

2013년 8월  
석사학위논문

CVCS 정화탈염기 2회 재사용을 통한  
고방사성폐기물 감소

조선대학교 대학원

원자력공학과

정 원 철

CVCS 정화탈염기  
2회 재사용을 통한  
고방사성 폐기물 감소

A study on the Reduction of Radioactive Waste by Reusing  
CVCS Demineralizer Twice

2013년 8월 23일

조선대학교 대학원

원자력공학과

정 원 철

CVCS 정화탈염기  
2회 재사용을 통한  
고방사성폐기물 감소

지도교수 김 승 평

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2013년 5월

조선대학교 대학원

원자력공학과

정 원 철

# 정원철의 석사학위논문을 인준함

위원장    조선대학교    교수    나만균    (인)

위    원    조선대학교    교수    김진원    (인)

위    원    조선대학교    교수    김승평    (인)

2013년 5월

조선대학교 대학원

## 목 차

ABSTRACT .....	v
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 화학 및 체적제어계통(CVCS)구성 .....	2
1. 개 요 .....	2
2. 화학 및 체적제어계통(CVCS)기능 .....	3
3. 화학 및 체적제어계통 설계기준 .....	5
4. 화학 및 체적제어계통 계통구성 .....	5
제 3 장 CVCS 정화탈염기 운영방법고찰 .....	7
1. 국내 표준형 발전소 CVCS 정화탈염기 구성 .....	7
2. 국내 발전소 CVCS 탈염기 운영 현황 .....	8
3. 국내발전소 CVCS 정화탈염기 사용방법 비교 .....	8
4. CVCS 탈염기 사용상의 문제점 및 페이온교환수지 발생량 분석 .....	9
제 4 장 CVCS 정화탈염기 운영방법 개선연구 .....	11
1. 개 요 .....	11
2. 실험계획 .....	11
3. 실험방법 .....	11
4. 실험과정 .....	13
5. 실험평가 .....	23
제 5 장 새로운 CVCS 정화탈염기 운영방안 .....	25
1. 개 요 .....	25
2. 새로운 CVCS 정화탈염기 운영방법 .....	25
3. 새로운 시스템을 한빛 5,6호기 적용 실적 .....	26
4. 새로운 시스템을 한빛 5,6호기 적용 이력 .....	27
5. 새로운 시스템 적용 실적 평가 .....	28

제 6 장 결 론 .....	29
참고문헌 .....	30

## 표 목 차

표 3.1	국내발전소 CVCS 정화탈염기 운영 현황 .....	8
표 4.2	리튬포화수지와 비포화수지 후단 용출액 비교 실험 .....	14
표 4.3	리튬포화수지에 염화제2철을 주입후 용출액 분석표 .....	15
표 4.4	6호기 6차 계획예방정비시 정화용탈염기 전후단 Ni, Co, Fe, Mn 농도 .....	16
표 4.5	과산화수소 주입후 정화용탈염기 전후단 리튬농도 분석표 .....	17
표 4.6	5호기 7차 계획예방정비시 RCS내의 Co 농도 변화 .....	18
표 4.7	5호기 7차 계획예방정비시 RCS내의 Ni 농도 변화 .....	19
표 4.8	5호기 7차 계획예방정비시 RCS내의 Fe 농도 변화 .....	20
표 4.9	5호기 7차 계획예방정비시 페리튬 회수 과정표 .....	21
표 5.1	한빛 5호기 CVCS 정화탈염기 운영실적 .....	26
표 5.2	한빛 6호기 CVCS 정화탈염기 운영실적 .....	26
표 5.3	한빛 5,6호기 탈붕소용탈염기 운영 실적 .....	27
표 5.4	한빛 5,6호기 리튬제거용탈염기 운영실적 .....	27
표 5.5	한빛 5,6호기 정화용탈염기 운전실적 .....	28

## 그림 목차

그림 2.1	CVCS 계통 구성도 .....	2
그림 3.1	CVCS 정화탈염기 구성도 .....	7
그림 3.2	정화탈염기 세부 구성도 .....	7
그림 4.1	순수(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) 주입 실험 .....	13
그림 4.2	pH, Li 측정 실험 .....	13
그림 4.3	염화제2철 주입 실험 .....	14
그림 4.4	염화제2철 주입후 용출액 리튬분석 실험 .....	15
그림 4.5	6호기 6차 계획예방정비시 RCS Ni, Co, Fe, Mn 농도 변화 추이 .....	16
그림 4.6	과산화수소 주입후 정화용탈염기 후단의 리튬농도 변화 .....	17
그림 4.7	6호기 6차 계획예방정비시 RCS 방사능 농도 변화량 .....	17
그림 4.8	5호기 7차 계획예방정비시 RCS 방사능 농도 변화량 .....	22
그림 5.1	개선된 CVCS 정화탈염기 운전방법 .....	25



# ABSTRACT

## A study on the Reduction of Radioactive Waste by Reusing CVCS Demineralizer Twice

Jung, Won Chul

Adviser : Prof. Kim, Soong Pyung, Ph. D.

Department of Nuclear Engineering,

Graduate School of Chosun University

Current domestic energy requirements are increasing rapidly and to meet those requirements, a stable and economically available nuclear power supply has been recognized as the most significant sources of energy.

Korea is also now operating 23 nuclear power plants and plans additional construction of 8 units up to 2022.

However, the construction of nuclear power plants and its operational level has been in difficult position due to the negative social public opinions on the construction of nuclear power plants. Regional conflicts, for instance, have generated in the process site designation and the construction of low-level radioactive waste disposal facility and has to be socially compensated. Absence of a high-level radioactive waste disposal facility that is able to dispose of spent fuel and spent resin is predicted to be the biggest issue operating nuclear power plants. spent fuel pool would no longer have space after the year of 2016, this would possibly cause social problems on nuclear power shut-down.

Accordingly, this thesis illustrates the goal to reduce generating rate of spent resin by one-third through the improvement on operating system whenever overhaul is started in Chemical Volume Control System(CVCS).

Firstly, it attests to the problems of using Li saturated resin through an

experiment analysing the current state and drawback of operating CVCS Demineralizer in domestic PWR nuclear power plants and grasps the source of Li increasing steadily in RCS during overhaul period. Secondly, it shows the epoch-making reduction in the generating rate of high-level radioactive from using two times of spent resin through the study of actual CVCS operating method in YoungGwang Hanbit No 5 & 6. It lastly shows the system development collecting and using Li generated from fuel. This would contribute to global competitiveness through a stable operation and a new technology development in nuclear power plants.

# 제 1 장 서론

현재 국내 에너지 소요량은 급속히 증가하고 있으며 이를 대처하기 위한 경제적이며 안정적으로 수급이 가능한 원자력발전이 가장 획기적인 에너지 자원으로 인식되고 있다. 현재 23기의 발전소가 운전중이며 2022년까지 추가로 8호기가 건설 계획 중이다. 하지만 원자력발전소에 대한 사회적 여론은 부정적 입장이어서 발전소 건설 및 운영 단계에서 많은 어려움에 처해있다. 일례로 중저준위방폐장 부지선정 단계에서 건설에 이르기까지 끊임없는 지역갈등 유발 및 막대한 사회적 보상비용을 지불해야했다. 또한 폐연료 및 폐이온교환수지를 처리 할 수 있는 고준위 처리장 미확보는 앞으로 원자력발전소 운영에 가장 큰 아킬레스건으로 작용할 것이다. 2016년 이후 국내발전소의 폐연료 저장고는 더 이상 폐연료를 저장할 공간이 없게 되며 이는 곧 발전소 운전 정지라는 사회적 문제를 야기할 가능성이 커지고 있다. 따라서 고준위 폐기물 감소는 발전소 운영에 무엇보다 중요한 요소로 인식되고 있다.

따라서 본 논문에서는 고방사성 폐기물의 저감을 위해 원자력발전소 화학 및 체적 제어계통(Cheical & Volume Control System)에서 계획예방정비시마다 발생하는 폐이온교환수지의 발생량을 운영방법 개선을 통해 50%이상 감축하는 것을 목표로 설정하였다.

먼저 한국수력원자력(주) 중앙연구원에서 발간한 “Technology Intelligence 활동 보고서”를 통해 국내외 발전소의 CVCS 계통에서 발생하는 폐이온교환수지의 저감 대책을 분석하고, 기초전력공학공동연구소에서 발간한 “원전계통내 방사성 물질의 제거효율증대를 위한 탈염기 운전특성 개선”을 통해 CVCS 계통에 사용되는 이온교환수지의 특성을 파악하였다. [1],[2]

국내 발전소의 CVCS 정화탈염기의 운전현황 및 문제점을 분석하여 리튬포화수지 사용의 문제점을 실험을 통해 증명하였고, 계획예방정비기간에 원자로냉각재계통(RCS)에 지속적으로 증가되어 정지화학처리에 어려움을 주는 리튬의 출처 파악과 회수하여 재사용하는 방법을 연구 하였다.

실제 한빛 5,6호기의 CVCS 탈염기 운영방법 개선 연구를 통해 폐이온교환수지를 2회 재사용 하여 고방사성의 폐이온교환수지의 발생량을 획기적으로 감축하였고, 계획예방정비기간 동안 원자로냉각재에서 발생된 리튬을 회수하여 재사용하는 시스템을 개발하게 되었다.

이를 통해 발전소 안정운영 및 신기술확보를 통해 세계 원전경쟁력 확보에 기여하고자 하였다.

