 Clean Air Act 개정에서, 의회는 위험 평가와 위험 관리에 관한 위원회(위험 위원회)의 구성을 지시했다. 이 위원회의 역할은 의사결정에서 위험평가의 사용 및 한계, 다양한 약품에 대한 노출 경로, 위험에 대한 불확실성 및 의사소통의 중요성, 그리고 법규와 기관들에 걸친 일치와 불일치 등을 평가하는 것이다.

위험 위원회(1997)는 그림2와 같은 새로운 위험 관리 체계를 만들었다. 이것은 새 천년의 가치관을 반영해주는 두 가지 중요한 특징을 가지고 있다.

첫째로, 순환하는 “환경문제”는 대중보건 및 생태학적 항목에 포함되어야 한다는 것이다. 여기서 항목이란 폐암이나 선천적 결손증 또는 환경 손실 등과 같은 원치 않는 결과에 대한 모든 원인들을 고려하는 것을 의미한다. 같은 화학물질(또는 전리방사선)의 복합적인 원인, 오염과 노출경로의 복합적인 매개체, 약품의 복합적인 영향(결과), 그리고 복합적인 다른 약품으로부터 오는 유사한 영향은 항목을 만들어내기 위해 평가되어야 한다. 대중 보건의 경향과 현상, 그리고 생태학적 건강에 대한 지식이 도움이 될 것이다. 또한 충격이 있어서 사회적, 문화적, 인종적 불균형 또한 “환경적 정의(justice)”를 보충하기 위해 검토되고 극복되어야 한다.

둘째로, 위험 위원회의 새로운 위험관리 체계에 따르면 제3자, 특히 영향을 받는 공동체의 구성원들을 새로운 체계의 중앙에 포함시켰고, 이들이 처음부터 개입해야 한다고 주장한다. 분석이 완료되고 행동이 결정된 다음에 손쓰기엔 이미 늦다. 사실 공동체 구성원들은 자신들이 소외되었다고 느낄 때 연구결과나 결정에 대해 의심하기 쉽다. 이로 인한 분노는 때늦은 의사전달을 매우 어렵게 만들 수 있다. 게다가 일반적으로 사람들이 가진 질문에 대해 아무도 묻지 않고 듣



지도 않을 때 위험평가는 합리적인 질문을 제시할 수 없다. 예를 들어 1980년대 중반 구리제련 공장에서 나오는 비소와 황의 방출을 막는 더욱 강력한 통제를 논의하는 대중 회합에서, EPA 전문가가 일생동안 암위험의 상한 추정치를 정량적으로 제시했다. 이 때 위험에 노출되는 주민들은 정원에서 나는 채소를 먹을 수 있는지, 아이

들을 집밖에서 놀게 해도 되는지 명확한 답을 듣고 싶어했다.

항목을 설정하고 기술적 평가를 돕는데 있어서 제3자의 중요한 역할은 첫 번째 단계에 있는 타원이 다른 것들보다 큰 것을 통해서 알 수 있다. 화살표는 "분석의 마비"를 피하기 위해서 6번째 단계에서는 없어진다.

표 5. 독성 화학물질에 관한 주요 법규

| | | |
|------|--|--|
| EPA | 공기오염물질 수질오염물질 안전한 식수 살충제 해양 쓰레기 투매 독성 화학물질 위험 폐기물 위험 폐기물 정화 | Clean Air Act 1970, 1977, 1990 Fed WP Control Act 1972, 1977 Safe DW Act 1974 FIFRA 1972 Marine Protection Act 1995 TSCA 1976 RCRA 1976 CERCLA (Superfund) 1980, 1986 |
| CEQ | 환경 영향 | NEPA 1972 |
| OSHA | 작업장 | OSH Act 1970 |
| FDA | 식품, 의약품, 화장품 | FDC Acts 1906, 1938, 1962, 1977, 1997 |
| CPSC | 위험한 소비재 | CPS Act 1972 |
| DOT | 위험물질의 운송 | THM Act 1975-1979, 1984, 1990 |

