

개인 피폭선량 평가 기술 공인제도

한국전력공사 기술연구원 방사선안전연구부

宋 明 幸

입 가능성을 살펴 보고자 한다.

1. 序 論

최근들어 國內에서도 原子力 發電 事業이 급속도로 팽창하고 美國의 TMI 또는 소련의 체르노빌 原電 事故에 힘입은 反 原電論者들의 목소리가 커감에 따라 原子力 發電所의 放射線安全에 대한 國民들의 관심이 고조되고 있다. 原電 放射線安全의 일차적인 대상은 原子力 發電所에 종사하는 「放射線作業者」들이다. 이들에 대한 방사선피폭량은 일반적으로 적은 편이나 불행히도 소량의 방사선피폭과 癌의 發生과는 명확히 규명되지 못한 상관관계가 존재하는 것으로 알려져 있다. 따라서 소량의 방사선피폭일지라도 이를 정확히 評價하는 기술이 그 어느 때 보다도 중요하게 필요시되고 있는 것이 요즈음의 실정이다.

美國에서도 정확한 개인 방사선피폭량 평가의 중요성을 인식하고 관련된 法規定인 10 CFR 20(Code of Federal Regulations)을 개정하여 개인 방사선피폭 평가자로 하여금 一定 수준의 評價 技術을 습득하여 NVLAP(National Voluntary Laboratory Accreditation Program)에 참여하도록 하고 있다. NVLAP이란 개인 방사선피폭 평가기술에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 ANSI(American National Standards Institute) N13.11-1983에 수록된 개인 피폭선량 평가 시험요건에 따라 개인 선량계 평가자들을 대상으로 하여 실시하는 일종의 공인 제도이다. 우리나라에서도 원자력 발전소, 의료기관 및 방사성 동위원소를 사용하는 산업체 등 각종 기관에서 종업원의 방사선피폭량을 평가하기 위해 여러 종류의 개인 피폭선량계가 많이 사용되고 있다. 그러나 아직 국내에는 美國의 NVLAP에 상응하는 개인피폭 평가 기술의 신뢰성을 판정해 줄 만한 척도가 없다. 여기에 NVLAP의 근간이 되는 ANSI N13.11-1983를 검토해 보고 그 문제점을 파악하여 國內에 유사한 제도의 도

2. ANSI N13.11-1983의 概要

美國의 표준협회(American National Standards Institute, Inc)는 일찌기 방사선 작업자들의 체외 피폭량을 평가하는 사업자들의 능력을 시험하기 위한 일련의 절차서를 제정하였으나 많은 문제점이 발견되어 1975년도에 이 절차서를 개선하기 위한 실무 추진위원회를 결성하였고 그후 美國 保健物理協會(Health Physics Society)의 전문가들과 각 大學 관계자들에 의해 새로운 改定案이 만들어졌다. 동 개정안의 내용에 의거한 소규모 실험(Pilot Study)이 미시건주의 미시건대학(The University of Michigan) 당국에 의해 실시되었고 여기에서 나타난 문제점들을 보완하여 현재 사용되고 있는 ANSI N13.11-1983이 채택된 것이다.

이 새로운 절차서는 표 1에 명시된 바와같은 8가지 범주의 엑스선(X-ray), 감마선, 베타선 및 중성자선으로 구성된 단일 또는 복합 방사선에 피폭된 공식 기록용 개인 피폭선량계에 대한 시험을 다음과 같은 절차에 따라 실시하도록 규정하고 있다.

① 개인 피폭선량 평가 사업자는 먼저 시험범주를 표 1에서 선택한 다음 시험범주별로 최소한 18개 이상의 개인 피폭선량계를 중앙 평가실에 제출

② 중앙 평가실에서는 각 시험범주별로 15개의 개인 피폭선량계를 각기 다른량의 방사선에 피폭시킨 다음 피폭시키지 않는 나머지 선량계와 함께 사업자에게 반송

③ 사업자는 각 시험범주별로 15개의 개인 피폭선량계의 방사선 피폭량을 평가한 후 그 결과를 중앙 평가실에 통보

④ 중앙 평가실에서는 사업자의 평가 결과를 검토하여 시험에 합격여부를 판정

이 때의 판정기준은 먼저 판독 편차(Performance

표 1. 개인 피폭선량계 시험 범주

시험범주	방사선 종류	피폭량	판정기준	
			전신피폭	피부피폭
1	저에너지 엑스선(사고선량)	10-500 rad	0.3	—*
2	고에너지 감마선(Cs-137, 사고선량)	10-500 rad	0.3	—
3	저에너지 엑스선(작업선량)	0.03-10 rem	0.5	0.5
4	고에너지 감마선	0.03-10 rem	0.5	—
5	베타선(Sr-90/Y-90)	0.15-10 rem	—	0.5
6	엑스선과 감마선 혼합(3과 4의 혼합)	0.05-5 rem	0.5	0.5
7	감마선과 베타선 혼합(4와 5의 혼합)	0.20-5 rem	0.5	0.5
8	감마선과 중성자선 혼합(4와 Cf-252 중성자선 혼합)	0.15-5 rem	0.5	—

