

Development of ALARA Checklist for an ALARA Design Review

Sang-Woon Shin and Myung-Jae Song

Korea Electric Power Research Institute

(Received 16 September 1996 ; Accepted 28 February 1997)

ALARA 설계검토를 위한 ALARA 점검표 개발

신상운, 송명재*

전력연구원

Abstract - All nuclear facilities and components should receive an initial ALARA review before the installation and thereafter whenever modifications are planned. A major objective in design aspects of ALARA is to identify areas where specific engineering input can reduce personnel exposure. The basic factors which should be considered in the ALARA design review process include curd control, shielding and isolation of radiation sources, accessibility, maintainability and reliability, and contamination control. Because many diverse aspects must be considered in the ALARA design reviews, a proper ALARA checklist should be used to aid the designer in preventing any of the ALARA review considerations from being slipped away. In order to develop the practical ALARA checklist, check items for basic ALARA factors have been prepared, and what should be considered in reviewing each item has been discussed here. Based on the proposed factors and items, an ALARA checklist was developed.

Key words : ALARA, ALARA checklist, ALARA design review, ALARA design

요약 - 모든 원자력 시설이나 기기들은 설치하기 전과 설치한 후에도 설비를 개조하여야 할 때에는 ALARA 검토를 받아야 하는데, ALARA 설계측면에서 주요한 목적은 특별한 엔지니어링 기법을 통해 작업자 피폭을 감소시킬 수 있는 분야가 무엇인지를 규명하는 것이다. ALARA 설계검토에서 고려하여야 할 기본적인 인자물로는 Crud 통제와 차폐와 격리, 접근성, 유지보수성과 신뢰성, 및 오염통제가 있다. 이처럼 다각적인 측면에서 ALARA 설계검토가 이루어져야 하므로 설계자들이 ALARA 설계검토를 하는 과정에서 검토되어야 할 기본적인 사항들이 누락되지 않도록 하기 위해서는 적절한 ALARA 점검표가 이용되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 실제적인 ALARA 점검표를 개발하기 위하여 각각의 기본적인 ALARA 인자들 별로 검토하여야 할 항목들을 살펴 보았다. 또 각각의 검토항목별로 어떤 사항들이 고려되어야 할 것인지에 대해 논하였으며, 설정된 기본인자들과 검토항목들을 토대로 ALARA 점검표가 개발되었다.

중심단어 : ALARA, ALARA 점검표, ALARA 설계검토

서 론

기본적인 ALARA 철학은 주어진 경제적, 사회적 여건에 비추어 개인과 환경의 방사선 영향을 최저 수준으로 제한하는 것이라고 말할 수 있다. ICRP Publication 26에서 권고된 ALARA 철학에서는 기술적, 경제적, 사회적 인자들을 고려하여 확실한 이득이 없이는 어떤 방사선 피폭도 발생되어서는 아니된다.(1) 또 이는 아무리 적은 양의 방사선 피폭을 받더라도 상응하는 위험이 따르게 됨을 의미한다. 따라서 어떤 조치를 취하는데 따르는 비용이 그로 인해 얻게 되는 피폭선량 감소에 상응하는 비용을 초과하지 않는 한 방사선 피폭을 감소시키기 위한 모든 수단을 강구하여야 한다.

현재까지의 경험이나 사례에 비추어 볼 때 ALARA 철학은 설비나 시설의 설계로부터 운전 및 유지보수에 이르는 모든 단계에서 반영되어야 하지만 ALARA를 성취하는 가장 좋은 방법 중의 하나는 설비나 시설의 설계단계에서 ALARA 철학을 설계에 반영하는 것으로 나타나 있다(2). 즉, 설비나 시설의 설계내용을 ALARA 측면에서 검토하여 경제적으로 타당한 범주 내에서 방사선 피폭을 최소화시켜야 한다. 이러한 ALARA 설계는 설비가 운전해 들어갔을 때 작업자의 방사선 피폭과 환경으로의 방사능 방출을 최소화시키고, 심각한 오염이나 방사선 위험이 없이 설비의 개 보수 작업을 안전하게 수행할 수 있음을 보증하는데 그 목적을 두어야 한다. 미국에서는 이러한 ALARA 철학이 이상적인 목표가 아니고 모든 사업자들이 준수하여야 의무조항으로서 10CFR20에 규정되어 있으며, 원자력시설 운전자들이 작업자의 방사선피폭을 ALARA로 유지하기 위해 수립하여야 할 ALARA 프로그램과 ALARA 철학에 대한 NRC의 관점 등이 미 규제지침(Reg guide)으로 제시되어 있다.(3,4)

따라서 방사선 피폭을 유발시킬 수 있는 시설을 설치하거나 혹은 기존의 시설을 개선하고자 할 때에는 설계 시점부터 설계자와 제작자(가능하다면 사용자도 참여)가 모두 참여하여 모든 가능한 대안들을 대상으로 ALARA 검토를 실시한 후 최

적의 설계조건이나 설비를 결정하여야 한다. 이러한 ALARA 검토를 위해서는 작업자의 방사선 피폭과 환경으로의 방사능 누출 원인이 되는 인자들은 무엇이고 이를 감소시킬 수 있는 인자들은 무엇인지를 규명한 후, 각 인자별로 ALARA 요건이 충족되는지를 검토해 보아야 한다. 그러나 ALARA 요건이 충족되는지를 살펴보기 위해서는 많은 시간과 노력을 할애하여 각 인자들별로 수십가지에 달하는 항목들을 검토해 보아야 하기 때문에 기술적 판단(Engineering Judgment)만으로는 필수적인 검토항목들이 누락되어 설비를 설치한 후에야 문제점들이 노출되는 경우가 허다하므로 ALARA 검토가 효과를 거두기 위해서는 각각의 인자들별로 필수적인 검토사항들을 설정한 후, 적절한 ALARA 검토절차를 개발할 필요가 있다(5,8).

