

# PWR의 증기발생기 교체시 경제성을 고려한 작업자 피폭선량 저감화 방안 제시

최수원, 신상화, 황주호

경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천동

[2875pooh@hanmail.net](mailto:2875pooh@hanmail.net)

## 1. 서론

원자력발전소가 다른 발전소의 가장 다른 점은 방사성물질을 사용한다는 것이다. 따라서 원자력발전소의 운전기간, 예방정비기간 및 해체기간에 방사성물질에 의한 작업자 피폭선량은 원자력발전소의 안전에 관한 중요한 인자가 된다.

현재까지 50개 국가의 원자력발전소에서 약 150기의 증기발생기가 교체되었으며, 한국에서는 1998년 고리 1호기의 증기발생기가 교체되었다. 증기발생기의 수명은 30~40년이며, 1978년 고리 1호기의 상업운전을 시작으로 한국에서는 20기의 원자력발전소가 상업운전 중에 있다. 향후 한국에서 증기발생기 교체 작업이 단기간에 활발히 이루어질 것으로 판단되므로 증기발생기 교체시 작업자의 피폭선량 저감화 방안에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 RESRAD-BUILD Code를 이용하여 PWR의 증기발생기 교체시 차폐체의 두께에 따라 작업자의 피폭선량의 변화를 계산하여 경제성을 고려한 최적의 납 차폐체 두께를 제시하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 RESRAD-BUILD Code

RESRAD-BUILD Code는 Argonne National Laboratory에서 1989년부터 보급을 시작한 7개의 RESRAD Code 중 하나이며, 건물 내에서 건물의 방사성오염원으로부터 거주자가 받는 피폭선량을 계산하는 코드이다. RESRAD-BUILD Code의 입력인자와 입력값은 Table 1.과 같다.[1]

실제값과 큰 차이가 없고 작업자 피폭선량에 큰 영향을 미치지 않는 Deposition Velocity, Resuspension Rate, Building Exchange, Breathing Rate, Ingestion Rate 등은 Default Value를 사용하였으며, 격납용기의 부피는 영광 3, 4호기의 설계도를 이용하여 계산하였다. 증기발생기는 한쪽면만 작업자에 영향을 준다고 가정하여 전체 면적의 50%를 적용하였으며, 차폐체의 경우 고리 1호기 증기발생기 교체시 사용한 것과

같은 0.4 cm 두께의 납 차폐체로 설정하였다.

Table 1. RESRAD-BUILD Code Input Factor

Input Factor	Value
Deposition Velocity	0.01 m/s
Resuspension	0.0000005 1/s
Building Exchange	0.8 1/h
Breathing Rate	18 m <sup>3</sup> /d
Ingestion Rate	0.0001 m <sup>2</sup> /h
surface area of Steam Generator	174.72 m <sup>2</sup>
Containment Building Volume	44345.17 m <sup>3</sup>

### 2.2 작업자 피폭선량

증기발생기 교체 작업에 필요한 작업은 총 113가지이며, RESRAD-BUILD Code를 이용하여 각 작업별로 작업자 피폭선량을 계산하였다. 계산 결과는 Fig. 1.과 같다.

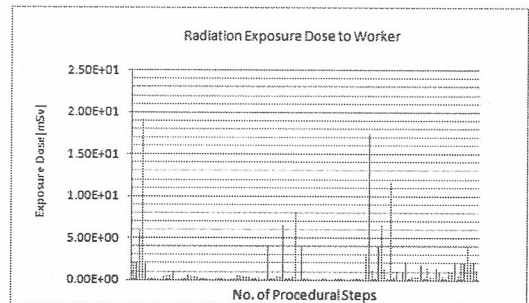


Fig. 1. The Radiation Exposure Dose to Worker by Each Procedural Steps

각 작업별 작업자 피폭선량은 RCS(Reactor Coolant System) Pipe 외부용접이  $1.92 \times 10^1$  mSv로 가장 크게 나왔으며, 그라우팅 작업이  $1.21 \times 10^{-2}$  mSv로 가장 적게 나왔다. 원자력법 시행령에 따르면 방사선 작업종사자의 경우 유효선량한도는 연간 50 mSv를 넘지 아니하는 범위에서 5년간 100 mSv이다. 즉 증기발생기에 투입되는 작업자의 경우 피폭선량이年平均 20 mSv를 넘지 말아야 한다. 계산결과 RCS Pipe 외부용접작업과 SG보온재 제거 및 설치 작업의 경우

1.92 × 10<sup>1</sup> mSv, 1.74 × 10<sup>1</sup> mSv로 년평균 선량 한도에 근접한 값이 나왔다. 이 자료를 토대로 납 차폐체의 두께를 변화시켜가면서 작업자의 피폭 선량을 계산하였다.

