경수로 원자력시설에서의 제염기술의 전망

강덕원*, 김승일
㈜금화피에스씨, 서울특별시 강남구 테헤란로 25길 15-4
*world2is@naver.com

1. 서론

원자력발전소에서의 제염은 작업종사자의 방사선 피폭량 저감, 방사성폐기물 발생량 저감 및 설비의 청정유지 등을 목적으로 실시되고 있다. 작업 종사자의 방사선 피폭 및 방사성폐기물 발생의 근원은 주로 Plant의 구조재에서 수중으로 부식 방출된 극미량의 부식생성물이 노심에서 방사화된 것 및 원자로 구조재의 방사화 및 용출과 연료 피복재 의 파손으로 인한 방사성 핵분열생성물에 의한 것이다. 발전소의 기기 및 배관 등의 표면선량률은 수질관리 강화, 크러드 발생 억제 및 정화 등의 저감 대책을 도입함으로서 운전시간 경과에도 불구하고 유의할 만한 변화가 나타나지 않는다. 그러나, 발전소의 정기보수 기간 중에 피폭량이 총 피폭량의 약 85%를 차지한다는 것을 고려하면 작업자의 피폭량을 제어하기 위한 원자로 냉각재계통 및 계통을 구성하는 기기의 제염은 매우 중요하다. 피폭 저감은 일차적으로는 선원항 저감, 이차적으로는 Plant 제염이 필요하며 피폭저감 대책은 다른 제어 수준과 병행하여 균형을 맞추어 추진할 필요가 있다.

본 논문에서는 원자력 시설의 제염 시 고려해야 할 사항에 대해서 고찰하여 보았다.

2. 본론

2.1 피폭저감 대책

원자력발전소의 가동율은 엄격한 검사와 철저한 예방보수를 통하여 매년 향상되고 있으며 가동율 향상을 위해 정기검사기간 단축에 노력을 기울이고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해 기기의 분해, 보수 등 고 선량 작업환경에서 많은 작업자가 부득이하게 장시간 작업하는 경우 등을 대비해서 다음과 같은 사항을 고려하여 피폭저감 대책을 세워야 한다.

원자력발전소의 제염을 포함한 피폭저감을 위해 로봇화와 원격조작화 기술이 많이 개발되어 왔고 기기 및 공구의 제염측면에서는 기계적 또는 화학적인 제염, 초음파 제염 등이 선택적으로 사용되어 왔으나 보다 현장작업 환경 밀착형 제염기술의 개발이

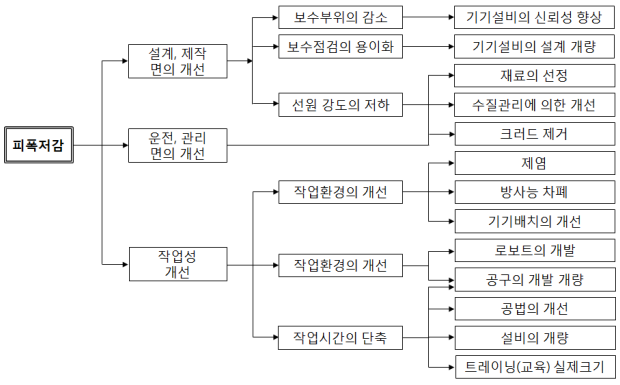

Fig. 1. A Measure of Radiation Exposure Reduction.

요구되기 때문에 새로운 제염기술의 도입 시에는 피폭저감 뿐만 아니라 제염에 따른 2차 폐기물 대책 및 비용평가 등을 종합적으로 고려할 필요가 있다.

2.2 경수로 원전의 주요 방사능 저감 및 제염 방향

2.2.1 방사성크러드 저감

경수로 원전의 피폭원은 원자로 냉각재 계통에 침착된 방사성 부식생성물로 크러드속에 함유된 ^{58}Co와 ^{60}Co 이다. 이러한 핵종의 저감대책으로 ① 기동시의 크러드 제어를 위한 용존산소(DO)관리 ② 정상시의 크러드 주요성분인 니켈 페라이트(Nickel ferrite) 등과 스피넬(Spinel) 화합물이며 용출 및 침적을 억제하기 위한 pH 제어 및 탈염 정화 ③ 정지 시 탈기 및 산화운전 제어로 침적 방사성크러드를 계통에서 용리시켜 정화계통에서 제거시킨다.

2.2.2 제염대상

발전소 제염은 크게 기기제염과 건물내 제염으로 구분하며 기기제염은 현장제염, 캐스크(Cask) 제염장에서의 제염 및 제염실 제염으로 구분된다.

① 현장제염은 고정기기, 대형기기 등을 기기가 설치되어 있는 현장 부근에서 제염하며 제염법으로는 브러쉬, 중성세제, 더스트 클리너 및 연마 제염법을 사용한다.

② 캐스크(Cask) 제염장 제염은 대상기기의 이전이 가능 시 사용이 끝난 연료캐스크 제염장에서 제염작업을 수행하며 장소의 제약을 받지 않으므

로 각종 제염법을 적용할 수 있고 불필요한 오염 방지가 가능하다. 오염확산 방지를 위해 그린하우스(Green House)나 폴리시트 벽 등을 사용하기도 한다.