표 6. 위험평가의 목적

1. 위험과 이익의 균형
 - 의약품
 - 살충제
2. 위험의 목표 준위 설정
 - 식품 오염물질
 - 수질오염물질
3. 프로그램활동의 우선순위 결정
 - 규제기관
 - 제조자
 - 환경/소비자 기관
4. 위험저감을 위한 단계 수행 후 위험감소 정도와 잔여위험을 예측

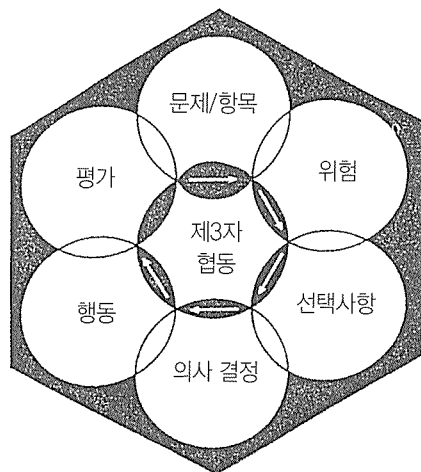


그림 2



우리는 일반 대중, 물리학자, 공무원들, 그리고 심지어는 전문가들에게도 확률을 설명하는데 많은 어려움을 가지고 있다. 전문가들은 정보를 전달해줄 뿐 아니라 양방향 의사전달의 핵심적인 특징에 귀기울여야한다. 또한 전문가들은 그들의 청중들에게 정보가 잘못 전달되는지를 지켜보아야만 한다.

몇 가지 대략적인 가정과 함께 위험 추정을 위해 4개의 중요한 숫자를 이용하는 것은 위험 평가자가 계산기의 노예이든지 아니면 청중을 속이고 있다는 사실을 말해준다! "10배수"를 사용할 때 그림3에서 볼 수 있듯이 잘못된 의사전달을 가져온다. 지수스케일로 되어 있는 X축을 따라가면서 우리는 일반적으로 위험을 1/10씩 줄인다고 말한다. 그러나 이러한 과정이 모두 "같은" 것은 아니다. Y축의 선형스케일에서 볼 수 있듯이 첫 번째 단계에서 위험의 90%가 제거되었다; 다음 단계는 처음 위험의 9%가 제거되는 셈이다. 그러므로 위험저감의 이익은 점점 미미해지는 반면 비용(그래프에서는 볼 수 없지만)은 반대로 빠르게 증가한다. 위험 저감과 비용 및 불확실성에 대한 상식적인 논의가 절대적 위험 추정 및 불확실성에 대한 수학적 모델보다 훨씬 더 효과적일 것이다.

의사전달에 선형스케일의 사용과 위험저감의 이해

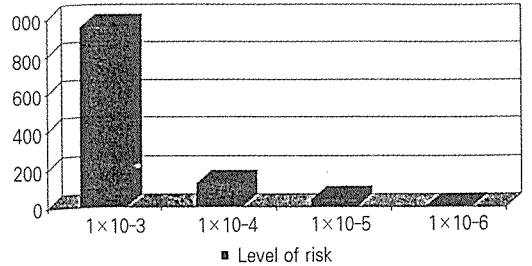


그림3. 위험위원회의 최종보고서 참조 (1997)

화학물질과 방사선 위험

위험 위원회는 방사선위험에 대해 확실하게 설명하는 명백한 임무를 넘어섰다. 다른 잠재적인 위험 요인들에 대해 더욱 넓게 적용되는 경우 우리는 보건물리와 방사선 생물학 및 역학 등과 같은 방법의 가치를 강조했다: "특히 두 가지 형태의 위험이 공존하는 경우, 두 가지 위험 관리상 결정의 유사성을 명백히 하고 더욱 향상시키기 위해서 방사선 위험에 대한 방법, 가정, 메커니즘 및 표준을 평가하고 화학물질에 대한 그것들과 연관시키는데 조화된 노력이 필요하다."