본 연구에서는 기본적인 ALARA 인자로는 어떤 것들이 있으며, 각각의 인자별로 어떠한 사항들이 설계검토시 포함되어야 할 것인지를 조사하였으며, 이를 토대로 ALARA 설계검토자들이 쉽게 이용할 수 있도록 ALARA 점검표를 제시하였다.

ALARA 설계검토항목

설비나 시설의 설계단계에서 ALARA 철학을 반영시키기 위해서는 설계과정에서 방사선 피폭 원인이 되는 방사선원의 양을 어떻게 최소화시킬 수 있고, 작업조건을 고려하여 작업환경을 개선시키기 위해서는 어떤 조치를 취하여야 하며, 환경으로 방출되는 방사성 물질의 양을 최소화시키고 오염확산을 최소화시키기 위해서는 어떻게 하여야 할 것인지 등의 기본적인 사항들이 반영되어야 한다. 물론 이러한 과정에서 취하게 되는 모든 조치들은 경제적인 측면에서 그 정당성이 보증되어야 하겠지만, 일반적으로 어떤 시스템의 상세설계과정에서 ALARA를 반영할 때에는 당연히 경제적인 정당성이 보증되도록 검토기준이 설정되어야 한다. 즉 배관내의 Crud 트랩을 줄이기 위해 배관의 위치나 부착하는 기기들의 배열방법 등 경제적인 추가부담이 거의 없거나 추가

부담이 발생되더라도 과거의 운전경험에 비추어 경제적으로 방사선 피폭을 줄일 수 있는 사항들에 대한 검토에 초점이 맞추어져야 된다.

ALARA 설계검토시 반영하여야 할 인자들은 검토하는 시스템의 특성에 따라 서로 다르고, 또 검토자의 직관에 따라 여러가지 각도에서 살펴볼 수 있겠지만 모든 ALARA 설계검토과정에서 공통적으로 적용된다고 생각되는 기본인자들은 크게 Crud 통제, 차폐와 격리, 접근성, 유지보수성과 신뢰성, 및 오염통제의 다섯 가지로 요약할 수 있다(6-8). 여기서 제시된 인자들간의 상대적인 중요도에는 큰 차이가 있으며 서로 독립적인 필요는 없다고 본다. 다시 말해 동일한 내용이 여러가지 관점에서 반복적으로 검토되어도 무방하다. 각각의 기본인자들별로 ALARA 설계검토항목들에 대해 분석해 본 결과는 다음과 같다.

Crud 통제

계통내에 Crud가 축적됨에 따라 선량율과 Airborne 방사능의 방출 가능성 및 오염 확산 가능성이 증가하게 된다. 따라서 Crud 통제를 통해 작업자의 피폭을 감소시킬 수 있는데, Crud 통제를 위해서는 다음과 같은 항목들이 검토되어야 할 것이다.

○재질의 선정

중성자에 의해 쉽게 방사화되는 니켈과 코발트 등의 원소가 포함된 물질을 어떠한 경로로든지 중성자 방사화가 가능한 기기나 계통에 사용하지 않도록 하고, 내부식성 물질을 사용함으로써 부식으로 인해 방사화가 가능한 물질들이 일차계통으로 유입되는 것을 방지한다. 또 유체의 흐름을 완만하게 하고 급격한 휨부나 리듀서의 사용을 줄이며 유체가 흐르는 내부 표면을 매끄럽게 하여 침식으로 인한 재질의 마모를 방지하여야 한다.

○적합한 정화설비 설치

계통의 온도와 압력, Crud의 특성, 유량 등을 고려하여 적절한 정화설비를 갖추어야 하며, 공기중으로 누출되는 방사화물의 정화설비가 적절하여야 한다.

○Crud의 트랩 방지

배관 내의 특정 지점에 Crud가 트랩되는 것을

방지하기 위해서는 배관에 연결하는 온도계나 압력계 등 각종 측정기기의 탐침자 탭을 배관의 측면에 설치하여야 하며, 오리피스수는 수평배관보다는 수직배관에 설치하고 고방사성 계통과 폐수지 처리계통의 굵은 부분은 곡률 반경을 충분히 크게 한다. 배관은 유체 흐름방향으로 경사를 주어야 하며 열팽창 루프가 필요할 경우에는 배관 하부쪽보다는 상부쪽으로 루프가 만들어져야 한다.

모든 기기들은 적절한 배수설비와 세정설비를 갖추어야 하는데, 탱크의 바닥은 경사지게 제작하여 그 최하부에 배수라인을 연결하도록 하고 배수라인은 Crud가 세정될 수 있도록 배수지점까지 경사지도록 설치한다.

차폐와 격리

ALARA 검토과정에서 Crud가 작업자의 피폭원이 된다면 차폐와 격리는 작업자의 방사선 피폭을 감소시키는 중요한 역할을 하는데, 차폐와 격리조건의 분석을 위해서는 다음과 같은 항목들이 검토되어야 할 것이다.

○선원항의 적합성

핵분열 생성물과 방사화 생성물의 선원항에 적합하도록 계통을 설계하여야 하며, 설계하는 실제 계통을 토대로 탱크나 필터, 탈염탑 등에서의 축적, 붕괴, 이동 모델이 개발되어야 한다.

○방사선구역의 설정

설정된 방사선 구역은 작업에 적합하여야 한다(ANSI Standard 6.7 등 참조) 고방사성 입자 관리 구역방사성 입자 오염이 예상되는 경우에는 고방사성 입자 오염이 확산되는 것을 방지할 수 있도록 고방사성 입자 관리구역을 설치하고 관리구역의 경계에는 고방사성입자를 포집할 수 있는 적절한 흡진설비가 갖추어져야 하며, 고방사성 입자 관리구역과 청정구역을 분리하는 완충지대가 마련되어야 한다(9).

