

원자력발전소 주요 기기의 제염기술 개발전망

A Prospect on the Development of Decontamination Technology for the Main Components of NPPs in Korea

강덕원, 홍승열
전력연구원

대전시 유성구 문지동 103-16

요 약

원자력발전소의 가동년수 경과에 따라 원전 계통내에는 누적된 방사성물질로 인해 작업자의 방사선 피폭은 증가 추세에 있으며 특히, 방사선 준위가 높은 주요 기기들의 유지와 보수를 행하는 계획예방 정비 기간동안에 작업자들이 받는 방사선피폭량이 전체의 80%를 차지하고 있다. 원전 1차계통에서 방사성물질 생성과 침적을 원천적으로 막는다는 것은 불가능하기 때문에 합리적인 대책의 하나로 제염기술을 채택하고 있다. 최근에 개정된 국제 방사선방호위원회의 방사선 방호 권고(ICRP-60)에 따라 국내에서도 2002년부터 모든 작업자의 피폭량을 현행 연간 5rem에서 5년간 10rem으로 엄격히 제한토록 법제화하였다. 따라서, 작업 전 방사능 제염은 이러한 규제에 탄력적으로 대처하기 위한 필수기술이며, 현재 각국의 원전에서는 자국의 실정을 고려한 제염공정을 개발, 도입하여 적용해 오고 있다. 본 논문에서는 외국 원전에서의 제염기술 적용경험 및 기술개발 현황을 살펴보고 국내 실정에 적합한 제염공정 개발을 위한 제반 기술적 사항들을 기술하였다.

Abstract

Minimizing radiation exposure of plant personnel is one of the greatest concerns in nuclear industry. The best way to achieve this is to completely remove radioactive materials accumulated on the surface of sub-systems and components, which is practically impossible. The optimum way will be, therefore, to perform proper decontamination as much as possible during outage. There is already considerable experience with the application of decontamination technology and related researches have been going on worldwide.

The Korean Ministry of Science and Technology has recently enacted major parts of the ICRP-60(No. 98-12). Among them is the regulation of maximum permissible dose, which is revised from 5rem/year to 10rem/5years. This new guideline is to be applied in the end of the year 2002. Therefore, it is very important to come up with corresponding actions as early as possible. At this point, decontamination seems to be the best answer. This paper will introduce a decontamination process suitable for the subsystems and components in the Korean NPPs based on worldwide experiences obtained so far including various technological and economical considerations.

1. 서론

원자력 발전소의 정기적인 유지보수 기간인 계획예방정비 작업시 발전소 운전 및 보수요원들은 계통내에 침적된 방사성 물질에서 방출되는 방사선으로부터 작업자의 방사선 피폭을 최소화하기 위해 작업전 방사선 차폐체의 설치 및 원격 작업용 설비이용 등, ALARA 개념을 도입하여 방사선 구역내 작업자들의 방사선 피폭을 저감화하기 위한 노력을 경주해 오고 있다. 그럼에도 불구하고, 원자력발전소의 운전이력이 증가함에 따라 계통내에 누적된 방사능 물질로 인해 작업자의 방사선 피폭량은 증가 추세에 있으며 정상 운전중에 작업자들이 받는 방사선 피폭은 약 20%정도이고, 나머지 80%가 정기적으로 수행하는 계획예방정비 작업시 피폭된다. 계획예방정비시 작업자의 방사선 피폭량은 증기발생기와 냉각재 펌프 유지·보수와 관련된 작업시에 약 50% 정도를 차지하고 있다[1]. 최근에 들어와 국제 방사선 방호위원회(ICRP60)에서는 원전 작업종사자의 연간 허용피폭량을 5 rem에서 보다 낮게 설정토록 권고하고 있으며, 이러한 엄격해지는 방사선 관리규정에 능동적으로 대처할 수 있는 새로운 방호차원에서 관련 계통 및 기기들의 방사선량을 낮출 수 있는 기술 개발이 절실한 실정이다[2]. 국의 원전에서는 작업자의 방사선 피폭량을 줄이기 위한 노력의 일환으로 작업자의 작업시간을 가장 많이 차지하는 증기발생기수실과 냉각재 펌프 등에 부착된 방사능을 효과적으로 제거하기 위한 연구에 초점을 맞춰 왔으며 그 결과 다양한 제염기술들이 개발되었다. 따라서, 이러한 다양한 제염기술들을 국내 원전에 실 적용하기 위해서는 외국의 제염경험에 대한 기술성·경제성 등을 면밀히 분석하여야 하며, 이를 토대로 제염공정기술의 확보를 위한 기술개발 전망을 살펴보았다.

