

## 원전에서의 피폭 저감화 설계방안 도출

Methodology to Reduce Occupational Dose in NPP Design

오해철, 나장환, 이재성  
한전전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

문주현  
한국과학기술평가원  
서울시 서초구 양재동 275

### 요약

1990년 ICRP에서는 ICRP-60 권고안을 통하여 기존의 한도보다 강화된 기준을 권고하였고, 이는 차세대원전의 작업자 개인선량한도에 반영되었다.[1] 차세대원전 설계에서는 강화된 개인선량한도 제한치 및, 집단선량 설계목표치를 만족시키기 위한 최대한의 노력을 기울이고 있다. 이를 위해서 작업자 피폭을 저감시킬 효율적인 방안을 도출해내는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 피폭 저감화 방안 도출을 위해, 국내 참조원전의 작업자 피폭선량 자료를 근거로 만들어진 ORE Database 프로그램을 이용하여 기존원전에서의 고피폭 유발 방사선작업을 파악하고, 파악된 방사선작업의 작업절차서 분석을 통하여 설계개선사항을 도출하고자 하였다.

### Abstract

ICRP (International Commission on Radiological Protection) recommended more strengthen criteria through ICRP-60 in 1990 than the previous dose limit. Its recommendation was incorporated into the individual dose limit for KNGR[1]. During the entire KNGR design period, the enhanced effort was made to meet the intensified individual dose limit and the collective occupational dose target. For this, the activities to derive how to reduce the occupational dose effectively are needed. In this paper, the high-dose jobs from the existing operating plants are identified using ORE database program which contains the ORE data of reference plants. Based on the jobs identified, the design improvement items are derived from the analysis of the job procedures of those jobs.

### I. 서론

원전 설계, 운영 중 가장 민감한 현안 중의 하나가 작업자의 방사선 피폭(Occupational Radiation Exposure, ORE)이다. 이러한 이유에서 ORE를 제한하기 위한 수많은 노력들이 기울여져왔다. 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서는 1977년 ICRP-26 권고안을 통하여 방사선방호 3원칙을 제안하였고, 이는 세계 각국의 방사선방호

개념 및 기준을 정하는데 근거가 되어왔다. 원전 작업자에 대한 개인선량한도 제한치의 변화 추세를 보면, ICRP-26 권고안에서 5 rem/yr를 연간 한도로 권고한 이래 이 수치는 최근에 이르기까지 원전 작업자의 개인선량한도로 준수되어왔으나, 1990년 ICRP에서는 ICRP-60 권고안을 통하여 기존의 한도보다 강화된 기준을 권고하였고, 이는 차세대원전의 작업자 개인선량한도에 반영되었다.[1]

이와 같이 방사선방호에서 개인선량한도는 명확하게 규정하여 준수하는 것을 원칙으로 하고 있으나, 집단선량에 대해서는 제한치를 명확하게 규정하여 놓지 않고, 다만 ALARA(As Low As is Reasonably Achievable)로 유지하여야 한다는 입장이었다. 그러나 향후 건설될 차세대원전에 대해서는 집단선량에 대한 설계목표치를 수치화하여, 원자력 발전으로 인한 방사선 피폭을 저감하는데 노력을 기울이고 있음을 보여주고 있다. 차세대원전에서는 세계 각국에서 개발중인 신형원전에서 채택하고 있는 값들을 토대로, 집단선량 설계목표치로 1 person-Sv/unit·yr를 설정하였다. [1]

위에서 서술한 바와 같이 차세대원전에서는 강화된 개인선량한도 제한치를 준수해야 함과 동시에, 집단선량 설계목표치를 만족시키기 위한 최대한의 노력을 기울여야 한다. 이를 위해서는 작업자 피폭을 저감시킬 효율적인 방안을 도출해내는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 피폭 저감화 방안 도출을 위해, 고피폭 유발 방사선작업을 파악하고, 파악된 방사선작업의 작업절차서 분석을 통하여 설계개선사항을 도출하고자 하였다.

## II. 방사선작업

### II.1 개요

작업자 전체 피폭선량의 약 70%가 원전의 정기보수기간 중에 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 효율적인 작업자 피폭 저감을 위해서는 일차적으로 보수기간 중 작업자가 받는 피폭선량을 상세 작업별로 파악한 후, 그 결과를 토대로 상세 작업별 피폭 저감화 방안을 모색하는 것이 필요하다.