2.3 차폐체 두께에 따른 작업자 피폭선량

RESRAD-BUILD Code를 이용하여 차폐체의 두께를 0.1 cm부터 1 cm까지 0.1 cm씩 조정하여 총 작업자 피폭선량을 계산하였다. 차폐체는 납으로 설정하였으며 밀도는 상온에서의 납의 밀도인 11.36 g/cc를 사용하였다. 차폐체의 두께에 따른 총 작업자 피폭선량은 Fig. 2.에 나타내었다.

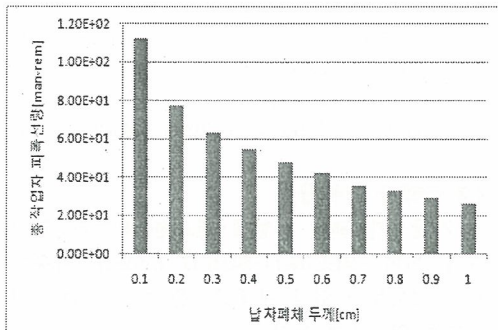


Fig. 2. The Radiation Exposure Dose to Workers by Thickness of Lead

차폐체 두께가 증가함에 따라 작업자의 총 피폭선량은 꾸준히 감소한다. 하지만 작업자의 피폭선량 감소를 위해 차폐체의 두께를 무한정 늘릴수는 없다. 따라서 경제성을 고려하여 최적 차폐체 두께를 계산하였다.

2.4 납 차폐체 두께 변화에 따른 비용 계산

납 차폐체의 비용을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\frac{\text{가로}[cm] \times \text{세로}[cm] \times \text{두께}[cm] \times \text{비중}[g/cc]}{\text{((자재비+시공비)+(자재비+시공비) \times 10\%)}} \dots\dots\dots (1)$$

납 차폐체의 1 cm<sup>3</sup>당 자재비는 2,900원이며 시공비는 600원이다.[2] 납 차폐체가 필요한 면적은 증기발생기의 면적으로 하였으며 349.44 m<sup>2</sup>이다.

한국 원자력관련 종사자들을 대상으로 조사한 결과 방사선 피폭선량 금전환산 계수는 203만원/man-rem이다.[3] 납 차폐체의 두께에 따라 소요되는 비용과 작업자 피폭선량 감소에 따른 이득은 Table 2.와 같다.

Table 2. Benefit to Thickness of Lead

thickness [cm]	price of material [1000 won]	benefit [1,000 won]
0.1	15,283	.
0.2	30,566	71,659
0.3	45,849	29,435
0.4	61,132	17,864
0.5	76,415	13,601
0.6	91,699	11,368
0.7	106,982	13,601
0.8	122,265	4,466
0.9	137,548	7,308
1.0	152,831	6,496

납 차폐체 두께 0.1 cm 증가시키는데 필요한 비용은 약 15,283,000원이다. 피폭선량 감소에 따른 이득이 재료비보다 큰 납 차폐체의 두께 중 0.4 cm가 최적 납 차폐체 두께로 판단된다.

3. 결론

증기발생기 교체시 납 차폐체 두께 변화에 따른 작업자 피폭선량 감소와 경제적 이득을 계산하였다. 계산결과 작업자 피폭선량감소와 경제성을 만족하는 최적 납 차폐체 두께는 0.4 cm인 것으로 판단된다. 향후 교체 증기발생기의 재원을 토대로 최적의 납 차폐체 두께 설정에 도움이 될 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

[1] C. Yu, D.J. LePoire, J.J. Cheng, E. Gnanapragasam, S. Kamboj, J. Arnish, B.M. Biwer, A.J. Zielen, W.A. Williams, A. Wallo III, H.T. Peterson, User's Manual for RESRAD-BUILD Version 3, Argonne National Laboratory, 2003  
 [2] 사단법인 한국물가협회  
 [3] 최광식, 최영성, 이근재, 이병희, 가상가치평가법에 의한 방사선피폭선량 금전환산계수 산정에 관한 연구, 한국원자력학회, 2001