2. 국내·외 원전 제염현황 분석

오염이란 원하지 않는 곳에 방사성 물질이 존재하는 것을 말하며, 제염이란 이 오염물질을 제어, 저장 및 처분이 가능한 장소로 이동시켜 제거시키는 것을 말한다. 오염된 대부분의 대상물질은 제염이 가능하다. 원자력발전소에서 이러한 대상물질로는 벽, 바닥, 도구, 옷, 기계류, 비계(scaffolding), 호스, 배관, 펌프 및 인체(내부, 외부)등을 들 수 있다. 제염을 필요로 하는 대상물은 그 종류가 너무 많아 요구되는 제염의 정도도 다양하지만, 모든 오염을 효율적으로 제거할 수 있는 만능 제염법은 없다. 그러므로 제염기술의 이용자는 오염 상황에 따라 가장 적합한 제염법을 선택해야 한다. 제염기술은 잡다한 오염종류에 대응할 수 있도록 다양화되어 있는 것이 큰 특징이다. 제염기술은 크게 화학적 제염법, 기계/물리적 제염법 및 전기/화학적 제염법의 3가지로 분류되며, 원자력시설에서 실시하는 제염은 제염의 목적에 따라 다음과 같이,

- 운전중 계통으로부터의 작업자 피폭저감
- 해체(decommissioning)
- 사고후의 제거(clean-up)
- 방사성폐기물의 처리, 처분 등의 4종류로 분류할 수 있다.

가. 제염기술 선정

제염기술을 적용하기에 앞서 각종 방법 중에서 목적과 오염대상에 가장 적합한 제염법을 선택하는 것이 중요하며, 그 선택에 앞서 ①제염효율, ②제염후의 건전성, ③폐기물처리, ④재오염, ⑤경제성 등을 고려해야 한다. 제염을 실시하는데 있어 제염효율이 높아야 된다는 것은 두말할 필요가 없으나 제염효율을 높임으로 인해 모재금속의 부식이 촉진된다는지, 아니면 폐액 처리가 곤란해질 수 있으므로 전 공정을 고려한 최적의 DF값을 설정할 필요가 있다. 기대한

DF값을 얻을 수 있을지 여부는 차후의 문제이며 이 점에 관해서는 오염 상황의 사전조치와 사전에 제염시험을 수행하는 것이 매우 중요하다. 제염의 성공 여부는 사전조사와 시험에 달려있다 해도 과언이 아니다. 왜냐하면, 제염에 관한 지식 부족이나 불충분한 사전 시험 등으로 인해 제염공정의 실제 적용이 종종 실패하는 경우가 발생되고 있기 때문이다. 시설 운전중의 제염에서는 제염 후 기기가 충분히 건전성을 유지 할 수 있을지 여부가 아주 중요하며 화학제염법이나 전기화학 제염법에서는 모재금속의 부식이 일어나기 쉬운 환경조건으로 되어 있어 어떻게 부식을 막아서 제염효율을 높일 수 있을지가 기술적인 문제이다. 아울러 제염과 함께 발생하는 폐기물량과 폐기물형태도 처리시에 큰 문제로 대두되고 있어 제염기법을 평가할 때 더욱 더 중요한 의미를 지니게 된다. 또한, 제염기술의 선택에 있어, 합리적인 비용-이득(cost-benefit)평가가 선행되어 져야 하나 현실적으로 평가기법이 확립되어 있지 않아 이득을 어떻게 평가해야 할지 등의 어려운 문제점도 있다.

