

방사성 폐기물관리계통 주기적안전성평가를 위한
세부평가항목 선정

Selection of Detailed Items for Periodic Safety Review on PWR
Radwaste Management System

성기방, 안용수, 박영섭, 김성환, 김주택

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원 엔지니어링지원센터
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

경수로원전 방사성 폐기물관리계통의 주기적 안전성평가를 위해 PSR의 기본취지에 충실하게 각계통의 고유한 설치목적을 고려하고, 주요성능을 대표할 수 있는 Component를 구체화하여 세부평가항목을 선정할 필요가 있다. 평가항목중 안전성능인자로서 원자로냉각재내의 방사능농도, 원전의 액체 및 기체 방사성물질 방출량 등이 방사선적 안전성 확인을 위한 평가항목으로 선정되는 것이 타당하며, 고체 방사성폐기물 발생량은 방사성폐기물관리에 대한 전반적인 상태를 파악하고 향후 10년간의 추이를 예측할 수 있는 판단인자가 될 수 있으므로 주요 평가항목으로 선정되는 것이 적절한 것으로 판단된다.

Abstract

Selection of detailed-items for Periodic Safety Review on PWR radwaste management system, the main component could be faithfully clarified according to the purpose of establishment on each system and basic purpose. It is proper to select detailed-items those of radioactivities in the reactor coolant activity levels and the released volume of liquid and gaseous radioactive material on safety performance. It's also proper to select solid radwaste production quantities as detailed-item that it would be predict the next ten years trends after PSR.

1. 배경

주기적 안전성평가(PSR)를 위한 방사성폐기물관리계통에 대한 평가범위는 원자력법 시행규칙 제 19조2항 “주기적 안전성평가의 세부내용”의 11개 안전인자중 방사성폐기물관리 내용으로 제한할 수 있다. 방사성폐기물의 영구 처분장 확보가 원자력산업의 현안이 되고 있는 현실에서 방사성폐기물에 관련된 주기적 안전성평가 수행을 위한 세부평가항목 선정은 원자력 산업에 종사하는 분들과의 필요한 정보를 공유하는 수단을 제공하여 의미있는 일로 사료된다. 본 논문은 현재 PSR 평가가 진행되고 있는 국내원전의 사례를 토대로 방사성폐기물관리계통에 대한 평가항목들을 구체화하기 위하여 작성하였다. 따라서 일부 계통 구성설비의 일부내용은 국내 특정원전의 경우에는 해당하지 않는 사항도 포함될 수 있다. 그러나 구체적인 사례를 통하여 본 계통에 대한 주기적 안전성평가(PSR)에 대한 이해를 제고시키는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

2. 평가범위

PSR과 관련한 IAEA 지침, 국내 인허가기관의 검토지침 그리고 선행호기(고리1호기, 월성1호기 등)의 PSR 평가 내용을 토대로 검토한 방사성폐기물 분야의 평가범위는 크게 현재의 물리적 상태, 안전성능, ALARA 활동, 운전 및 연구경험의 반영으로 분류할 수 있으며, 다음과 같이 각 항목별로 나누어 세부평가항목들을 선정하는 방법이 적절하다.

-현재 물리적 상태

- 액체 방사성폐기물관리계통
- 기체 방사성폐기물관리계통
- 고체 방사성폐기물관리계통
- 공정 및 유출물 방사선 감시계통

-안전성능

- 방사선원 및 계통방사선준위
- 방사성물질 방출량에 대한 기록

-ALARA 활동

방사성폐기물관리계통에 대한 PSR 평가범위중 본 검토의 목적이 각 항목별 세부평가항목선정에 있음을 고려할 때, 현 시점을 기준으로 구체적인 항목선정이 가능한 항목들을 검토범위로 하였으며, 정형화하기가 곤란한 운전 및 연구경험 반영에 관한 사항은 검토범위에 포함시키지 않았다.

