

原子力發電所에서의 除染技術

原子力發電所の 除染技術로 系統化學除染이 큰 各광을 받은지 20여년이 된다. 한때 製業기술에 대해 世界各國에서 새로운 프로세스의 開發에 많은 노력을 기울였던 時期가 있었지만 현재는 새로운 方法에 대한 開發은 일단락되었다. 다음은 「原子力工業」誌 8月號에 게재된 除染技術의 최근 동향과 PWR原電에 대해 실시되고 있는 製業기술의 소개이다.

I. 原子力發電플랜트의 除染技術動向

1. 序 論

현재는 원자력발전플랜트의 製業기술로 계통 화학製業기술을 정착시키기 위해 적용면에서의 공학적 개량, 2차 폐기물 발생량의 저감화, 재료의 건전성 유지확증 등 착실한 노력이 계속되고 있다. 특히, 재료의 건전성에 관해서는 1984년에 일부 製業제에 관해 부정적인 시험결과가 보고되었기 때문에 사용자는 화학製業의 적용에 매우 신중해져 이전의 열기가 진정되었다.

그러나 그후 製業제가 개량되어 건전성 유지의 확인시험도 발전되었으며 적용실적도 점차 회복되어 정착화의 방향을 향하고 있는 것처럼 보인다. 본고에서는 최근의 국내외 동향을 개관하여 앞으로의 문제점을 살펴보겠다.

2. 除染의 目的

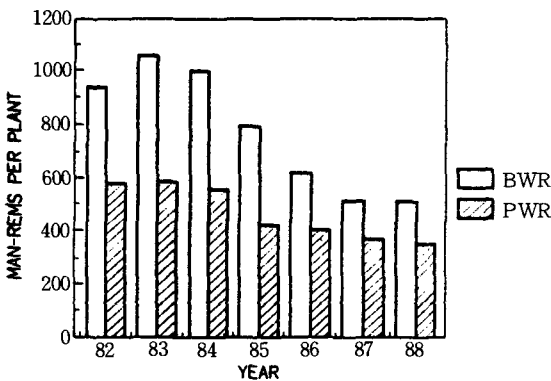
1970년대 초기에 製業기술이 各광을 받은 것은 원자력발전플랜트에 있어서 피폭저감의 결정적인 방법이라고 생각되었기 때문이었다. 사실 근대화학製業기술을 최초로 개발한 캐나다원자력공사(AECL)는 당시 피폭준위가 높았던 CANDU로에 이 기술을 적용해 일찍이 피폭문제를 해결했다.

그 무렵부터 경수로에서도 피폭의 증대가 대두되기 시작하여 製業기술에 큰 기대가 모아졌다. 따라서 당초 개발된 기술은 사용중 製業이라고 불려 정기검사와 개보수공사 등 피폭이 예견되는 작업전에 계통과 기기 등을 製業하여 작업에 따르는 피폭을 저감하려는 것이었다. 당시 BWR배관의 응력부식균열과 PWR증기발생기의 상태불량과 관련된 개보수공사 등이 있었는데 미국의 적용례에서 상당한 피폭저감효과가 있었다.

한편 일본에서는 제염기술에 대한 관심은 높았으나 당시 기초데이터의 축적이 충분하지 못한 점을 감안하여 제염기술의 대폭적인 채택을 단행하지 못하고 재료 및 水化學관리면에서의 대응에 의해 피폭저감의 달성이 시도되었다. 그 결과 신설플랜트, 특히 BWR에서 대폭적인 피폭저감을 달성할 수 있었다.

또 舊플랜트에 대해서도 각종 대책이 실시되어 그 나름대로의 효과가 나타나고 있어 피폭은 서서히 저감화 경향을 보였다. 그러나 그 효과는 신설플랜트만큼 현저하지 못해 최근 1~2년 포화되는 경향도 볼 수 있다.

미국의 상황도 유사하여 그림1에서 볼 수 있듯이 과거 수년에 걸쳐 점차 감소되어 온 저감량이 최근에 와서 분명히 포화되고 있다. 앞으로 계속 피폭의 저감을 도모하기 위해서는 구플랜트의 선량을 어떻게 저감해 가느냐가 큰 과제이다.



〈그림1〉 미국 경수로의 평균연간피폭량 추이

이와 같은 상황에서 다시 제염기술이 피폭저감을 달성하기 위한 방법으로서 고려할 단계가 되었다. 제염에 의해 오염된 구플랜트의 배관계통을 세정하여 고도의 수화학관리를 실시해 신설플랜트정도로 선량을 저감시켜 이것을 유지할 수 없을까 하는 생각이며, 앞으로 더욱 평가와 검토를 깊이 해야 할 흥미있는 과제다.

이와 같이 당초 발전플랜트의 피폭저감을 목

적으로 하여 개발이 추진된 使用中除染技術도 시대의 흐름에 따라 원자력산업계의 필요성에 변화가 생겨 새로운 대응이 요구되고 있다.

원자로의 폐지조치에 제염기술이 중요한 역할을 수행할 것이라는 것은 이전부터 지적되었고, 그러기 위한 기술개발의 필요성도 언급되어 왔다. 상업용 발전로의 폐지조치는 차세기의 문제지만 연구로 등의 폐지조치는 각국 모두 시범프로젝트로서 이미 시작되고 있고, 그 과정에서 제염기술이 현실문제로 제기되었다. 이것은 장래 상업로의 폐지조치에도 당연히 연관될 것이다.

원자로의 폐지조치에서 제염기술은 적어도 두 가지 사용법을 생각할 수 있다.