○영구 차폐체 설치

영구 차폐체는 필요한 방호준위를 만족시키고, 필요한 경우 해체가 용이하도록 설계하여야 한다. 또 각각의 방에 들어갈 설비나 필요한 장비의 입출입에 지장을 주지 않도록 차폐체를 설치하

여야 한다.

○미로 설계

방사성 물질이 들어있는 배관이나 설비가 입구에서 직접 마주 보이지 않도록 방의 입구를 설계하여야 하며, 미로 설계를 통해 방사선 구역 요건을 만족시키도록 한다. 예를 들어 방사선 구역요건을 만족시키기 위해 방안의 기기로부터 방출되는 선량을 1000분의 1정도까지 감소시켜야 한다면 고방사성 기기로부터 방출된 방사선이 최소한 2번 이상 산란되도록 미로 설계를 한다. 미로를 설계할 때에는 반드시 장비의 입출입 가능성이 면밀하게 검토되어야 한다.

○관통부(Penetration)의 설계

차폐벽을 관통하는 구멍을 뚫어야 할 경우에는 고방사성 기기와 직접 마주보지 않도록 하여야 하며 불가피한 경우에는 고방사성 기기가 설치된 안쪽면에 기기가 직접 보이지 않도록 차폐체를 설치하도록 한다. 또 관통부의 위치는 가능하다면 바닥으로부터 최소한 7피트 이상이어야 하며, 특히 계단이나 작업대와 일직선이 되지 않도록 유의한다.

○배관의 통과

어떤 계통으로부터 나온 방사성물질이 흐르는 배관이 다른 방이나 구역을 통과할 때에는 차폐된 파이프내에 배관을 설치하여야 한다. 여유기기가 있는 경우에도 하나의 기기와 연결된 배관이 다른 여유기기의 밸브실이나 방을 통과하지 않도록 함으로써 하나의 기기를 운전하면서 다른 여유기기의 보수가 용이하도록 한다. 또 격리밸브는 보수에 영향을 주지 않는 범위내에서 관통부 가까이 설치하도록 하여 밸브실의 방사선 준위를 최소화시킨다.

○임시 차폐체의 적절한 설치

공간상으로 영구 차폐체의 설치가 불가능하거나 선량률과 접근빈도를 고려해 볼 때 기능상으로 영구 차폐체의 설치가 불필요한 경우에는 임시 차폐체를 설치할 수 있는 공간을 확보하여야 하며, 이 경우에는 임시 차폐체를 실어 나를 수레의 통행이 가능하도록 바닥을 설계하여야 한다. 차폐체를 배관에 늘어뜨려야 할 필요가 있을 때에는 추가되는 무게를 견딜 수 있도록 배관 지지대를

설계하여야 하며, 바닥으로부터 어느 정도 떨어진 높이에 임시 차폐체를 설치하여야 할 경우에는 차폐체 지지대를 미리 설치하여야 한다. 궁극적으로 기기나 배관을 설계할 때에는 가능하면 임시 차폐체를 사용하지 않아도 되도록 설계하여야 하며, 불가피한 경우에는 임시 차폐체의 소요량을 최소화시키면서 설치와 해체가 용이하도록 설계하여야 한다.

○설비의 적절한 분리

고선량률의 원인이 되는 설비들은 저선량률을 나타내는 설비와 적절하게 분리(차폐)시켜야 한다. 고선량률 기기들이라 하더라도 계통이 다르다면 이를 서로 분리시켜야 하며, 계통이 같을지라도 별도의 보수작업이 필요하는 등의 이유로 이들 기기들을 서로 분리시켰을 때 작업자의 방사선 피폭을 감소시킬 수 있다면 이들을 서로 분리시켜야 한다. Crud 축적이나 잔류 방사능 때문에 원자로 운전 정지시 선량률이 높을 것으로 예측되는 기기들 역시 서로 분리시키도록 한다. 또 공기중 방사능 오염원이 될 수 있는 설비들은 그렇지 않은 설비들과 분리시켜야 하는데 공기오염이 확산되지 않도록 배치하도록 한다. 특히 방사능 청정계통이 방사능 오염계통과 어떤 경로를 통해서라도 연결되지 않도록 세심한 검토가 요구된다.

○설비의 격리요건

설비를 격리시켜야 할 경우에는 격리가 가능하도록 격리밸브나 추가 배관 등 격리에 적합한 조건이 설계에 반영되어야 한다. 예를 들어 열교환기나 펌프와 같은 각각의 기기별로 배수시키거나 격리시켜야 할 용량이 설계에 포함되어야 하며, 어떤 특수한 작업을 위해 계통 중에서 필요한 만큼만을 격리시키거나 배수시킬 수 있도록 충분한 밸브를 설치하여야 한다. 여유기기가 설치된 계통에서는 계통을 운전하면서 하나의 기기를 격리하여 보수할 수 있도록 설계하여야 하고, 여유기기가 설치되어 있지 않다고 하더라도 기기 보수중에 계통운전에 지장이 없도록 가능하다면 우회배관을 설치하여야 한다.