3. 세부평가항목 선정

가. 현재 물리적 상태

세부평가항목 선정원칙은 주기적으로 원자력발전소의 안전성을 확인한다는 PSR의 기본취지에 충실하게 각 계통의 고유한 설치목적을 고려, 주요성능을 대표할 수 있는 설비를 현재 물리적 상태 평가항목으로 설정할 필요가 있다. 여기서, 각종 탱크류 등의 주요 평가 결과가 노화현상으로 귀착될 가능성이 높은 항목은 PSR 경년열화분야에서 수행되는데, 이는 평가업무의 전문화를 기하고 유사한 다른 계통의 설비들에 대한 공통적인 평가절차에 따라 평가항목 선정 및 평가업무를 수행하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

1) 액체 방사성폐기물 관리계통

액체 방사성폐기물관리계통은 원전의 각 계통에서 발생하는 각종 폐액을 수집, 저장하는 각종 탱크와 수집된 폐액을 이송하는 펌프와 배관, 그리고 이들을 처리하는 설비로 구성되어 있다. 이들 설비중 각종 탱크류, 배관 및 부속기기는 평가의 주요내용이 노화현상과 밀접한 관계가 있는 설비류로서 경년열화 평가인자에 해당하므로 본 방사성폐기물 분야 분야에서 제외하는 것이 적절하다. 능동기기(active component)인 펌프류 또한 방사성 액체폐기물관리계통의 안전성능과 직접적인 관련이 없으므로 제외할 필요가 있다. 따라서 본 계통의 액체방사성폐기물 방출기준 만족여부 등의 처리특성과 직접적인 관련이 있는 설비는 폐액증발기와 액체폐기물처리계통 탈염기이며, 이 설비들을 평가대상으로 선정하는 것이 적절하다. 폐액증발기에 대한 평가항목으로는 제염계수와 처리능력을 선정하고, 액체폐기물처리계통 탈염기에 대하여는 평가항목으로는 제염계수를 선정하는 것이 적합한 것으로 사료된다.

2) 기체 방사성폐기물 관리계통

기체 방사성폐기물관리계통은 원전의 각 공정에서 발생하는 각종 폐기체를 수집, 처리하는 기체 방사성폐기물처리계통과 격납건물/보조건물/핵연료건물/방사성폐기물처리건물 등 관리구역으로부터 외부로 배출되는 배기체를 정화하는 각 건물의 배기정화계통으로 대별할 수 있다. 이들 계통중 기체 방사성폐기물처리계통은 다시 각종 배관과 부속기기, 폐기체 건조처리장치, 방사성핵종 여과 및 지연장치 등으로 구성되는 바, 다른 분야의 평가범위에 해당하는 항목들을 제외하고, 계통의 처리성능과 직접적인 관련이 있는 활성탄 지연대와 처리계통 후단여과기를 평가항목으로 선정하는 것이 적절하다. 활성탄지연대는 온도조건, 후단여과기는 차압을 인자로 하여 물리적 현상태를 평가하는 것이 타당한 것으로 사료된다. 각 건물의 관리구역 배기정화계통은 각종 여과기군으로 구성되어 있으며, 격납건물 저유량 정화배기공기조화기, 보조건물 정상배기 여과설비, 핵연료건물 비상배기 정화설비 및 폐기물처리건물 배기여과설비 등이 실례가 된다. 이들 여과기군을 평가항목

으로 선정하는 것이 타당하며, 세부평가항목으로 차압, HEPA필터 DOP시험결과, 활성탄 흡착기 Halide 시험결과 등을 선정하는 것이 적절한 것으로 사료된다.

3) 고체 방사성폐기물 관리계통

고체 방사성폐기물관리계통은 원전의 각 구역에서 발생하는 각종 고체방사성 폐기물 압축설비와 각종 정화공정에서 발생하는 폐수지를 처리하기 위한 폐수지 건조설비(SRDS), 액체 방사성폐기물처리계통의 폐액증발기에서 발생하는 농축폐액을 건조시키는 농축폐액 건조처리설비(CWDS), 고체폐기물 분류처리설비, 압축기, 초고압압축기 등으로 구성되어 있다. 이들 설비중 다른 처리계통과 연계하여 고체 방사성폐기물처리계통의 처리특성과 직접적인 관련이 있는 농축폐액 건조처리설비(CWDS), 폐수지 건조설비(SRDS)를 평가대상으로 선정하고, 고체 폐기물의 감용을 위하여 설치된 압축설비는 계통의 안전성과 직접적인 관련이 없는 것으로 보아 평가항목에 포함시킬 필요는 없는 것으로 사료된다. 농축폐액 건조처리설비는 고화제 온도 및 혼합기/건조기 온도조건을 폐수지 건조설비는 설비상태 및 동작시험결과를 평가항목으로 선정하는 것이 적절한 것으로 사료된다.