나. 외국원전의 제염현황

1) 외국의 제염현황

제염은 노외 방사능 농도를 감소시키는데 가장 경제적인 방법중의 하나이며 화학제염법으로는 농후화학제염법(Concentrate Chemical Decontamination)과 희박 화학제염법 (Dilute Chemical Decontamination)이 있다. 최근들어 폐기물 처리상의 문제로 인해 상업운전 중인 발전소에서는 주로 화학제염법을 선호하고 있다. 1990년부터 1996년까지 미국에서 행한 제염과정을 공정별로 분류하여 그림 1에 나타내었다. 주로 이용된 공정은 LOMI(47%), CITROX(33%), CAN-DEREM(20%) 순으로 행하여 졌으며 AP나 NP와 같은 산화 단계는 모든 PWR을 대상으로 한 제염공정에서 사용되었다[2]. 직경이 큰 일차계통 배관의 제염에는 재생되지 않는 강한 환원성의 LOMI 공정이 대부분 이용되었고, 규모가 작은 보조계통이나 열교환기, 펌프 등에는 약한 환원성의 유기산 공정을 주로 채택하고 있다. 유럽에서는 전 계통과 보조계통에 대해 주로 CORD 제염공정을 주기적으로 제염을 실시하고 있다.

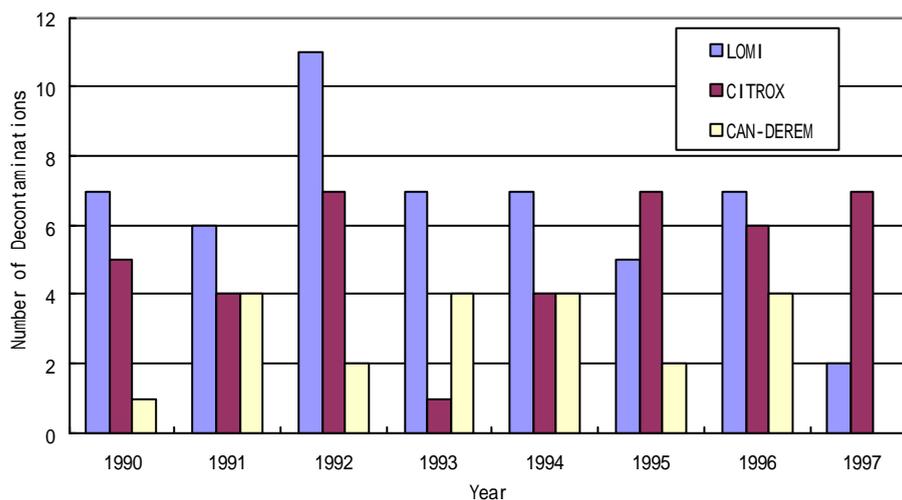


그림 1. 미국에서의 제염공정별 사용 원전 수

2) 계통내 방사능 축적

원자로의 가동년수가 경과함에 따라 일반적으로 방사선작업자의 피폭도 증가하는 경향을 나타낸다. 그림 2에 국내 원전의 년 평균 집적선량(맨 · 램/년 · 호기)과 외국 PWR원전의 호기당

년 평균 직접선량을 나타내었다. 종합적으로 살펴보면, 국내 원전의 경우는 외국 원전에 비해 비교적 작업자의 방사선량이 낮게 나타났으나 초창기에는 외국 원전에 비해 다소 높은 경향을 나타내고 있다. 미국과 유럽은 비슷한 경향을 보이고 있으며 일본의 경우는 상대적으로 낮게 유지해오고 있다. 본 그림에서 알 수 있듯이 작업자의 집적선량이 해가 갈수록 서서히 낮아지는 경향을 나타내고 있는데 이는 작업자의 방사선 피폭에 대한 제한 값이 날로 엄격해짐으로 인해 관련 기기 및 배관들의 제염 및 방호활동을 활발히 해오고 있음을 의미한다.