* 시험하지 않음

Quotient)를 다음과 같이 정의한 다음

$$P_i = [H_i' - H_i] / H_i$$

P_i : i 번째 개인 피폭선량계에 대한 판독편차

H_i' : 사업자에 의해 평가된 방사선피폭량

H_i : 중앙 평가실에서 피폭시킨 방사선피폭량

판독편차의 평균값(Bias)과 표준편차(Standard Deviation)의 합을 구하여 그합이 시험범주 1과 2에 대해서는 0.3 그외의 범주에 대해서는 0.5를 넘지 않으면 합격 판정을 받는다.

중앙 평가실에서 사업자가 제출한 개인 피폭선량계를 일정량의 방사선에 피폭시킬 때에는 방사선의 종류에 따라 각기 다른 세가지 형태의 팬텀(Phantom)을 사용하도록 하고 있다. 이는 실제 방사선 작업자가 개인 피폭선량계를 착용시 인체에 의한 후방 산란효과(back scattering effect)를 반영시키기 위한 것이다. 한편 상기 시험절차에는 방사선장(放射線場)의 입사각도, 피폭시의 온도, 습도 및 가시광선 또는 자외선에의 노출시간 등의 가변성(可變性)은 전혀 고려되지 않고 있다.

3. 소규모 실험(Pilot Study) 결과

위와같은 내용의 ANSI N13.11-1983을 사용하여 미

표 2. ANSI N13.11-1983의 예비시험 결과

시험범주	참가사업자수	합격자수	불합격자수	합격율(%)
1	51	40	11	78
2	65	62	3	95
3	55	48	7	87
4	76	75	1	99
5	65	60	5	92
6	57	51	6	89
7	70	66	4	94
8	54	52	2	96
합계	493	454	89	92

국의 미시건대학에 의해 미국내 개인 피폭선량계를 이용하는 사업자들(주로 원자력 발전소) 대상으로 하여 소규모의 예비 시험이 실시되었다. 그 결과는 표 2에 나타난 대로 대체적으로 만족할 만한 수준이었으나 낮은 에너지의 엑스선(X-ray)에 의한 피폭평가가 주된 문제점으로 부각되었다. 즉 합격율이 상대적으로 낮은 시험범주 1, 2, 4는 모두 낮은 에너지의 엑스선(X-ray)를 포함하고 있어 이에 대한 개인 피폭선량 평가의 어려움을 간접적으로 말해주고 있고, 전반적으로 시험에 불합격하는 경우에 대한 원인을 조사 분석한 결과 다음의 네가지 문제점이 도출되었다.

① 피폭량 평가시 낮은 에너지 엑스선등 방사선의 종류와 그 에너지에 대한 적절한 보정을 하지 않았다.

② 피폭 평가와 관련된 모든 자료처리를 수작업(手作業)으로 함으로써 기록상 오차가 많이 발생되는데 이는 피폭량을 잘못 평가하는 큰 원인이 되고 있다.

③ 다량(多量)의 피폭(사고시 피폭량)에 대비한 개인 피폭선량계의 적절한 보정이 이루어지지 않았다.

④ 피폭 평가체제에 대한 적절한 품질관리 계획이 없었다.

위와같은 문제점을 해결하기 위해서는

첫째: 피폭선량 평가 프로그램에 알고리즘(Algorithm)을 사용할 것.

둘째: 평가 자료처리는 전산화할 것.

셋째: 높은 피폭량(사고시 피폭량)에 대해 적절한 보정을 할 것.

넷째: 선량계의 개개소자 보정(Element Correction)등 피폭선량 평가 체제에 적절한 품질관리 계획 수

립할 것.
등이 권고되고 있다.

4. ANSI N13.11-1983의 문제점

ANSI N13.11-1983은 그 부록에 기술된 바와같이 실제의 개인 피폭선량 평가에 영향을 미칠 수 있는 다음의 조건들은 전혀 고려하지 않고 있다.