4) 공정 및 유출물 방사선 감시계통

방사선 감시계통은 발전소내 계통 및 특정지역의 방사선준위나 공기중 농도 및 환경으로 방출되는 방사성 물질의 농도를 연속적으로 감시하여 원자로 냉각재 및 폐기물 처리계통의 누설상태를 확인하여, 작업종사자의 방사선피폭을 방지하고 방사성물질의 외부로의 과다유출을 방지할 목적으로 운영되고 있다. 공정 및 유출물 방사선 감시계통은 방사성물질이 포함된 각 계통의 액체 또는 기체내에 함유되어 있는 방사성물질의 방사능을 감시하는 공정 방사선감시계통과 관리구역으로부터 방출되는 액체 및 기체 유출물내에 포함된 방사성물질의 방사능을 측정/감시하는 설비로 대별할 수 있다. 감시계통에서 측정된 결과값은 주제어실 및 보건물리실에 있는 컴퓨터로 전송되어 운전원 및 방사선안전관리원이 계통 및 현장의 방사능 정보를 쉽게 파악할 수 있도록 함으로써 정상운전시는 물론 비정상적인 현상이 발생하더라도 신속하게 대처할 수 있게 경고 제공 기능이 있다.

주요 설비로는 계통의 대표시료를 감시계통의 방사능검출기까지 이동시키기 위한 Off line 시료채취설비와 시료중 방사능물질의 양을 확인하기 위한 방사능측정용 검출기, 검출기에 공급되는 안정된 전원공급장치, 방사능 검출기의 검출신호 처리장치 등으로 구성되어 있다. 공정 및 유출물 방사선감시기의 안전성능을 평가하기 위한 평가대상 기기는 현재 경수로형 원전에서 가동중인 공정 및 유출물 방사선감시기 전체를 선정하는 것이 타당하리라 판단되며, 세부평가항목으로는 채널 및 선원점검결과, 감시기 운전 및 기능시험결과를 선정하는 것이 타당하다. 채널점검은 각 방사선감시기의 운전신뢰성을 확보하기 위해 전체감시기에 대하여 자체 절차서에 따라 주기적으로 점검한 기록을 입수하여 평가

하는 것이 적절한 것으로 사료된다.

나. 안전성능관련 세부평가항목 선정결과

1) 방사선원 및 계통방사능 준위

원전 방사선원인 원자로냉각재의 방사성핵종으로는 방사화부식생성물, 핵분열생성물 및 불활성기체 등이 있으며, 이들 방사성핵종의 방사능농도는 원전의 액체 및 기체 방사성핵종의 방출량과 방사선작업종사자 피폭 원인이 될 수 있으므로 원전에서는 원자로냉각재의 방사능농도를 가능한 낮게 유지하기 위하여 지속적으로 정화 운전을 수행하고 있다. 경수로형 원전의 방사선원은 ANSI N18.1에 언급된 선원항을 기본으로 하는데, 평가기간 동안 평가대상 원전의 방사성핵종과 선원항의 핵종농도값을 비교하되, 특히 냉각재에 높게 나타나는 핵종의 존재여부와 냉각재의 핵종농도를 낮추어 소외 방출량 저감 또는 작업자의 방사선피폭을 줄일 필요성은 없는지를 확인할 필요가 있다. 이를 위한 세부평가항목은 원자로냉각재 방사성핵종 농도, 증기발생기 2차측 방사능농도 등이 있다.

