

原子力發電의 醫學的 展望

最近 美國에서는 原子力産業界 뿐만 아니라 여러 분야에서 「原子力의 必要性」과 「原子力의 安全性」을 재인식하는 움직임이 나타나고 있다. 美醫學協會(AMA)가 발표한 「原子力發電에 관한 醫學적 展望」이란 보고서는 1986년에 발생한 체르노빌原電事故에 의해 건강에 대한 우려가 국민들 간에 고조된 점을 배경으로 하여 의사의 입장에서 原電의 필요성과 안전성을 재확인하고, 의사가 수행해야 할 책임에 대해 권고한 보고서로서 우리나라에서도 참고할 점이 많아 다음에 요약 소개하였다.

1. 序 論

제2차 세계대전후 수십년간, 특히 1954년에 미국의회가 원자력법을 제정하고 나서 원자력 기술이 상업발전에 크게 공헌했다.

미국에서는 1988년 현재 100기를 넘는 대형 원자력발전소가 전력의 약 18%를 공급하고 있다.

1973년 및 1974년에 아랍석유수출국기구(OAPEC)제국이 강구한 조치에 따라 석유의 가격이 심한 상승을 초래했고, 이 때문에 석탄, 천연가스, 우라늄, 기타 에너지원의 경제적인 매력이 대폭 증대했다. 이런 에너지원의 이용이 검토의 대상이 됨에 따라, 이런 것들이 건강과 환경에 미치는 악영향과 위험에 대해 국민의 관심이 높아졌다.

1976년에 미의학협회(AMA: American Medical Association)의 대의위원회는 원자력 및 기타 에너지원의 위험에 대해 평가할 것을 요청했

다. 이 요청에 따라 AMA의 과학심의회는 보고서 C(A-78)를 작성했다. 이 보고서는 1978년에 대의위원회에서 채택되어 미의학협회지(Journal AMA)에 공표되었다.

이 보고서에 따르면 출력 100만KW의 유니트당 질병, 상해 및 사망건수는 직업상과 비직업상의 것을 포함하여 원자력과 천연가스가 가장 낮고, 석유와 석탄이 가장 높다. 그러나 석유가 석탄 보다는 안전하다. 또 동 보고서에 따르면 건강, 환경상의 영향을 경감시킬 필요가 모든 발전방식에 있다고 하였다.

대의위원회는 1979년에 원자력문제를 다시 거론하여 AMA가 “원자력발전의 고유안전……과 저준위 방사성폐기물의 안전한 처분에 관한 연구를 모니터하고”, 또 “저준위 방사선폐기의 잠재적인 위험에 대해 연구할 것”을 지시했다. 과학심의회에서는 이 지시에 의거하여 자문위원회를 구성했다.

동 위원회에서는 TMI의 긴급사태에 관한

美國醫學協會(AMA)

미국의학협회는 1847년 의료의 과학 및 기술면의 발전, 국민의 건강증진을 목적으로 설립되었으며, 100년 이상의 역사를 가진 전세계에서 가장 활동적인 의학단체이다.

동 협회는 원자력발전의 문제에 관해서 적극적인 관심을 보이고 있으며, 1978년에 각종 에너지원의 위험성을 비교검토하여 원자력발전이 다른 발전 방식에 비해 안전상 우수하다는 것을 의학협회지에 발표했다.

1981년에는 TMI 원자력발전소의 긴급사태에 관한 케메니보고서와 BEIR-III 보고서 등을 검토한 후 원자로입지에 대한 권고를 했을 뿐 아니라, 내과 전문 의로서 방사선상해를 입은 사람의 처치방법, 방사선 긴급사태대응 등의 면에서 정부기관 등에 조력해야 할 것을 보고서로 작성 발표했다. 방사선상해자의 처치에 관해서는 1984년에 우수한 매뉴얼을 작성했고, 이어서 1986년에는 방사선긴급사태에 관한 국제회의를 주최했다.

케메니보고서와 전리방사선에 관한 미국연구심의회 보고서(BEIR-III) 등 많은 권위있는 참고문헌을 검토했다. 동 위원회에 따른 이 검토는 그후 이사회와 대의원회의 승인을 얻었는데, 그 결론으로서 원자로에서 얻어지는 에너지가 중요한 공헌을 하고 있는 점, 또 미국은 각종의 발전방식을 채택할 필요가 있는 점을 들고 있다.

1981년에 발표된 보고서에 의하면 향후 건설될 원자로는 인구밀도가 낮은 지역에 입지해야 하며, 또 원자력발전소 운전원의 능력과 그 교육훈련에 더욱 노력해야 한다고 하였다. 더우기 내과 전문의로서는 전리방사선의 기본 원리에 대해 잘 이해하고 환자의 전리방사선 피폭을 최소한으로 억제하도록 하며, 방사선 상해를 입은 사람의 치료방법을 알고, 그리고 방사선 긴급사태에 대응하기 위한 계획과 잠정협정을 책정하는데 관해 병원과 정부기관에 조력을 해야 한다고 하였다. 1984년에 AMA의 과학스텝은 전리방사선으로 상해를 입은 사람의 처치에 관한 우수한 매뉴얼을 작성하였고, 또 1986년에는 AMA 주최로 군사목적 이외의 방사선 긴급사태에 관한 국제회의를 개최하여 그 회의록을 간행했다.

1986년에 발생한 소련 체르노빌에서의 원자로 노심용융과 화학폭발은 미국 원자로의 안

전성에 대해서도 재확인해야 한다는 교훈을 주었으며, 또 원자력발전의 건강상의 영향에 관한 국민의 우려가 고조되고 있다는 관점에서 의사 및 그 밖의 전문가가 적절한 발전이 건강과 복지에 어떻게 공헌하고 있는지에 대해 보다 이해를 깊게 하기 위해 노력하여야 하며, 또 전리방사선에 관한 문제점에 대해 기본적인 데이터정보를 제공하도록 노력하는 것이 필요하다고 생각되었다.