## 제2장 화학 및 체적제어 계통(CVCS)구성

### 1.개 요

정상운전중 화학 및 체적제어계통(CVCS)과 원자로냉각재계통(RCS) 사이에는 일정 유량이 계속적으로 유지되고 있다. 냉각재는 루프 1B에 연결된 냉각재 유출계통을 통하여 체적제어탱크(VCT)로 보내지며 이곳에 모인 냉각재는 충전펌프에 의하여 원자로냉각재계통의 루프 1A에 연결된 충전계통을 통하여 냉각재 계통으로 다시 충전됨으로써 전체적인 순환구조가 형성되며, 한빛 5.6호기는 가압경수로(PWR)-1,000MW 정격 용량으로 화학 및 체적제어계통은 다음 그림 2.1과 같이 구성되어 있다.[3]

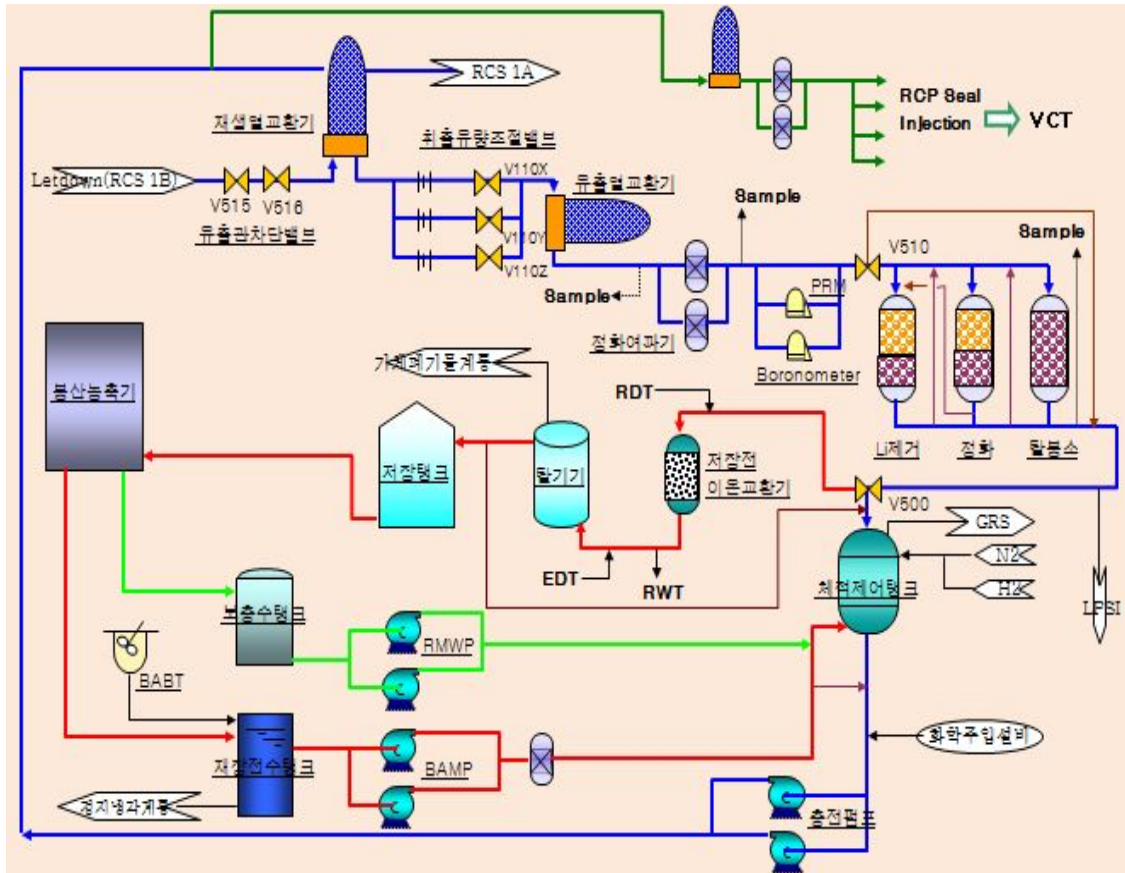


그림 2.1 CVCS 계통 구성도

## 2. 화학 및 체적제어계통(CVCS) 기능

가압경수로형 원자로에서는 제어봉의 구동 이외에 1차 냉각재 속의 붕산농도를 조절함으로써 중성자 반응도를 제어한다. 체적제어탱크(volume control tank)는 직접 1차 냉각재를 조절하는 작용을 하며, 여기서 붕산수 또는 순수( $H_2O$ )를 주입함으로써 1차 냉각수 속의 붕산농도를 조절할 수 있다.  $B^{10}(n, \alpha) Li^7$  반응으로 중성자 흡수단면적이 큰  $B^{10}$ 이 중성자 흡수단면적이 작은  $Li^7$ 로 변하는 것을 이용하여 연료 장전시에는 약 2,000ppm으로 연소도의 증가와 함께 농도를 감소시키고 계획예방정비 시기에 임박해서는 수십 ppm으로 붕산농도를 변화시킴으로써 원자로의 반응도를 일정하게 유지할 수 있게 한다. 또 제어봉에 의한 제어와 비교하면 노심 내의 위치에 따른 반응도의 상위(相違)를 평균화할 수가 있기 때문에 운전제어가 용이해진다. 그 밖에 원자로 냉각재의 pH, 용존산소, 불순물 등을 조절하여 부식을 막게 할 뿐만 아니라, 방사성물질 을 정화하는 역할도 겸하고 있다.[3]

### 가. RCS 재고량 유지 기능

충전 및 유출유량을 조절하여 가압기 수위를 제어함으로써 냉각재 계통내 적절한 양의 냉각재를 유지한다.

- 1) 잉여 냉각재 유출 : 기동 및 출력 증가시
- 2) 부족 냉각재 충전 : 정지 및 출력 감발시
- 3) 가압기 수위(33 ~ 52.6%) 자동조절 : 유출/충전
- 4) RCS 정상누설 유량보충 : VCT [3]

### 나. RCS 화학 및 순도유지 기능

- 1) 용존 산소 제거 : 하이드라진( $N_2H_4$ ) 또는 수소( $H_2$ )
- 2) pH 조절 : 냉각재 Li 농도 조절 (이온교환기, 화학첨가설비)
- 3) 수질 정화 : 여과기, 이온교환기
- 4) 용해성핵종, 비용해성 입자 제거 : 이온교환기
- 5) 현탁 부식 생성물 제거 : 여과기 [3]

### 다. 붕산농도 제어 기능

제어봉 위치를 최적화하고 냉각재온도 및 연료연소의 변화와 제논 과도 현상에 따른 반응도변화를 보상하며, 핵연료 재장전중 기술지침서의 정지여유도를 만족시키기 위하여 냉각재계통내의 붕산농도를 제어한다.[3]

### 라. RCS 압력제어 보조 (Aux Spray) 기능

냉각재펌프 사용불능에 따른 정상 가압기분무 구동수두 형성에 필요한 차압을 유지하지 못할 경우에는 충전유량 일부를 가압기 보조 분무관으로 전환하여 보조 분무를 공급한다.[3]

### 마. RCP 밀봉수 공급 기능

총 충전유량중 일부를 냉각재펌프 밀봉부로 전환하고, 밀봉부 유출(Bleed -off)관을 통해 나오는 유량을 체적제어탱크로 회수 한다.

Seal Cavity 냉각 및 방사성 침전물 침착 최소화 기능을 하며 밀봉수 원도제어를 통해 열과도 현상을 최소화 하는 기능을 하고 있다.[3]

### 바. RCS 붕산농도 측정 기능

붕산농도 측정기(Boronometer)로 냉각재의 붕산농도를 연속 감시 및 지시 한다.[3]

### 사. RCS 분열생성물 방사능 감시 기능

유출관의 공정 방사능 감시기(Process Radiation Monitor)로 냉각재의 총  $\gamma$ 방사능 준위 및 분열생성물의  $\gamma$ 방사능 준위를 계속 감시·기록함으로써 피복재의 건전성을 확인한다.[3]

### 아. RCS 누설시험 기능

보조 충전펌프를 사용하여 냉각재계통을 설계압력까지 가압하여 가압기, 원자로 배수탱크, 격납용기 집수조(Sump), 체적제어탱크의 수위를 감시함으로써 냉각재계통 누설시험의 수단을 제공한다.[3]

### 자. RCS 냉각재 보충 기능

재장전수탱크(RWT)로 부터의 붕산수와 원자로 보충수탱크(RMWT)로 부터의 순수를 혼합하는 설비를 이용하여 냉각재 보충 및 붕산농도를 제어 할 수 있다.[3]

### 차. 정지냉각 유량 수질 정화 기능

정지냉각 유량중 일부를 유출관 여과기와 이온교환기를 통과시켜 정지 냉각계통(SCS)이나 충전펌프를 이용하여 냉각재계통으로 흐르게 함으로써 정화 하도록 한다. [3]

### 카. 안전주입계통 역지밸브 작동가능성 시험 기능

충전유량을 고압 안전주입 헤더로 통과시켜 냉각재계통으로 보냄으로써 안전주입 계통(SIS) 역지밸브의 작동가능성을 주기적으로 점검한다.[3]

### 타. 사용후연료 수조(SFP) 봉산수 공급 기능

봉산수 보충펌프(BAMP)를 사용하여 재장전수 탱크로부터 사용후 연료 수조(Spent Fuel Pool)로 봉산수를 보충하는 역할을 한다.[3]

## 3. 화학 및 체적제어계통 설계기준

RCS가 최대 75°F/hr(41.7°C/hr)이하로 가열될 때 유출수를 수용할 수 있으며 최대 75°F/hr(41.7°C/hr)이하로 냉각될 때 충전펌프를 사용하여 요구되는 보충수를 공급 할 수 있도록 설계 되어진다. 또한 출력 증감발 (10% 단계출력 및 5%/min 선형출력 증감발)에 따른 원자로 보충수 공급 및 유출수 수용할수 있어야 한다. 0.25% 핵연료 손상 가정시 냉각재내 방사능 준위를 운영기술지침서의 제한치 이내로 유지되어야 하며, 운전조건에 따라 생성되는 모든 액체폐기물을 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.