- ① 입사(入射) 방사선의 방향성(方向性)
- ② 온도, 습도등 방사선 피폭시 환경조건
- ③ 피폭 시점으로부터 평가 시점까지의 시간차이(퇴행성)

④ 가시광선, 자외선 또는 기타 전자파의 영향

위의 모든 요소들이 개인 피폭선량계를 이용하여 방사선 피폭선량을 평가하는데 큰 영향을 미칠 수 있다. ANSI N13.11-1983에 위의 요소들을 명시하지 않은 이유는 단지 시험(Test)을 단순하고 용이하게 시행하기 위해서였다. 그렇지만 최근들어 이들 여러 요소중 최소한도 입사 방사선의 방향성은 고려되어야 한다는 견해가 지배적이다. 비교적 단순한 형태의 방사성동위원소를 사용하는 곳의 피폭선량 평가에는 그리 큰 영향을 미치지 않을지도 모르나 실제 원자력 발전소처럼 방사선원(放射線源)이 복잡하고 여러 곳에 산재해 있을 경우에 단순한 등방형(Isotropic) 혹은 평행형(Parallel) 방사선장(Radiation Field)를 가정하면 실제 피폭량 평가에는 상당한 오차를 유발시킨다는 계산이다. 다음으로 ANSI N13.11-1983에 문제가 되는 항목으로는 베타선원(線源)이다. 미국의 DOE LAP(Department of Energy Laboratory Accreditation Program)에는 베타선원으로 Sr-90/Y-90 외에도 Tl-204와 우라늄을 사용할 수 있도록 되어 있어 상당 범위의 에너지를 포함하고 있으나 NVLAP에서는 Sr-90/Y-90만이 명시되어 있어 실제의 베타선원의 에너지가 이와 상이할 때는 피폭선량 평가에 상당한 오차를 유발한다. 즉 Sr-90은 반감기 28.9년을 가지고 붕괴하여 생긴 자핵종 Y-90으로부터 최대 에너지 2.27 MeV인 베타선을 방출하여 그 평균 에너지는 약 0.93 MeV인 것으로 밝혀졌으나 원자력 발전소내의 베타 방사선 준위는 발전소마다 그 상태에 따라 약간의 변화는 있으나 대체적으로 그 평균 에너지가 약 0.1~0.2 MeV 정도가 되는 것으로 알려지고 있다. 이러한 경우 만약 개인 피폭선량계의 평가 기준이 Sr-90/Y-90에 맞

추어져 있다면 원자력 발전소에서 실제 받은 베타선에 의한 방사선피폭량은 상당히 과소평가될 수 밖에 없는 실정이다. 따라서 NVLAP에 사용하는 현재의 베타선원인 Sr-90/Y-90은 다른선원(線源)으로 교체되거나 그렇지 않으면 제 2의 베타선원을 추가할 필요가 생긴다. 지금까지 알려진 원자력 발전소의 베타선 피폭 평가용으로 가장 좋은 순수 베타선원은 약 3.8년의 반감기를 가지고 평균 에너지가 0.267 MeV인 Tl-204이다.

이상 열거한 사항들의외에도 여러가지 요인들이 더 고려되어야 하겠지만 현 시점에서 NVLAP 운영상 두드러진 문제점은 부각되지 않고 있다.

5. 국내의 피폭선량 평가 공인 체제 필요성

우리나라에는 방사성동위원소 및 X-선 촬영기를 사용하는 병원, 방사성동위원소를 이용한 각종 산업체 및 연구소와 원자력 발전소등에 종사하는 직원들의 수가 급증하고 있다. 이들에 대한 방사선피폭량의 정확한 평가에 대한 필요성은 새삼 강조할 필요가 없다. 우리나라에서는 현재 이들이 받는 방사선피폭량을 필름배지(Film Badge)나 열형광 선량계(TLD)를 사용하여 자체적으로 혹은 소규모 위탁기관을 이용하여 평가하고 있다. 그러나 아직까지는 이러한 개인 피폭선량계를 이용하여 피폭량을 정확히 평가해 줄 수 있는 대규모의 제 3자적인 입장을 취하고 있는 전문기관이 없다. 그리하여 많은 군소 피폭선량 평가자들의 피폭선량 평가 작업결과를 공인해 줄 수 있는 체제가 갖추어져 있지 않고 또한 피폭평가 시설 및 방법에 대한 기술 기준이 마련되지 못하고 있는 실정이다.

최근들어 방사성동위원소의 사용이 급증하고 방사선 피폭으로 인한 피해 주장 사례가 속출함에 따라 정확한 방사선피폭평가 기술개발의 시급성은 물론이거니와 방사선피폭평가 결과에 대한 신뢰성을 공인해 줄 체제의 수립이 무엇보다도 절실히 요구되고 있다. 따라서 우리나라도 미국의 NVLAP과 같은 공인체제를 하루 빨리 수립하여야 하겠다.

6. 結 論

미국의 NVLAP의 근간이 되고 있는 ANSI N13.11-1983을 검토하여 이를 수정 보완한후 국내 도입하여 방

사선 피폭평가 결과를 공인해 줄 수 있는 체제의 수립이 시급하다. 일의 성격으로 보아 동 체제수립의 추진은 국

가 주도로 하고 관계 전문기관이 참여한 추진위원회를 구성하고 적절한 대책을 수립할 것을 제의한다.