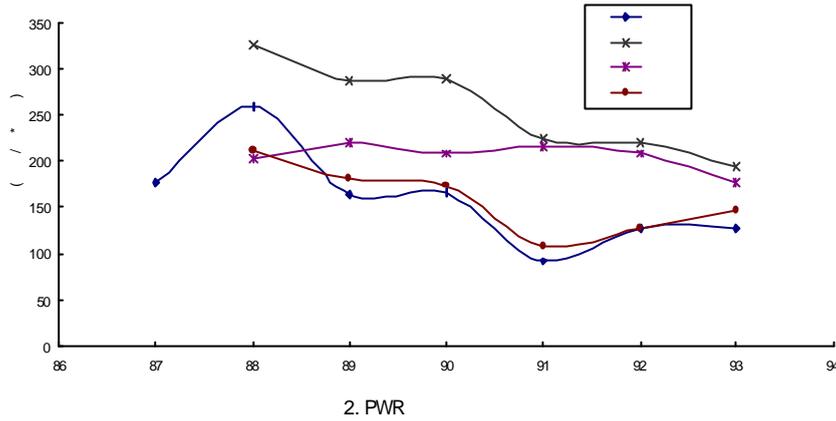


그림 3에서 보여주듯이 원전 1차계통은 배관 선량률에 가장 많은 영향을 미치는 주요 금속재질이 Ni성분으로 되어있기 때문에 이로 인해 ^{58}Co 가 주요 핵종으로 기여하고 있다. ^{58}Co 의 기여가 ^{60}Co 를 웃돌고 있지만은 발전소의 가동년수가 증가하면서 ^{60}Co 의 반감기가 길기 때문에 상대적 기여가 커지는 경향을 나타내고 있다. 그림 4는 대표적인 원전 계획예방 정비기간중의 주요 작업별 평균 방사선량 분포도로서 증기발생기 관련작업이 가장 높게 나타났으며 그 외는 각 단위작업별 수행내용에 따라 조금씩 다르게 나타났다.[3]

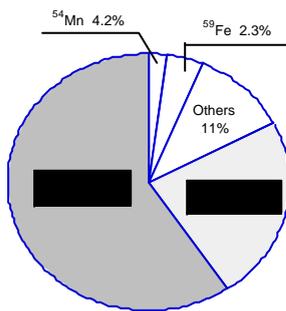


그림 3. 대표적인 경수로 배관 표면선량률에 기여하는 핵종

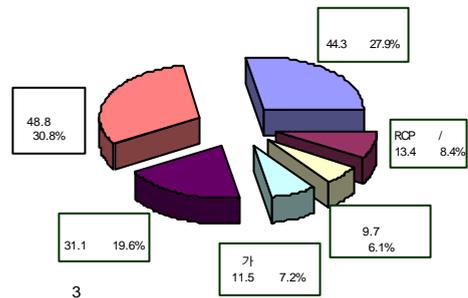


그림 4. 원전 계획예방정비 기간 중 주요 작업별 방사선량 분포

3. 계통제염 공정기술 분석

가. CAN-DEREM

CAN-DEREM은 1970년대에 CANDU형 원전에 사용하기 위해 Atomic Energy of Canada Ltd.에 의해서 개발된 CAN-DECON(CANDU decontamination) 공정의 개선공정으로 희박 제염제를 사용하며 1979년에 Vermont Yankee 원전 원자로 냉각재 정화 계통(Reactor Water Cleanup System, RWCU)에 처음으로 적용하였다. CAN-DEREM 공정의 특징은 가장 극한 조건에서도 IGA/IGSCC를 일으키지 않으며, 옥살산을 사용하지 않아도 PWR 산화막에 대한 제염공정의 효과가 크게 감소하지 않는 공정으로 구연산과 EDTA를 혼합 사용하며 높은 용해도의 킬레이트 화합물을 형성하기 때문에 금속이온이 계통배관 표면에 재 침전되는 것을 방지하는 장점을 지니고 있다. 대부분의 원전에서 선호하는 공정으로 미국내 PWR에서 100회 이상 적용한 실적이 있다.

나. CITROX

CITROX는 Citric과 Oxalic acid의 조합어로 당초엔 플루토늄 재순환 시험원자로(plutonium recycle test reactor, PRTR)에 사용하기 위해 개발한 묽은 용액을 사용하는 재생 가능한 유기산 희박공정으로 "스텐레스 스틸로부터 부식생성막을 제거하는데 가장 효과적인 방법"으로 알려져 있다. 대부분의 특징은 CITROX 공정과 유사하나 중요한 차이점은 EDTA를 사용하지 않는다는 것이며 시약의 농도가 약간 높고 옥살산을 사용하기 때문에 CAN-DEREM 공정보다 약간 더 강판(aggressive) 조건을 지니고 있다. 시약의 농도가 높기 때문에 정화하는데 약 2배의 음이온수지가 필요하며, 이 공정은 꽤 인기 있는 공정으로 1990년부터 1997년 사이에는 LOMI에 이어 두 번째로 많이 사용된 공정으로 PWR의 주 계통과 보조계통 및 부품의 제염에 적합한 공정이다.