원자로냉각재펌프의 밀봉수로 최대 30 gpm을 공급하고, 최대 22 gpm의 제어 누설수를 수용 하도록 설계되어야 하며, 모든 공학적 안전설비 펌프에 전유량으로 최소한 20분 동안 공급할 수 있는 봉산수 용량 (+10% 여유분) 보유 되어야 한다.[3]

## 4. 화학 및 체적제어계통 계통구성

### 가. 유출계통 (LETDOWN SYSTEM)

RCP 1B Crossover Leg → 재생열교환기 → 유출유량 제어밸브 → 유출수 열교환기 → 배압조절밸브 → 정화여과기 → 붕소농도측정기/방사능 계측기 → 정화이온교환기 → VCT [3]

### 나. 충전계통 (CHARGING SYSTEM)

VCT → 충전펌프 ↗ 재생열교환기 → RCS 1A Cold Leg  
↘ RCP Seal → VCT & RDT [3]

### 다. 보충수계통 (MAKEUP SYSTEM)

RWT → BAMP → Boric Acid Filter ↗ VCT  
↘ 충전펌프

RMWT → RMWP → Reactor Makeup Water Filter ↗ VCT  
↘ 충전펌프 [3]

**라. 붕산회수계통 (BORON RECOVERY SYSTEM)**

H/U Tank → H/U Tank Pp ↗ RWT  
↘ 붕산농축기 → RMWT & RWT [3]

**마. 밀봉수 주입계통 (SEAL INJECTION SYSTEM)**

VCT → 충전펌프 → 밀봉수열교환기 → 밀봉수 여과기 → RCP Seal → VCT  
& RDT [3]



# 제3장 CVCS 정화탈염기 운영방법 고찰

## 1. 국내 표준형 발전소 CVCS 정화탈염기 구성

CVCS 정화이온탈염기는 3개로 구성되며 기계적 설계 특성은 동일하다. 탈염기의 용도에 따라 정화용, 리튬제거용, 탈붕소 제거용으로 사용하며, 3개의 탈염기는 대부분 혼상수지(양이온+음이온)로 채워지나 발전소마다 운전방법이 상이하여 혼상수지의 비율을 다르게 사용한다. 정화용탈염기는 정상운전중 원자로에서 발생하는 방사성물질 및 화학성분을 제거하는데 사용되며, 리튬제거탈염기는 운전중 발생하는 리튬을 조절하여 원자로냉각재의 일정 pH를 유지하도록 하는 기능을 한다. 이를 통해 1차계통기기의 부식을 방지 및 연료의 건전성을 확보한다. 또한 탈붕소탈염기는 노심말기에 원자로냉각재내의 붕소제거를 통해 액체 폐기물의 발생량을 감소시키는 용도로 사용한다. CVCS 정화탈염기의 구성과 탈염기의 세부 구성도는 그림 3.1, 3.2에 나타내었다. [3]

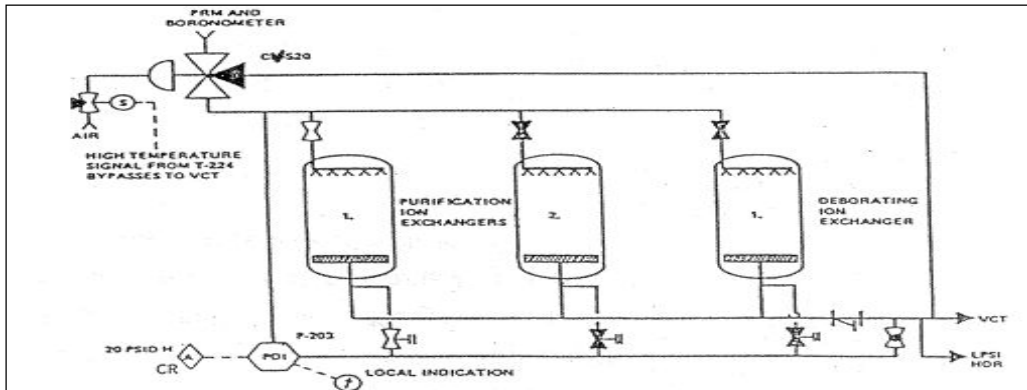


그림 3.1 CVCS 정화탈염기 구성도

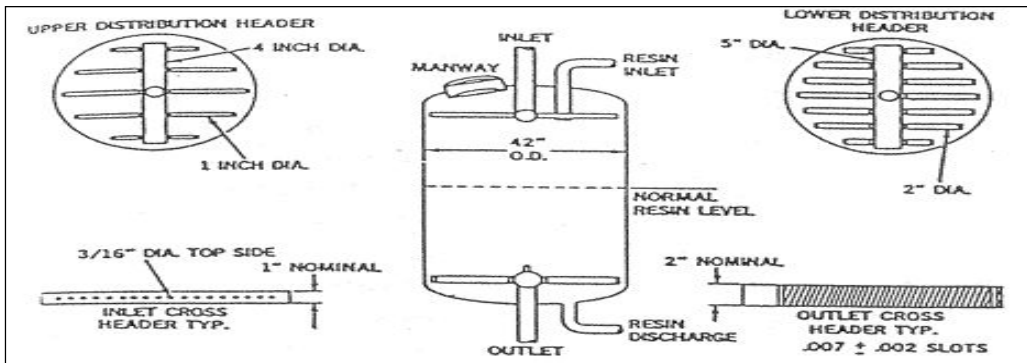


그림 3.2 정화탈염기 세부 구성도

## 2. 국내발전소 CVCS탈염기 운영 현황

국내 가압형 발전소는 다음 표에서 보듯이 3개의 탈염기로 구성되며 각각의 용도에 따라 이온교환수지 충전량을 다르게 하여 사용하고 있다. 가장 큰 특징은 정화용탈염기에 양이온수지의 종류 및 형태가 발전소마다 다르게 사용하는 것과 리튬제거탈염기의 양이온과 음이온 비율이 다르다는 것이다. 이러한 차이점은 결국 폐수지의 교체량에 영향을 주는 것으로 다음 표 3.1에서 알 수 있다.

표 3.1 국내발전소 CVCS 정화탈염기 운영 현황

해당발전소 (가압경수로형)	리튬제거 탈염기 수지형태	정화용탈염기 수지형태	탈봉소 탈염기	수지 교체량
고리1,2발 한울1발 한빛1발	▶ R-H <sup>+</sup> = 100%	▶ 리튬포화형 혼상수지 (R-LI <sup>+</sup> / R-OH <sup>-</sup> )	없 음	2000~3000 ℓ 리튬제거탈염기 기능상실 현상 발생
한빛2발 한울2,3발	▶ R-H <sup>+</sup> = 90% ▶ R-OH <sup>-</sup> = 10%		리튬포화 혼상 수지	
한빛3발	▶ R-H <sup>+</sup> = 40% ▶ R-OH <sup>-</sup> = 60%	▶ 리튬비포화형혼상수지 (R-H <sup>+</sup> / R-OH <sup>-</sup> )	혼상 수지	1000 ℓ
※ CANDU형 제외(월성1.2)				

## 3. 국내발전소 CVCS 정화탈염기 사용방법 비교

현재 국내 가압경수로 발전소의 CVCS 정화이온탈염기의 폐이온교환수지의 발생량이 상이하다는 것을 알 수 있다. 이는 발전소마다 탈염기의 운영방법의 차이에 의해서 나타난 현상으로 파악되며 다음과 같이 요약 할 수 있다.

가. 발전소마다 리튬제거탈염기의 이온교환수지의 비율을 다르게 충전하여 사용.

나. 한빛 3발전소만 정화용탈염기에 리튬비포화형 혼상수지를 사용.

다. 고리2, 한빛 1발전소 타입의 발전소는 탈봉소탈염기를 BTRS설비로 대체하여 사용하지만 BTRS 설비를 운영하기 위해 많은량의 희석수가 필요하게 되

는 문제점이 있다.

- 라. 한빛2, 한울2,3발전소는 탈붕소용탈염기에 리튬포화형수지를 사용하여 탈붕소용으로 사용후 다음 주기에 정화용으로 사용함으로써 1회 재사용한다[8].
- 마. 한빛 5,6호기는 탈염기전체에 리튬비포화형 수지로 동일한 비율로 충전하여 용도만 변경하여 사용함에 따라 1개의 탈염기를 2회 재활용후 폐기한다. 즉 1개의 탈염기를 탈붕소용→ 리튬제거용 → 정화용 → 폐기 순서로 사용하며 정화용으로 쓰기 위해서 필요한 리튬을 리튬제거용으로 사용시 계획예방정비 기간동안 정화용에서 용출된 리튬을 회수하여 사용하고 있다.
- 바. 이온교환수지를 2회 재활용 함에따라 매주기(15개월)마다 페이온교환수지의 발생량이 한빛3발전소가 타 발전소에 비해 상대적으로 적게 발생함을 알 수 있다.