과학심의회회의 위촉을 받은 의사 및 그 밖의 전문가로 구성된 위원회가 설치되어 이 문제를 다루었다. 과학심의회에서는 본 보고서가 이런 목표에 도달하는데 있어 하나의 스텝이 될 것으로 확신하고 있다.

2. 原子爐에서의 計劃外 放射線放出

수주간 전출력운전을 하면 원자력발전로의 노심에는 대량의 방사능이 축적된다. 그 정확한 양은 실제 운전이력에 의하지만, 150억~300억 퀴리의 범위이다. 만약 이 방사능의 상당 부분이 방출되면 사람의 건강과 재산 그리고 환경에 상당한 손해를 초래할 가능성이 있음은 분명하다.

운전중인 원자로가 원자폭탄 처럼 폭발하는 일은 있을 수 없다. 이것은 그 설계 및 구성에

서 오는 것이며, 또 핵분열성물질이 우라늄-238로 충분히 희석되어 있어서 출력수준의 상승속도가 핵무기형태의 에너지 방출에 필요한 수치를 훨씬 하회하는 수치로 억제되어 있기 때문이다. 실제로 원자로시스템에서는 온도가 급상승하게 되면 감속능력을 상실해 버려 그와 같은 방출이 발생하기 훨씬 전에 스스로 운전정지가 되어 버린다. 따라서 핵무기형태의 폭발은 불가능하게 된다.

원자로에서는 방사성의 핵분열생성물이 이산화우라늄연료의 내부에서 생성되기 때문에 연료가 그 용융점인 약 5,000°F(=2,760°C)까지 가열되지 않는 한 이 세라믹물질내에 머문다. 따라서 연료가 용융되는 조건과 현상이 발생하지 않으면, 일반주민에게 중대한 건강상의 영향을 발생시키는 일은 있을 수 없다.

경수로(LWR)에서 가장 우려되는 나쁜 현상은 연쇄반응이 정지되었음에도 불구하고 몇 가지 이유로 붕괴열제거계통이 고장나 소정의 기능을 발휘하지 못하는 경우이다. 이 경우에는 연료의 온도가 급속히 상승하여 연료의 용융온도에 도달하게 되는데, 이 온도상승이 용융온도에 도달할때까지 걸리는 시간은 각각의 상황에 따라서 다르다.

1차계통에 대규모 破斷이 일어나고, 그리고 그 파단에 의해 상실되는 물(水)을 보충하는 모든 긴급노심냉각계통의 고장이 겹치게 되면, 연료의 용융은 10분이나 20분 경과한 때부터 시작된다. TMI의 긴급사태에서는 밸브가 열려 고착되었기 때문에 냉각수의 상실 발생하였고, 또한 운전원의 미스에 의해 모든 긴급시냉각수가 중단되어 버렸기 때문에 그후 연료가 수시간 지난 때부터 용융을 시작하기에 이르렀다.

방사성 핵분열생성물 중에는 연료용융온도와 같은 고온에서 휘발하는 것이 있고, 이렇게 되면 이 휘발성의 생성물이 미립자 또는

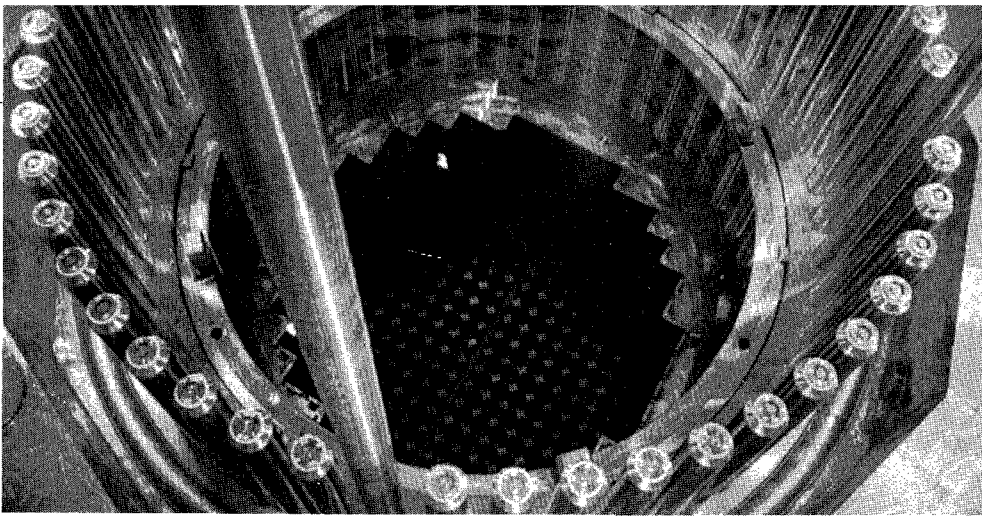
에어로졸이 되어 용융연료에서 방출된다고 볼 수 있다. 이 입자는 직경이 몇분의 1미크론 내지 수십미크론이다. 이 휘발성 생성물이 원자로에서 방출되면, 이 에어로졸의 상당한 부분은 여기에 접촉하는 냉각기의 금속표면에 부착할 것으로 예상된다. 이 프로세스는 “沈着” 또는 “프레이트·아웃”로 알려져 있다.

또 핵분열생성물 제거계통(이것은 모든 LWR에 갖추어져 있는 설비이다)이 작동하기 시작한다. 이 시스템의 주요한 설비로서는 PWR의 경우는 스프레이가, 또 BWR의 경우는 큰 물(水)풀이 있다.