첫째는 시설해체에 실시되는 제염으로서 관련계통의 오염에 의한 방사선량을 제거하여 그 후의 작업을 안전하고 용이하게 실시하기 위한 것이다.

사용중제염에 유사한 계통화학제염방법의 적용이 고려되고 있으나, 사용중제염만큼 재료에 대한 엄격한 건전성이 요구되지는 않는다. 또 사용중제염에 대해서는 제염공정을 위해 정기검사가 장기화되는 일이 없도록 극히 단시간내에 실시할 수 있는 것이 요구되지만, 그러한 요구는 폐지조치를 위한 제염에는 불필요하다. 이미 일본에서 해체가 추진되고 있는 日本原研의 JPDR에서는 일부 배관계통이 각종 방법으로 해체에 제염되었다.

원자로의 해체·철거시에는 단기간에 다량의 방사성폐기물이 발생한다. 이 폐기물 발생량을 저감시키고, 또 효율적으로 처리·처분하는 것이 중요한 기술과제이다. 폐지조치에서 발생하는 방사성폐기물에는 오염준위가 낮고, 또 오염부분이 표면 등에 한정된 것이 많다. 이러한 폐기물의 오염부를 제염에 의해 제거하여 합리적인 처분에 제공하거나 유효한 재이용을 도모하는 것은 폐기물처분면에서 부담을 경감하는 것으로서 중요한 기술이다.

이 목적을 위한 제염은 대상물의 해체후에 실시하는 것이 적당하다고 생각된다. 해체전 제염에 비하면 보다 강한 작용을 하는 화학제염제와 전기화학적인 방법의 적용을 고려할 수 있다. 이

기술은 폐지조치에만 그치지 않고 가동중인 발전 플랜트에서 발생하는 유사한 폐기물에 대해서도 적용 가능한 기술이다.

근년에 미국을 중심으로 원자력플랜트 장수명화의 문제가 대두되고 있다. 이것은 30~40년으로 생각되고 있는 플랜트의 가동연수를 더 장기화시키려는 것이다. 이 장수명화를 안전하고 유효하게 이루기 위해서는 일부 기기와 시스템의 교환과 개보수 등의 작업이 불가피하다고 생각되며, 제염기술은 이 작업의 피폭저감에 위력을 발휘할 것으로 생각된다.

이상에 서술했듯이 제염기술을 사용하는 목적과 대상이 여러 분야에 걸쳐있어 그것을 위한 방법도 점차 다양화되고 있는 것이 최근의 경향이다. 폐지조치와 장수명화는 모두 다음 세기의 문제이며 현재 즉시 큰 시장으로 결부되는 것은 아니지만 장래의 기술로서 개발을 추진해 언젠가는 도래할 시기에 대비해 둘 필요가 있겠다.

3. 除染의 方法

제염기술은 화학제염, 전기화학제염, 물리제염으로 분류할 수 있는데 기술개발의 관점에서는 화학제염에 대한 관심이 가장 고조되었다.

화학제염법은 약제농도에 따라 濃厚溶液法과 稀薄溶液法으로 구분되는데, 최근에는 溶液處理의 용이함과 2차폐기물 발생량의 관점에서 압도적으로 희박용액법의 사용이 두드러지고 있다.

다소 제염효율(DF)이 떨어지더라도 프로세스의 시행성과 폐기물 발생량의 저감을 중시하는 생각이 정착되고 있다. 따라서 계통제염과 같이 대량의 용액을 다루는 경우에는 희박용액법에 한정된다. 한편, 농후용액법은 폐지조치에서 해체후 제염과 사용중의 콤포넌트제염 등에 그 특징을 발휘할 수 있다.

화학제염법에서는 鐵系酸化皮膜을 환원제에 의해 환원용해하는 것이 주요과정이다. 1970년대 초기에 개발되어 근대화화학제염기술의 선도적 역할을 수행한 CAN-DECON法에서는 유기계의 환원제와 키레이트제를 사용하고 있다.

한편, 금속이온을 환원제로 이용하는 LOMI

法の 개발에 따라 기술은 새로운 단계를 맞이했다. 금속이온의 사용에 따라 LOMI法에서는 반응속도가 비약적으로 상승했다. 그러나 PWR에서처럼 Cr함량이 높은 산화물에서는 환원용해법이 유효하게 작용하지 않으므로 III價크롬을 VI價크롬으로 산화하여 용해하는 산화과정과 환원과정을 조합하는 방법이 개발되어 실기 적용에 이르고 있다.

산화제로 Ce^{+} 와 같은 이온을 사용하여 Cr과 Fe를 동시에 산화용해하는 1단프로세스의 개발도 실시되고 있으며, 오염물의 재이용 등 높은 DF를 목적으로 하는 사용법에 적합하다.

전해연마법은 제염대상물을 陽極으로 電場을 印加하여 산화피막이 싸고 있는 베이스금속을 전기화학적으로 용해하여 양극, 음극에서 발생하는 O_2 , H_2 가스에 의해 산화물을 박리제거하는 방법이다. 각 전극에서 발생하는 가스는 각각 국소적으로 산화, 환원분위기를 만들어 산화물을 일부 용해하는 작용도 갖고 있다.

용제로는 종래 금속표면처리방법으로서 사용된 경험에서 인산이 가장 일반적이지만 폐액처리 등의 관점에서 묽은황산과 황산소다가 원자력분야에서는 일반적인 것이다. 특히, 후자의 경우 금속이온이 용해하지 않고 수산화물로서 침전하므로 여과에 의해 용매의 재생이 어느 정도 가능한 것이 특징이다.