### II.2 방사선작업 피폭 현황

방사선작업별 피폭 현황은 기개발된 ORE database program을 이용하여 조사하였다. ORE database program에서 분류하고 있는 방사선작업은 다음 표 1과 같이 61개로 나누고 있으며, 피폭 데이터는 작업구분상 존재하지만 실제로 작업이 이루어지지 않는 7개의 명목상 작업과 집단선량을 평가하기에 충분한 데이터가 존재하지 않는 3개의 작업을 제외한 51개의 작업들에 대해 1986년부터 1996년까지의 보수기간중의 피폭 데이터를 참조하고 있다. 51개의 세부작업별 피폭 현황은 표 2와 같다.[4]

위의 작업별 피폭현황 데이터로부터 고피폭 작업을 선별하였다. 선별방법에 대해서는 참고문헌 [4]에 자세히 수록되어있다. 이중 선별된 상위 20개의 고피폭 방사선작업은 표 3과 같다. 또한 분석 결과, 표 3의 20개 작업이 보수기간중 작업자가 받는 전체 집단선량에 약 75% 정도 기여하는 것으로 밝혀졌으며, 이중 12개는 증기발생기와 3개는 RCP와 관련된 작업임을 알 수 있다.

## III. 고피폭 방사선 작업 분석

앞장에서 밝혀진 20개 중 최상위 10개 작업을 다시 분류해보면, 고피폭 방사선 작업은 증기발생기 Tube Plugging 작업, 증기발생기 Manway 작업, 증기발생기 ECT 작업, 증기발생기 Nozzle Dam 관련 작업, 그리고 원자로냉각재 펌프 점검 보수 작업 - RCP seal 및 DACS 작업 -과 관련된 것임을 알 수 있다. 따라서 본 장에서는 위의 6개 방사선 작업에 대해 참조원전의 작업절차서를 근거로 심층 분석하여, 향후 차세대원전 설계에 반영할 수 있는 개선안을 도출하고자 하였

다.

### Ⅲ.1 S/G Tube Plugging

1990 ~ 1995년까지 고리 3, 4호기 정기보수기간 중 S/G Tube Plugging 작업중 작업자가 피폭 받은 선량 데이터는 표 4에 나타났다.

개선이 필요한 사항에 대해 기술하면 다음과 같다. S/G Tube Plugging 작업은 피폭저감 대상 작업중 최상위로 판명된 작업이다. 표 4에서 보듯이 본 작업이 이루어지는 장소의 선량은 매우 높은 편이므로, 다른 작업에 비해서 작업자가 받게 되는 피폭이 매우 높다. 따라서, 본 작업을 수행하기 위한 작업 수행자는 특별히 훈련되어 있어야 한다고 작업 절차서에 명시되어 있으며, 이를 반영하듯 작업순서에 모의훈련이 포함되어 있다. 따라서, 본 작업의 피폭 저감화는 전체 ORE 저감화와 직결된다해도 과언은 아니다.

본 작업을 수행하기 위해서 작업종사자는 직접 S/G 수실 내부로 들어가야 한다. 관련 작업이 수실 내부에서 이루어지므로 이것이 고피폭의 한 요인으로 볼 수 있다. 수실 내부에서 이루어지는 작업으로는 Template 설치, Tube Cleaning, Tube Sizing, Tube Plugging, Deplugging 작업 등이 있다. 이들 작업을 수행하기 위해 예비단계로 이루어지는 각종 검사 등은 모두 작업 종사자의 육안검사로 수행되게 되어 있다. 더욱이 수실 내부는 각종 장비를 휴대하고 들어가기에는 충분하지 않으며, 수실 바닥의 습분에 의해 전도 사고의 위험성도 항상 존재하므로 작업자가 유의해야 한다. 이것은 작업시간 지연의 요인이 된다. 따라서, 본 작업의 ORE 저감화를 위해서는 피폭 선량율과 피폭시간을 동시에 저감화 시킬 수 있는 방안이 필요하다.