설계대로 작동되는 경우에는 PWR의 격납용기스프레이계통이 한시간 이내에 원자로건물의 분위기에서 거의 모든 에어로졸을 제거한다. 만일 이 스프레이계통이 고장났을 경우에도 저온으로 습기찬 격납용기표면에 프레이트·아웃하고, 沈着하여 서서히 에어로졸의 농도가 감소된다. 이 프로세스는 스프레이에 의한 세정에 비하면 완만하지만, 수시간 이내에 입자농도가 1/10 이하로 감소된다. 따라서 에어로졸이 연료에서 방출된지 수시간이 경과하면 격납용기구조물이 그 건전성을 유지하는 한 격납용기에서의 전 방출량은 대단한 양이 아니다. BWR 경우의 물(水)풀도 에어로졸의 제거에 효과가 있다.

원자로내의 핵분열생성물 중에는 불활성가스인 크세논과 크립톤의 동위원소가 있다. 이들 불활성가스는 상기의 어느 프로세스에서도 제거되지 않는다. 연료가 용융되고 격납용기의 밀폐기능이 상실된다는 시나리오를 가정하면, 이들 가스가 100% 방출된다고 전제할 수 있다. 이런 종류의 가스는 불활성이기 때문에 그 구역을 오염시키지 않고, 건강에 급성영향을 주지 않을 정도의 피폭이 발생한다.

노심용융영향의 크기는 용융연료에서 방출된 핵분열생성물중 어느 정도가 격납용기에서



누출되었는지에 따라 결정된다. 격납용기에서 누출되는 비율은 격납용기와 핵분열생성물 제거시스템의 효과에 의해 거의 제로에서 상당한 비율까지 여러가지로 될 수 있다.

연료가 용융되면 방사성의 에어로졸을 생성할 뿐 아니라 상당한 양의 수소가 발생할 우려가 있다. 수소는 물 또는 증기가 연료피복관의 고온지르코늄과 접촉할 때 생성된다. 고온지르코늄은 물을 산화시켜서 산소를 제거하여 수소를 남기기 때문이다. PWR에서는 이 수소의 연소가 발생해도 격납용기가 파손되지 않고 제거능을 발휘하도록 설계되어 있다. BWR의 격납용기는 PWR의 것보다 작지만 수소의 연소로 발생하는 압력의 상승에 견딜 수 없으므로 질소를 충전하여 불활성분위기를 형성함으로써 수소의 발화를 방지한다.

1975년에 미국 원자력규제위원회(NRC)가 원자로 안전연구(WASH-1400)를 공표했다. LWR에 관한 상정사고의 확률과 결과에 대해 상세히 해석한 것이다. 이 연구에 의하면 LWR에서 노심용융현상 발생확률은 원자로 1기에서 1년당 2만분의 1이지만 불확실성의 팩터 10을 고려하면 확률은 2천분의 1내지 20만분의 1이 된다. 더우기 생명을 위협할 정도의 양의 방사능을 방출하는 것은 모든 노심용융 사고중 불과 1% 미만의 것이라고 하였다. 따라서 발전소 부지 밖에 중대한 결과를 초래할 긴급사태의 발생확률은 1爐·年當 10^{-6} 미만

이 된다.

세계에서 400개소의 원자력발전소가 10년간, 즉 4,000爐·年의 운전이 실시되었다고 하면 노심용융이 발생할 확률은 (2만분의 1) × 4,000 = (5분의 1), 즉 10년간에 노심용융이 발생할 확률은 20%라고 자주 듣는다. 여기에서 주의해야 할 것은 이것은 부지 밖에 영향을 미치지 않는 노심용융의 확률이라는 점이다. 대량의 방사능 방출확률은 노심용융당 100분의 1 비율이고, 따라서 1세기당의 대량방출을 수반하는 노심용융의 위험은 (10년당 5분의 1) × 100년 = (1세기당 100분의 2), 즉 2%가 된다. 이 계산에서는 발전소의 고장확률이 1세기에 걸쳐 일정하다는 것을 전제로 하고 있다. 경험에 의하면 완전하게 주의를 기울여온 산업에서는 경험의 축적에 의해 안전이 향상되어 왔다. 즉, 이 중요한 요소가 상기의 계산에서는 고려에 들어있지 않은 것이다.

이상의 WASH-1400의 연구 이래 같은 문제에 대해 수십건의 연구가 실시되고 있다. 이 중에는 새로운 원자력발전소에 관한 연구에서 개선된 방법과 데이터를 응용한 것이 포함되어 있다. 이들 연구에 의하면 노심용융 발생확률은 WASH-1400의 연구와 대체로 같지만, 방사성 핵분열생성물 방출비율이 적어지기 때문에 그 영향은 일반적으로 경감된다고 한다.

위험은 일부의 동위원소에 의해 좌우된다. 장기간에 걸친 선량은 세슘-137에 의한 것이

며, 이 원소는 반감기가 30년, β 방사선과 투과성이 있는 γ 선을 방사한다. 갑상선선량은 요오드의 동위원소에 의해 결정된다. 이 동위원소는 풍부히 존재하여 화학적 활성이 높을 뿐 아니라 갑상선이 비교적 적은데도 요오드를 강하게 흡수하기 때문이다. 이 동위원소중 요오드-131(반감기가 8일)이 가장 큰 선량을 주고 있다. 최초의 24시간에 전신선량에 기여하는 원소의 주된 것은 세슘, 요오드, 텔루륨, 바륨, 란타늄동위원소 등이다.

초기의 전신선량은 3종류의 피폭모드에 유래한다. 첫째는 방사성 클라우드(구름)가 통과할 때의 γ 선 방사이고, 둘째는 방사성동위원소의 흡입에 의한 것, 세째는 클라우드가 통과한 후에 지상에 沈着하여 고인 방사능에서의 γ 선 선량이다. 상정되는 최대방출량의 경우에도 클라우드와 흡입에 의한 선량은 급성치사선량인 200렘을 초과하는 일은 절대로 없다. 이 선량에 도달하려면 지상에서의 몇 시간의 피폭 외에 클라우드와 흡입에 의한 피폭이 필요하다.

