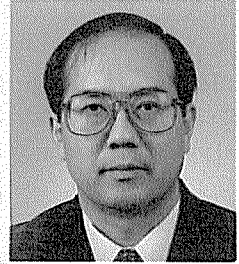


“ALARA와 원자력 발전소”



송 명 재

한국전력공사 기술연구원

서 론

우리 나라에서 방사선작업 종사자의 숫자가 가장 많은 원자력 발전소의 방사선 안전 관리는 고도의 보건물리 기술을 요구한다. 발전소에 존재하는 방사성 핵종이 다양하고 따라서 거기에서 발생하는 방사선의 종류 및 에너지가 매우 많기 때문이다. 방사선 안전관리의 핵심이 되는 방사선 피폭관리는 우리 나라의 법이 대체로 선량한도 준수에 초점을 맞추고 있으며 ALARA 개념을 권고하고 있기는 하나 구체적인 지침 등이 마련되지 않아 정부의 규제, 감독에 명확한 경계를 찾아 보기 어렵다.

그렇지만 우리 나라의 원자력 발전소에는 ALARA 개념을 안전성 분석 보고서나 운영 기술 지침서 등에 삽입하여 스스로 의무조항으로 규정하고 ALARA 운영 위원회 같은 기구를 통해 철저히 시행하려는 노력을 하고 있다. ALARA의 철저한 시행을 위해서는 아직도 많은 문제점들이 산적해 있다. 그것은 다름 아닌 ALARA의 “R”에 해당되는

“Reasonably”라는 어휘 때문이다. 여기에서 “R”이 의미하는 바는 사회적, 경제적 요인 등을 고려하여 합리적인 방안을 찾겠다는 의미이다. 하지만 이는 어떻게 보면 논리적이지만 다르게 보면 또 너무나도 추상적일 수 있는 일면을 가지고 있다. 특히 방사성 피폭량과 경제적 가치를 비교 평가하기란 더욱 더 어려운 문제이다. 이처럼 어려운 상황에서 원자력 발전소의 ALARA가 어떻게 운영되고 있으며 또 앞으로 나아가야 할 방향 등에 대해서 고찰해 보고자 한다.

원자력 발전소의 방사선 피폭 저감화 프로그램

우리 나라의 원자력 발전소에서는 원자력 관계 법령과 관련규정을 준수하고 발전소에서 근무하는 방사선 작업 종사자에 대한 방사선 피폭량을 최소화하기 위해 원자력 발전소마다 방사선 피폭 저감화 프로그램을 수립하여 운영하고 있다. 이 프로그램은 국

내법뿐만 아니라 미국의 원전 운영자 협회(INPO)에서 발간한 ALARA 계획서까지 참조하여 만들어 졌다.

일반적으로 원자력 발전소에서 방사선 작업이 요구될 때에는 방사선 작업 허가서(RWP: Radiation Work Permit)를 발급 받아야 한다. 방사선 관리 부서에서는 방사선 작업 허가서 여러가지를 검토하는데 검토 항목 중의 하나가 총 작업량이 10 man·hr를 초과하는 지 또는 작업이 고 방사선 구역으로 분류된 지역에서 이루어지는 지를 확인하는 일이다. 만약에 방사선 작업량이 10 man·hr를 초과하거나 아니면 고 방사선 구역에서의 작업으로 확인되면 그림-1에 따른 조치가 취해진다.