물리제염법은 종래 원자력 이외의 분야에서 사용되어 온 방법을 제염기술로 응용하는 것이 대부분이고, 기술개발면에서 특히 새로운 전개는 없다. 2차 폐기물의 발생량을 적극 억제할 수 있느냐 없느냐가 중요한 요소로 되어 있다.

4. 日本의 技術開發

1970년대는 사용중화학제염을 목적으로 한 새로운 제염제의 개발이 각국에서 활발히 추진되었다. 특히, 제염제의 자세한 내용은 비밀로 공개되지 않았기 때문에 이 개발러시를 가속한 감이 있다. 일본에서도 사용중제염을 목적으로 한 제염제의 개발이 실시되었는데 특히 특징을 가진 것은 아니었다.

사용중제염은 아니지만 Ce^{4+} 이온에 의한 일산화용해법이 황산 및 초산을 사용하는 프로세스로서 각각 독립개발되었는데, 一段法인 점과 산화반응에 의해 잃게 되는 Ce^{4+} 이온을 전기화학적으로 재생할 수 있는 점에 특징이 있다. 황산을 용매로 하는 방법은 JPDR의 해체전 제염법으로서 시험적으로 이미 일부 루프의 제염에 사용되고 있다. 해체후의 콤포넌트제염으로도 사용할 수 있는 것이다.

각종 화학제염제가 개발된 당초에 제염제가 적용되는 배관과 기기의 건전성을 해치지 않나 하여 큰 관심이 모아졌었다. 먼저 이와 같은 데이터는 제염제의 개발자에 의해 시험되어 집적되었다. 이런 데이터는 대부분의 경우 자사제품에 관한 것 뿐으로 포괄적인 것이 아니었으므로 타기관에 의한 비교시험데이터의 집적이 요망되었다.

일본에서도 사용자에 의해 일부 제염제에 대해 건전성을 확인하는 시험이 실시되었다. 모두 시험대상이 된 약제에 대해 문제가 되는 결과를 낳지 않아 건전성에 대해 특히 문제는 없다고 생각되고 있었다.

1984년 유기계제염제의 한 두 종류에서 스테인레스강의 粒界어택(IGA)이 보였다는 보고가 나와 큰 문제가 되었다. 실시된 시험조건이 비현실적이라는 등의 논의도 있었으나 제염제메이커는 실기조건에서는 거의 발생할 수 없지만 용해된 Fe^{3+} 이온의 준위가 낮은 경우에는 IGA의 가능성이 있을 수 있다고 인정, 개량형제염제가 제안되었다. 이에 따라 세계적으로 사용자의 제염 적용은 한층 더 신중하게 되어 재료의 건전성에 관한 데이터를 더 집적할 것이 요구되었다.

이런 상황을 고려하여 일본에서는 중립적 시험기관이 중심이 되어 사용자도 참가하여 각종 제염제의 재료에 대한 건전성의 실증시험이 1986년부터 통산성의 프로젝트로서 시작되었다.

제염제의 재료에 미치는 영향으로는 제염실시중에 제염제의 집축에 의해 발생하는 부식과 제염후의 정상운전중에 발생하는 부식을 생각할 수 있고, 균일부식과 국부부식 외에 간극부에 잔류한 제염액의 효과 등도 포괄적으로 확증하려

는 것으로 8년간의 계획으로 되어 있다.

일본에서는 제염기술에 대한 관심은 매우 고조되었으나 계통제염 등 대규모의 적용은 상업용 발전로에서는 실시되지 않고 있다. 動燃事業團의 신형전환로「후겐」에서는 전부터 제염기술의 적용을 목적으로 기초시험이 계속되어 왔으나 배관계통의 대형 개보수공사를 실시함에 있어서 피폭저감을 목적으로 1989년 8월에 냉각계통의 한계통에 대해 연료를 철거한 상태에서 계통화학제염이 실시되었다.

키레이트계의 희박용액제염제 클리데콘 203(최대농도 0.1%)을 사용해 120℃에서 실시한 결과 2.4~8.5의 제염계수가 얻어졌고, 개보수작업에 따른 피폭량을 대폭 저감시킬 수 있었다. 「후겐」발전소에서는 다음 정기검사시에 나머지 냉각계통에 대해 같은 제염의 실시를 계획하고 있다.

이 시도는 일본에서 최초의 대형 계통제염이고 귀중한 경험이다. 「후겐」에서는 과거 수년간에 걸쳐 1차냉각계통에 수소주입을 실시하고 있어서 그 영향 등 앞으로의 시험결과에 대한 해석이 기다려진다.

이상 일본에서의 사용중제염의 개발상황을 중심으로 서술해 왔는데 폐지조치를 위한 제염기술에 대해서도 Ce법과 전기화학법의 적용 등 폐지조치 프로젝트의 일환으로서 현재 추진되고 있다.

5. 除染技術의 問題點과 課題

제염기술이 개발된 당초에는 어떤 방법으로 높은 제염효율을 올릴 것인가에 대해 각종 방법간에 기술적으로 경쟁하는 경향이 있었다. 그후 10년 이상 실기에서의 경험축적에서 DF值만을 다투는 것은 중요하지 않고 제염실시에 요하는 시간, 폐액처리 등의 시스템·엔지니어링, 2차폐기물 발생량 등의 인자가 중요한 것임을 알게 되었다.

따라서 최근에는 이러한 인자의 향상을 위해 기술개량이 추진되고 있다. 특히, 폐기물에 대해서는 1970년대 미국에서 폐기물처분을 비교적

용이하고 염가로 할 수 있었지만, 1980년에 저준위폐기물정책법이 제정된 이래 처분단가가 급격히 증대된 상황을 반영하여 매우 중요한 인자가 되었다.