Tube Plugging 작업 수행을 위해 원격 장치 및 로봇의 도입이 필요하다. 이것은 S/G 수실 내부로 작업자가 들어가는 것을 완전히 배제하는 효과가 있으므로 피폭 저감효과가 다른 방안에 비해 뛰어나며, 부수적으로 관련 작업자의 수도 줄일 수 있는 효과도 따르게 된다. 그러나 이를 위해서는 원전 설계시 S/G 주변에 원격장치 및 로봇 운전을 위한 제어실을 고려해야 하므로 원전의 GA에 영향을 미칠 수 있다.

작업 수행중 실시하는 각종 검사를 작업자의 육안으로 수행하는 대신 원격 카메라를 사용하여 수행하는 것은 고려해 볼만하다. 이것은 미국의 경우 비용-효율도가 가장 높은 ORE 저감화 방안으로 나타났다. 참고문헌 [5]에 의하면 Plugging Inspection을 위한 Photographic Technique은 관련 비용이 1984년 기준으로 \$5,000이고 이에 따른 선량 저감효과는 1,600 person-rem이 저감되는 것으로 나타났다. 이것은 비용-효율도가 \$3.1/ person-rem 으로 비용 면에서 아주 효과적인 것으로 볼 수 있다.

### Ⅲ.2 S/G 1차측 Manway Cover 개방 및 폐쇄

표 5는 1987 ~ 1995년까지 참조원전의 정기보수기간 중 S/G Manway Cover 개폐 작업중 작업자가 피폭받은 선량 데이터이다.

S/G Manway Cover 개폐 작업은 S/G Tube Plugging 작업 등 작업 종사자가 S/G 수실 내로 들어가는 작업에 부수적으로 수행되는 작업이다. Manway Cover의 개폐는 Torque Wrench, Torque Multiplier를 이용하여 작업자가 수동으로 행하고 있고, 이에 따른 Bolt 고착사고가 잦다. Bolt가 고착되는 경우 이의 보수에는 외국의 전문 인력을 사용하는 등의 어려움이 존재한다.

Manway Cover의 무게는 약 295kg 정도로 취급시 사고를 발생시킬 수 있으므로 유의해야 한다. 또한, 작업중 Manway Cover Insert Disk와 Bolt 낙하에 의한 안전사고에 주의해야 한다. 특히, Insert Disk를 분리하여 수실 개방시 오염된 냉각수 누설에 유의해야 하는데 현재 이를 위해서는 작업자가 20 리터 들이 양동이를 Manway 하단부에 설치하여 누설을 방지하고 있는 형편이다. 따라서 작업 중 오염된 냉각수가 담긴 양동이의 취급에 주의를 기울여야 한다.

S/G 수실 내부 세척 및 점검은 작업 수행자가 직접 수실 내부로 들어가서 행해야 하는데 이것은 고피폭의 요인이 된다. 이밖에 주변 구조물에 의한 Manway 접근로 및 작업 공간의 협소함도 작업시간 지연의 원인으로 들 수 있다.

Manway Cover의 개폐를 볼트의 조임과 풀림으로 수행하므로 이에 따른 Bolt 고착 문제를 해결하는 것이 피폭 저감화의 가장 커다란 관건이 된다. 이의 해결 방안으로 Manway Cover를 설계시 Hatch 식으로 설치하는 것을 고려해 볼만하다. 이는 Bolt 고착문제를 해결할 뿐만 아니라 기존의 개폐장비를 작업 수행자가 협소한 작업 장소로 운반할 필요가 없으므로 작업 시간 단축에 크게 기여를 할 것으로 예상된다. 더불어 설계시 Manway Hatch를 S/G에 부착함으로써 Lift 장비를 사용할 필요가 없어지므로 Cover 낙하에 의한 안전사고 또한 미연에 방지할 수 있을 것이다.

더 나아가 Hatch를 이중 Hatch로 설계하여 내부에 오염된 냉각수의 누설을 방지하기 위한 Discharge Tank 혹은 Drain을 설계한다면 작업 수행자가 양동이를 들고 오염된 냉각수를 처리하게 되는 번거로움도 덜 수 있을 것이다.

수실내의 검사는 작업 수행자가 육안으로 수행하는데 원격조정 사진 검사 장비 등을 이용하면 수실내 입실을 통한 고피폭을 방지할 수 있을 것이다.

### III.3 S/G ECT

표 6은 1990 ~ 1995년까지 참조원전의 정기보수기간 중 S/G ECT 작업중 작업자가 피폭 받은 선량 데이터이다.