불행하게도 화학물질과 방사선 위험에 대한 공동노력의 역사가 거의 없다. 발암과정에 대한 모델도 다르고, 규제 법규나 기관도 다르며(FDA와 EPA) 학문상의 분야나 과학적 모임도 다르다. 화

표 7. 방사선피폭과 화학적 노출에 대해 무시가능하다고 여겨지는 위험준위간의 차이비교

| | 피폭한도에 연관된 생애 위험 ^a | | |
|------|---|---|----------|
| | 종사자 | 일반대중 | 설명 |
| 화학물질 | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁶ | 단일화학물질 |
| 방사선량 | 50mSv yr ⁻¹ 일 때 10 ⁻¹ /10 ⁻² | 1mSv y ⁻¹ 일 때 10 ⁻³ | 방사선피폭 합산 |

a 위험위원회 최종보고서(1997)와 NCRP(1993) 참조



학물질과 방사선에 의한 오염이 공존하는 수많은 상황이나 같은 폐기물 유출에서 두 가지가 동시에 발생함에도 불구하고 이러한 분리는 확고하다. 이러한 분리의 한 결과는 표7에서 볼 수 있듯이 화학물질에 비해서 방사선의 경우 더 작은 노출마진이 허용된다는 것이다. 일반 대중은 종사자의 1/50 정도의 위험(1mSv y^{-1})에 노출되도록 허용된다; 반면에 일반 대중에 대해 EPA와 FDA가 정하는 노출한도는 같은 화학물질에 대해서 종사자의 1/1000 정도이다.

방사선 생물학에서 유전학과 유전체학의 가능한 영향

“인간 유전 영역의 지도를 만드는 것은 Lewis와 Clark, Edmund Hillary의 위대한 탐험이나 아폴로 계획에 필적할만하다”

오는 해에 NCRP보고서에서 우리는 유전자 분석이 점점 큰 영향을 줄 것이라 확신할 수 있다. 우리는 지난 수십년 간의 증거, 즉 사람들은 저준위 환경 및 직업상 피폭으로부터의 위험 측면에서, 또한 의료상 이용으로부터 오는 위험과 이익의 측면에서 모두 전리방사선의 같은 선량에 대한 다양한 반응을 보였다는 증거를 대부분 무시해왔다. 가장 충격적인 사실 중 하나는 히로시마와 나가사키의 임신 초기 20주 동안 자궁 내 피폭을 당한 1829명의 일본 어린이들 중 암발현 어린이는 거의 없다는 것이다(간암 한 명, Wilm 종양 한 명, 백혈병 없

음) 이에 비해서 태아의 진단X선 촬영으로부터 선형 외삽을 통해 예측되는 암발생 수는 약 36여명 정도이다. 이러한 차이를 통해서 인종집단에 따른 엄청난 차이와 의료상 방사선 위험에 대한 과대평가 또는 선량반응 관계의 복잡성 등을 볼 수 있다.

유전체학과 단백질체학은 이제 유전자와 단백질의 유형을 밝힐 수 있다. 우리는 비정상적인 유형이 장차 발암, teratogenesis, 다른 장기 고유의 부정적 영향, 그리고 치료에 대한 반응 등에 대한 실마리를 제공할 것으로 기대하고 있다. 이러한 유형들은 역학 연구, 또는 심지어 동물 실험에서 임상적인 질환의 발생 증가를 관찰하는데 필요한 수준보다 더 낮은 선량/피폭에서도 관찰이 가능하다. 그렇다면 이러한 접근들은 저준위 또는 극저준위 피폭과 연관된 선량-반응곡선에 대한 오랜 문제를 해결할 수 있게 해줄 수도 있다.

맺음말

더욱 복잡한 감시와 역학조사를 수행할 때, 우리는 대중들 중에서도 이익집단을 논의될 문제 정의에, 사용될 방법 논의에, 또한 잠재적 결과 예측에 개입시켜야한다. 그래서 과학적 정보가 보다 나은 대중 정책결정에 적용되어야 한다. 이러한 과정은 새 천년의 가치관을 충족시키는데 필수적이다. 그 과정은 분명 NCRP의 업무에서 일반적이 될 것이며 또한 이 시대에 과학과 기술의 위험을 최소화하면서 이익을 최대화하기 위해 필수적이다. **KRIA**