특히, 키레이트제를 포함한 폐기물의 경우 만일 키레이트제가 처분지의 땅속에 스며들었을때 방사성핵종에 대한 토양의 장벽성능에 악영향을 끼치는 점을 고려하여 엄격히 규제되고 있다. 따라서 키레이트제를 포함한 폐기물량의 저감은 제염단가의 저감과 연관된다.

제염후의 표면선량당량률이 제염전에 비해 급격히 증대하는 재오염(recontamination)은 이전부터 논의되고 있으나 아직 정량적 평가가 명확하지 않은 문제다. 원리적으로는 제염에 의해 부동태피막을 제거한 母材의 부식속도는 증대하고 이에 비례하여 ^{60}Co 수확량도 증대하게 된다.

그러나 문제는 그렇게 간단하지 않다. 계통제염과 같이 1차계통의 대부분을 제염할 경우에는 1차계통 전체의 방사성핵종 이행의 균형을 크게 흐트러 이것이 제염전의 상태로 회복하려면 어느정도 시간을 요하지만, 그 사이에 부동태피막의 회복도 진전될 것이다. 이 가장 극단적인 예가 연료를 장전한 채 제염을 실시하는 경우다.

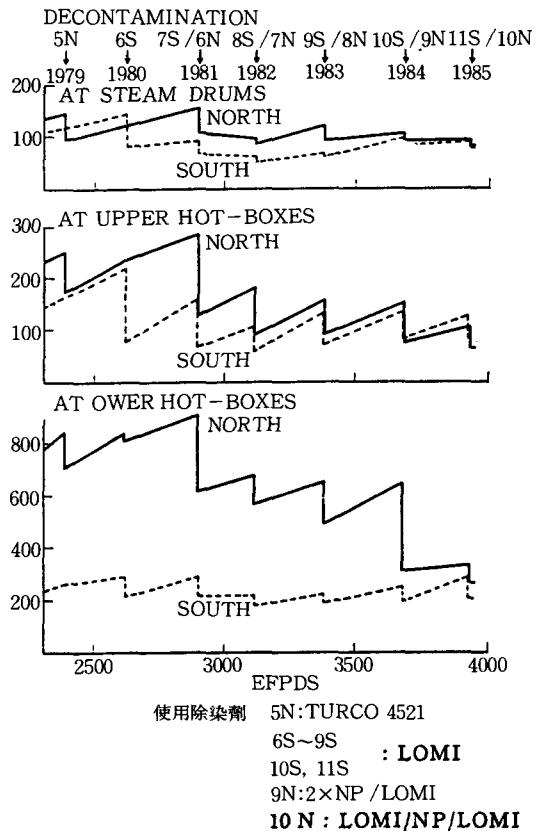
방사성핵종 최대의 원천인 연료를 제염한다면 재오염의 억제로 연결되는 것은 쉽게 상상할 수 있다. 연료의 제염이 실시되지 않을 경우라도 상당한 변화가 상정되는데 이런 과도적인 상황을 정량적으로 파악할 수 있을 정도로 방사성핵종 이행에 관한 지식이 발전되어 있지 않다.

또 부동태피막이 제염에 의해 완전히 제거될지 안될지는 반드시 명확하지 못하다. 스테인레스강의 산화피막은 2층 구조로 되어 있고, Cr함량이 높은 치밀한 내층은 제염에 의해 제거하기 어렵고, 거친 외층은 비교적 쉽게 환원용해된다. 따라서 제염을 실시해도 부동태피막을 상당량 잔존시킬 수도 있다.

한편 제염후 산화처리를 함으로써 표면이 방사성핵종과 닿기 전에 부동태피막을 부여하는 케이스도 있다.

영국의 Winfrith SGHWR(「후젠」과 비슷한 압력관형 BWR)에서는 1969년 이래 연료를 장

전한 채 계통제염이 실시되어 왔다. 당초 키레이트계 제염제가 2루프(S 및 N)에 대해 2년간격으로 적용되었으나 1980년부터는 LOMI를 채택했고, 1981년부터는 각 루프마다 매년 제염을 실시하고 있다. 이에 따른 1차계통 선량당량률의 변화를 그림2에 나타냈다.



〈그림2〉 영국 Winfrith SGHWR에서 전계통제염에 의한 선량당량률의 추이

제염후 선량당량률의 상승상태는 각양각색이고 재오염의 평가가 쉽지 않은 것을 알 수 있다. 플랜트데이터 뿐만 아니라 기초적인 연구도 포함한 재오염과정의 검토가 필요하다.

연료장전상태에서의 전계통 제염은 압력관형로에서는 이미 경험이 있지만 통상의 경수로에서는 아직 실시되지 않았다. 미국에서는 EPRI가 중심이 되어 이 목적을 위해 기술개발이 추진

되고 있다. BWR에서 추출된 高照射燃料集合體를 AP/LOMI 및 AP/CAN-DECON으로 제염하여 관련재료에 미치는 영향에 대해 조사하고 있다. 또 그 경제효과에 관한 평가도 되고 있다. 미국에서는 1991년쯤 연료없이, 1993년쯤 연료장전상태에서 BWR의 전계통 제염이 실시될 것으로 예상되고 있다. 연료표면은 1차계통에서 방사성크래드의 최대 발생원이고, 이것을 제염하면 다량의 방사성핵종이 제염폐기물측으로 이행한다. 이것이 정말 경제적으로 유리한지 아닌지가 문제이고, 제염에 의해 얻어지는 이익이 상당히 큰 경우가 아니면 성립되지 않을 것으로 생각된다.