S/G ECT 작업은 크게 두 가지 단계로 구분된다. 첫 번째 단계는 작업에 필요한 각종 검사 장비들을 수실 내부 및 수실 주변 작업 장소에 설치 및 철수하는 것이고 두 번째 단계는 설치된 장비들을 이용하여 신호 수집 등의 작업을 수행하는 단계이다.

이중 첫 번째 단계인 장비의 설치 및 철수는 작업자가 S/G 수실 내부로 직접 입실하여 이루어 지므로 고피폭을 수반하게 된다.

두 번째 단계인 신호수집 및 자료처리는 S/G 수실 주변에 작업 장소를 설치하여 오염 방지를 위한 Tent등을 설치하여 작업자의 피폭을 방지하고 있다.

앞의 두 작업에서 언급하였듯이 S/G 수실내부로 작업자가 입장하는 경우 고피폭이 필수적으로 수반되므로 수실 내부로의 입실을 배제하는 방안이 최우선적으로 검토되어야 한다. 이를 위해 S/G 수실내 작업용 원격조정 장치 및 탐재장치의 도입이 요구된다. 실제로 CE사의 정기보수기간 단축연구에 의하면 작업자가 S/G 수실 내부로 입실하지 않고 채널 내에 장치될 수 있는 원격장치를 사용함으로써 3기의 Ringhals 발전소 부지 내에서 25 man-rem의 피폭량을 저감시켰다고 알려져 있다. 또한, 1978년부터 Vermaat사에서 개발하기 시작한 원격장치는 몇 가지 시험을 거친 뒤 현재는 Tube Plugging, Pulling, Sleeving과 육안검사, Drilling, 용접 등의 작업공구 조작에도 사용되고 있다고 알려져 있다. 또한, Mitsubishi사에서 개발한 전자동 S/G ECT 설비는 수실밖에 설치된 전산시스템에 의한 원격조작이 가능하고 운전 및 자료분석을 자동으로 수행하게 되어 있다. 이것은 Tube 2개에 대해 병행 검사가 가능하다는 장점이 있다. 이것은 고피폭을 방지할 뿐 아니라 작업자의 수도 줄일 수 있는 방안으로 이러한 원격장치를 차세대 원전의 설계에 반영한다면 상당한 피폭의 저감이 예상된다.

또 하나의 개선방안으로 수실 주변에서 작업하는 작업자의 피폭을 방지하기 위해 휴대용 임시 차폐체를 이용하여 피폭을 저감화하는 것과 설계시에 영구 작업대를 설치하여 임시 작업대를 설치하는데 걸리는 시간을 단축하여 피폭을 저감화하는 방안도 검토해 볼만하다.

### III.4 S/G Nozzle Dam 사용

표 7은 1989 ~ 1995년까지 참조원전의 정기보수기간 중 S/G Nozzle Dam 사용 작업중 작업자가 피폭받은 선량 데이터이다.

S/G Nozzle Dam 관련 작업은 피폭 저감 우선순위의 2위를 차지하고 있다. 상기 S/G 관련 3개의 작업에서도 언급하였듯이 수실 내로 작업 수행자가 입장하여 작업이 이루어지는 것은 최대한 배제해야 한다. 이를 위해 수실 작업용 원격장치의 도입을 고려해 볼 만하다. 이것은 상기 S/G 관련 작업 현황 및 개선사항에서 제안한 바 있다.

작업 관련 데이터를 살펴 본 결과 Nozzle Dam 사용에 의한 피폭은 주로 기존의 Nozzle Dam을 설치하고 제거하는데 많은 피폭을 받고 있는 것으로 나타났다. 이는 기존의 Nozzle Dam의 중량과 크기로 인해 작업시간이 지연되기 때문으로 알려져 있다. 이를 위한 개선방안은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 하나는 Mitsubishi사에서 개발한 개량 Nozzle Dam을 사용하는 것으로 이것은 Support Arm으로 고정되어 있고 경량이므로 신속히 설치, 제거가 가능하다는 장점이 있다. 또한 크기도 소형이므로 S/G의 다른 관련 작업에 지장을 주지 않는다. 밀봉 신속성도 기존의 Nozzle Dam에 비해 뛰어난 것으로 알려져 있다.