#### 4. CVCS탈염기 사용상의 문제점 및 페이온교환수지 발생량 분석

##### 가. 정화용탈염기의 사용상의 문제점

정화용탈염기는 원자로에서 발생한 방사성물질 및 불순물을 제거 목적으로 리튬포화형 혼상수지를 쓰는 것이 일반적인 방법으로 여겨지나, 리튬포화형수지를 사용함에 따라 정상운전중 리튬제거탈염기의 기능이 조기 상실되는 문제점이 발생하고 있으며 이로인해 계획예방정비기간중 리튬제거탈염기와 정화용탈염기를 모두 교체함에 따라 폐기물의 발생량이 증가되는 현상이 발생한다. 또한 연료결합시 탈염기를 교체할 경우 요오드(I) 및 제논(Xe) 등의 방사성물질의 다량 발생으로 작업자의 피폭을 초래하게 된다.

이러한 현상은 정화용탈염기의 양이온수지에 리튬포화수지를 사용함에 따라 발생되는 문제로 4장의 실험을 통해 증명하고자 한다.

반면, 한빛5,6호기는 이러한 문제를 해결하기 위해 정화용탈염기에 리튬비포화형 혼상수지를 충전하여 리튬포화형수지를 사용함에 따른 문제점 해결하고자 하였으며, 시스템 개선을 통해 페이온교환수지를 장기간 보관후 폐기 할수 있도록 하였다.

## 나. 리튬제거사용상의 문제점

정화용탈염기에 리튬포화형 혼상수지를 사용함에 따른 리튬제거용탈염기의 조기 기능상실 문제를 해결하기 위해 양이온수지의 비율을 90%이상으로 늘려 리튬 제거능력을 높여 사용하고 있으나, 일정기간이 지난후 대부분 다시 기능상실 문제가 일부 발생되고 있으며, 또한 탈염기를 재사용 할 수 없어 폐기해야 하는 문제가 발생되고 있다. 이러한 현상이 발생하는 원인은 리튬제거탈염기는 원자로냉각재(RCS)계통에 생성된 리튬(Li)농도 조절을 하는 것이나 추가적으로 정화용탈염기에 사용중인 리튬이 과포화된 양이온수지에서 용출된 리튬까지 제거함에 따라 발생하는 문제임을 4장의 실험을 통해 증명하고자 한다.

## 다. 탈붕소탈염기 사용상의 문제점

탈붕소탈염기의 주목적은 노심말기 반응도 보상을 위해 원자로냉각재(RCS)계통의 붕소 제거에 있으며 원자로냉각재 붕소 농도가 50ppm 일때 사용한다.

한빛2, 한울2,3발전소는 탈붕소용탈염기에 리튬포화형수지로 충전하여 사용한 후 다음 주기에 정화용으로 재활용함에 따라 정화용으로 사용시 리튬제거탈염기의 조기기능상실 문제점이 지속적으로 발생하고 있다.

반면 한빛3발전소는 리튬비포화형수지를 4:6 또는 5:5의 비율로 충전하여 탈붕소용으로 사용후 다음 주기에 정화용이 아닌 리튬제거용으로 1회 재활용후 폐기하지 않고 정화용으로 2회 재사용후 폐기하는 방법을 사용하고 있다.

## 라. 폐이온교환수지 발생량 분석

한빛3발전소가 타 발전소에 비해 폐이온교환수지의 발생량이 상대적으로 적은 이유는 정화용탈염기에 리튬포화형 양이온수지를 사용하지 않음에 따라 리튬제거탈염기의 조기 기능상실 문제를 발생시키지 않았고 그에 따라 탈염기를 2회 재사용이 가능해져 결과적으로 폐이온교환수지의 발생량을 상대적으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

# 제 4장 CVCS 정화탈염기 운영방법 개선 연구

## 1. 개 요

원자로에서 발생하는 방사성물질 제거시 사용하는 이온교환수지는 매주기마다 2000~3000L정도 폐수지로 발생되고, 이 폐수지는 사용후 연료처럼 고준위 폐기물에 해당된다. 현재 고준위 방폐장이 해결되지 않은 상황에서 지속적인 고준위 폐기물의 발생은 원자력발전소 안전운영에 막대한 차질을 빚게 될 것이다. 따라서 이온교환수지의 재활용은 폐기물 발생량 감소와 직결 되므로 CVCS 정화탈염기의 운전방법 개선 및 리튬포화 이온교환수지사용의 문제점을 파악하여 폐이온교환수지의 발생량을 획기적으로 감축하는데 있다.

## 2. 실험계획

- 가. 정화용탈염기의 양이온수지에 리튬포화수지를 사용함에 따라 발생하는 문제를 실험을 통해 확인하고자 한다.
- 나. 계획예방정비중 정지화학처리시 원자로냉각재(RCS)계통의 리튬(Li)농도가 지속적으로 상승 하는 원인을 규명하여 이를 정상운전중 리튬제거탈염기의 기능상실 문제를 해결 및 발생된 리튬을 재활용하는 방안을 모색하고자 한다.
- 다. 실험실적 분석결과를 실제 한빛 5,6호기에 적용하여 실증시험을 통해 CVCS 정화탈염기를 2회 재활용하는 방법을 체계화 하고자 하였다.

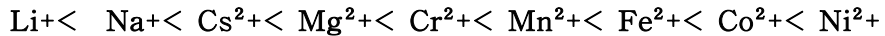
## 3. 실험방법

- 가. 현재 국내 발전소에서 정화용탈염기의 양이온 수지에 사용중인 리튬포화수지와 비포화수지를 비교하여 리튬포화수지 사용상의 문제점을 실험을 통해 증명하고자 한다.
  - 1) 리튬포화수지와 비포화수지에 순수( $H_2O_2$ )를 주입시켜 용출액의 특성을 파악하고자 pH, 리튬 농도를 측정한다.
    - 리튬(Li) 농도측정 : 리튬포화수지에 리튬이 과포화 되어 있음을 확인하고자 한다.
    - pH : 용액이 산성인지 염기성인지 강도를 조사하는 측정수치

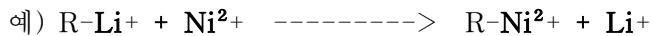
나. 리튬포화수지에 염화제2철( $\text{FeCl}_2$ )를 주입시켜 수지 후단에서 리튬 용출 무유확인을 통해 계획예방정비시 원자로냉각재계통(RCS)에 리튬농도 증가현상을 실험을 통해 확인 하고자 하였다.

1) 2가 금속이온( $\text{FeCl}_2$ )이 리튬포화수지에 주입되면 1가의 리튬(Li)과 치환반응이 일어나 리튬이 탈염기 후단으로 용출될 가능성을 확인하는 실험을 하였다.

1-1) 수지(Resin)의 이온 선택도[2]



▶ 오른쪽으로 갈수록 수지(Resin)에서 잘 제거됨.



※ 정화탈염기에  $\text{Ni}^{2+}$ 이 들어오면 탈염기는  $\text{Ni}^{2+}$ 을 제거하고  $\text{Li}^+$  배출함.

다. 한빛 5,6호기 계획예방정비시 정화용탈염기 전후단 시료를 채취하여 성분 분석을 통해 탈염기내에서 일어나는 화학작용 및 탈염기에서 용출된 리튬을 회수 가능성을 확인하는 실험을 실시하였다.

1) 6호기 6차 계획예방정비시 정지화학처리중 원자로냉각재에 강산화제인 과산화수소( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 처리시 정화용탈염기 전후단 방사능(Co, Ni, Fe) 분석 및 리튬(Li) 농도 측정을 통해 탈염기 후단으로 리튬이 용출됨을 확인하는 실험을 실시하였다.

2) 5호기 7차 계획예방정비시 정지화학처리중 원자로 냉각재에 강산화제인 과산화수소( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 처리시 정화용탈염기 전단 방사능(Co, Ni, Fe) 변화량 분석 및 탈염기 전후단의 리튬(Li) 농도 측정 후 리튬제거탈염기로 정화용탈염기 후단에서 용출된 리튬을 회수 가능성을 확인하는 실험을 하였다.

## 4. 실험과정

### 가. 리튬포화양이온수지와 비포화양이온수지에 특성파악 실험

먼저 리튬포화수지와 비포화수지를 500ml 메스실린더에 400ml씩 채운후 순수를 각각 1ℓ씩 주입시켜 용출된 시료의 pH 및 리튬(Li)농도 측정을 통해 현재 국내 발전소에서 사용하는 리튬이 포화된 이온교환수지의 특성을 파악하고자 하였으며 이과정은 그림 4.1, 4.2에 나타내었다.