○장비의 원격관측

압력계나 온도계 등 장비의 운전조건을 나타

내는 지시계기들은 저방사선 구역에 설치하여야 한다. 그러나 판독이 빈번하지 않은 경우에는 저선량을 구역이 아닌 곳에 설치하여도 무방한데, 예를 들어 주당 1회 정도 판독이 필요하다면 15 mrem/hr인 구역에 판독기기를 설치하여도 된다. 고방사선 구역에 설치된 장비로부터 지시계기들을 분리해 낼 수 없는 경우에는 거울을 설치하거나 비디오 카메라를 설치하여 원격으로 계기들을 판독할 수 있어야 한다. 또 계기의 증폭기 설치위치와 교정시험 지점은 반드시 저선량 구역에 위치하여야 하며, 저선량 구역에 위치한 계기의 형태는 계기내의 방사성 물질 체류량을 최소화시키고 Crud 축적위험을 최소화시킬 수 있도록 설계되어야 한다.

○원격 조작

고방사선 구역에 설치된 밸브와 장비들은 원격조작이 가능하도록 원격 조작봉 등을 설치하여야 한다. 그러나 선량 준위가 허용가능준위 이하로 감소된 후에 작동시키거나 다른 이유 때문에 어차피 고방사선 구역 안으로 들어가서 작동시키게 되는 밸브나 장비에는 원격 조작설비가 없어도 된다. 방사선 준위가 중간 정도(5 mrem/hr%선량율%100 mrem/hr)인 구역에 설치하는 밸브들은 사용빈도가 높을 경우에는 동력 원격조작설비를 갖추도록 하고, 한 달에 한 두번 정도로서 사용빈도가 낮은 경우에는 저선량 구역에서 동작시킬 수 있도록 원격 조작봉을 갖추어야 한다. 밸브나 장비의 원격 조작봉을 설치할 때에는 인적 조작실수를 최소화시킬 수 있도록 설계하여야 하는데, 예를 들자면 탈염탑 전면에 설치되어 있는 각종 밸브들의 배열과 원격 조작을 하는 지점에서의 원격 조작봉 배열을 일치시키도록 한다. 특히 동력 조작설비를 설계할 때에는 유지보수요건과 조작빈도 등을 고려하였을때 동력 조작설비의 보수로 인한 방사선 피폭이 수동조작으로 인한 방사선 피폭보다 충분히 낮아야 한다는 점을 염두에 두어야 한다.

○적합한 통신시설

작업자들이 작업구역을 떠나지 않고서도 외부에 있는 작업 감독자나 기술지원 요원들과 통화가 가능하도록 충분한 통신시설을 구비하고 있어야

하며, 예상되는 주요 방사선 작업구역에는 구역 통제지점에 있는 사람들과 통화할 수 있는 인터콤이나 폐쇄회로 TV를 쉽게 설치할 수 있어야 한다. 또 모든 지역의 모든 작업자들이 비상상태를 즉시 알 수 있도록 충분한 음량의 사이렌이나 스피커를 갖추어야 하며, 격리된 고소음 지역에는 번쩍이는 불빛과 같은 특별한 설비를 갖추어야 한다.

○기기의 충분한 보관공간

제염이나 보수를 위해 대기중인 방사성 오염기기를 보관할 수 있도록 충분한 차폐공간이 확보되어 있어야 하며, 보관공간은 작업자가 고방사성 기기에 가까이 접근하지 않고도 지나갈 수 있도록 충분히 넓어야 한다. 습분 분리기나 원자로 내부부품들과 같이 오염도가 높은 기기들은 가능하다면 수조내에 보관할 수 있어야 한다.

○적합한 폐기물 저장시설

방사성 폐기물 처리시스템의 처리능력 등을 감안하여 발생하는 각종 방사성 폐기물을 저장하기에 충분한 용량의 폐기물 저장탱크를 갖추어야 한다. 필요한 탱크의 크기나 갯수를 평가할 때에는 주요 시설의 고장 가능성이 고려되어야 한다. 탱크를 설치할 때 오버폴로우 배관은 벤트라인 아래에 위치하여야 하며 직접 배수조까지 연결되어야 한다. 탱크의 벤트라인은 공기중 방사능 오염을 최소화시킬 수 있도록 환기시스템의 배기라인에 연결시켜야 한다. 또 생성된 고체 폐기물 드럼들을 저장시설로 운송하기 전에 일시적으로 저장할 적절한 공간이 확보되어야 한다.

○폐기물 선하적시설

폐기물 선하적 구역은 예상되는 선하적량을 충분히 취급할 수 있도록 설계하여야 하며, 고준위 폐기물과 저준위 폐기물을 동시에 선하적할 필요가 있는 경우에는 저준위 폐기물의 선하적시 고준위 폐기물로 인한 피폭을 최소화시킬 수 있도록 두 가지 폐기물의 선하적시설을 분리시켜야 한다. 또 선하적전에 폐기물을 원격으로 검사할 수 있는 시설과 제염시설을 갖추어야 한다.

○백그라운드 방사선 준위

방사선 구역에 설치하는 기기는 그 구역의 예상되는 방사선 준위에서 목적인 바의 기능을 수

행할 수 있도록 선정되어야 한다. 예를 들어 고방사선 백그라운드 구역에 위치한 방사선 감시기는 요구되는 감도를 만족시킬 수 있어야 한다. 또 부품과 재질이 수명기간동안 받게 될 방사선량을 충분히 견딜 수 있어야 하는데, 고방사선 구역에 설치하는 폴리머 재질의 밀봉재나 마이크로 프로세서 장치의 경우 이러한 사항이 면밀하게 분석되어야 한다.

접근성

설계방법에 따라 효율적으로 방사선 구역에 접근할 수 있을 것인지가 좌우되는데, 접근성은 얼마나 합리적인지 그리고 얼마나 편리한지에 따라 적합성을 판단하는 요소이다. 따라서 제안된 설계서를 검토할 때에는 작업자가 가장 일반적으로 이용하는 통로는 어디이고 그 통로를 이용할 경우 신발덮개나 방호복을 몇 번이나 갈아입는지 등이 결정되어야 하며, 기본적으로 오염확산을 방지할 수 있도록 설계되었는지 검토되어야 한다. 특히 지정된 통로가 합리적이지 못하거나 불편하게 설정되었을 경우에는 작업자들이 다른 지름길을 찾게 되는 경향이 있고, 그렇게 되면 오염확산 가능성이 높아지는 등의 문제가 발생되므로 ALARA 기본인자로서 접근성이 검토되어야 한다.