다. LOMI

LOMI는 Low Oxidation-state Metal Ion을 뜻하며 1980년대 초에 EPRI의 지원하에 영국의 Central Electricity Generating Board에서 개발한 화학제염 공정이다. 이 공정은 재생이 가능한 유기산 공정인 CAN-DEREM과 CITROX와는 근본적으로 다르다. LOMI는 산화물 격자에 존재하는 양이온(주로 Fe^{3+})을 환원시키기 위해서 강한 환원제인 Vanadium(II) tris-picolinate 또는 vanadous picolinate를 사용한다. 환원성 용해(reductive dissolution)라고 알려진 이 과정에 의해서 산화막은 불안정하게 되어 과량의 picolinic acid에 빠르게 용해된다. 이 용해과정은 산을 사용한 경우보다 훨씬 빠르게 일어나며 일반적으로 수 분 안에 용해가 완결되며 실제적인 과정 등을 모두 고려하면 약 6시간이 소요되는 비교적 빠른 희박공정이나 사용한 약품의 재생이 불가능한 공정이다.[4]

라. CORD/UV

독일 Siemens사에서 개발한 CORD는 Chemical Oxidation Reduction Decontamination을 의미하며, 유럽지역에서 많은 제염실적을 갖고 있는 원전 제염공정이다. 이 공정은 오존을 산화제로 사용한 OZOX공정(OZone/OXalic acid)으로부터 출발했는데 오존을 생산하여 필요한 농도를 조절하는 기술적인 어려움으로 인해 실 적용시는 Alkaline Permanganate가 산화제로 사용되었다. 1980년대 중반에 산화제를 permanganic acid로 대체하였고 이름을 CORD로 바꾸었다. 재생 가능한 공정이며 주요 4 단계의 혼합공정으로 구성되는 희박제염 공정이다. 이 공정은 산화단계, 환원단계가 혼합되어 있으며, 산화단계에서는 $KMnO_4$ 중의 K^+ 이온을 양이온수지로 제거하여 $HMnO_4$ 를 조제함으로서 산화 제염후 제염폐액중의 K이온을 제거하기 위한 폐수지 발생량을 줄이고, 제염제의 pH를 낮게 유지함으로서 MnO_2 생성과 침전을 억제한다. 또한, 발생된 옥살산의 제염폐액은 광분해(UV- H_2O_2)시켜 이산화탄소와 물로 만들기 때문에

소량의 음이온 폐수지만 발생되며 각국의 원전에서 선호하는 제염기술이다.[5]

4. 기기제염 공정기술 분석

가. CONAP

CONAP(농후 과망간화 질산)은 WH사가 주로 원자로 냉각재펌프 제염을 하기 위해 고안한 제염공정이다. 전처리 단계에서 90℃ pH10 이상에서 수산화나트륨이 첨가되고 그 다음으로 90℃에서 질산(리터당 30g)과 과망간산 칼륨(ℓ당 3g)을 첨가한 다음 마지막으로 65℃에서 옥살산(ℓ당 30g)을 주입하여 산화, 환원처리 한다. 약 45분 정도 걸리는 비교적 짧은 공정이며 폐기물 처리가 까다로워 지금은 거의 사용하지 않고 있으며, 최근 들어 WH사에 의해 보다 진보된 공정인 NITROX 제염공정을 개발하였다.

나. NITROX

이 공정은 CONAP공정을 개선한 희박용액을 사용하는 보다 개선된 공정으로 관련 기술이 특허로 보호되어 있기 때문에 일반에 잘 알려져 있지 않다. 이 공정은 과망간화 질산의 산화단계를 거친 다음에 옥살산으로 환원 처리하는 공정으로 NITROX는 미국내에서 1996~1997년에 걸쳐 다수의 냉각재펌프에 적용되었다. 적용결과, 매우 효과적인 공정으로 평가되었으며 발생된 폐기물은 다양한 폐액 처리기술을 적용하여 점진적으로 감소되었다. 최근에 수행한 RCP 제염공정에 의하면 약 300ℓ의 소량의 폐기물만이 발생된 것으로 보고된바 있다.