③ 제염실 제염은 공구 등 비교적 소형인 오염물을 제염으로 관리구역 내 제염실에서 행하며 물 또는 제염제를 용해시킨 초음파 제염법으로 수행한다.

건물 내 제염은 주로 세정법을 사용하며 상황에 따라 다른 제염법을 병행하여 사용한다. 고준위 오염시는 공기오염 확산방지를 위해 폴리시트(Poly Sheet) 벽을 가설하여 제염, 처리한다.

2.2.3 적용 가능한 주요 제염법

원자력발전소에서 사용하는 제염법은 세정법, 약품 제염법, 더스트 클리너(Dust Cleaner), 제염제를 용해시킨 저농도 온수를 고압으로 분사, 제거하는 제트 클리너(Zet Cleaner), 복잡한 구조의 기기류 제염을 위한 초음파 제염법, 콘크리트 등의 침투 오염 제거를 위한 물리적 제염법 및 사용이 끝난 연료캐스크 오염 방지를 위한 보호커버를 이용하는 배깅(Bagging)법 등이 사용된다.

2.3 제염작업상의 주의사항

오염은 시간이 경과함에 따라 고착 상태로 이행되므로 오염 발생 후 될 수 있는 한 단시간 내에 제염을 실시해야 하며 제염법의 선택은 제염 대상물의 형상, 장소, 배수설비, 오염상황, 내열성 등을 고려하여 선정해야 한다. 제염제의 선택은 제염 대상물의 재질, 표면상태, 화학적 성질 및 핵종 등을 종합적으로 감안해야 하며 모재의 손상을 고려한 최적 제염제를 선정해야 한다. 또한, 발생되는 폐기물의 특성을 고려하여 사전 처리방법이 결정되어야 하며 제염작업 중의 피폭방지를 위한 방호절차를 준수해야 한다. 작업 중 공기오염 방지를 위해서는 될 수 있는 한 건식보다 습식제염이 바람직하다. 제염작업에 따르는 피폭 및 제염에 필요한 비용과 제염대상물 금액의 밸런스를 고려하여 제염비용이 고가일 경우에는 대상물의 폐기처분도 고려해야 한다.

2.4 제염기술의 전망

2.4.1 당면과제

운전 중 발전소의 제염은 대부분 정기검사 또는 보수작업 중 피폭 저감을 목적으로 수행한다. 향후 실용화가 기대되는 것은 캐비티(Cavity) 벽면의 초음파 제염 외에 증기발생기 수실의 자동 제염장치, 오염도가 높은 밸브류와 펌프류의 내부 제염기술이다. 폐액 저장탱크 등과 같은 슬러시(Slush)를 포함한 제염은 순환 세정·제염시 막힘으로 인한 빈번한 교체로 작업자 피폭이 우려되기 때문에 기기류의 제염은 기기의 형상, 재질, 오염정도 등을 평가하여 이를 바탕으로 자동 제염장치를 연구, 개발해 나갈 필요가 있다.

2.4.2 앞으로의 동향

상업로에서 제염기술이 요구되는 배경은 발전소의 안정성에 대한 기술기준과 지침의 재검토 실시로 설비 개선공사 필요성이 증대되었으며 향후에는 제염 효과가 우수한 화학제염에 많은 관심이 쏠리고 있다. 화학제염법은 최근의 경향으로는 폐액 처리문제 및 부식에 대한 우려 등으로 인해 농후용액법 대신 희박용액법이 기술개발의 주류를 이루고 있으며 증기발생기 수실, 전 계통 제염 및 냉각재 펌프 제염시 화학용액법이 많이 적용될 전망이다. 앞으로는 제염기술 그 자체의 연구개발 이외 제염의 실시 시기를 선정하기 위한 비용이득분석(Cost Benefit Analysis)법의 확립 등이 기대된다.

3. 결론

피폭저감 대책 중 원자로 일차계통의 방사성 크러드 저감 대책이 근원적인 대책이며 제염기술은 후처리적인 대책으로 볼 수 있다. 그러나, 여러 가지 제약으로 방사성크러드의 발생억제 및 제거에는 한계가 있어 피폭원의 근원 제거에 유효한 제염기술이 충분히 활용되어야 한다. 고리 1호기의 조기 해체가 결정되면서 다양한 제염기술이 적용될 전망이다. 현재의 기술로는 제염작업에 작업자에 의한 수작업이 많이 필요하고 충분히 입증된 제염기술이 아직은 상용화되어 있지 않기 때문에 보다 활성화된 연구개발을 통해 고성능의 우수한 제염기술 개발이 요구된다.

4. 참고문헌

[1] 강덕원 외 5명 “원전 구성품 표준화학 제염공정 및 장치개발”, 2003.
[2] 니시무라 외 3명 “원자력시설의 제염기술”, 1984.
[3] EPRI "Chemical Decontamination Conference", 1998.