○장비의 적절한 배치

작업구역을 비방사선 구역, 저방사선 구역 등으로 구분하고 방사성 물질이 들어 있는 배관을 불필요하게 길게 연결하는 일이 없도록 하기 위하여 논리적으로 그룹을 지어 장비들을 배치하여야 한다. 정상운전중에 접근할 필요성이 있는 기기들은 접근하는 동안 받게 될 피폭선량이 최소가 되도록 배치하여야 하며, 일상적인 점검이 필요한 기기들은 다른 기기나 배관에 의해 방해받지 않고 쉽게 접근할 수 있어야 한다.

○적절한 출입 통제지점

출입 통제지점은 발전소내 통제구역으로 들어가고 나오는데 편리하도록 설계하여야 하며, 신속한 출입이 이루어질 수 있도록 필요한 설비들이 논리적으로 배치되어야 한다. 또 작업자가 옷을 갈아입는 동안 다른 사람들의 출입을 방해하지

않도록 충분한 공간이 확보되어야 하고, 오염 검사구역은 최소한 두 사람을 동시에 검사할 수 있을 만큼 충분히 넓어야 하며 작업자 제염실이 통제지점에 인접해 있어야 한다. 주요 작업이 이루어지는 지역이나 방의 출입구에는 국부적인 출입통제를 위한 공간이 확보되어 있어야 하는데, 이 공간은 그 구역에 들어갈 것으로 예상되는 사람들을 충분히 수용할 수 있어야 한다.

○운전원의 출입

운전원이 수시로 확인하여야 할 기기는 쉽게 접근할 수 있어야 하며, 감시하여야 할 기기가 방안에 설치되어 있을 때에는 쉽게 이를 볼 수 있어야 하고 차폐창과 같은 특별한 설비를 갖추지 못하였을 경우에는 문을 열고 바로 점검이 가능하여야 한다.

○점검의 용이성

주기적으로 점검하여야 할 기기들 역시 쉽게 접근 가능하여야 하며, 필요한 점검을 모든 각도에서 신속하게 수행할 수 있도록 기기 주변에 충분한 공간을 확보하도록 하고 영구적인 작업대나 사다리가 구비되어 있지 않은 경우에는 이들을 제 위치에 신속하게 설치할 적절한 공간이 확보되어야 한다. 한편 기기에 보온재를 설치하여야 할 경우에는 점검시 해체하여야 할 양이 최소가 되도록 하고 해체순서에 따라 적절한 표시를 해 둠으로써 신속한 해체/조립이 가능하도록 한다.

유지보수성과 신뢰성

어떤 기기를 보수하기 위해서는 여러 명의 작업자가 참여하여야 하는데, 이들이 받게 되는 피폭선량과 작업에 소요되는 시간 및 비용은 그 장비의 유지보수성과 신뢰성에 따라 달라진다. 이러한 관점에서 검토하여야 할 항목들은 다음과 같다.

○배치의 적합성

보수작업을 위해 각각의 기기나 장비에 접근할 때 다른 기기나 배관에 의해 방해받지 않아야 하며, 관련이 없는 다른 기기들을 해체하지 않고도 보수작업을 수행할 수 있도록 설계시 특별한 관심을 기울여야 한다.

○충분한 작업

공간안락하게 작업을 수행할 수 있도록 보수 작업을 수행하여야 할 장비의 주변에 적절한 공간을 확보하여야 한다. 예를 들어 펌프는 사방 둘레에 3피트 이상의 공간이 있어야 하고, 해체된 주요 부품들을 보관하기 위한 보조지역이 보수하여야 할 기기 주변에 마련되어야 한다. 특히 HVAC 필터 하우징을 설계할 때에는 HEPA필터나 활성탄 Tray의 교체가 용이하도록 주변에 충분한 공간을 확보하여야 한다.

○보수를 위한 분리

고방사선 구역에 위치한 기기들은 계통으로부터 신속하게 분리시킨 후 저방사선 구역으로 옮겨 보수할 수 있도록 설계하여야 한다. 방사선량율이 지극히 높을 경우에는 원격 해체방법을 고려하여야 하며 저방사선 구역으로 손쉽게 옮길 수 있는 방안이 강구되어야 한다. 즉 이동경로의 특성에 맞도록 보노레일이나, 수레, 천정 크레인, 천정 해치, 이동식 벽면 등의 방법을 이용하도록 한다.

○신속한 분해와 설치

분해와 설치를 신속하게 할 수 있도록 호스나 배관, 전기 배선, 기타 연결부 및 보온재 등을 설계하여야 한다. 또 분해시 방사성 물질이 누출될 수 있는 부위에는 누출된 방사성 물질을 수집할 수 있도록 적절한 받침을 설치하여야 한다.

○적절한 부대시설

수행하여야 할 보수작업에 적합하도록 전원과 조명, 용접시설, 수도전, 제염시설, 배수시설, 가압 공기전, 호흡 공기전, 비상 조명시설 등을 갖추어야 한다.

○장비의 이동시설

장비를 천정 크레인으로 옮길 경우에는 장비를 들어올리는 동안 흔들리지 않도록 장비와 크레인 사이가 수직이 되어야 하며, 대형 기기들인 경우에는 크레인보다도 영구 모노레일을 설치하여 해체나 이동에 이용하는 것이 좋다. 크레인으로 이동시키는 장비들에 대해서는 이동장구 설치시간을 최소화시킬 수 있도록 적절하게 설계된 고리가 부착되어 있어야 하며, 패드아이 등을 바닥에 설치하여 이동시켰던 장비를 쉽게 설치할 수 있도록

한다.