대형 원자력발전소에서 방사성물질이 방출되는 형태에 대한 지식을 갖고 있으면 일반주민의 건강을 보호하기 위한 최적조치를 확립하는데 유용하다. 그 첫째는 클라우드, 흡입 및 지표선원에서의 피폭은 사람이 건물내에 머물러 있으면 건물이 γ 선에 대한 얼마간의 차폐가 되기 때문에 적어지는 것, 또 건물의 문이나 창문을 꼭 닫아두면 대기중의 방사능이 건물내에 침입하는 것을 방지할 수 있기 때문에 피폭이 경감되는 것이다. 이 선량의 경감은 지하실이 없는 건물내에서는 크지 않지만 지하실에 있으면 이보다 훨씬 효과가 크며, 또 큰 상업빌딩내라면 더 효과가 높아진다. 한편 건물 밖으로 나가거나 자동차에 타거나 했을 경우, γ 선 피폭과 흡입에 의한 피폭을 막는 것은 거의 기대할 수 없게 된다.

발전소에서 수마일 이내에 있는 사람은 예외로 하고, 대부분의 경우에 바람직한 것은 자기의 집이나 근처 빌딩에 대피하여 클라우드가 그 지역에서 이동해 없어질 때까지 실내에서 기다리는 것이다. 그후 광범하게 오염된 모든 구역에서 피난해야 한다. 상정되는 최악의 방출이더라도 클라우드가 사라져 피난할 수 있게 되고나서 수시간의 여유가 있다. 거의 모든 경우 생명을 위협하는 선량에 달할 때까지는 이보다 더 장시간의 여유가 있다.

방사성 요오드에 의한 갑상선 피폭이라는 특별한 경우에는 요오도화 칼륨과 같은 갑상선저지제가 방사성 요오드의 갑상선 섭취를 예방할 수 있기 때문에 사용될 수도 있다. 이 저지제는 적시에 적정량을 복용할 필요가 있다. 이 저지제의 복용권 및 그밖의 갑상선보호의 여러가지 측면에 대해서는 지금까지 미국방사선방어심의회(NCRP)에 의해 검토되고 있다.

1986년에 체르노빌에서 원자로가 과열하여 그 연료의 대부분이 용융하기에 이르렀으며, 그후 증기·수소폭발이 계속되었다. 원자로가 耐壓의 격납용기에 넣어져 있지 않았기 때문에 폭발로 원자로건물의 지붕이 날아가버려 방사성물질 방출을 막을 수 없었다. 이 지역의 주민은 약 48시간 동안 피난하지 않은 상태로 있었다. 건물내에 머물러 있던 사람은 평균 약 3레드의 피폭을 받았고, 건물 밖에 있던 사람의 선량은 10~15레드였다.

많은 사람들은 피난을 가기 위해서는 방사성 클라우드가 찾아오기 전에 주민을 멀리 피난시켜야 한다고 생각하였다. 이 생각은 방출점에서 수마일 이내의 사람들에게 있어서는 최선의 어프로치일지는 모르지만, 주민의 대다수에게 있어서 가장 현명한 어프로치는 대개의 경우 방사성 클라우드가 통과해 사라질 때까지 피난하지 않고 그대로 건물내에 머물

러 기다리는 것이다. 크라우드가 피난중인 사람들과 만나게 될 우려가 있을 경우에는 더욱 그렇다. 첫째로, 이 어프로치에 의해 피난을 요하는 사람의 수가 상당히 감소된다. 크라우드가 통과해 버린후 어느 구역이 어느 정도의 방사능으로 오염되었는지를 정확히 알 수 있기 때문이다. 둘째로, 방사성 크라우드가 아직 그 구역에 존재하는 동안은 사람들을 건물내로 대피시켜 뒀으므로 피폭량이 감소된다. 이상과 같은 이유에서 公的 기관이 주민에 대해 지시를 내리고, 의사가 그 환자에게 적절한 조언을 주는데 대한 필요성이 강하게 나타나고 있다.

중대한 방사선 방출시에는 광범한 피폭이 예상된다. 200렘을 넘는 피폭에서는 방사선 질병이 발생, 급성으로 생명이 위협당할 우려가 있다. 일반시민의 건강이 완전히 보호되지 못했을 경우에도(발전소의 종업원은 별도로 하고) 이 고준위의 선량을 피폭하는 사람의 수는 극소수가 될 것이다. WASH-1400연구의 계산에 의하면, 전혀 피난을 하지 않는 경우에 이 그룹에 속하는 사람은 3,000명이며, 이와 같은 현상의 발생확률은 1爐・年當 10^{-9} 이다. 이보다 더 현실적인 방사성물질 방출량을 사용한 최근의 연구에 의하면, 중대한 照射를 받는 사람의 수는 사실상 제로로 되어 있다.

체르노빌에서의 경험을 보아도 이것을 이해할 수 있다. 소련의 보고에 의하면 급성방사선증상을 나타내는 피폭을 받은 일반주민은 전혀 없었다고 한다. 그러나 1그레이를 상회하는 선량을 쬐인 사람이 100명 있고, 이 사람들중 적어도 31명(대부분은 소방수)이 그후 사망했다. 사망원인은 화상 외에 공업플랜트의 폭발, 전리방사선이 겹쳤기 때문에 발생한 부상에 의한 것이었다.

체르노빌에서의 폭발후 소련의 의료당국은 프리파치의 어린이를 수용하는 모든 시설에

요오드예방약을 배포했다. 보고서의 저자인 이린과 파브로프스키가 내린 결론에 의하면, 이 대사고에 의한 이상한 상황, 즉 원자로에서 장기간에 걸쳐 가스나 에어로졸이 방출되는 상황하에서는 예방요오드의 사용은 대단히 효과가 있었다고 한다.