#### 1) 리튬포화수지와 비포화수지에 순수(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 주입

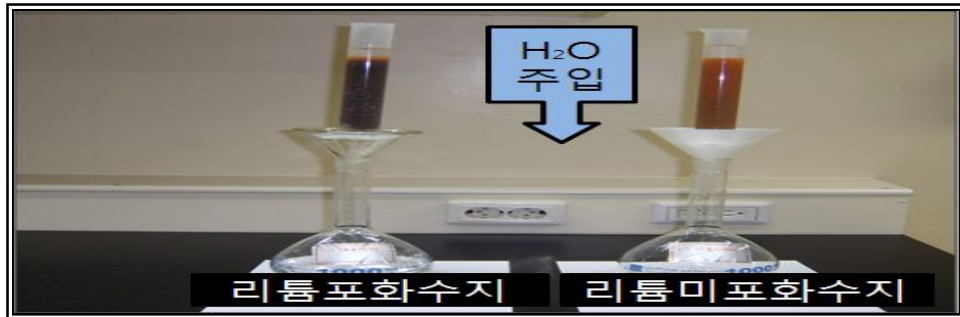


그림 4.1 순수주입 실험

#### 2) 수지에서 용출된 시료의 pH 및 리튬(Li)농도 측정

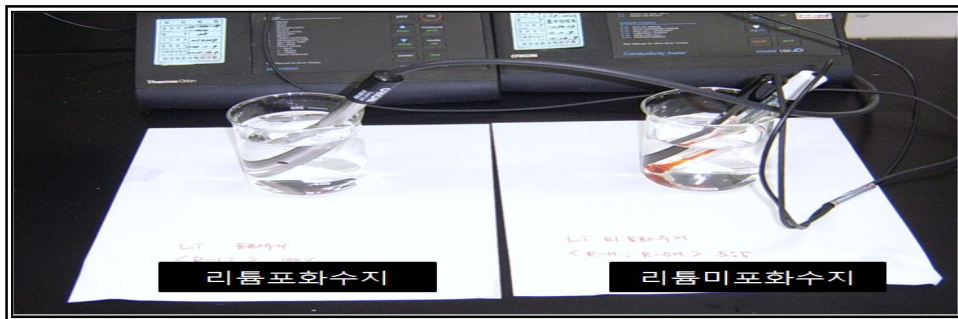


그림 4.2 pH, Li 측정실험

#### 3) 리튬포화양이온수지와 비포화양이온수지의 비교시험 결과

이번 실험은 리튬포화수지와 비포화수지의 특성을 비교한 실험으로 실험결과는 표 4.2에 나타내었다.

표 4.2 리튬포화수지와 비포화수지 후단 용출액 비교 실험

시료명	리튬포화양이온수지	리튬비포화양이온수지
수행일	2009. 05. 17	2009. 05. 17
pH	9.09	4.99
Li(ppm)	0.48	N/D
실험 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 리튬포화수지후단에서 <b>pH상승, 리튬농도 증가현상 발생</b></li> <li>▶ 실험을 통해 리튬포화수지에 리튬이 과포화되어 있음을 확인 하였으며, 이는 정상운전중 정화용탈염기에 사용중인 리튬포화수지에서 리튬이 용출되고 있음을 실험을 통해 알수 있었다. 또한 리튬제거탈염기의 조기 기능상실 문제가 발생하는 원인은 리튬제거탈염기의 주용도인 원자로에서 생성된 리튬농도 조절 뿐만아니라 부수적으로 정화용탈염기에서 용출된 리튬까지 제거함에 따라 조기 기능상실 문제가 발생하는 것이다.</li> </ul>	

나. 리튬포화 양이온수지에 염화제2철( $FeCl_2$ )를 주입시켜 수지 후단에서 리튬 용출 유무확인 실험

500ml 메스실린더에 400ml의 리튬포화수지를 채운후 염화제2철( $FeCl_2$ )을  $H_2O$  1ℓ 로 희석하여 농도를 10ppm으로 제조하여 리튬포화이온교환수지에 주입후 용출액의 리튬농도를 원자흡광분석기(Atomic Absorption Spectrometer)로 측정 하였으며, 이는 계획예방정비시 RCS에 지속적으로 리튬농도 증가 현상을 규명 하고자 한 실험으로 그 과정은 그림 4.3, 4.4에 나타내었다.

1) 염화제2철( $FeCl_2$ )을 리튬포화수지에 주입

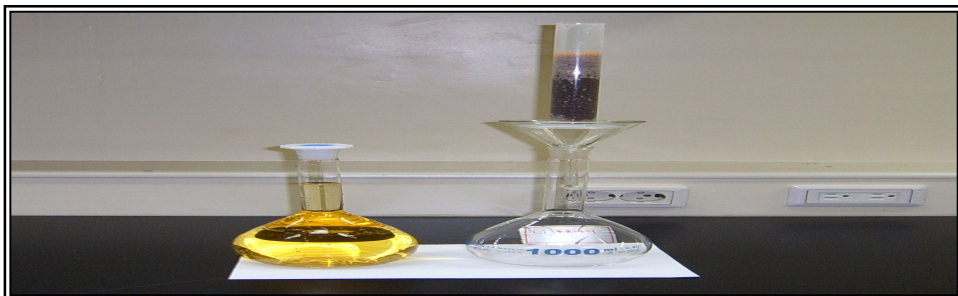


그림 4.3 염화제2철 주입실험



2) 염화제2철을 리튬포화수지에 용출후 리튬농도 분석

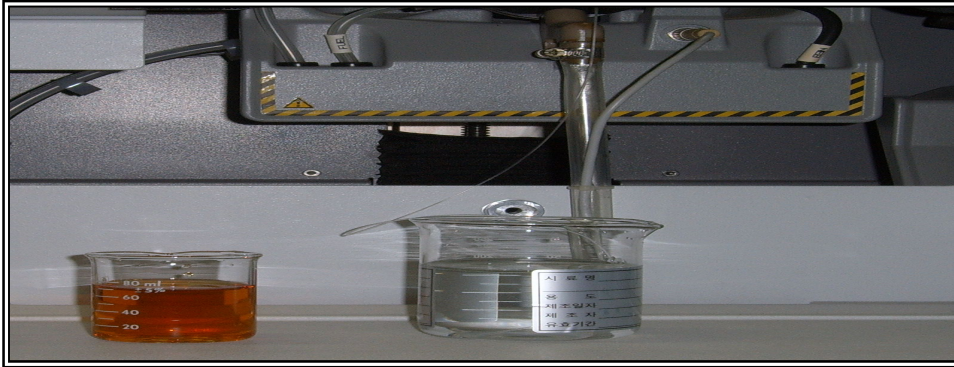


그림 4.4 염화제2철 주입후 용출액 리튬분석 실험

3) 실험결과

이 실험은 이온교환수지의 이온선택도에 따른 방사능 제거과정을 실험을 통해 증명하고자 하였으며, 그 결과는 다음 표 4.3에 나타내었다.

표 4.3 리튬포화수지에 염화제2철을 주입후 용출액 분석표

실험 결과	시료명	리튬포화양이온수지 전단	리튬비포화양이온수지 후단
	수행일	2009. 05. 17	2009. 05. 17
	FeCl <sub>2</sub> (ppm)	10	4
	Li(ppm)	N/D	2.3
<p>▶ 리튬포화수지후단에서 리튬용출</p> <p>▶ 수지의 이온선택반응에 따라 염화제2철(FeCl<sub>2</sub>)중 2가의 철이온(Fe<sup>2+</sup>) 이 이온교환수지에 포획되고 수지에 포획되어 있던 1가의 리튬(Li<sup>+</sup>) 이 수지에서 용출됨을 확인 하였다.</p> <p style="text-align: center;"><u><math>R-Li^+ + Fe^{2+} \text{ -----} &gt; R-Fe^{2+} + Li^+</math></u></p> <p>▶ 계획예방정비시 정지화학처리중에 원자로냉각재계통(RCS)의 지속적인 리튬농도 증가 현상은 이온선택반응에 따라 2가 이상의 방사성 물질이 제거되고 정화탈염기에 포획되어있던 리튬이 용출되는 현상임을 알 수 있었다. 또한 이때 발생된 리튬은 현재 운영방법에서는 전량 폐기되고 있다.</p>			

다. 계획예방정비시 한빛5,6호기 정화탈염기 방사능 농도 및 리튬회수 실험

1) 6호기 6차 계획예방정비시 정지화학처리중 원자로 냉각재에 강산화제인 과산화수소 처리후 정화탈염기 전-후단 Ni, Co, Fe, Mn 농도 및 탈염기전-후단 리튬농도 분석을 통해 실험실적 이온선택반응도 결과를 한빛 6호기에서 현장 실증 실험을 실시하였다.

① 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 처리후 정화용탈염기 전-후단 Ni, Co, Fe, Mn 농도 변화 추이는 표 4.4와 같다.

표4.4 6호기 6차 계획예방정비시 정화용탈염기 전후단 Ni, Co, Fe, Mn 농도 (단위:ppm)

시간	'10. 03. 19			
	13:07	21:44	22:30	23:45
Ni(전단)	0.31	3.85	3.11	2.30
Ni(후단)	0	0.70	0.70	0.40
Co(전단)	0.13	0.16	0.22	0.24
Co(후단)	0	0.14	0.30	0.13
Fe(전단)	0.34	0.20	0.24	0.09
Fe(후단)	0	0	0	0
Mn(전단)	0.02	0.031	0.034	0.028
Mn(후단)	0.02	0	0.06	0.03

② 6호기 6차 계획예방정비시 RCS내의( Ni,Co,Fe,Mn )농도는 그림4.5와 같다.

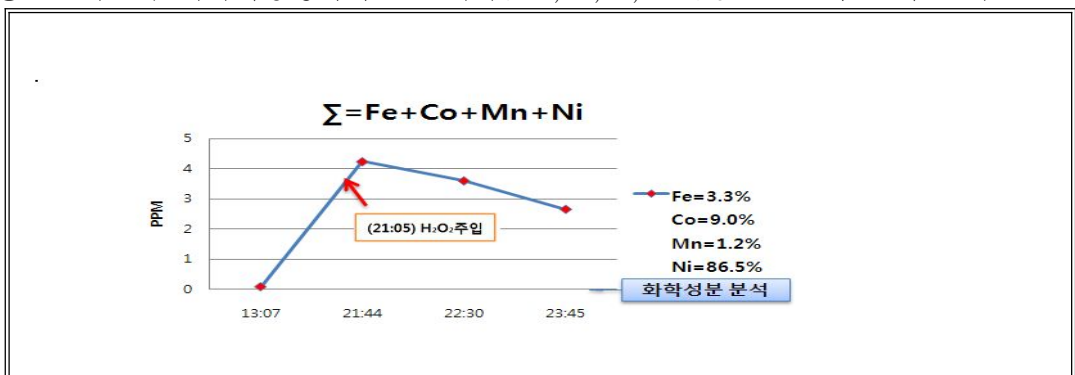


그림 4.5 6호기 6차 계획예방정비시 RCS ( Ni, Co ,Fe, Mn ) 농도 변화추이

③ 강산화제인 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 처리시 정화용탈염기 전-후단 Li 농도 변화 추이를 표 4.5에 나타내었다.