2) 액체 및 기체 방사성물질 방출량

원자력발전소를 가동하면서 발생하는 방사성물질은 냉각재 계통수 처리공정인 CVCS 정화과정에서 제거되거나 일부 처리되지 않은 물질들은 액체 및 기체형태의 폐기물과 함께 각종 탱크 또는 모관(Header)으로 수집된다. 수집된 폐기물은 별도의 폐기물처리계통 또는 공정내의 정화계통에서 방사능물질들을 처리한 후 외부로 방출된다. 원전 설계시부터 액체 및 기체 방사성물질의 예상방출량은 FSAR 11.2항과 11.3항에 기술되어 있다. 본항에 있는 항목들과 연계하여 다음 항목들을 각종 액체 및 기체방출물의 세부평가항목으로 고려하는 것이 적절한 것으로 사료된다.

- 총방출량(삼중수소 제외)
- 희유기체 방출량
- 미립자 방출량
- 삼중수소 방출량
- 옥소 방출량

3) 고체 방사성물질 발생량

원전의 운전결과 발생하는 고체 방사성물질은 고체 폐기물관리계통에서 처리된 폐기물과 계획예방 정비기간중 교체되는 사용후핵연료 2가지로 나눌 수가 있다. 사용후핵연료 발생량은 본 분야의 평가항목으로 포함시키는 데에는 다소의 이견이 있을 수 있으나 현재 사용후핵연료에 대한 국제적인 입장과 정부의 입장을 고려하여 현재로서는 본 분야의 평가항목에 포함하는 것이 적절하며, 다음 사항을 세부평가항목으로 고려할 필요가 있다.

- 중저준위 고체방사성폐기물 발생량
- 방사성폐기물저장고 저장능력 대비 저장량
- 사용후핵연료 발생량 및 저장량

다. ALARA 활동

ALARA 활동과 관련한 PSR 내용은 해당원전에서 기존의 방법과 비교하여 환경으로의 방사성핵종 방출량을 저감시키고, 고체 방사성물질 발생량을 저감시키기 위하여 노력한 항목을 대상항목으로 선정하는 것이 적절하다. ALARA 활동범위는 설계단계부터 운전단계까지 매우 광범위하지만 본 평가분야와 유관한 PSR 세부평가항목으로는 기체 및 액체 방사성유출물 저감활동과 고체방사성폐기물 발생량 저감활동으로 구분하여 세부평가항목과 관련된 사례를 수집하여 평가하는 것이 타당하다고 사료된다.

3. 결론

경수로원전 방사성폐기물관리계통에 대한 주기적 안전성평가를 위한 세부평가항목을 선정하기 위하여는 주기적으로 원전의 안전성을 확인한다는 PSR의 기본취지에 충실하게 각계통의 고유한 설치목적을 고려, 주요성능을 대표할 수 있도록 구성항목을 구체적으로 선정하였다. 평가업무의 전문화와 효율화를 위해 각종탱크류 등은 노화현상으로 귀착될 가능성이 높으므로 경년열화분야에서 방사성폐기물 분야 이외 다른 계통의 설비들과 함께 해당설비의 중요도를 판단하여 평가항목 선정여부를 결정하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 안전성능 평가항목과 관련하여서는 원자로냉각재내의 방사능농도가 원전의 액체 및 기체 방사성물질 방출량과 작업종사자에 대한 피폭원인이 될 수 있으므로 평가항목으로 선정하는 것이 타당하며, 원전으로부터 직접 환경으로 방출되는 액체 및 기체 방출량 또한 방사선적 안전성 확인측면에서 중요한 항목으로 판단된다. 고체 방사성폐기물 및 사용후핵연료의 발생량은 방사성폐기물관리에 대한 전반적인 상태를 파악하고 향후 10년간의 추이를 예측할 수 있는 인자가 될 수 있으므로 역시 평가항목으로 포함시키는 것이 적절한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한전, 가동중 원전 주기적안전성평가(PSR)수행방안 연구(과제번호:A99NJ17), 2000. 7.
2. 한국원자력안전기술원, 주기적안전성평가 검토지침서개발(KINS/RR-139), 2002. 3.
3. 한수원(주), 고리원전 1호기 주기적 안전성평가(PSR) Rev.0, Vol. IV, 2002. 12.
4. 한수원(주), 월성원전 1호기 주기적 안전성평가(PSR) Rev.E, Vol, III, 2003. 3.