두 번째 개선방안으로는 Manway 개폐 작업에 대한 개선 사항에서 제안한 것처럼 Nozzle Dam을 Hatch 형태로 설계하여 S/G에 부착시킨다면 Bolt의 조임과 풀림에 의한 작업시간이 단축될 것으로 예상된다.

### III.5 RCP Seal

표 8은 1987 ~ 1995년까지 참조원전의 정기보수기간 중 RCP Seal 작업중 작업자가 피폭 받은 선량 데이터이다.

작업 현황을 살펴보면 RCP Seal 작업 및 기타 RCP 관련 작업은 다른 작업에 비해 man-hour가 매우 큰 것을 알 수 있다. 물론 RCP 주변도 고 방사선 지역이지만 고피폭의 일차적 원인은 작업 시간 및 작업 인원의 과다함에서 비롯된다고 할 수 있다. 따라서, 피폭 저감화는 주로 작업 시간 단축 및 작업인원 단축의 방향으로 검토되어야 할 것이다.

국내 원전의 RCP 관련 작업의 작업 시간 지연의 주원인은 기존 연구 결과에 의하면 접근성 및 작업 장소의 협소함으로 나타났다. 즉, RCP 관련 작업을 수행하기 위해 작업자가 작업 장소로 이동하는데 각종 배관으로 인한 접근성 불량으로 피폭 시간이 늘어나게 되고 작업 공간에서는 작업 때마다 임시로 작업대를 설치해야 하므로 작업대 설치 시간 동안의 피폭이 증가하게 된다. 따라서, 설계시 RCP 보수를 위한 접근로의 개선 및 영구작업대를 설치하는 것을 피폭을 줄일 수 있는 방안으로 제안할 수 있다.

또한, RCP 주변 역시 고피폭 지역으로 분류된다. 따라서, 많은 작업 보조 인원이 요구된다. 이들의 고피폭을 방지하기 위해 적절한 차폐체가 설치되어야 한다. 예를들어 프랑스 표준원전 및 영국의 Sizewell B 원전에서는 S/G와 RCP 사이에 차폐벽을 설치하여 RCP를 별도의 격실로 구분하고 있으며 특히, Sizewell B 원전에서는 RCP Seal 작업용 차폐철판을 설치하여 Pump Casing으로부터의 선량을 감소시키는 방안을 고려하고 있다. 이상의 두 가지 개선 사항은 RCP 관련 작업 전체를 대상으로 적용할 수 있다.

### III.6 RCP DACS

표 9는 1995 ~ 1996년까지 참조원전의 정기보수기간 중 RCP DACS 작업중 작업자가 피폭받은 선량 데이터이다.

기본적인 개선사항은 III.5에서 제안한 내용과 같다. 즉, RCP 접근성 개선, 영구 작업대 설치 및 차폐체 설치는 본 작업에도 적용되는 방안이다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 차세대 원자력발전소의 방사선작업 종사자 피폭량을 ALARA(As Low As Reasonably Achievable)개념으로 저감시키기 위하여 피폭저감방안을 도출하기 위한 한 방법으로 고피폭 유발 방사선작업을 파악하고, 이들 파악된 방사선 작업의 작업 절차를 검토하였다. 작업 절차를 검토하여 개선방안을 도출한 결과를 요약하면 고피폭이 주로 이루어지는 증기발생기 작업과 관련하여서는 S/G 작업용 다용도 로봇 및 원격 조정 장치를 도입하고, 원격사진기로 육안검사를 대체하여 S/G tube plugging 작업시 피폭을 감소시키는 것이고, S/G Man-way Cover를 Quick Opening Hatch 타입으로 변경하며 접근로의 확장 설계와 S/G ECT 작업을 위해 임시 작업대 대신 영구작업대를 설치하는 것이다. 또한 RCP Seal 작업 및 RCP DACS 교체와 관련하여 접근로의 확장설계 및 영구작업대의 설치를 통하여 작업자 피폭을 저감시킬 수 있을 것으로 판단되며, 이 결과 요약은 표 10에 나타났다. 위의 개선사항은 향후 차세대원전 설계와 맞물려 설계 반영 타당성을 평가하여, 설계에 직접 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