한편 제염에 의해 얻어지는 이익을 정량적으로 평가하기 어려운 점이 제염기술의 파급을 억제하는 한 원인이 되고 있는 것으로 보인다. 직접적인 이익이 피폭저감이라는 형태로 나타나는 것은 자명하지만 정기검사작업의 용이화와 단축 등 파급효과도 있다. 이런 효과를 정량적으로 가격과 대비하여 나타내는 것은 상당히 어렵다.

미국 등에서는 사람·렘단가를 수치로 산출하여 평가되는 경우가 많으나 이 수치의 평가는 국가정세에 따라 달라 그대로 각국에 적용할 수는 없다. 경험의 축적에 따라 스스로의 평가방법을 확립하는 것이 필요하다.

또 가격·이익의 평가에서 폐기물의 처분가격도 중요한 인자이지만, 일본에서는 이 부분도 현재로서는 명확하지 않아 평가를 보다 어렵게 하고 있다.

이상 최근의 제염기술동향을 개관했다. 일본에서는 타국에 비해 제염기술의 실기채택에 신중한 태도가 취해져 왔으나 정부의 프로젝트 등에 따라 기술면에서의 우려가 없어져 피폭저감을 위한 옵션으로서 확립되기를 기대한다.

II. PWR原電에서의 除染技術

1. 序 論

일본의 가압수형 원자력발전소(PWR플랜트)

는 1970년에 운전을 개시한 關西電力 美浜발전소 1호기를 시작으로 현재 17기가 가동중이다.

PWR플랜트는 수직U字管式 열교환기를 경계로 하여 原子爐容器側의 1차계통설비와 터빈측의 2차계통설비로 구분된다.

1차계통설비의 배관내 표면은 방사성 부식생성물의 침적에 의해 방사선원을 갖고 있다.

PWR플랜트의 정기검사에서 피폭저감대책으로는 방사성 부식생성물의 발생·침적의 억제 및 정화에 의한 제거, 또 원격공구의 채택에 의한 작업방법의 개선 등 여러가지가 실시되고 있으나 본고에서는 작업환경의 선량당량률을 저감시키기 위한 제염에 대해 PWR플랜트에의 적용상황례를 포함해 제염기술의 동향을 소개한다.

2. 除染의 目的

원자력플랜트 정기검사에서의 제염은 작업환경의 선량당량률을 저감시키는 관점에서 필요불가결한 상황에 있다.

피폭저감의 3원칙은 시간, 거리, 차폐인데 전자 2항목에 대해서는 공법의 개선과 종사자의 기량 향상에 의해 대처하고 있다. 한편 차폐에 관해서는 물리적 차폐재의 설치가 강화되고 있는 중이다. 그러나 고방사선원을 갖고 있는 설비 그 자체를 다루며 장기간 다수 인원이 종사해야 하는 작업에 대해서는 앞의 대책만으로는 충분하지 못하다.

그래서 이런 작업에 대해 보다 적극적인 피폭저감을 전개하기 위해서는 고방사선원 그 자체를 저감시키는 것이 불가결하고, 그 구체적인 대책은 작업 착수전에 침적한 방사성 부식생성물을 제거·저감시키는 것이다.

3. 防染의 實體

PWR플랜트에서 작업환경의 선량당량률을 저감시키기 위한 대책으로 실시되고 있는 다음의 세가지 공사를 제염의 실체로서 소개한다.

- 1차냉각수펌프인터널(내부구성품)의 화학제염

- 증기발생기 水室의 물리제염
- 1차냉각수 온도검출용 바이패스 철거배관의 화학제염

RCP인터널의 화학제염은 원자력플랜트의 사용기간중 검사공사로서 인터널의 분해점검에 앞서 제염을 실시하는 것이며, SG水室의 물리제염은 SG전열관의 검사에 앞서 제염하는 것이다. RTD바이패스 철거배관의 화학제염은 개량형 온도검출기의 채택에 따라 불필요하게 된 바이패스배관을 철거하기에 앞서 실시된 것이다.

이와 같이 제염의 대상설비는 앞의 두종류가 사용체이며, 세번째가 폐기체로서 제염구분이 다르다.

(1) RCP인터널의 化學除染

(i) 제염의 목적

RCP는 PWR플랜트 1차계통의 주요구성설비이고, 운전중 1차냉각수에 接液되어 있기 때문에 방사성 부식생성물의 침적에 의해 고방사선원으로 되어 있다.

또 RCP인터널은 사용기간중 검사공사의 일환으로서 10년에 1회의 빈도로 분해점검을 실시하고 있다. 이 분해점검작업은 RCP인터널 부근에서 다수 인원이 장시간에 걸쳐 실시해야 되기 때문에 그 방사선원을 충분히 저감시켜 두는 것이 불가결하다.

(ii) 제염의 경험

1975년 이후 關西電力 플랜트에서 연 40회 이상 실시한 경험을 갖고 있다.

(iii) 피제염체의 구조와 재질

피제염체가 되는 RCP인터널의 구조도를 그림 3에 도시하였다. 구조는 원통형상이고 재질은 다음과 같이 오스테나이트系 스테인레스鋼이다.

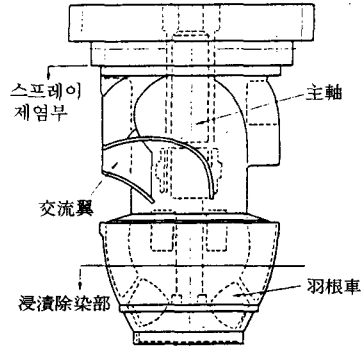
a. CF-8: SUS 304 상당의 스테인레스鋼鑄鋼品(羽根車, 變流翼 등에 사용)

b. SUSF 347: 안정화 스테인레스鋼 鍛鋼品(주축 등에 사용)

c. SUSF 304: 스테인레스鋼 鍛鋼品(너트 등에 사용)

(iv) 제염의 방법과 원리

PWR플랜트의 1차냉각수에는 溶存水素가 함



〈그림3〉 RCP 인터널 구조도

유되어 있어 환원성 분위기가 유지되고 있다. 따라서 1차계통의 배관에 침적하는 방사성 부식생성물의 성상은 Fe성분 뿐 아니라 Cr성분도 함유되어 있는 것이 특징이다.