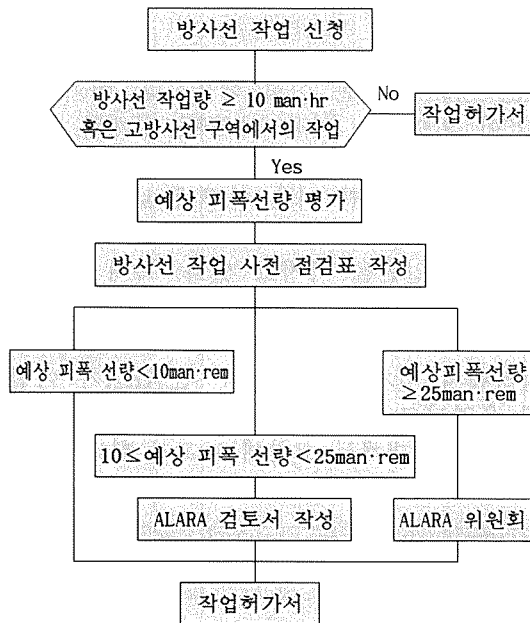


그림-1 방사선 작업시 피폭 저감을 위한 사전 조치

이 때에는 방사선 작업시 받을 수 있는 예상 방사선량을 먼저 평가한 다음 방사선 작업 사전 점검표를 만들어야 한다. 방사선

작업 사전 점검표에는 방사선 방호 장구 착용 여부, 적절한 방사선 감시 장치 및 제염 혹은 방사선 차폐체 설치 여부를 미리 검토하도록 되어 있고 또한 사전에 모의 작업 연습 필요성까지도 검토하도록 되어 있다. 작성된 점검표는 발전소의 각 부서장으로 구성된 ALARA위원회의 간사인 보건물리과장과 방사선 관리부장의 검토, 승인을 받도록 되어있다.

평가된 예상 피폭선량이 10man·rem 이하이면 바로 방사선 작업허가서를 받아 작업에 임하고 10man·rem을 초과하여 25man·rem이하일 때는 반드시 ALARA 위원회를 개최할 필요는 없으나 ALARA 검토서를 작성하도록 되어 있다. ALARA 검토서에는 작업 중 방사선 피폭을 줄이기 위한 조치가 적절히 수행될 예정인지를 평가하도록 되어있다. 예상 방사선 피폭선량이 25man·rem을 초과할 때는 ALARA 위원회를 개최하여 작업 절차를 검토하고 방사선 피폭 저감대책을 수립한

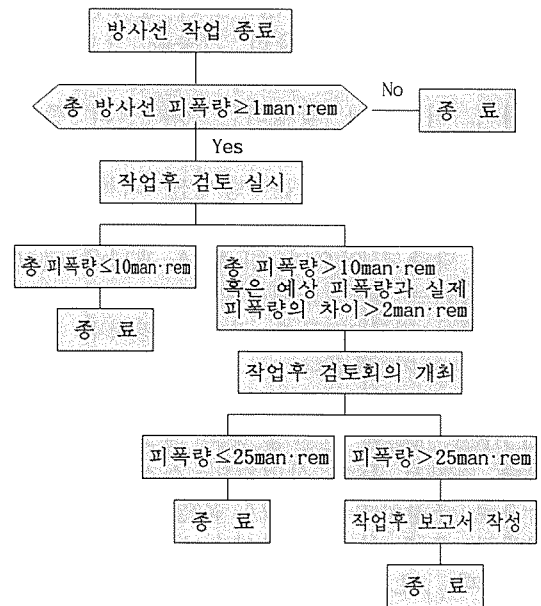


그림-2 방사선 작업후 조치 사항

다. 방사선 피폭 저감대책은 매우 적극적인 방법, 예를 들어 임시 차폐체를 설치한다든지 아니면 반복된 예행 연습을 통해 신속하고도 정확한 작업을 할 수 있도록 한다. 그리고 다른 원자력 발전소나 외국의 원자력 발전소에서 있었던 유사한 작업 경험을 참조한다.

사전에 잘 준비된 계획에 따라 방사선 작업이 완료된 후에도 그림-2의 절차에 따라 작업 내용을 검토해 본다.

그림-2에 따라 사후 검토하는 이유는 사전에 ALARA 계획이 잘 수립이 되었는지를 평가하고 또 다음을 위해서 자료를 축적하고자 하는 것이다.

방사선 방어의 최적화

ALARA 실현에 있어서 가장 핵심이 되는 부분은 방사선 피폭 저감을 위한 조치이다. 작업자를 사전에 훈련시킨 다든지, 원격 조작 장비를 도입하여 작업에 임한다든지 아니면 방사선 차폐체를 설치하는 일들이 바로 그것이다. 이러한 조치에는 반드시 비용이 수반되기 마련이다 피폭 저감을 위한 활동에 소요되는 경비와 절감된 방사선량이 반드시 비례하는 것은 아니지만 아무래도 많은 비용을 들이면 절감되는 방사선 피폭량도 많을 것이다. 따라서 문제는 어느 정도의 비용을 들여 얼마만큼의 방사선 피폭량을 절감하는 것이 가장 효과적일까 하는 것이다.