#### V. 참고문헌

- [1] "차세대 원자로 기술개발(Ⅱ), 종합분석 분야 제1차 평가보고서," 전력연구원, 1996.
- [2] "방사선안전관리 용역수행보고서 (고리 4호기 8년차 계획예방정비)," 한일원자력(주), 1995.
- [3] "방사선안전관리 용역수행보고서 (영광 3호기 1년차 계획예방정비)," 한일종합산업(주), 1996.
- [4] 조영호, "ORE 데이터베이스 프로그램을 이용한 보수시 피폭저감작업 우선순위 도출," 서울대학교 학위논문, 1997.
- [5] C. B. Meinhold, "Impact of Reduced Dose Limits on NRC Licensed Activities," NUREG/CR-6112, 1994.

표 1. ORE database program에서의 방사선작업 구분

작업 코드	주작업	상세작업
A	원자로 작업	A1 준비작업, A2 원자로해체, A3 핵연료인출, A4 핵연료검사, A5 핵연료장전, A6 원자로조립, A7 원자로검사, A8 기타
B	SG Manway 작업	B1 Manway open, B2 Manway close, B3 기타
C	SG ECT 작업	C1 준비작업, C2 Inspection, C3 Template 설치/제거, C4 장치 설치/이동, C5 ECT 수행, C6 기타
D	SG Tube 관련 작업	D1 준비작업, D2 Inspection, D3 Template 설치/제거, D4 장치 설치/이동, D5 Plugging, D6 Sleeving, D7 장비제염, D8 기타
E	SG Nozzle Dam 작업	E1 Dam 설치, E2 Dam 제거, E3 기타
F	SG Lancing 작업	F1 준비작업, F2 H/H 관련 작업, F3 Lancing 수행, F4 장비철거 및 제염, F5 기타
G	SG 관련 기타 작업	
H	RCP 점검, 보수 작업	H1 준비작업, H2 RCP Motor 관련 작업, H3 RCP Seal 및 MFB 관련 작업, H4 RCP TVCS 관련 작업, H5 RCP DACS 교체, H6 기타
I	PZR 점검, 보수 작업	
J	RHR 점검, 보수 작업	
K	가동중 검사	
L	격납용기 누설시험	
M	In-Core 작업	M1 Thimble 관련 작업, M2 DFMS 계통 작업, M3 Thermocouple 관련 작업, M4 Detector 관련 작업
N	RTD 점검, 보수 작업	
O	Snubber 점검, 보수 작업	
P	Valve 점검, 보수 작업	
Q	P/P 점검, 보수 작업	
R	HX 점검, 보수 작업	
S	Filter 관련 작업	
T	Evaporator 관련 작업	
U	제염 세탁 작업	
V	폐기물 처리 작업	
W	방사선 안전관리	
X	계통운전	
Y	폐기물 드럼 저장 작업	
Z	기타	

표 2. 세부작업별 작업자 피폭선량

작업명		집단선량 (man-mrem)	10 percentile	50 percentile	90 percentile
원자로 작업	준비 작업	0	46	199	
	원자로 해체	16	111	478	
	핵연료 인출	41	73	324	
	핵연료 검사	66	66	160	
	핵연료 장전	9	19	72	
	원자로 조립	8	138	855	
	원자로 검사	5	20	88	
	기타관련작업	13	61	147	
S/G Manway 작업	Manway Open	35	283	1281	
	Manway Close	1	596	1420	
	기타관련작업	0	250	1450	
S/G ECT 작업	준비작업	1	82	255	
	Template 설치/제거	100	1098	2400	
	장치설비, 이동	94	210	650	
	ECT 수행	7	48	178	
	기타관련작업	15	83	250	
S/G Tube 관련작업	Inspection	85	85	120	
	Template 설치/제거	275	438	3770	
	Plugging	430	2913	8288	
	장비제염	76	76	76	
S/G Nozzle Dam 작업	Dam 설치	0	2110	15441	
	Dam 제거	50	1137	3746	
	기타관련작업	309	309	1842	
S/G Lancing 작업	준비작업	0	65	497	
	H/H 관련작업	28	88	383	
	Lancing 수행	30	128	297	
	장비철거 및 제염	35	99	188	
S/G 관련 기타 작업		0	7	24	
RCP 점검 보수 작업	준비작업	17	120	467	
	RCP Motor 관련작업	0	100	437	
	RCP Seal 및 MFB 관련작업	9	113	450	
	RCP TVCS 관련 작업	0	179	2061	
	RCP DACS 교체	2	370	1286	
PZR 점검 보수 작업		10	60	180	