표 4.5 과산화수소 주입후 정화용탈염기 전후단 리튬 농도 분석표

‘10. 03. 19				
시간	13:07	21:44	22:30	23:45
탈염기 전단	0.29	0.27	0.27	0.28
탈염기 후단	0.08	0.25	0.25	0.99

④ 6호기 6차 계획예방정비시 RCS에 과산화수소 주입후 정화용탈염기 후단의 리튬(Li)농도 변화는 그림 4.6에 나타내었다.

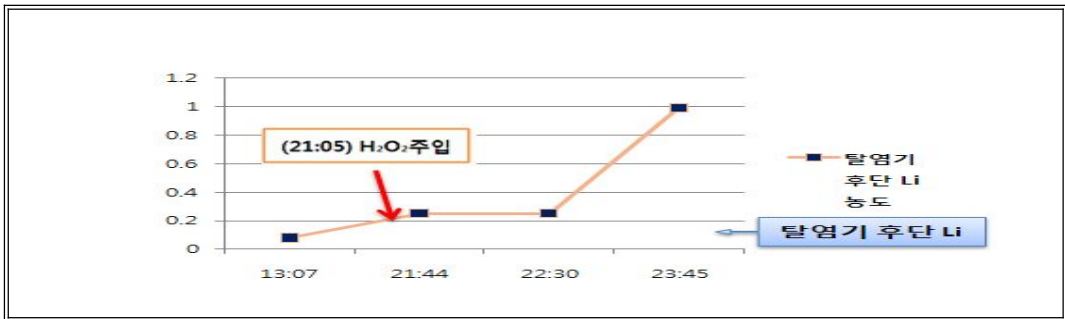


그림 4.6 과산화수소 주입후 정화용탈염기 후단의 리튬농도 변화

⑤ 6호기 6차 계획예방정비시 RE-204를 통한 방사능 변화추이 분석결과는 그림 4.7 과 같다.

측정일 : ‘10.03.17 ~ 03. 22, 화살표 : 과산화수소 주입시점 단위 :cpm



그림 4.7 6호기 6차 계획예방정비시 RCS 방사능 농도 변화량

- ◆ 3/19일 과산화수소 48kg주입(화살표는 과산화수소 주입시점)
- ◆ 산화제인 과산화수소 주입후 방사능 농도가 급격히 증가후 감소하는 추세를 보임
- ◆ 연료표면에 붙어있던 방사성 물질이 산화제에 녹아 이온화되어 정화용탈염기의 이온교환수지에서 제거됨.

2) 6호기 6차 계획예방정비시 현장실증을 통해 이온선택도에 따른 방사성물질이 제거됨과 동시에 정화용탈염기 후단으로 리튬이 용출됨을 확인하였다.

5호기7차 계획예방정비시에는 정지화학처리중 원자로냉각재계통(RCS)에 과산화수소 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)처리 전후로 Ni,Co,Fe, 농도변화를 측정하였고 정화용탈염기 후단에서 용출되는 고가의 리튬을 회수하는 실험을 실시하였다.

- ① 5호기 7차 계획예방정비시 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 주입 전후 코발트(Co)농도 변화는 표 4.6에 나타내었다.

표 4.6 5호기 7차 계획예방정비시 RCS내의 Co 농도 변화

	정화탈염기 (Purification Ion Exchanger)	비 고
분석횟수	탈염기 전단 (ppm)	
1 회	0.776	C <sub>B</sub> =180 ppm, pH=5.7
2 회	0.989	C <sub>B</sub> =1152 ppm
3 회	1.095	
4 회	1.358	C <sub>B</sub> =1922 ppm
5 회	0.527	
6 회	5.580	12.23 (07:00) 과산화수소(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) 주입
7 회	3.085	C <sub>B</sub> =2452 ppm
8 회	2.825	
9 회	2.421	정화탈염기 & 리튬 제거탈염기 직렬연결
10 회	2.108	
11 회	1.797	
12 회	1.461	
13 회	0.987	
14 회	0.934	
15 회	0.601	

16 회	0.186	
17 회	0.121	
18 회	0.060	C <sub>B</sub> =3174 ppm
19 회	0.074	C <sub>B</sub> =4164 ppm , pH= 4.58
20 회	0.054	
21 회	0.070	

② 5호기 7차 계획예방시 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 주입 전후 니켈(Ni)농도 변화는 표 4.7에 나타내었다.

표 4.7 5호기 7차 계획예방정비시 RCS내의 Ni 농도 변화

	정화탈염기 (Purification Ion Exchanger)	비 고
분 석 횟수	탈염기 전단 (ppm)	
1 회	0.075	C <sub>B</sub> =180 ppm, pH=5.7
2 회	0.117	C <sub>B</sub> =1152 ppm
3 회	0.147	
4 회	0.136	C <sub>B</sub> =1922 ppm
5 회	0.161	
6 회	0.182	12.23 (07:00) 과산화수소 주입
7 회	0.220	C <sub>B</sub> =2452 ppm
8 회	0.223	
9 회	0.212	정 화 탈 염 기 & 리 튼 제거 탈 염 기 직렬연결
10 회	0.199	
11 회	0.230	
12 회	0.201	
13 회	0.213	
14 회	0.273	
15 회	0.259	
16 회	0.231	
17 회	0.251	
18 회	0.241	C <sub>B</sub> =3174 ppm
19 회	0.245	C <sub>B</sub> =4164 ppm , pH= 4.58
20 회	0.323	
21 회	0.304	

③ 5호기 7차 계획예방시 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 주입 전후 철(Fe)농도 변화는 표 4.8에 나타내었다.

표 4.8 5호기 7차 계획예방정비시 RCS내의 Fe 농도 변화

	정화탈염기 (Purification IonExchanger)	비 고
분석횟수	탈염기 전단 (ppm)	
1 회	0.070	C <sub>B</sub> =180 ppm, pH=5.7
2 회	0.057	C <sub>B</sub> =1152 ppm
3 회	0.017	
4 회	0.155	C <sub>B</sub> =1922 ppm
5 회	0.029	
6 회	0.740	12.23 (07:00) 과산화수소 주입
7 회	N/D	C <sub>B</sub> =2452 ppm
8 회	N/D	
9 회	N/D	정화탈염기&리튬제거탈염기 직렬연결
10 회	N/D	
11 회	N/D	
12 회	N/D	
13 회	N/D	
14 회	N/D	
15 회	N/D	
16 회	N/D	
17 회	N/D	
18 회	N/D	C <sub>B</sub> =3174 ppm
19 회	N/D	C <sub>B</sub> =4164 ppm , pH= 4.58
20 회	N/D	
21 회	N/D	

- ④ 5호기 7차 계획예방시 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 주입 전후 정화탈염기 전-후단 리튬(Li) 농도 및 리튬제거탈염기로 페리튬 회수과정을 표 4.9에 나타내었다.

표 4.9 5호기 7차 계획예방정비시 페리튬 회수 과정표

분석횟수	정화탈염기 (Purification Ion Exchanger)		리튬(Li)제거 탈염기	비고
	탈염기전단 (ppm)	탈염기후단 (ppm)	탈염기 후단(ppm)	
1 회	0.50	0.66		C <sub>B</sub> = 180 ppm, pH=5.7
2 회	0.49	0.96		
3 회	0.56	0.98		
4 회	0.53	0.79		
5 회	0.62	0.96		
6 회	0.61	0.91		12.23 (07:00) 과산화수소 주입
7 회	0.65	0.89		
8 회	0.63	0.88		
9 회	0.53	1.21	0.03	정화탈염기&리튬 제거탈염기 직렬 연결, 리튬회수
10 회	0.46	1.20	0.03	
11 회	0.38	1.08	0.03	
12 회	0.30	0.99	0.04	
13 회	0.22	0.85	0.05	
14 회	0.20	0.81	0.06	
15 회	0.16	0.73	0.05	
16 회	0.19	0.52	0.20	
17 회	0.21	0.48	0.24	
18 회	0.36	0.59	0.21	
19 회	0.22	0.83	0.75	C <sub>B</sub> =4164 ppm, pH= 4.58
20 회	0.31	0.64	0.77	
21 회	0.60	0.35	0.78	리튬회수 완료

⑤ 5호기 7차 O/H시 RE-204를 통한 방사능 변화추이 분석결과는 그림4.8와 같다.  
 측정일 : ` 10.12.22 ~ 12.25 , 화살표 : 과산화수소 주입시점 단위 :cpm



그림 4.8 5호기 7차 계획예방정비시 RCS 방사능 농도 변화량

- ◆ 12.23일 과산화수소 56kg주입(화살표는 과산화수소 주입시점)
- ◆ 산화제인 과산화수소 주입후 방사능 농도가 급격히 증가후 감소하는 추세를 보임
- ◆ 연료표면에 붙어있던 방사성 물질이 산화제에 녹아 정화용탈염기에서 제거됨.

### 3) 실험결과

기 실험은 한빛 5,6호기 계획예방정비기간중에 이루어진 실험으로 정화탈염기 주변에서 일어나는 화학적인 변화를 실험을 통해 확인하고 탈염기에서 용출되는 고가의 리튬을 회수하여 재사용하는 것에 주 목적으로 진행되었다.