따라서 이들 부식생성물의 제거에는 Cr성분을 용해하는 산화처리와 Fe성분을 용해하는 환원처리 두가지의 화학세정프로세스가 필요하다.

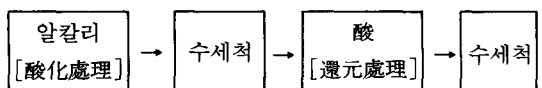
그래서 본공사에서는 2단계 제염으로서 산화처리용에 알칼리성 과망간산염(AP: Alkaline Permanganate)을, 또 환원처리용에 칼본산염(글리데콘 212)을 채택하고 있다. 이 과정에서 화학세정의 잔류를 방지한다는 관점에서 各液으로의 처리후 순수한 물에 의한 세척을 실시한다.

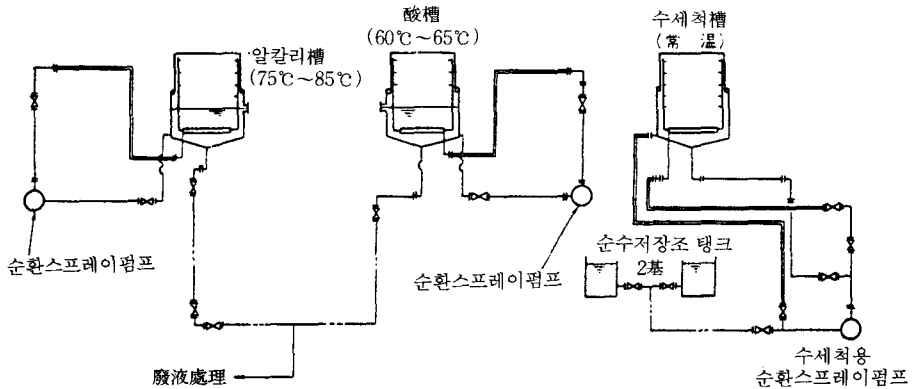
(v) 제염의 순서

제염의 조건은 RCP인터널이 사용체임을 감안하여 피제염부 母材의 건전성을 제일로 하고, 그 범위 속에서 제염효과를 최대한으로 도모할 수 있는 것으로서 다음과 같이 하고 있다.

스텝	除染劑	濃度	pH	溫度	時間
酸化處理 (알칼리)	AP	10%	>12	80℃	2hr
還元處理 (酸)	글리데콘 212	5%	3.4	60℃	1hr

또 제염순서는 다음과 같고 두번 반복해서 실시한다.





〈그림4〉 RCP 인터널 제염시스템

제염시스템을 그림4에 나타냈는데, 제염순서는 RCP인터널을 끌어올린 상태에서 먼저 산화제염액을 담고있는 알칼리槽에 매달아 RCP인터널의 하부까지 제염액에 침적시킨 상태에서 순환스프레이펌프를 사이에 세워 RCP인터널상부의 표면에의 스프레이제염과 하부의 침적제염을 병행해서 실시한다.

규정의 제염시간 경과후 순환스프레이펌프를 정지시켜 RCP인터널을 매달아 水洗槽에 이동한다. 그후 酸槽, 다시 水洗槽로 차례로 반복한다. 2사이클 완료후 최종 수세척으로서 3회 세척을 실시한다. 그리고 제염폐액은 1차계 폐액으로서 처리된다.

(vi) 제염의 결과

제염결과의 평가는 제염계수(제염전 선량당량률을 제염후의 것으로 나눈 것)를 사용하고 있다. 때문에 제염하기 전 1사이클 제염후, 그리고 2사이클 제염후에 정기검사에서 선량당량률로 평가하고 있다.

제염결과는 2사이클 제염후의 제염계수로서 10~20 정도를 얻고 있다.

(2) SG水室의 物理除染

(i) 제염의 목적

SG수실은 1차냉각수가 접액하고 있기 때문에 방사선원을 갖고 있다. 정기검사시에는 2次系水와의 열교환용 전열관(약 3,400개/SG)에 대해

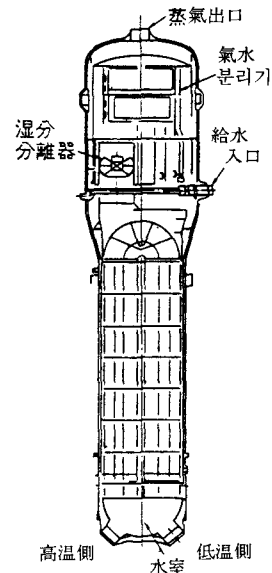
1차측에서의 渦過電流探傷檢査(ECT: Eddy Current Test) 등의 검사, 예방보전 및 보수작업시 실시되어 공사중의 피폭저감을 위해 SG수실부에 대해 제염을 실시하고 있다.

(ii) 제염의 경험

1982년 이후 關西電力 플랜트에서 연 60水室 이상 실시한 경험을 갖고 있다.

(iii) 피제염체의 구조와 재질

SG의 구조도를 그림5에 나타냈는데 피제염체



〈그림5〉 SG구조도



가 되는 수실은 직경 약 3m의 1/4 球形狀을 나타낸 高温側部와 低温側部 2개다.