표 2 세부작업별 작업자 피폭선량(계속)

작업명	집단선량 (man-mrem)	10 percentile	50 percentile	90 percentile
	RHR 점검 보수 작업		0	10
가동중 검사		0	55	300
격납건물 누설시험		17	70	88
In-core 작업	Thimble 관련 작업	21	107	411
	DFMS 계통 작업	16	54	169
	Thermocouple 관련 작업	20	42	86
	Detector 관련 작업	17	56	157
RTD 점검 보수 작업		21	218	573
Snubber 점검 보수 작업		0	64	191
Valve 점검 보수 작업		8	60	290
P/P 점검 보수 작업		0	4	56
Filter 관련 작업		1	15	77
제염 세탁 작업		21	122	469
폐기물 처리 작업		22	41	98
방사선 안전관리		5	35	281
기타		0	18	201

표. 3 고퍼폭 방사선작업

순위	주요 작업명	상세 작업명	순위	주요 작업명	상세 작업명
1	S/G Tube 관련작업	Plugging	11	RTD 점검 보수작업	RTD 점검 보수작업
2	S/G Nozzle Dam 관련작업	Dam 제거	12	원자로 작업	원자로 조립
3	S/G ECT 작업	Template 설치 제거	13	S/G Manway 작업	기타 관련 작업
4	S/G Tube 관련작업	Template 설치 제거	14	S/G Lancing 작업	Lancing 수행
5	S/G Nozzle Dam 관련 작업	기타 관련 작업	15	RCP 점검 보수작업	RCP Seal 및 MFB 관련 작업
6	S/G ECT 작업	장치설비, 이동	16	제염 세탁 작업	제염 세탁 작업
7	S/G Manway 작업	Man-way Open	17	RCP 점검 보수작업	준비 작업
8	S/G Manway 작업	Man-way Close	18	S/G Lancing 작업	H/H 관련 작업
9	RCP 점검 보수작업	RCP DACS 교체	19	In-Core 작업	Thimble 관련 작업
10	S/G Nozzle Dam 관련 작업	Dam 설치	20	원자로 작업	원자로 해체

표 4 S/G Tube Plugging 피폭 현황

연도	Man-hour	최대개인선량 (person-mrem)	집단선량 (person-mrem)	최대 선량율 (mR/hr)
1990	8.17	210	905	10,000
1992	294.50	580	12,126	8,000
1994	99.67	350	2,913	5,700
1995	155.67	734	8,718	22,000
평균	139.5 (man-hour/yr)	468.5 (person-mrem)	6,165.5 (person-mrem/yr)	11,425 (mR/hr)

표 5 S/G Manway Cover 교체 피폭현황

연도	Man-hour	최대개인선량 (person-mrem)	집단선량 (person-mrem)	최대 선량율 (mR/hr)
1987	215.67	560	11,146	5,000
1989	96.00	25	100	50
1990	212.17	235	2,317	9,000
1991	737.33	195	1,483	9,000
1992	507.16	233	7,078	8,000
1993	173.50	735	5,228	25,000
1994	283.79	122	4,350	15,000
1995	140.33	341	4,694	20,000
평균	295.7 (man-hour/yr)	305.8 (person-mrem)	4,549.5 (person-mrem/yr)	11,381.3 (mR/hr)

표 6 S/G ECT 피폭현황

연도	Man-hour	최대개인선량 (person-mrem)	집단선량 (person-mrem)	최대 선량율 (mR/hr)
1990	322.81	470	7,322	10,000
1991	200.06	460	4,008	9,000
1992	56.65	500	2,802	10,000
1993	93.50	980	4,419	25,000
1994	56.83	712	2,958	9,000
1995	14.60	166	575	4,000
평균	124.1 (man-hour/yr)	548 (person-mrem)	3,680.7 (person-mrem/yr)	11,166.7 (mR/hr)