방사선의 방출 때문에 일반주민중 상당한 수의 사람이 0.1~1시버트 범위의 선량을 받는 일이 있을 수 있다. 이 사람들이 급성방사선유발의 질병에 걸리는 것은 생각할 수 없지만, 아마 스트레스와 걱정은 상당할 것이다. TMI에서의 예를 보아도 방사선피폭을 전혀 입지 않았던 사람이라도 여러가지 증상을 나타내는 일이 있을 수 있음을 알 수 있었다.

0.1시버트 미만의 피폭을 받은 사람은 다수에 이를 것이 예상된다. 이 사람들에게는 제염은 별도로 하고, 치료는 전혀 필요없을 것이다. 체르노빌에서와 같이 폭발의 경우에는 이 그룹에 속하는 사람이 적어도 10만명은 될 것이다.

미국의 경수로에서는 체르노빌형의 참사가 발생하는 일은 결코 없다. 왜냐하면 원자로가 격납용기구조물에 수용되어 있고, 안전성이 높은 운전특성, 특히 음(-)의 보이드계수를 갖추고 있기 때문이다. 원자로로심의 용융은 일어날 것 같지는 않다고 생각되고 있으나, 노심용융에 격납용기의 고장이 겹쳐 체르노빌의 방출에 가까운 양의 방사능이 방출되는 것을 가상하는 사람이 있을지도 모른다. 그러나 해석결과에 의하면 TMI와 유사한 결과의 발생 가능성이 높다. TMI의 경우에는 격납용기가 그 기능을 완수하였으며, 그 결과 방출은 불활성가스가 약 1,000만큐리로서 방사성 요오드는 30큐리 미만으로 억제되었다. 발전소 부지에서 떨어진 곳에 있던 사람의 최대선량은 1밀리시버트 미만이며, 인구밀집지대에서의 최대선량은 0.2밀리시버트 이하였다. 국민

선량은 약 33명·시버트로 계산되었다. 방사성 요오드 보다 오염된 우유를 마심으로써 피폭된 선량은 0.2밀리시버트 미만으로 계산되었다.

급성질병 외에 암, 갑상선 혹, 유전자 이상 등의 잠재적인 영향이 대규모 방사선피폭의 결과로 예상된다. 이런 영향의 규모는 일반적으로 사람의 집단선량으로 추정된다. 통상 이 추정으로는 선량과 영향 사이에 비례적인 관계가 존재하는 것을 전제로 하고 있다. 이 전제조건하에서 예측되는 암의 건수는 100만명이 각각 0.001시버트를 받았을 경우나, 또 1,000명이 각각 1시버트를 받은 경우가 같다는 의미가 된다. 그러나 많은 실험결과에서 보면, 선량과 영향 사이의 관계는 결코 직선적이지 아니며, 또 저선량의 경우는 직선적 관계로 예측되는 것 보다도 영향이 적다고 볼 수 있다. 이런 이유에서 직선적 관계를 전제로 한 계산에 의해 상정되는 영향은 보수적인 상한으로 볼 수 있다.

원자로의 위험에 관한 연구에서는 노심용융에 의한 전국민 총 선량은 격납용기가 유효하게 작용했을 경우의 약 10명·시버트에서 모두가 최악의 방법으로 고장났을 경우의 10⁶명·시버트까지 광범위에 걸친다고 계산되고 있다. 편법으로서의 환산계수에서는 1만명·시버트의 피폭에 의해 200~400명에게서 암이 발생할 가능성이 있다고 한다. 그렇지만 사망은 이 보다 적을지도 모르며, 또는 사망 제로의 가능성도 부정할 수 없다. 따라서 10⁶명·시버트라는 피폭이 발생하는 최악의 방출경우에는 방출후 10년~40년에 최대 약 4만명에게서 암이 발병하리라는 말이 된다. 국민의 대다수가 받는 선량은 0.01시버트라는 낮은 수치이므로 이와 같은 영향을 확인하기 위해서는, 예를 들면 1,000만명이라는 인구를 관찰하는 것이 필요하게 될 것이다. 그러나 이와 같

은 대인구에서는 통상 암의 발병수가 약 190만명이 될 것으로 생각된다. 방사선유발암인지 아닌지의 특별한 표시가 없으므로 방사성물질의 방출에 의해 약 2% 증가하는 것을 검지하는 것은 대단히 어렵다.

예견 가능한 최악의 방사선 방출에서 결과를 더 잘 관찰할 수 있는 것은 갑상선 혹의 발병이다. 자연의 발병수와 같은 정도의 갑상선 혹이 추가 발병하기 때문이다. 방사선 방출이 유전자에 주는 영향은 자연 발병수의 0.1% 미만이기 때문에 이것을 검지할 수는 없다. 이와 같은 결론은 일본에서의 원폭생존자에게서 태어난 어린이에 대해 연구한 결과에 의한 것이다.

3. 原子力發電에 關한 危險度

發電에는 그 방법에 관계없이 몇가지 고유의 위험을 수반한다. 연료의 확보(채굴 등)에서 그 수송과 처리를 거쳐 발전과 폐기물의 처분에 이르는 모든 단계에서 위험이 존재한다. 1988년 7월 북해의 해상석유 채굴시설로 일링에서 가스폭발이 발생, 이 때문에 166명이 사망했다. 땅속의 석탄채굴은 직업적으로 가장 위험한 것 중의 하나이며, 매년 미국에서는 채광에서 발전소로의 수송 사이에 약 100명이나 되는 사람이 사망하고 있다. 또 석탄의 연소에 의해 발생하는 배출물이 대기오염과 질병원인의 하나로 되고 있다. 마지막으로 사용한 후의 재나 잔류물질의 처분도 필요하다. 이들 전과정에서 사람과 환경에의 위험이 존재하고 있다.

마찬가지로 우라늄의 채굴, 그 수송과 가공, 원자로의 운전, 저준위 및 고준위 폐기물의 처분에도 사람과 환경에의 위험이 수반한다.