다. EMMAC

EMMAC공정은 EMMA에서 발전된 프랑스의 제염공정이다. 공정의 주요 특징은 질산 과망간산 칼륨(각 약품은 리터당 1g) 산화단계 사용 후에 환원단계에서 아스코빅산과 질산(각 약품은 리터당 1g)이 들어간다. 80℃에서 단계의 지속시간은 약 5~8시간이다. 이 공정은 제염목적을 위해 설계된 수조에 잠겨있는 수력학적 부품들에 적용되며 제염폐액의 처리효율을 향상시키기 위해 초음파 장치를 사용하였다. 제염이 끝난 후 표면의 잔유물을 제거하기 위해 물 분사를 실시하며 10~100 정도의 높은 제염계수를 나타냈다. EMMAC제염공정은 일반적 냉각재펌프 재질에선 건전성이 뛰어난 특징을 인정받고 있으나 Stellite재질은 30micron이상의 부식때문에 이 공정이 용인되지 않고 있다. EMMAC공정으로부터 나온 제염용액은 산화제와 환원제를 혼합 처리하며 혼합용액은 방사능과 금속들의 제거를 위해 양이온수지로 처리된다.

5. 제염폐기물의 처리방안[5]

각국의 원전에서는 제염 후 발생하는 폐기물에 대해 자국의 실정에 따라 다양한 처리 기술을 적용해 오고 있다. 제염시 발생하는 폐기물은 대부분 폐수지이며, 철산화물등의 크러드성 침전물을 제거하기 위해 역세척이 가능한 소량의 폐필터도 소량 발생된다. 이온교환수지는 다음과 같은 장점을 지니고 있기 때문에 각국의 원전에서 즐겨 사용하고 있다.

- 제염시 화학적 제어가 우수함.
- 액체 방사성폐기물 생성을 피할 수 있음.
- 이온교환수지는 수력학적으로 이송이 용이함.
- 원자력발전소에서 취급이 용이한 일상적으로 발생하는 폐기물 형태임.

1980년대까지는 폐수지의 처리시 시멘트로 고화시키는 방법을 선호하였으나 폐액의 특성으로 인한 고화상의 문제점 발생으로 이 방법을 사용하지 않고 있으며 비용면에서 효과적이고 문제의 소지가 없는 고건전성용기(High Integrity Container)에 처리·처분하는 방안을 선호하고 있다.

가. 혼합폐기물의 처리

미국에서의 혼합폐기물에 대한 정의는 독성과 방사성을 동시에 띤 것을 의미하며, PWR 제염폐기물의 경우에는 크롬때문에 영구처분장에 이들 혼합폐기물을 처분할 수 없다. 제염폐액 처리시 발생하는 폐수지안에는 약 1500ppm정도의 크롬을 함유하고 있으며 현재까지는 희박화학제염 폐수지의 크롬침출로 인한 처분상의 문제는 나타나고 있지는 않지만, 최근 미 환경청에서는 처분장에서 크롬 농도기준을 더욱 낮추는 개정법안을 제안하고 있다. 이 법안이 통과되면 일부 희박화학 제염액 처리 폐수지의 침출수중 크롬농도는 새로운 기준을 만족할 수 없는 경우가 발생할 수 있으며 새로운 폐수지 처리기술을 찾아야 할 것이다.

나. 과망간산 함유 폐수지

과망간산을 함유한 폐수지는 발열반응에 의해 드럼내에서 폭발에 가까운 반응을 일으키고 있기 때문에 산화처리 단계에서 발생하는 과망간산을 처리한 폐수지를 영구처분장에서 수납할 수 있는지의 여부가 논란중에 있다. 대부분의 제염전문가들은 CITROX 공정처럼 음이온수지를 사용한 과망간산의 교환공정은 폭발 위험때문에 권고하지 않으며 만약 이 공정이 꼭 필요하다면 온도를 낮추고 과망간산이 모두 흡착되지 않도록 세심한 처리방법을 고려토록 권고하고 있다.

다. 폐수지의 이송

발생된 제염 폐수지의 이송을 위해 카트리지 형태의 수지를 이용한 기계적인 교체나 이송법을 생각할 수 있지만 대부분 표준공정에서 슬러리 상태로 이송하고 있다. 대부분의 제염공정에서 슬러리 이송법을 즐겨 사용하고 있는데 이 방법은 기계적 방법보다 작업자들의 피폭을 줄이고 장거리 이송이 가능하기 때문에 협소한 작업공간에서는 매우 유용한 처리법이다. 다공성 백에 수지를 채워 이온교환탑으로 이용할 경우는 폐수지의 취급은 매우 용이하지만 제염효율이 낮으므로 이러한 방법의 사용은 바람직하지 않다.