정량적인 분석을 위해서는 피폭으로 인한 위험도가 직접 또는 간접적 방법을 통해 비용으로 환산되어야 한다. 다시 말해서 방사선 피폭량 절감에 대한 비용-이득(Cost- Benefit) 분석이 가능해야 한다는 말이다. 비용-이득 분석시 미국의 규제기관인 US-NRC에서 과거 1975년도에 사용했던 US\$ 1,000/ man·rem이 자주 사용된다. 이 값은 1985년도에 다시 US\$ 1,500/man·rem으로 변경되었지만 현재 대부분

의 미국 원자력 발전소에서는 이 보다 훨씬 더 높은 값을 사용하고 있다.

미국의 G.W. Kindred가 1992년도에 조사한 자료에 따르면 1992년도 미국의 원자력 발전소에서 사용된 평균치는 US\$ 7,343/man·rem이었다고 한다. 표-1에 Kindred가 조사한 자료가 요약되어 수록되어 있다.

이는 물론 미국의 자료이어서 국내에 직접 적용하는 데에는 문제가 있을 것이다. 그러나 아직까지 국내에는 체계적인 조사 자료나 아니면 적절한 지침이 없어서 당분간은 미국의 자료를 참조해야 할 것 같다. 하루 바빠 국내에도 적절한 기준이 설정되어야 한다.

표-1 미국의 원자력 발전소에서 사용된 US\$/man·rem

원자력 발전소	US\$/man·rem(1992)
오이스터크릭외24개 발전소	5,000
울프크릭외5개 발전소	7,500
드레스덴외7개 발전소	9,000
터기포인트외15개 발전소	10,000
씨리밋노츠아나발전소	12,500
세코야외2개 발전소	15,000
양키밋밀스톤발전소	20,000
페리발전소	26,000
평균	7,343

방사선 피폭 저감 대책

원자력 발전소의 방사선 피폭 저감 대책은 원자력 발전소의 설계 단계에서부터 반영된다. 설계단계에서부터 ALARA 개념에 의거해서 설계되는 데 다음과 같은 분야가 고려 대상이다.

- 기기 및 설비의 배치도
- 방사선 관리구역 설정
- 방사선 차폐

- 방사선 오염 구역
- 공조 계통
- 배관 형태
- 배관 및 기기 재료

운전중인 원자력 발전소에서는 ALARA 개념을 도입하는 제약요소가 상당히 많다. 그래서 먼저 손쉬운 방법으로 작업자를 훈련시켜 작업중 방사선 피폭을 적게 받는 요령을 숙지시켜야 한다. 그리고 그 다음에는 설비를 개선한다든지 원격 조작되는 장비를 사용한다든지 하는 방법들이 있다. 원자력 발전소에서 방사선 작업자들이 받는 방사선량의 대부분은 발전소를 정지시킨 후 정기보수를 하는 중에 받는 것이다. 따라서 운전중인 원자력 발전소의 ALARA 개념은 주로 정기보수공사를 용이하게 하는 조치나 정기보수공사중 작업자들이 오래 체재하는 공간의 방사선량을 감소시키는 것과 관련된다.

정기 보수공사시 방사선 피폭을 감소시킬 수 있는 방안은 많이 있다. 여러 가지 피폭 저감 방안에 소요되는 비용 또한 갖가지이고 그에 따른 방사선 피폭 절감량도 많은 차이를 가져다준다. 여러가지 방안별로 비용-이득 분석을 하여 그 결과 발생하는 순이득을 상대 비교한 자료가 있다. 미국의 규제 지침인 NUREG/CR-6112 자료를 근거로 하여 여러가지 대안별로 비용-이득을 분석한 결과가 표-2에 수록되어 있다.

표-2에 수록된 내용들은 특정한 환경에서 몇 가지 피폭 저감 방안들에 대한 상대 비교표로서 원자력 발전소에서 ALARA 수행을 위한 의사 결정시 참고자료로 사용할 수 있다.