미국환경보호청(EPA), 미국원자력규제위원회(NRC), 기타 연방규제기관이 불합리한 위

힘을 배제하기 위해 이들 연료사이클의 규제에 노력하고 있다. 예를 들면, 대형의 석탄전용보일러에 대해서는 성능기준을 새롭게 마련함으로써 유황산화물과 입자의 배출량을 크게 억제하는데 노력하고 있으며, 또 땅속채굴에 대해서는 규제를 강화하여 상해 발생수와 석탄 노동자의 진폐증 발병수를 감소시키고 있다.

그리고 핵연료주기에서의 방사선에 의한 일반인의 피폭에 대해서도 오랜 세월이 걸쳐 규제가 되고 있다. 그 결과 현재 운전중인 석탄화력발전소와 원자력발전소는 20년전의 그것에 비해 안전성이 높아졌으며, 특히 괄목한 것은 대규모 석탄전용보일러에서의 배출물질 감소이다.

〈表1〉 石炭 및 核燃料사이클에 起因한 美國에서의 疾病과 傷害
(100萬KWe · 年當發生數)

石 炭			原 子 力	
職業上의 事故·疾病(炭坑) 地 下 事 故 : 170 疾 病 : 22 地 上 事 故 : 16		採 掘	職業上의 事故 (우라늄 鑛山) 地 上 4.0 地 下 13.8 職業上의 疾病 放射線原因 0.03 放射線以外 NA 公衆의 疾病 北美大陸 0.01	
職業上의 事故 3.5		精 鍊	職業上의 事故 1.6 職業上의 疾病 0.05 公衆의 疾病 0.003	
職業上 公衆 鐵 道 1.1 0.87 트럭 20.0 20.0 배 1.6 0.15 파이프라인 0.26 0		輸 送	通常運轉 職業上 5.5×10^{-4} 公衆 4.6×10^{-4} 事 故 放射線 $< 10^{-4}$ 非放射線 0.1	
職業上의 事故 5 公衆의 大氣汚染 77(0.385)		發 電	職 業 上 放射線原因암 0.16 非放射線事故 1.31 公 衆 放射線原因암 0.02	
作表하지 않는다		廢棄物管理	放射線原因암 職業上 5.4×10^{-4} 公衆 7×10^{-6} 廢爐(職業上) 放射線 5×10^{-3} 非放射線 0.07	

〈表2〉 石炭 및 核燃料사이클에 起因한 美國에서의 死亡
(100萬KWe · 年當發生數)

石 炭			原 子 力	
炭坑事故 地 上 0.15-0.17 地 下 1.2 - 1.5 職業上의 疾病 地 下 0.61-1.46		採 掘	職業上의 事故(우라늄鑛山) 地 上 0.11 地 下 0.36 職業上의 疾病 放射線原因 0.15 放射線以外 0.06 公衆의 疾病 北美大陸 0.05	
職業上의 事故 0.034 - 0.116		精 練	職業上의 事故 0.006 職業上의 疾病 0.05 公衆의 疾病 0.013	
職業上 公 衆 鐵 道 0.005-0.022 0.37-0.54 트 리 0.6-2.4 0.6-2.4 배 0.25-1.0 0.07-0.28 파이프라인 0.16 0		輸 送	通常運轉 職業上 4.5×10^{-4} 公 衆 4.5×10^{-4} 事 故 放射線 0.001 非放射線 0.01	
職 業 上 發電所事故 0.09-0.20 公 衆 大氣汚染 15(0-77)		發 電	職 業 上 放射線原因암 0.13 非放射線事故 0.013 公 衆 放射線原因암 0.02 壤滅의事故 0.1	
作表하지 않는다		廢棄物管理	放射線原因암 職業上 4.6×10^{-4} 公 衆 8×10^{-6} 廢爐(職業上) 放射線 5×10^{-3} 非放射線 8×10^{-4}	

1970년대 초에 사강, 레ιβ와 리버그는 각종 에너지 생산기술이 일반의 건강에 주는 위험을 비교했다. 어느 비교에서도 원자력발전소 쪽이 석탄화력발전소 보다도 일반인의 건강에 대한 위험이 적다는 결론을 내리고 있다. 이들 연구조사는 브룩헤븐국립연구소그룹에 의해 최신의 것으로 개정되었다.

해밀톤의 보고에 의하면, 석탄화력발전소는 신예의 것에서도 최신의 원자력발전소 보다 안전성이 낮다고 한다. 표1과 표2는 브룩헤븐국립연구소그룹의 계산을 요약한 것이다.

석탄의 경우 땅속채굴과 대기오염이 질병과 사망 발생원인의 제1위를 차지하고, 제2위가 석탄의 수송이다. 석탄을 땅속에서 채굴하여

철도로 수송할 경우 100만KW·年當 채굴에서 연소에 이르는 연료사이클에서 279건의 질병과 상해가 발생할 뿐 아니라, 18.1명의 사망이 발생한다고 추정되고 있다. 이와 대조적으로 핵연료사이클에서는 우리나라를 땅속에서 채굴할 경우 100만KW·년당 17.3건의 질병과 상해 외에 1건의 사망이 발생할 것으로 추정되고 있다.

이상의 추정에는 불확정적인 점이 있다. 석탄화력발전소에서 배출되는 미립자와 유황산화물이 건강에 주는 영향에 관해 견해의 일치가 없고, 또 원자력사고, 특히 노심용융의 발생과 그 결과에 관한 위험에 대해 견해의 일치가 없기 때문이다.