○작업대나 비계 설치

보수작업이나 점검의 빈도가 높은 경우(1년에 1회 이상)에는 영구 작업대를 설치하도록 하고, 그렇지 않은 경우에는 임시 비계를 신속하게 설치할 수 있는 공간을 마련해 두거나 높이 조절 발판을 사용할 수 있도록 한다.

○일상적인 보수요건 검토

공급자가 제공한 자료나 기타 관련서류를 검토해 봄으로써 유회방법이나 오일 교환방법, 해체절차, 밀봉재 교환 등의 일상적인 보수요건이 적절하게 만족되어야 한다.

○적절한 기기 선정

계통에서 요구되는 기능을 만족시키면서 보수작업을 최소화시킬 수 있는 기기를 선정하도록 한다. 예를 들어 펌프 분해시 다시 축을 맞추는 작업이 필요하지 않도록 모터를 손대지 않고 펌프의 분해점검이 가능하여야 한다.

○적절한 여유설비

교차 배관을 설치하는 방법 등을 이용함으로써 어떤 부위의 보수작업을 실시하더라도 계통의 기능이 유지되도록 설계하여야 하며, 기능상 필수적인 펌프나 필터, 탈염탑, 열교환기 등은 여유설비가 갖추어져 있어야 한다.

○시험요건

임시 라인을 추가로 설치하지 않아도 보수작업 후 수압시험이 가능하여야 하며, 환기계통의 경우에는 필터를 교체한 후에 필터의 성능시험을 할 수 있는 설비가 갖추어져 있어야 한다.

○필터와 탈염탑 설치

고방사성 계통에 탈염탑을 설치할 때에는 수지의 수명을 늘려 폐수지 발생량을 최소화시킬 수 있도록 전단에 필터를 설치하여야 하고, 필터와 탈염탑의 후단에는 스트레이너를 설치한다. Precoat 필터는 역세척과 코팅이 용이하여야 하며, 주로 고방사성 계통에 사용되는 카트리지 필터의 교체는 원격장비를 이용함으로써 작업자의 피폭을 최소화시키고 필터 교체시에 오염확산을 최소화시킬 수 있도록 설계하여야 한다. 특히 수지이송배관이 막히지 않도록 곡률 반경을 충분히 크게 하고, 완전히 개폐되는 밸브를 사용하도록

하며, 세척 배관을 설치하여야 한다. 또 배관내에 수지가 축적되는 양이 최소가 되도록 설계하고 배관을 적절하게 차폐시킴으로써 배관이 통과되는 구역의 방사선 준위를 최소화시킨다.

오염 통제

누수 수집 받침을 설치한다거나 페인트를 칠하는 등의 아주 간단한 방법만으로도 오염 발생량과 확산을 효과적으로 방지할 수 있으며, 보다 신속하고 손쉽게 제염작업이 수행될 수 있도록 할 수 있기 때문에, 오염 통제는 가장 적은 비용으로 가장 큰 효과를 볼 수 있는 ALARA 수단이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 적절한 오염 통제수단이 설계에 반영될 수 있도록 다음과 같은 검토항목들을 제시하였다.

○배수 및 세척

보수작업을 위해 계통을 열기 전에 그 계통속에 포함된 물을 완전히 배수시킬 수 있는 적절한 위치에 배수라인이 연결되어 있어야 하며, 배수된 물은 바닥을 흘러내리지 않고 직접 썸프로 배수되어야 한다. 또 배수가 용이하도록 벤트라인이 갖추어져 있어야 하며, 고방사성 계통은 필요한 모든 계통을 탈염수로 세척할 수 있도록 설계되어야 한다.

○오염확산 방지설비

탱크나 펌프가 들어있는 방은 누출사고시 오염확산을 최소화시킬 수 있도록 입구에 Curb를 설치하여야 하는데, 수레 등 바퀴가 달린 장비의 출입이 가능하도록 Curb를 만족지게 설계한다. 바닥은 배수 썸프 쪽으로 경사지게 타설하여 누출된 물이 쉽게 배수썸프로 흘러들도록 하며, 가능한 누출지점 가까이 바닥 배수구를 설치한다. 방사성 계통에 직경 2.5인치 이상의 배관을 설치할 때에는 밸브 스템의 누수가 적은 밸브를 사용하도록 하고, 대형 밸브와 펌프에는 누수 수집 설비를 구비하도록 한다. 오염확산을 최소화시키기 위하여 각 방이나 지역의 입구에는 출입 분리대를 설치하고 오염 검사장비와 폐기물 수납 용기를 구비해 두어야 한다. 또 고방사성 입자의 오염이 예상되는 지역에는 입구의 바닥에 점착력이 강한 집진 테이프를 설치하여 오염 확산을

방지한다.

○제염 조건

오염이 불가피한 기기는 오염되는 부분을 쉽게 분해하여 제염할 수 있도록 설계하여야 한다. 모든 바닥은 제염이 용이한 물질로 코팅시켜야 하며, 오염 가능성이 높은 지역에서는 벽면도 최소한 6인치 높이까지(펌프 주변과 같이 방사성 물질이 뿜어져 나올 수 있는 경우에는 8피트까지) 코팅시켜야 한다. 장비 제염이 필요한 지역에는 제염액을 담아 돌 스테인레스 스틸제의 팬을 구비해 두어야 하며, 불필요하게 청정구역을 경유하지 않고 중앙 제염시설까지 오염된 장비를 신속하고 쉽게 옮길 수 있도록 설계하여야 한다.