수실부의 재료는 炭素鋼의 표면에 스테인레스鋼을 오버레이한 것이다.

(iv) 제염의 방법과 원리

제염방법은 SG가 사용체인 점, 또 SG수실부가 1차냉각수배관에 접속되어 있어 제염액이 유입·잔류해도 계통에 악영향을 주지 않는 것을 염두에 두어 연마제로서 1차냉각수에 첨가하고 있는 無水붕산(B_2O_3)을 사용하고 있다. 이 무수붕산을 고압수와 함께 SG실 내면에 충돌시켜 부식생성물을 박리제거시키는 웨트브라스트법을

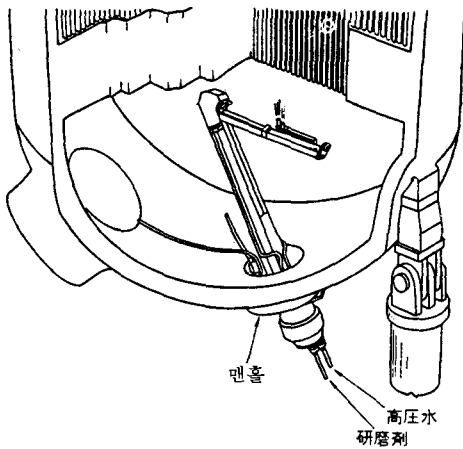
채택하고 있다.

(v) 제염의 순서

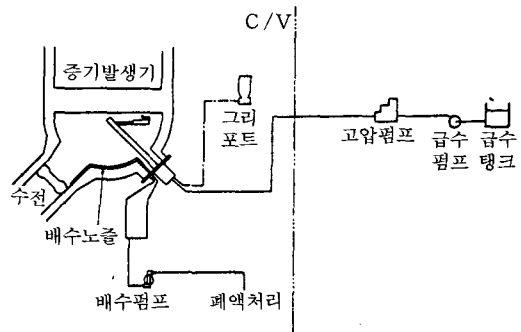
물리제염의 조건은 고압수 압력, 연마재 공급량, 제염시간 등에 의해 결정되고 있으며 다음과 같은 방법으로 실시하고 있다.

- 고압수 압력: 약 300kg/cm²G
- 變用水量: 약 50m³/수실
- 사용붕산량: 약 750kg/수실
- 제염시간: 약 20Hr/수실

이 웨트브라스트법에 사용하고 있는 제염장치를 그림6에, 또 제염시스템을 그림7에 나타냈다. 이 제염장치를 사용함으로써 수실부, 맨홀부



<그림6> SG수실제염장치



<그림7> SG수실제염시스템

및 1차냉각수관 노즐부를 제염할 수 있다. 시스템은 원자로격납용기(CV)내에 설치한 무수붕산을 공급하는 그릿포트, 고압수를 공급하는 급수펌프·고압펌프, 수실부와 1차냉각수배관을 격리하는 止水栓 및 배수설비로 구성되어 있다.

그리고 제염폐액은 배수노즐에 의해 배수펌프를 세워 배수하고 1차계 폐액으로 처리된다.

(vi) 제염의 결과

제염결과는 제염계수에서 약 2정도를 얻고 있다.

(3) RTD 바이패스 撤去配管의 化學除染

(i) 제염의 목적

RTD바이패스배관은 온도검출기에 1차냉각수를 인도하기 위해 사용하고 있었는데 1차냉각수배관에 직접 장치할 수 있는 개량형 온도검출기의 채택에 따라 불필요해졌기 때문에 선량당량 기여율이 높은 이 배관을 철거하기로 되었다.

그러나 철거하기 위해서는 많은 서포트부의 해체, 폐기하기 위한 절단 등 작업량이 많은 점, 狹隘部에서 반출되는 점 등을 감안해 작업환경의 선량당량을 저감화를 도모하는 것이 필요했다.

(ii) 제염의 경험

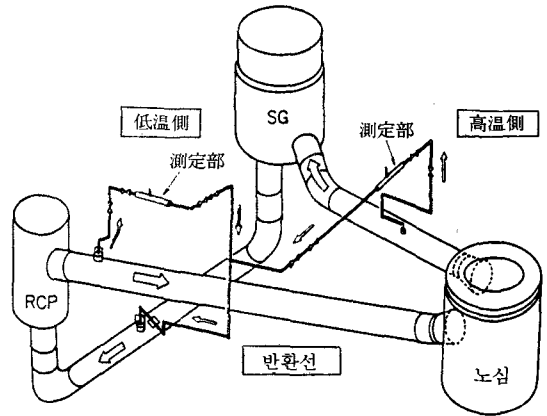
현시점에서는 關西電力의 것만을 적용한 것이지만 1988년 이후 關西電力의 9플랜트 모두의 RTD바이패스배관 철거에 따른 제염을 경험했다.

(iii) 피제염체의 구조와 재료

그림8에 RTD바이패스배관의 구조도를 나타냈는데, 1~3인치 구경 배관이 접합되고 그 사이에 밸브, 측정부 등을 갖고 있는 異形狀의 오스테나이트系 스테인레스鋼 배관이다.