모리스 등에 의하면, 현재의 기술을 사용하면 석유전용 그리고 가스전용의 화력보일러는 석탄 또는 원자력을 사용한 보일러 보다는 약간 안전하지만, 태양에너지 이용기술은 석탄, 원자력에 비해 안전성이 뒤떨어진다. 태양에너지의 이용은 우려를 불러일으키고 있다. 방식에 따라서는 태양전지에 새로운 독성이 있는 물질을 사용하고 있는 점, 태양광선의 에너지 밀도가 낮기 때문에 에너지를 모으는데 대규모 구조물의 건설이 필요한 점, 이들 구조물을 보수하고 이것을 태양광을 흡수할 수 있도록 충분히 청정하게 유지하는데 따르는 상해가 발생하는 점 등이 그 이유이다.

放射線放出에 따른 危險

일반적으로 전리방사선의 생물학적 영향은 피폭선량과 피폭선량률, 그리고 조직과 세포 내에서 선량의 분포에 따라 영향이 나타나는 형태, 빈도와 정도가 매우 다르다. 영향중에는 조혈기능 저하 등 조직속 세포의 상당한 부분이 죽어버릴 만큼 방사선이 크지 않는 한 발생하지 않는 질병도 있다. 이와 같은 영향이 나타나기 위한 문턱치는 영향의 종류에 따라

1그레이~20그레이 등 여러가지이다.

이밖에 유전자 돌연변이라든가, 염색체 이상 등은 문턱치의 존재를 모른다. 다만, 이런 종류의 영향 발생빈도는 0.1 미만 내지 0.2그레이의 범위에서 방사선선량에 비례하여 증대하는 것 같다. 하나의 전리입자가 세포핵을 가로지르는 정도로 일부 세포에 이런 영향을 충분히 야기시키는 것을 의미하고 있다. 이밖에 문턱치가 없다고 상정되고 있는 영향(그렇지만 문턱치가 존재할 가능성은 부정할 수 없다)으로는 일정한 기관에 대한 발암성의 영향이라든가, 어찌면 성숙중인 태아가 기형아일 영향이 있다. 이 후자의 병인은 복잡하여 그 선량-영향선곡의 형태는 확실치 않다.

급성방사선질병과 기관상해를 일으킬 정도의 큰 선량은 폭발, 대재해, 기타 예기치 못한 현상에 의한 방출의 경우를 제외하고 원자력 발전에서는 발생하리라고는 생각할 수 없다. 이와 같은 방출에서는 영향을 입는 사람은 현장에 있는 사람이나 근처에 있는 사람에 한정될 가능성이 많다. 대재해의 현장에서 훨씬 떨어진 곳에 있는 사람이 받는 선량은 급성증상을 일으킬 정도로 대량은 아니지만, 그래도 돌연변이 유발성의 영향, 발암성의 영향, 그리고 기형아를 낳을 영향 등의 위험성은 있을 수 있다. 이와 같은 위험이 저준위 방사선에 의해 얼마만큼 높아질지에 대해서는 명확하지 않으나, 일반적으로는 선량에 비례하여 증대할 것으로 상정되고 있다. 예를 들면, 발암성에 관한 평생위험은 1만명·그레이당 200~400 정도로 추정되고 있다. 이것은 “자연발암”의 평생위험은 1람당 1%~3%에 증가에 해당된다.

4. 原子力發電, 醫師, 社會

현대의 국가는 전력을 적절히 공급함으로써

공장을 정상적으로 가동시키고, 직장과 학교 및 가정을 받게 하며, 건물의 공기조절과 환기를 하고, 식품을 가공·보존하는 등 사람들에게 있어서 필요불가결하게 요망되는 수많은 활동을 지원하는 것을 요구하고 있다.

또한 적절한 전력공급은 병원과 진료실에 있어서도 필요불가결하다. 즉, 흉부 X선 촬영을 하며, 심전도를 측정하는 등 수많은 진료를 하고 있다.

원자력에너지도 발전방식의 하나로서 석탄, 석유, 가스, 물과 바람을 이용하는 발전방법과 같은 것이다. 그러나 후자의 방법과는 달리 원자력에너지는 전리방사선을 방출하는 것으로, 이 전리방사선은 건강과 환경에 바람직하지 않은 영향을 줄 가능성이 있다. 그러므로 의사는 발전방법과 관련된 원칙을 이해하고 있어야 한다.

원자력발전소와 병원, 의료시설 외에도 식품조사, 연기탐지, 비파괴검사 등의 기술분야에서 전리방사선을 취급하고 있다. 의사는 사람이 작업중에 방사선에 의해 장해를 입은 진찰실과 진료소로 운반하게 될 가능성을 고려해야 한다. 적절히 대응하기 위해서는 의사와 의료관계자는 필요한 행동계획을 세워 어떤 것을 경계하고, 무엇을 해야 할 것인지에 대해 알고 있어야 한다. 일반적으로 전리방사선에 의한 장해는 기타의 장해와 공통된 증상을 갖고 있는 것 같다.

만약 TMI사고시와 같은 긴급사태가 일어난다면 의사는 많은 질문을 받을 가능성이 높은 것은 지금까지의 경험에서 분명하다. 병자 및 그 가족, 신문관계자, 그리고 라디오·TV방송국의 관계자, 학교 등에서의 질문이 집중될 것이다. 의사는 방사선 방출량에 관한 정보를 입수하는 방법을 알아 두어야 하며, 개인과 대중을 보호하기 위해 적절한 지원을 할 수 있어야 한다. 의사는 전리방사선에 의해 심한

피해를 당한 사람들을 만나는 일은 드물지만, 한편 의사는 방사선장해의 진단방법을 이해하고 증상, 징후 그리고 상황마다 진단이 다를 수 이해하여 임파구수와 염색체이상물을 조사하는 등 임상처치의 중요성을 알아두어야 한다.

또한 의사는 이용가능하고 유익한 참고문헌을 소유해야 한다. 참고문헌으로는 몇몇 교과서의 일부내용과 미의학협회(AMA) 출판물, 국제원자력기구(IAEA) 출판물, 미국방사선방어심의회(NCRP)의 보고서 등이 유효할 것이다.