실험은 한빛5,6호기 정지화학처리중에 일어나는 화학적 변화를 데이터화 하는데 있으며 원자로에서 유출된 방사능의 제거 및 정화용탈염기내에서 일어나는 화학적인 변화과정을 실험을 통해서 확인하고자 하였다.

먼저 6호기에서는 계획예방정비중 정지화학처리시 원자로냉각재계통에 지속적으로 리튬(Li) 농도가 증가하는 현상을 규명하고자 하였다.

강 산화제인 과산화수소( $H_2O_2$ )를 원자로 냉각재에 주입후 정화용탈염기 전후단의 방사능 농도 변화와 탈염기 후단에서의 리튬(Li)농도 변화량을 측정하였다.

실험결과 과산화수소 주입후 RCS에 주종을 이루는 Ni, Co ,Fe, Mn의 농도변화에서 보듯이 이온 선택반응에 따라 2가의 방사성 물질이 제거되고 탈염기에 포획되어 있던 1가의 리튬이 용출됨을 확인하였으며, 정화용탈염기후단에서 리튬농도의 지속적 증가 현상을 증명하였다.



5호기의 경우는 계획예방정비시 정화용탈염기에서 용출되는 리튬을 회수하여 재사용하는 것을 목표로 설정하여 실험을 실시하였다.

정지화학처리중 강산화제인 과산화수소( $H_2O_2$ ) 주입시 연료표면에서 용출된 방사성 물질이 정화탈염기로 제거되면서 방사능농도가 감소되는 것을 방사능 농도 분석 및 RE-204의 변화로 확인하였다. 또한 이온선택도에 의해서 탈염기 후단에서 리튬이 용출됨을 실험을 통해서 확인하였으며, 탈염기 후단에서 용출된 리튬을 리튬제거탈염기로 회수하여 다음 주기에 정화용으로 사용이 가능함을 알 수 있었다.

## 5. 실험 평가

본 실험은 CVCS 정화탈염기의 효율적 사용으로 폐이온교환수지의 발생량을 획기적으로 감축하는 것을 목적으로 시행되었다.

현재 정화용탈염기에 리튬포화수지를 사용함에 따른 문제점을 실험을 통해 알 수 있었고 계획예방정비시 원자로냉각재에 지속적으로 증가된 리튬의 출처 및 재사용가능성을 확인 할 수 있었다. 또한 이를 바탕으로 CVCS 정화탈염기의 2재 사용이 가능함을 알 수 있었다.

### 가. 정화용탈염기에 리튬포화수지 사용의 문제점 확인

현재 국내발전소에서 발생하고 있는 리튬제거 탈염기의 조기 기능상실의 문제점의 원인은 정화용탈염기의 양이온수지에 리튬포화수지를 사용하기 때문에 발생하는 것을 순수 주입( $H_2O$ ) 실험을 통해 알 수 있었다. 즉 정화용탈염기의 양이온수지에는 일정량의 리튬이 포화되어 있어야 하나 현재의 리튬포화수지에는 과량의 리튬이 과포화 되어있어 정상운전중 과량의 리튬(Li)이 원자로 냉각재로 용출되어 리튬제거탈염기에서 제거됨에 따라 리튬제거탈염기의 기능이 조기상실하게 되는 것이다.

이는 리튬제거탈염기의 주요 목적인 원자로에서 발생된 리튬을 조절하는 것이나 정화용탈염기에서 용출된 리튬까지 제거함에 따라 기능이 조기상실 하게 되는 것을 알 수 있었다.

### 나. 정화용탈염기에서 리튬이 용출됨을 확인

리튬이 포화된 양이온 수지에 염화제2철( $FeCl_2$ ) 수용액을 주입결과 수지내에서 이온선택반응에 의해서 2가의 철이 제거되고 수지에 잡혀 있던 1가의 리튬이 용출됨

을 알 수 있었다. 이는 계획예방정비기간시 정지화학처리 공정중 원자로냉각재계통(RCS)에 리튬이 미 존재해야 하나 방사성물질 제거 과정에서 정화용탈염기에서 지속적으로 용출이 됨을 실험을 통해 알 수 있었다. 원자로냉각재에 용출된 리튬이 다음 주기에 리튬제거용탈염기로 제거함에 따라 리튬제거탈염기의 조기 기능상실 문제를 유발하며 폐이온교환수지를 다량 발생시키는 원인임을 알 수 있었다.

#### **다. 영광 5,6호기 계획예방정비기간에 리튬회수 확인**

실험적으로 증명된 사항을 실제 발전소에서 적용하여 실증 실험을 하였다.

계획예방정비시 정화용탈염기에서 방사성 물질이 제거되면서 탈염기 후단으로 리튬이 용출됨을 확인하였고 이를 리튬제거용탈염기로 회수를 통해 다음주기에 리튬제거용탈염기의 기능상실 문제를 해결 할 수 있었으며, 리튬제거용탈염기를 재활용하여 다음 주기에 정화용으로 쓰기 위해 필요한 일정량의 리튬을 추가 투입 없이 계통에서 회수하여 사용이 가능함을 알 수 있었다.

# 제 5장 새로운 CVCS 정화탈염기 운영방안

## 1. 개요

새로운 CVCS 정화탈염기의 운전방법을 통하여 폐이온교환수지의 발생량 감소 및 탈염기의 운전방법을 시스템화 하는데 있다.

## 2. 새로운 CVCS 정화탈염기 운영방법

기존의 CVCS 정화탈염기의 운영방법을 개선하여 폐이온교환수지의 발생량을 획기적으로 감축하는 방법을 그림5.1에 나타내었다.

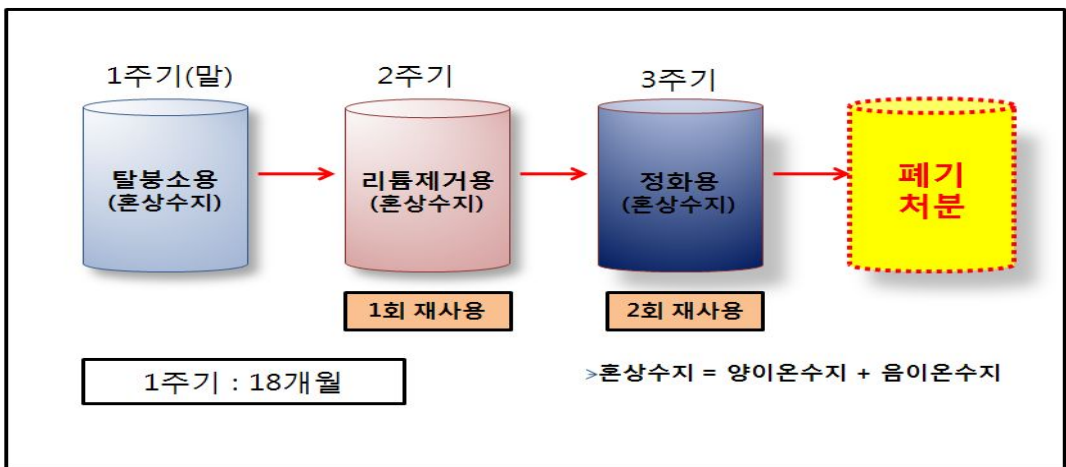


그림 5.1 개선된 CVCS 정화탈염기 운영안

- 가. 한개의 고팡사성 이온교환수지를 3주기(54개월)를 사용후 폐기하는 시스템
- 나. 정화용탈염기에 국내 타 발전소와 다르게 **리튬포화수지**를 사용하지 않음
- 다. 한개의 이온교환수지를 3주기를 사용함에 따른 폐기물 발생량을 50%이상 감축
- 라. CVCS 탈염기 3대에 동일 혼상수지로 충전하여 이를 용도만 다르게 사용하여 1대당 3주기를 연속운전
- 마. (첫주기)탈봉소용 → (둘째주기)리튬제거용 → (세째주기)정화용 → 다음 주기 말까지 보관후 방사선준위를 저감후 폐기순으로 사용하는 시스템

### 3. 새로운 시스템을 한빛 5,6호기 적용 실적

기존 CVCS정화탈염기의 운전방법을 개선한 시스템을 도입하여 한 개의 탈염기로 3주기를 사용이 가능함을 영광 한빛 5,6호기에 적용한 이력을 확인하고자 한다.

가. 5호기에서 한 개의 탈염기를 3회 이용한 이력 (한개의 CVCS 정화탈염기를 6, 7, 8주기를 사용)을 표 5.1에 나타내었다.

표 5.1 한빛 5호기 CVCS 정화탈염기 운영실적

5호기	사용 용도	사용 기간	비 고
6 주기 (1회)	탈붕소용 탈염기	'09, 08.11 ~ 08.19	6주기말 사용
7 주기 (2회)	리튬제거용 탈염기	'09, 09.19 ~ '10, 12.26	
8 주기 (3회)	정화용 탈염기	'11, 1.17 ~ '12, 5.7	'12년 5월 O/H후 폐기

나. 6호기에서 한 개의 탈염기를 3회 이용한 이력 (한개의 CVCS 정화탈염기를 5, 6, 7주기를 사용)을 표 5.2에 나타내었다.