(iv) 제염의 방법과 원리

RTD바이패스배관도 Fe성분과 Cr성분을 함유하고 있는 부식생성물이 침적해 있으나 폐기체이기 때문에 피제염부 母材의 건전성 영향은 고려할 필요가 없다. 그러나 부식생성물 제거를 위한 산화-환원 2단계 처리법의 채택과 관련하여 피제염부의 구조가 복잡하기 때문에 제염성 확보를 위해 Cr성분의 산화처리용으로서 RCP 인터널용 AP액으로 바꾸어 산화력이 강하고 환



〈그림8〉 RTD바이패스배관구조도

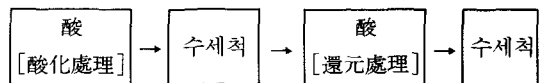
원액에의 혼입영향이 적어, 결국 저농도로 제염할 수 있는 초산과망간산염(NP: Nitric Acid Permanganate)을 사용했다. 또 환원처리용으로서 RCP 인터널과 같은 글리데콘 212를 채택하고 있다.

(v) 제염의 순서

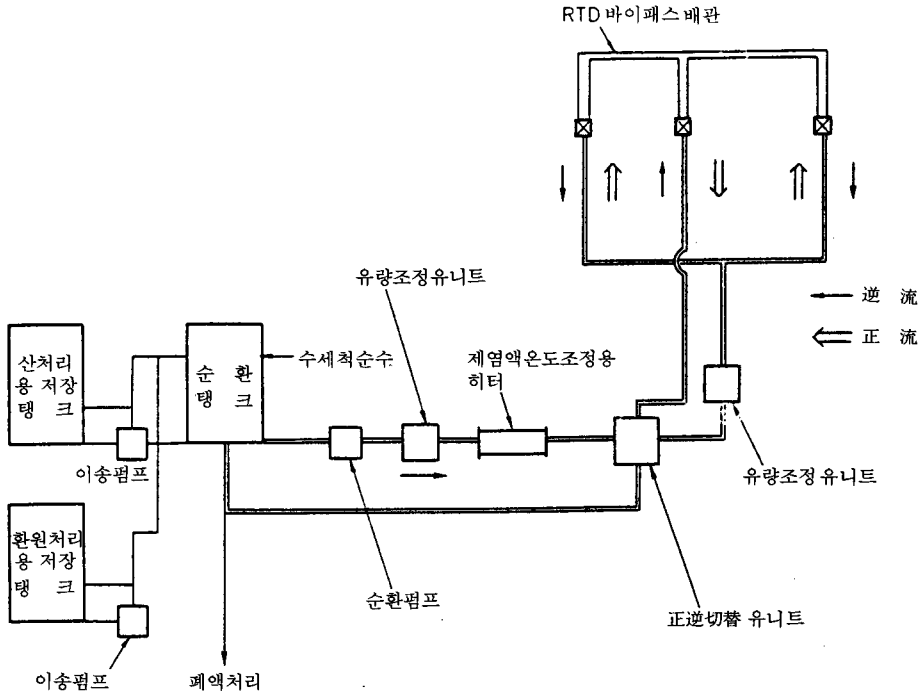
제염조건은 실기의 配管供試體를 사용한 부식생성물의 용해시험결과에서 다음과 같이 하고 있다.

스텝	除染劑	濃度	pH	溫度	時間
酸化處理 (酸)	NP	0.1%	2	90℃	8hr
還元處理 (酸)	글리데콘 212	5%	3.4	90℃	4hr

또 제염순서는 다음과 같다.



제염시스템을 그림9에 나타냈다. 제염순서는 산화처리액을 산화처리용 貯留탱크에서 이송펌프를 세워 순환탱크로 이송한 후 제염액은 순환펌프·流量조정유닛을 끼워 除淨用호스가 접속되어 있는 주입구로 인도해 순환시킨다. 그 사이에 라인히터를 배치하여 소요온도까지 승온, 유지하여 正逆변환유닛에 의해 배관을 왕복하



〈그림9〉 RTD바이패스 배관제염시스템

며 제염한다. 규정의 제염시간 경과후 산화처리 액을 貯留탱크에 회수한 후 수세척, 환원처리 그리고 수세척으로 계속 실시한다. 그리고 제염폐액은 1차계 폐액으로 처리된다.

(vi) 제염의 결과

제염결과는 제염계수로서 약 5~20을 얻고 있다.

4. 앞으로의 展望

제염에 관한 앞으로의 동향으로는 제염방법 등 기술적인 관점과 제염범위 등 필요성의 관점이 있다.

먼저 기술적인 관점으로는 PWR형 방사성 부식생성물의 생성에서 현시점으로는 화학제염의 경우 산화-환원의 2단계 처리를 요하고 있는데 설비의 減容化 및 단계처리를 할 수 있는 제염계의 개발이 요망된다. 또 물리제염의 경우 현재 SG수실부에 대해 실시되고 있지만 제염효율을 올리기 위해 1차계에 잔류해도 문제가 없는 高硬度研磨材의 개발 및 1수실당 약 50m³ 발

생하는 제염폐기액 발생량의 저감이 요망된다.

그 다음 필요성의 관점에서는 원자력플랜트 장수명화를 위해 발생하는 플랜트설비의 교환이라는 면에서 單體設備에의 제염대상 확대와 1차계통설비 전체의 선원강도 저감이라는 면에서 제염범위의 광역화를 요하게 될 것이다. 특히, 선량당량기여가 큰 SG, 그 중에서도 전열관부에 대해서는 앞으로 점점 제염대상으로서 주목해 갈 필요가 있다.

이상과 같이 제염의 필요성은 점차 증가하고 있으며 앞으로 더 한층 연구개발이 요망된다.

5. 結 論

PWR플랜트에서 실시되고 있는 제염은 현재 그 필요성에 따라 실시되고 있으며 피폭저감에 대해 유효하게 기여하고 있다고 할 수 있다.

그러나 그 요구 정도와 범위는 점차 증가되고 있어 앞으로도 장기적 시야에 선 연구에 노력함과 아울러 제염기술의 개발보다 한층 피폭저감에 노력할 필요가 있겠다.