어려운 사례를 다룰 경우 의사는 전문가의 의견과 조언이 필요할 것이다. 그 경우에 미국에서는 24시간 전화서비스를 이용할 수 있다. 이 전화는 테네시주 오크리지의 방사선긴급지원센터·훈련시설(REAC/TS)에 연결되어 있다. REAC/TC의 스텝에는 방사선물리학의 전문가와 전리방사선장해자의 치료전문가가 있고, 그밖에 에너지부(DOE) 지역사무소와 원자력규제위원회(NRC)는 방사선장해에 관한 조력을 제공할 수 있는 인력을 갖고 있다. 뉴욕주의 브룩헤븐, 테네시주의 오크리지와 뉴멕시코주의 로스알라모스, 워싱턴주의 헨포드에 있는 국립연구소의 스텝에는 방사선장해에 대한 경험을 가진 의사와 물리학자가 있으며, 몇몇 대학의 학부와 교수단, 기업에도 이같은 인력이 있다.

일반적으로 의사는 총명하고 유능한 인물로 간주되고 있으며, 의사는 건강과 건강에 대한 위험, 의료 그리고 이런 점에 관한 교육노력에 대해 대중에게 의견을 제공할 수 있어야 한다. 의사는 방사선긴급사태와 화학사고, 화재, 자연재해에 대한 긴급시대책에 관해서 각 지방자치단체 당국과 그룹에게서 지원요청을 받을 수도 있다. 능력있는 의사는 그 지역에서 가장 중대한 질병과 사망의 원인을 아는

노력을 해야 하며, 또 유익한 조력을 제공하는 이상적인 위치에 있어야 한다.

긴급시에 진료실과 진료소, 병원과는 별도로 중요한 역할을 담당하는 지방자치단체의 섹션에는 경찰, 소방서, 방사선방어긴급시관리청, 대중위생국, 긴급의료기술자와 발전소를 소유하는 대기업이 포함되어 있다.

만약 중대한 사고가 발생했다면 방사선방어와 대중위생, 긴급시 관리에 관한 주지사와 주당국도 관여하게 될 것이다. 전미공중위생서비스와 NRC, 연방긴급관리청(FEMA) 그리고 국방의료시스템(NDMS)과 같은 연방성정도 州의 요청에 따라 이용이 가능하다. 의사는 주와 연방정부 당국이 지방자치단체를 어떻게 위조할 것인지, 또 이들 당국과 절충할 때의 절차는 어떤 것인지에 대해 알고 있어야 하며, 그 밖에 전화번호도 알고 있어야 한다.

전리방사선의 바람직하지 못한 영향을 보호하기 위해 오랜 세월에 걸쳐 받아들여지고 있는 원칙은 「합리적으로 달성 가능한 한 낮게(ALARA)」의 수준까지 피폭을 줄이는 것이다. 직장에서 방사선관리의 책임을 가진 의사는 이 원칙을 적용하여 위험을 줄이고, 위험을 감시하게 두어 효과적으로 규제하는 것을 확립할 것이다. 의사는 모든 환자의 치료를 위해 위험-편익의 원칙을 적용해야 한다. 방사선학적 처치가 진단에 유익하고 치료상의 효과를 얻을 수 있어 응용하는 한편, 위험을 수반하는 것을 중시해야 할 것이다.

전리방사선과 그 작용에 관한 지식, 또 그에 따라 바람직하지 못한 영향을 입은 사람들을 다루는 방법이 향상됨에 따라, 그리고 방사선관련분야의 교육기회가 증가한 만큼 의사는 지방자치단체의 복지를 향상시킬 의무를 완수해야 하며, 또 장애와 병을 관할한다는 오래전부터 갖고 있는 책임을 실행에 옮길 단계에 있다.

사회가 새로이 필요하다고 하고 있는 것으로 의사가 언급가능한 것이 있다. 미국에서는 과학기술과 원자력에너지가 일상생활에서 완수하는 역할을 판정하는 마지막 심판자이다. 의사 뿐 아니라 일반대중은 활기있는 과학에서 이익을 얻는 한편, 활기없는 과학에서 피해를 입고 있다. 공중이 과학과 과학기술의 산물을 지지하는 정도를 결정한다. 그러나 공중의 구성원이 만약 과학에 무지하고, 또 기술에 의심을 품는다면 과학기술이 나아가는 방향에 대해 지적인 결정을 내릴 수가 없는 것이다.

가장 적절한 방법으로 기능하기 위해서는 민주주의 사회의 구성원이 과학적 원칙 및 그 개념을 이성적으로 이해해야 한다. 그것은 그들이 원자력발전과 폐기물처분, 살충제, 제초제, 식품첨가물, 수질오염 등 일반적 정책논쟁을 다루는데 유익한 작용을 할 것이다. 그러나 대부분의 사려깊은 사람들은 미국의 교육분야에서 현행 시스템과 프로세스에서는 과학을 포함한 모든 분야를 넓고 깊게 다루는데는 한계가 있다고 확신하고 있다. 지방자치단체에서 의사가 지도적 역할을 맡고 있는 것을 생각하면 과학기술과 성과를 사회에 적용하는 분야에서 의사가 발언함으로써 이 한계를 제거할 수 있다.

국가는 고등학교와 대학에서 과학에 관한 교육의 중요도를 격하시킬 수는 없다. 왜냐하면, 과학적 사고의 도입은 오늘날 필요불가결하며, 미국 사회가 발전하는데 한층 기본이 되는 것이기 때문이다. 원자력발전만큼 과학적 교양있는 공중에게 의존하고 있는 분야는 없다. 최소한 필요한 것은 도널드·케네디박사의 말에 의하면 「적어도 충분한 지식을 가진 유권자의 출현으로 어리석은 자에 의해 한 방 맞는 것은 피할 수 있다」고 하였다.