표 7. S/G Nozzle Dam 사용 피폭현황

연도	Man-hour	최대개인선량 (person-mrem)	집단선량 (person-mrem)	최대 선량을 (mR/hr)
1989	372.00	60	84	11,000
1990	167.42	530	15,735	10,000
1991	22.83	375	2,158	9,000
1992	118.60	416	11,062	8,000
1993	134.17	1,000	21,829	25,000
1994	286.12	940	31,984	15,000
1995	24.75	502	2,253	23,000
평균	160.8 (man-hour/yr)	546.1 (person-mrem)	12,157.9 (person-mrem/yr)	14,428.6 (mR/hr)

표 8. RCP Seal 피폭현황

연도	Man-hour	최대개인선량 (person-mrem)	집단선량 (person-mrem)	최대 선량을 (mR/hr)
1987	319.41	248	2,619	60
1989	110.83	10	25	11
1990	457.33	110	3,025	120
1991	660.00	80	2,776	500
1992	173.50	70	6,242	200
1994	283.79	103	3,653	80
1995	140.33	392	7,869	10,000
평균	306.5 (man-hour/yr)	144.7 (person-mrem)	3,744.1 (person-mrem/yr)	1,567.3 (mR/hr)

표 9. RCP DACS 피폭현황

연도	Man-hour	최대개인선량 (person-mrem)	집단선량 (person-mrem)	최대 선량을 (mR/hr)
1995	2160.73	663	31,759	35,000
1996	143.13	400	2	8,000
평균	1151.9 (man-hour/yr)	531.5 (person-mrem)	15,880.5 (person-mrem/yr)	21,500 (mR/hr)

표 10. 작업별 개선사항 요약

작업명	작업현황	개선방향	개선방안
S/G Tube Plugging	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수실내로 작업수행자 직접 입실하여 수행</li> <li>- 수실 입실이 고피폭의 요인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수실내 작업 수행자 입실 배제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 로봇 및 원격 조정 장치 도입</li> <li>- S/G 작동용 다용도 로봇</li> <li>- 육안검사를 원격 사진기를 이용한 검사로 대체</li> <li>- Photographic Tech. for S/G Inspection</li> </ul>
S/G Man-way 개폐	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Man-way Cover를 Bolt 이용해서 개폐</li> <li>- Bolt 고착사고 잦음</li> <li>- 개폐장비 운반을 위한 접근로의 협소함</li> <li>- Man-way Cover 중량에 의한 안전사고 가능</li> <li>- 오염된 냉각수 처리를 위한 양동이 지참</li> <li>-&gt; 세심한 주의 요망</li> <li>- 수실 내부의 각종 검사는 작업 수행자가 수실내부에서 수행</li> <li>- 고피폭 지역, 작업시간지연으로 인한 고피폭</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수실내 작업 수행자 입실 배제</li> <li>- 작업시간 지연요인 배제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Man-way Cover를 Quick Opening Hatch Type으로 교체(Bolt-free type)</li> <li>- S/G 하단에 Drain Tank, 혹은 Discharge Tank를 설치하여 오염된 냉각수의 누설방지</li> <li>- 접근로의 확장 설계</li> </ul>
S/G ECT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용되는 장비들 수실내부에 직접 설치</li> <li>- 수실 주변에 임시 작업대를 설치하여 작업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수실내 작업 수행자 입실 배제</li> <li>- 주변 작업 수행자의 과피폭 방지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S/G에 부착 가능한 원격 장치 및 탐재 장치의 도입</li> <li>- 신호 수집 작업 수행자의 피폭을 방지하기 위한 휴대용 임시 차폐체 도입</li> <li>- 임시 작업대 대신 영구 작업대의 설치</li> </ul>
S/G Nozzle Dam 사용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bolt를 이용한 개폐</li> <li>- 수실 내부 작업 수행</li> <li>- Nozzle Dam 중량으로 인한 작업시간 지연</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작업시간 지연 요인 배제</li> <li>- 수실내 작업 수행자 입실 배제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quick Opening Hatch 도입 (Bolt-free)</li> <li>- 개량형 소형, 경량 Nozzle Dam의 도입</li> </ul>
RCP Seal 작업 및 RCP DACS 교체	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작업 장비들 운반하는 접근로의 협소함으로 인한 작업시간 지연</li> <li>- 작업 장소의 협소함으로 인한 작업시간 지연</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작업시간 지연 요인 배제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 접근로의 확장 설계</li> <li>- 임시작업대 대신 영구 작업대의 설치</li> </ul>