○화학세정 조건

화학세정이 필요할 것으로 판단되는 계통에는 계통과 가능한 가까운 위치에 임시 화학 세정장비 설치에 필요한 공간이 구비되어 있어야 하며 신속하게 세정배관을 탈착시킬 수 있는 설비가 갖추어져 있어야 한다. 세정배관은 고유 속의 화학 세정이 가능하도록 그 직경이 최소한 2인치 이상이어야 한다.

○적절한 배수설비

배수라인은 배수되는 물의 특성에 따라 그에 적합한 썸프로 연결되어야 하며, 썸프로 들어가는 배수라인은 공기중 방사능이 배수계통을 통해 다른 지역으로 확산되지 않도록 최소 수위 아래까지 배관을 집어넣어야 한다.

○계통간의 적절한 연결

방사성 계통과 비방사성 계통을 연결시켜야 할 경우에는 연결 배관에 이중 체크밸브를 설치하거나 스톱밸브 한 개와 체크밸브 한 개를 설치하여 비방사성 계통이 오염되지 않도록 하고, 탈염수를 방사성 계통으로 연결하는 배관 역시 공급하는 탈염수가 오염되지 않도록 역류 방지설계를 하여야 한다.

○시료채취계통

액체시료의 채취라인과 시료 냉각기는 차폐벽 뒤에 위치하여야 하며, 가능하다면 후드 속에서 시료를 채취할 수 있도록 설계한다. 또 시료를 뽑아내는 지점에서 채취하는 지점까지의 배관 길이를 최소화시켜야 하며, 폐기물의 발생을 최

표 1. ALARA 점검표 예

귀하

경유

검토 설비/시스템/장비명 : _____

검토자 성명 : _____ (인) 소속 : _____
 확인자 성명 : _____ (인) 소속 : _____
 검토일자 : _____ 검토횟수 : _____

관련 도면/사양서 번호	개정번호	제 목

기본인자	검 토 항 목	검토않음	예	아니오	비 고
Crud 통제	1. 재질의 선정				
	2. 적합한 정화설비				
	3. Crud의 트랩방지				
차폐와 격리	1. 선원항의 적합성				
	2. 방사선구역의 설정				
	3. 고방사성 입자 관리				
	4. 영구 차폐체 설치				
	5. 미로 설계				
	6. 관통부의 설계				
	7. 배관의 통과				
	8. 임시 차폐체의 적절한 설치				
	9. 설비의 적절한 분리				
	10. 설비의 격리요건				
	11. 장비의 원격판독				
	12. 원격 조작				
	13. 적합한 통신시설				
	14. 기기의 충분한 보관공간				
	15. 적합한 폐기물 저장시설				
	16. 폐기물 선하적시설				
	17. 백그라운드 방사선 준위				

표 1. ALARA 점검표 예(계속)

기본인자	검 토 항 목	검토없음	예	아니오	비 고	
접근성	1. 장비의 적절한 배치					
	2. 적절한 출입통제지점					
	3. 운전원의 출입					
	4. 점검의 용이성					
유지보수성과 신뢰성	1. 배치의 적합성					
	2. 충분한 작업공간					
	3. 보수를 위한 분리					
	4. 신속한 분해와 설치					
	5. 적절한 부대시설					
	6. 장비의 이동시설					
	7. 작업대나 비계 설치					
	8. 일상적인 보수요건 검토					
	9. 적절한 기기선정	펌 프				
		밸 브				
		열교환기				
		증 발 기				
		필 터				
		탈 염 탭				
		배 관				
		탱 크				
		공기정화설비				
		코 팅				
	절 연 체					
계 기						
10. 적절한 여유설비						
11. 시험요건						
12. 필터와 탈염탑 설치						
오염 통제	1. 배수 및 세척					
	2. 오염확산 방지설비					
	3. 제염조건					
	4. 화학세정 조건					
	5. 적절한 배수설비					
	6. 계통간의 적절한 연결					
	7. 시료채취 계통					
	8. 적절한 제염시설					
	9. 적절한 환기시설					
	10. 배기체 처리시설					
	11. 감시기의 적합한 설치					

소화시킬 수 있도록 시료 채취라인을 다시 계통으로 되돌린다. 시료 채취가 빈번하지 않은 그랩 시료의 채취지점은 바닥을 오염시키지 않고 채취라인을 세척할 수 있도록 깔때기 타입의 배수 시설을 갖추고, 고방사성 시료의 채취지점은 시료병을 직접 손으로 들고 있지 않아도 되도록 설계한다. 모든 시료채취설비들은 대표시료를 얻을 수 있도록 설계하여야 하며 시료와 시료 채취라인간의 반응이 일어나지 않도록 재질을 선정하여야 한다. 시료 채취용 후드의 선형 환기속도는 분당 150 피트 정도가 되도록 한다.10) 어떤 지역의 공기중 방사능은 그 지역에 들어가지 않고도 감시하거나 시료채취를 할 수 있어야 하며, 공기중 방사능이 높을 우려가 있는 경우에는 시료 채취라인을 HVAC 정화필터의 전단으로 되돌린다. 한편 주요 안전계통의 경우에는 중대사고후에도 시료 채집이 가능하도록 설계하여야 한다.

○적절한 제염시설

제염할 장비의 크기를 고려하여 중앙 제염시설을 설계하도록 하고, 제염할 장비의 해체가 가능하도록 제염지역을 설계하여 필요한 경우에는 오염장비의 내부 부품을 제염할 수 있어야 한다. 제염시설은 작업자의 출입통로와 떨어져 있어야 하며, 작업자 제염지역에는 적절한 제염용품이 논리적으로 배치되어 있어야 한다. 세탁시설은 정기 보수기간중에 발생될 것으로 예상되는 최대 물량을 처리할 수 있어야 한다.