6. 제염공정 선정기준 설정[6]

가. 제염 성능

1) 맨·렘 저감(Man-rem Saving)

제염 효과를 평가하기 위해서는 정량적으로 맨·렘 저감값을 파악할 필요가 있다. 외국의 여러 나라에서는 그 산출방법으로써 다음의 계산식을 사용하고 있다.

$$S_r = D_r \times DF - (D_r + D_a)$$

여기서, S_r : 제염에 의한 피폭 저감량 (Man-rem)

D_r : 제염후의 작업에서 받은 피폭량 (Man-rem)

D_a : 제염작업에 의한 피폭량 (Man-rem)

이들 수치의 정도를 높이는 것이 제염효과를 명확히 나타낼 수 있는 것이기 때문에 사전 검토 사항으로 중요하다.

2) 제염계수 (DF)

DF는 제염전 선량률/제염후 선량률의 지수로서 편리한 수치이지만, 한편으로는 오해를 불러일으키는 수치이기도 하다. 제염효과는 DF값만으로 판단할 것이 아니라, 절대치로서 몇 mR/h로 낮출 수 있는가를 고려하여 제염법을 선정하여야 한다.

가. 제염대상 기기류의 구성재료에 대한 건전성

주로 사용되는 기기들의 제염시에는 제염효과가 크더라도 부식 등으로 인해 제염대상 기기류의 구성 재료에 대한 건전성을 떨어뜨리는 제염법은 적용할 수 없다. 따라서, 제염전에 반드시 구성

재질에 대한 건전성 시험을 실시해야 한다.

나. 제염폐기물의 감용처리

제염시 발생된 제염폐기물을 영구처분장이 없어 발전소내에 장기 저장관리가 요구될 때에는 발생된 제염폐기물의 감용화가 중요한 검토사항이 된다. 또한, 제염폐액 및 폐기물 처리시 작업종사자의 피폭량과 폐기물 드럼수도 제염공정에 포함시켜 고려해야 한다.

다. 제염계획시의 검토사항

제염에 소요되는 공사기간, 장치설치시의 작업자 안전성, 피폭관리, 비용 등을 종합적으로 평가하여 어떤 제염법에 의한 제염이 가장 적합한지를 선정하는 것이 중요하다.

라. 제염 약품선정

제염법은 사용되는 농도에 따라 농후액법과 희박액법으로 나뉘며 최근 들어 묽은 산화제를 이용하는 희박화학공정 적용만으로 농후공정과 동일한 효과의 방사능 제거가 가능하게 되어 경수로와 중수로에 적용 가능하게 되었다. 제염에 사용되는 약품을 선정할 때는 다음과 같이

- 구성재료에 대한 높은 건전성
- 제염후에 폐기물 처리가 용이해야 하며 소량의 폐기물 발생
- 높은 제염효과
- 제염시의 조작성(장치운전의 단순성, 약품 취급성, 이온교환수지에 의한 재생 및 정화가능성...등)이 뛰어나야 함
- 재 오염에 대한 대책 수립.
- 경제성...등이 고려되어 져야 한다.