표 5.2 한빛 6호기 CVCS 정화탈염기 운영실적

6호기	사용 용도	사용 기간	비 고
5 주기 (1회)	탈붕소용 탈염기	'08, 10.28 ~ 11.01	5주기말 사용
6 주기 (2회)	리튬제거용 탈염기	'08, 12.10 ~ '10, 03.18	
7 주기 (3회)	정화용 탈염기	'10, 04.21 ~ '11. 07.11	'11년 7월 O/H후 폐기

#### 4. 새로운 시스템을 한빛 5,6호기 적용 이력

한 개의 탈염기로 탈붕소용 → 리튬제거용 → 정화용 → 폐기 순으로 사용이 가능함을 영광 한빛 5,6호기에 적용하여, 탈붕소용으로 사용한 시점부터 정화용으로 사용후 폐기까지 이온교환수지를 3주기를 사용해도 문제가 없음을 실제 발전소 현장에 적용하여 그 결과를 확인하였다.

가. 탈붕소탈염기 운전에 따른 회석수 절감을 통해 액체폐기물의 발생을 감소시켰으며 그 결과는 표 5.3에 나타내었다. (1회사용)

표 5.3 한빛 5,6호기 탈붕소용탈염기 운영실적

해당호기 및 수행일시	in (ppm)	out (ppm)	붕소제거량 (▲CB)ppm	절감 회석수량(L)
<b>5호기 6주기</b> 계획예방정비시 '09, 08/11 ~ 08/19	44	16	28	231,084
<b>6호기 5주기</b> 계획예방정비시 '08, 10/28 ~ 11/01	50	28	22	132,446

나. 시스템 개선을 통해 리튬제거탈염기의 조기 기능상실문제를 해결하였고, 리튬제거용탈염기의 운영결과는 표 5.4에 나타내었다. (2회사용)

표 5.4 한빛 5,6호기 리튬제거용탈염기 운영실적

해당호기 및 수행일시	결 과
<b>5호기 7주기</b> '09, 09/19 ~ '10, 12/26	한빛5,6호기는 정상운전중 리튬제거탈염기의 조기기능상실 문제가 발생하지 않음
<b>6호기 6주기</b> '08, 12/10 ~ '10, 03/18	

다. 리튬제거탈염기로 2회 사용후 정화용탈염기로 3회 사용한 운영결과는 표 5.5에 나타내었다.(3회사용)

표 5.5 한빛 5,6호기 정화용탈염기 운전실적

측정일시	5호기 8주기		측정일시	6호기 7주기	
	'11, 1.17 ~ '12, 5.7 전/후단 방사능(Bq/cc)			'10, 04.21 ~ '11. 07.11 전/후단 방사능(Bq/cc)	
'11. 1 / 26	7.57E+02/ N/D		'10. 05 / 19	5.34E+01/ N/D	
'11. 6 / 30	6.65E+02/ N/D		'10. 10 / 06	4.69E+01/ N/D	
'11. 11 / 30	8.74E+02/ N/D		'11. 03 / 19	7.96E+01/ N/D	
'12. 04 / 23	1.03E+03/ N/D		'11. 06 / 01	7.51E+01/ N/D	
체염계수(DF)측정 : 탈염기 전후단 방사능 농도비를 구한값으로 발전소에서는 DF값이 10 이상이면 성능이 양호함을 의미한다.					

## 5. 새로운 시스템 적용실적 평가

한빛 5,6호기의 실적 평가로 한 개의 탈염기를 2회 재사용이 가능함을 알 수 있으며 폐이온교환수지의 발생량이 타 발전소에 비해서 상당량을 감축 할 수 있음을 알 수 있었다.

## 제 6 장 결 론

본 논문은 발전소에서 발생하는 고방사성 폐이온교환수지의 발생량을 획기적으로 감축하여 발전소의 안정운영 및 수익성 증대를 이루기 위해서 수행 하였으며 발전소별로 상이한 CVCS 정화탈염기의 운전방법을 체계화하고자 하였다.

CVCS 탈염기를 2회 재사용, 즉 3회 사용하는 방법은 세계 최초로 시도된 방법이며 이는 국내발전소의 신기술 확보 및 국제 원전산업에서 경쟁력 우위를 점할 수 있는 기술이라고 생각한다.

실험실 연구 및 영광 한빛 5,6호기 현장 실증을 통해 CVCS 정화탈염기 2회 재사용 시스템은 체계화 할 수 있었다.

한빛 5,6호기의 운전방법이 타 발전소와 가장 큰 차이점은 CVCS 탈염기 3대 모두 리튬비포화 혼상(양이온+음이온)수지를 사용하고 있어, 용도를 변경하여 재사용 할수 있었다는 점이다.

일반적으로 정화용탈염기에 쓰이는 리튬포화수지는 필요 이상의 리튬이 포화되어 있어 운전중 리튬제거용 탈염기의 기능을 조기상실하게 함을 알 수 있었으며 이는 결국 폐기물 발생량을 증가 시키는 주 원인으로 확인되었다.

또한 한빛 5,6호기에서 알 수 있듯이 계획예방정비기간중에 정화용탈염기에서 용출된 리튬을 리튬제거탈염기로 회수하여 재활용하면 불필요하게 값비싼 리튬포화수지를 사용하지 않아도 되며, 용출된 리튬을 정상운전중에 리튬제거탈염기로 제거함에 따른 리튬제거탈염기의 기능상실 문제를 방지 할 수 있을 것이다.

향후 한빛 5,6호기의 CVCS 정화탈염기의 운전방법이 전 발전소로 확대되어 사용된다면 고방사성 폐기물의 발생량을 획기적으로 감축할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- [1] 박경록, “Technology Intelligence 활동 보고서(중,저준위 폐기물(등급 B/C)저감 지침).” 한국수력원자력(주) 중앙연구원 처리기술팀, pp 5~18, 2010.
- [2] 이인현, “원전계통내 방사성물질의 제거효율 증대를 위한 탈염기 운전특성개선”. 한국수력원자력(주), 기초전력공학공동연구소, pp. 1~13, 115~158, 160~163, 314~321, 385~443. 2002.
- [3] 영광원자(본), “영광5,6호기 표준형 계통설명서”. 개정판1, 영광원전 2000-001, pp. 107~109, 123~124. 2000.
- [4] 영광원자(본), “영광5,6호기 실무이론교재(상)”. 2004-영광-단038. pp. 33~38. 2004.
- [5] 영광원자(본), “영광5,6호기 실무이론교재(하)”. 2004-영광-단038, pp. 158~164, 171~195, 329~339. 2004.
- [6] 한국수력원자력 원자력교육원, “원전1차계통수질관리”. 교육총괄부, 개정4, 원자교-단80. 화학-10, pp. 135~189, 255~267. 2000.
- [7] 맹완영, 최병선, 연제원, 강덕원 이혜복, “원자력수화학편람”. 한국원자력연구원, pp. 227~255, 290~301, 343~350. 2009.
- [8] 한국수력원자력, “CVCS 이온교환 탈염기 운영방법개선” 제24회 화학기술워크샵, No.04. pp. 55~61. 2011.
- [9] 전력연구원, “경수로형 정지시 수화학 조건에서 용액상 크리드 특성연구”, 정지화학 전문가 회의, pp. 03~29, 2007.
- [10] S.Choi, “Resin Management Strategies” EPRI-KHNP Chemistry/LLW-RM Workshop, pp. 201~215. 2011.
- [11] David.Perkins, “Programmatic Challenges-PWR Shutdown Chemistry” EPRI-KHNP Chemistry/LLW-RM Workshop, pp. 219~231. 2011.
- [12] Dooho Lee, “KHNP Shutdown Chemistry” EPRI-KHNP Chemistry/LLW-RM Workshop, pp. 235~240. 2011.
- [13] PWR Primary Water Chemistry Guidelines, “CVCS FILTER AND RESIN OPTIMIZATION PRACTICES” Volume1, Revision 4, TR-105714-V1R4, Final Report, pp. D-1~D-5, 1999.
- [14] PWR Primary Water Chemistry Guidelines, “발전소 가열 및 냉각시 원자로 냉각재계통 수질관리 기술적근거” Volume2, Revision 5, 1002884, pp. 14~32, 2006.



## 감사의글

석사과정을 시작한지 엇그제 같은데 벌써 졸업논문을 작성하게 되어 기쁨과 아쉬움이 교차합니다.

졸업을 할 수 있을까 하는 두려움으로 시작된 석사과정이 이렇게 잘 마무리를 할 수 있었던 건 아무래도 교수님들께서 헌신적으로 도움을 주신 덕분이라 생각합니다. 광주에서 매주 발전소까지 방문하셔서 늦은 시간까지 열강을 해주신 여러 교수님께 다시한번 감사의 인사를 드립니다.

본 논문을 잘 쓸수 있도록 지속적인 관심과 열정을 쏟아주신 김승평 교수님, 교수님과 인연을 맺게 된 것을 인생의 최대 수확으로 생각합니다.

발전소에 근무하면서 막연하게 느꼈던 지식의 부족함을 석사과정을 통해 나름의 성과를 얻게 되어, 조금이나마 발전소 업무에 좀더 깊이 매진 할수 있다는 생각에 가슴 뿌듯해 집니다.

그리고 석사과정을 무탈하게 잘 마무리 할 수 있도록 도움을 준 아내에게 감사함을 전합니다.

# 저작물 이용 허락서

학 과	첨단플랜트건설공학과	학 번	20117559	과 정	석사
성 명	한글 : 정 원 철      한문 : 鄭 源 喆      영문 : JUNG WON CHUL				
주 소	광주광역시 서구 동천동 호반베르디움 501동 1201호				
연락처	E-mail : 07193009@khnp.co.kr				
논문제목	CVCS 정화탈염기 2회 재사용을 통한 고방사성 폐기물 감소				
	A study on the Reduction of Radioactive Waste by Reusing CVCS Demineralizer Twice				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다                      음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( O )      반대(      )

2013년 5월

저작자:      정 원 철      (인)

## 조선대학교 총장 귀하