○적절한 환기시설

공기는 일반적으로 저방사능 구역에서 고방사능 구역으로 흘러가야 하며, 문을 열거나 천정 해치를 열더라도 공기 흐름에 역류가 일어나서는 안된다. 공기의 차압이 너무 커서 어떤 지역의 출입이 방해받아서도 안되며, 폐쇄된 방은 열기 전에 공기 흐름을 통제할 수 있도록 환기 후크업을 설치한다. 소내 각 구역의 공기 흐름은 공기중 방사능 준위를 낮게 유지하는데 적합하도록 8시간 동안 최소한 방 용적의 7배가 환기되어야 한다(10).

○배기체 처리시설

어떤 지역의 공기중 방사능 농도가 높을 것으로 예상되면 배출라인에 HEPA 필터를 설치하고,

필요하다면 전단에 러핑필터를 설치한다. 또 속소의 오염이 예상되는 경우에는 HEPA 필터 후단에 활성탄 필터를 설치하도록 하며 오염되는 덕트의 양을 최소화시킬 수 있도록 가능하면 환기구역 가까이에 필터를 설치한다. 사고시에 대비하여 원격 필터교환이 가능하여야 하고, 외부공기의 먼지 함량이 높은 경우에는 환기계통의 입력단에 필터를 설치하여 배출 필터의 부하량을 감소시킨다.

○감시기의 적합한 설치

작업자들이 일반적으로 출입하는 모든 지역에는 그 지역의 조건을 나타내기에 적합한 장소에 지역 방사선 감시기를 설치하여 방사선 준위를 감시하여야 하며, 계단이나 엘리베이터 등 모든 주요 출입통로에도 감시기를 설치하여야 한다. 덕트의 배기체중 방사능을 감시하고자 할 때에는 방사능 누출 가능지역의 작업자들에게 적절하게 경보를 발할 수 있도록 덕트로 들어오는 모든 Stream의 인입구에 탐침자를 설치하여야 한다. 공정이나 배출물 감시기들은 설계된 목적의 조건을 만족시켜야 하고, 필요하다면 공정의 흐름을 격리시키거나 전환시키기에 충분한 시간을 줄 수 있는 위치에 설치하여야 한다. 또 방사선 감시기들은 최소한의 피폭으로 교정작업을 수행할 수 있어야 한다.

ALARA 점검표

앞 절에서 분석한 항목들이 ALARA 설계검토 과정에서 누락되지 않도록 시설의 설계자들이 이용할 수 있는 표 1의 ALARA 점검표를 개발하였다. 여기에서 제시된 ALARA 점검표는 ALARA 설계검토절차의 기본이 될 수 있을 것으로 본다. 그러나 과거의 설계자료와 운전경험들을 보다 면밀히 분석하여 작업자 피폭이나 환경으로의 방사능 방출원인이 되는 중요한 사항들이 ALARA 설계검토과정에서 간과되지 않도록 설계검토항목들을 지속적으로 보완해 나갈 필요가 있으며, 각각의 설계검토항목별로 보다 정량적인 판단기준들을 제시함으로써 설계자들이 보다 신속하게 ALARA 설계검토를 수행할 수 있도록 하는 노력

이 경주되어야 한다.

결 론

방사선 피폭을 유발하는 설비를 설계하거나 기존의 공정을 개선하고자 할 때 설계단계에서 ALARA 철학을 반영하는 것이 방사선 피폭방지 측면에서 가장 효과적이다. 그러나 ALARA 설계 검토작업은 많은 시간과 수십 가지 항목들을 여러 각도에서 세밀하게 살펴보아야 하는 따분한 작업이기 때문에 자칫하면 중요한 사안들을 간과하기가 쉽다. 따라서 ALARA 설계검토시 기본이 되는 인자들을 도출한 후, 각각의 인자들을 만족시킬 수 있는 세부적인 검토항목들을 분석하였으며 이를 토대로 ALARA 설계검토의 기본 도구로 활용이 가능한 ALARA 점검표를 개발하였다. 여기에서 분석된 설계검토항목들은 현재 설치되어 운전중인 설비들을 대상으로 ALARA 적합성을 평가해 봄으로써 과거의 ALARA 설계 검토과정에서 누락된 항목들이 있으면 이를 지속적으로 보완해 주어야 한다.

참고문헌

1. International Commission on Radiological Protection, "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", Publication 26, Pergamon Press, 1977
2. U. S. Nuclear Regulatory Commission, "Licensee Program for Maintaining Occupational Exposures as Low as is Reasonably Achievable", NUREG/CR-3254, June 1983
3. U. S. NRC. "Information Relevant to Ensuring that Occupational Radiation Exposures at Nuclear Power Stations Will Be As Low As Is Reasonably Achievable(ALARA)" regulatory Guide 8.8
4. U. S. NRC "Operation Philosophy for Maintaining Occupational Radiation Exposures As Low As Reasonably Achievable", Regulatory Guide 8.10
5. INPO, "A Good Practice for the ALARA Program-ALARA Planning for Station Work", REN/OEN-08A, 1982
6. B. J. Dionne, C. B. Meinhold et. al., "Occupational Dose Reduction at DOE Contractor Facilities", BNL-Rev. 2, Aug. 1990
7. J. Shapiro, "Radiation Protection - A Guide for Scientists and Physicians", Third Edition, Harvard University Press
8. U. D/. DOE, "Radiological Control Manual", DOE/EH-0256T, 1992
9. 송명재, 신상운, 김희근, "피부 피폭선량 평가 기술 개발", KRC-92N-S01, 1993
10. H. J. Moe and E. J. Vallario, "Operational Health Physics Training", ANL-88-26, 1988