7. 제염기술 개발 방향

최적 제염공정을 선택하기 위해선 우선 다음의 네 가지 조건: 첫째, 산화막의 조성(크롬조성...등)은 어떤가? 둘째, 어느 정도의 제염계수를 요구하는가? 셋째, 제염에 할당된 시간은 어느 정도인가? 넷째, 배출 가능한 폐기물의 양은 얼마 만큼인가? 를 고려해야 한다. 외국의 경우는, 대부분의 제염공정들은 공인시험기관으로부터 재질 건전성 평가시험을 통해 인증을 받았으며 원전 일차 계통 및 부품들에 대한 제염공정을 실 적용하기 위해서는 적용코자 하는 기술에 대한 기술인증 획득이 필수적으로 되어 있다. 지난 8년간 미국내 원전에서 채택 수행한 공정 중 가장 많이 사용된 공정은 LOMI공정이었고 그 다음으로는 CITROX, CANDEREM 및 NITROX 공정 순이었다. 현재까지 개발된 다양한 제염공정 중 계통배관, 펌프 및 기기류의 제염시에는 소량의 폐기물만을 생성하는 희박액 공정을 선호하는 추세이며, 각국의 원전에서는 자국의 실정을 고려한 제염공정을 개발 및 도입하여 적용해 오고 있다. 미국의 경우는 RCP 제염시 LOMI>CITROX>CANDEREM>NITROX 공정순에서 최근 들어서는, 희박 화학제염법을 사용하는 NITROX>LOMI>CITROX>CANDEREM>순으로 바뀌어 가고 있으며 유럽에서는 독일의 지멘스사가 개발한 CORD/UV 공정이 주류를 이루고 있다. 폐기물 저감화 측면에서는 미국 EPRI에서 최근에 개발한 ELOMIX 공정이 가장 뛰어난 공정으로 여겨지나 아직까지는 실용화되어 있지 않으며 그 다음으로는 CORD/UV 공정이 가장 우수한 공정으로 알려져 있다. 제염효과 측면에서는 EPRI에서 개발한 DfD 공정이 우수한 것으로 보고되고 있으나 이 공정은 펌프 및 기기들에 대한 제염실적은 거의 없으며 아직까지는 상용화단계에 있지 않다. 그 다음으로 양호한 제염효과를 지닌 공정은 WH사에서 개발한 NITROX 공정이다. 그러나, 실제적으로 5 이상의 제염계수만 얻어도 제염효과는 80% 이상의 효과가 있기 때문에 제염효과에 대한 비교는 제염공정 선정시 별반 중요한 인자가 되지 않는다. 따라서, 국내에서처럼 영구처분장이 아직 확보되어 있지 않고 동일조건(모재의 건전

성, 공정 소요시간, 제염효과, 운전의 간편성등)을 갖춘 상태에서는 발생 폐기물량을 최대한으로 줄일 수 있는 CORD/UV 공정같은 제염공정을 개발하는 것이 바람직하다고 본다.

끝으로, 제염공정을 자체적으로 확보하기 위해서는 단계적 개발전략 수립이 요구되며 일부 제염절차와 제염제의 사용법 및 제조법 등의 핵심기술은 유사 연구경험을 보유한 전문 연구기관들과 공동 개발토록 하고, 제염장치의 설계 제작기술은 기 개발하여 원전에 실 적용한 경험을 보유하고 있기 때문에 제염기술의 자립화는 순조롭게 달성할 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

- [1] 한국전력공사, "1996년도 원자력 발전소 방사선관리 년보", 한국전력공사 방사선관리실 (1997)
- [2] Electric Power Research Institute, "Radiation-Field Control Manual-1997 Revision" TR-1007991, EPRI, (1997)
- [3] 강덕원 외1인, "원자로 정지시 일차측 화학처리 공정 개발", 전력연구원, TR95ZJ17,97,81, (1997)
- [4] Electric Power Research Institute, "PWR Primary Water Chemistry Guidelines: Revision", TR-105714, EPRI, (1995)
- [5] Electric Power Research Institute 자문보고서 "A Review of Technology and Experience Relating to the Decontamination of Reactor Coolant Pumps" Bradtec Report, EPRI,(1998)
- [6] 테크노프로젝트(주) "원자력시설에서의 제염기술" 石博顯吉, (1984)

4. 제염 부식 문제

북미에서 이용되는 CAN-DEREM, CITROX와 LOMI의 세 가지 주요 제염공정과 관련된 부식 문제와 시험법은 EPRI의 방사선영역 제어설명서와 제염 정보집에서 검토되었다. 그러므로 1991년 이전에 얻어진 정보는 관련 필요성에 따라 수집이 가능하다. 본 보고서는 주로 1991에서 1997년 사이에 실시된 제염시험 내용을 다루었다. CORD공정은 최근에 소개되고 있어 자세히 다루지 않았다.

3-1. CAN-DEREM

3-2., CITROX

3-3. LOMI

3-4. CORD/UV

4. 제염폐기물 처리법

5. 최적 제염공정

5-1. 제염방법과 제염제의 종류

5-2. 제염전 검토사항

5-3. 제염 수행 결정을 위한 산전용해시험

6. 제염공정별 기술성 비교분석

7.결 론