우리 나라의 원자력 발전소에서도 원전 작업자들에 대한 방사선 피폭량을 혁신적으로 감소시키기 위해 “원전 방사선량 저감화 종합계획”을 수립하여 추진하고 있다. 동 계획은 원전 방법 및 설비 개선 분야, 신형 장비 확보 및 교육 훈련 분야로 크게 나눌 수 있다.

운전방법 및 설비개선 분야에서 원자로

냉각재의 pH를 현재보다 높여 운전함으로써 방사성 부식생성물의 발생량을 원천적으로 감소시키고 또 기 발생된 부식 생성물을 효과적으로 제거하기 위해 1차 계통에 미세 여과재를 설치하는 방법 등이 포함되어 있다. 그리고 신형 장비 확보 분야에는 증기 발생기 자동 검사 장비 같은 자동 내지는 원격 조작 장비들이 포함되어 있다. 교육 훈련 분야에는 발전소 내 주요 구역을 미리 비디오 카메라를 이용 촬영해 두었다가 운전중 접근이 필요할 때 운전 요원들에게 이를 보여줌으로써 사전에 현장 지식을 충분히 갖출 수 있도록 하는 제도가 마련되어 있다.

표-2 각종 방사선 피폭 저감 방안에 대한 비용-이득 분석 비교

방사선피폭저감방안	순이득*
○증기 발생기 교체시 튜브에 저 코발트 재질 사용**	①
○증기 발생기 관련 작업전 모의 훈련 실시	②
○증기 발생기 수실 제염작업(정기보수 공정에 영향을 주지 않을 경우)	③
○증기 발생기 튜브 검사 및 보수용 로봇구매	④
○증기 발생기 수실 작업용 이동형 차폐 장치	⑤
○원자로 뚜껑 및 냉각재 파이프 가동중 검사시 신형장비 사용	⑥
○원자로 뚜껑에 멀티 스테드 텐쇼너 사용	⑦
○제어봉 구동장치를 저 코발트 물질로 대체	⑧
○냉각재 펌프에 저 코발트 물질 사용	⑨
○건조 방사성 폐기물 처리시 절단/압축기 사용	⑩
○원자로 뚜껑 차폐후 작업	⑪
○원자로 상부 내부 구조물에 차폐체 설치후 작업	⑫
○핵연료 집합체 노즐에 저 코발트 물질 사용	⑬
○원자로에 조립식 상부 뚜껑 사용	⑭

*번호가 클수록 순이득이 작아짐
**피폭저감이 아닌 다른 이유로 해서 증기 발생기를 교체할 때

원자력 발전소에 ALARA 프로그램이 본격적으로 도입되기 전까지 즉 1986년부터 1990년까지 우리나라 원자력 발전소의 방사선 피폭량은 원전 1기당 연간 약 200man·rem 정도의 수준이었으나 ALARA 프로그램이 효력을 발생하면 연간 호기당 약 150man·rem 이하로 유지 가능하다. 그렇게되면 선진국의 방사선량 통제 실적보다 훨씬 우수한 결과를 기대할 수 있으며 앞으로 우리 나라에 신형 원자로가 도입되면 방사선 피폭선량을 연간 100man·rem 이하로 줄일 목표를 가지고 있다.

결 론

지난 1990년도에 권고된 ICRP-60에서도

방사선 방어의 최적화를 위한 상세한 설명이 소개되었다. 방사선 방어에 있어서 ALARA 개념은 갈수록 강화될 것이고 또한 새로운 권고에 의한 방사선 피폭 제한치도 많은 국가에서 점진적으로 수용될 전망이다. 이러한 상황하에서 방사선 피폭 절감을 위한 노력은 그 어느 때보다 절실한 것이다.

원자력 시설에서 방사선 작업자에 대한 피폭량은 거의 대부분이 발전소의 정기 보수공사시에 받는 것이기 때문에 이 기간 중에 받는 방사선량의 절감 방법에 많은 노력을 기울여야 할 것이지만 사실 운전중인 발전소에서 방사선 피폭량을 절감시키는 방법에는 한계가 있다. 따라서 앞으로는 원자력 발전소의 설계·건설 단계에서부터 철저한 ALARA 개념이 도입되어야 하겠다.

