

# APR1400 RVI CVAP 압력경계관통부 수압시험 요건에 대한 고찰 A Review on the requirement of APR1400 RVI CVAP Pressure Boundary Penetration

이동화† · 최영순\* · 최한광\* · 고도영\*\*

Dong-Hwa Lee, Young-Soon Choi, Han-Kwang Choi and Do-Young Ko

## 1. 서 론

원자로내부구조물(RVI: reactor vessel internals)은 원자로의 수명기간 동안 정상상태 및 과도상태의 진동하중을 견딜 수 있도록 설계되어야 하며, 유도유발진동에 대하여 RVI의 건전성을 입증하기 위하여 미국 원자력규제위원회 규제지침서 1.20(US NRC RG1.20)에 따라 RVI를 분류하고, 각 분류에 따라 종합진동평가프로그램(CVAP: comprehensive vibration assessment program)을 수행하여야 한다<sup>(1)</sup>. APR1400 RVI는 건설허가시 비원형범주 I(non-prototype category I)로 분류되어 종합진동평가계획을 수립하였으나, 한국수력원자력(주)는 사업자 자체 기술개발 등을 목적으로 비원형범주II(non-prototype category II)로 APR 1400 RVI CVAP을 수행하고 있다<sup>(2)</sup>. 비원형범주II는 해석, 제한적 측정 및 전체검사로 구성된다.

제한적 측정을 위한 측정용 케이블이 압력경계부를 관통하는 수단을 제공하는 압력경계관통부 구조물은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 CVAP 측정기간 동안 원자로용기 상부헤드의 제어봉구동장치(CEDM: control element driving mechanism)용 예비노즐(No. 98)에 설치된 후, 측정이 끝나면 원자로 헤드의 원설계안과 동일한 노즐캡(nozzle cap)으로 원상 복구된다. CVAP 측정이 수행되는 고온기능시험(HFT: hot functional test) 이후에는 연료 장전 전 계통수압을 평가할 수 있는 추가적인 시험이 없으므로, 노즐캡으로 원상 복구한 부위에 대한 건전성 입증방안이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 제어봉구동장치용 예비노즐의 오메가 씸(omega seal)

용접부위에 대한 설계요건 및 검사요건을 검토하여 적합한 건전성 입증방안을 제시하고자 한다.

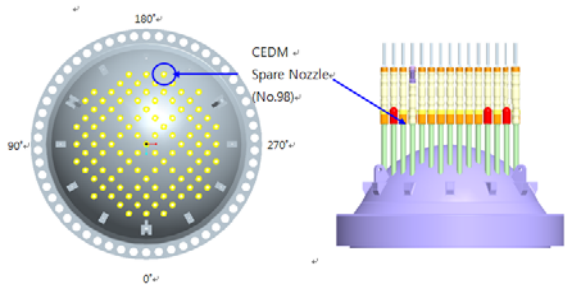


Fig.1 CVAP Pressure Boundary Penetration of SKN unit 4

## 2. 압력경계관통부 구조물 설계

Fig. 2에 나타낸 바와 같이, 신고리 4호기 압력경계관통부 구조물은 설치 시 일체형 헤드집합체 구조물과 간섭을 방지하고 주기기의 건전성에 영향을 주지 않기 위하여 CVAP 측정 수행기간에만 설치하는 임시구조물로 설계하였으며, 측정이 끝난 후, 원 설계에 따라 제작된 영구구조물인 노즐캡 구조물로 교체 설치된다<sup>(3)</sup>.

## 3. 수압 시험 요건

압력경계관통부 구조물 설치, 제거 및 노즐캡의 설치에 사용되는 요건은 KEPIC MN “원자력기계 기술기준” 상의 모든 요건을 만족하고 있는 기기에 대하여, 건조 기술기준 요건이 만족되는 시점부터 적용되는 KEPIC MI에 따라야 한다<sup>(4)</sup>.

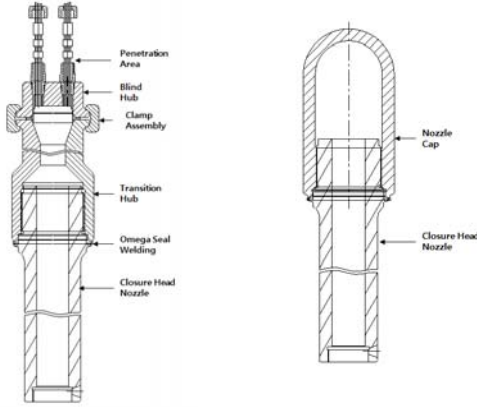
† 교신저자: 정희원, 두산중공업(주)

E-mail : donghwa1.lee@doosan.com

Tel : (055)278-5936, Fax: (055)278-8476

\* 두산중공업(주)

\*\* 한국수력원자력(주) 중앙연구원



<During CVAP Test>

<After CVAP Test>

**Fig.2** Pressure Boundary Penetration during RVI CVAP Test

### 3.1 수압시험 적용 기준

MIA 4700 따라 1등급 기기의 압력유지 경계내의 용접보수 또는 용접에 의한 교체품 설치 후에 계통수압시험을 MIA 5000(계통압력시험)에 따라 수행하여야 한다.

### 3.2 수압시험 면제 요건

다음사항은 MIA 4710의 요건에 따라 계통수압시험에서 면제될 수 있다. (가)클래딩 보수, (나)열교환기 관막음 및 슬리빙, (다)배관, 펌프 및 밸브보수로 압력경계에 침투하지 아니한 경우, (라)보수한 공동이 최소 설계 벽두께의 10%를 초과하지 않는 압력용기 보수, (마) 호칭치름 1인치 이하인 기기 연결부, 배관 및 관련 밸브, (바) 튜브-관관 보수용접 및 (사)누설방지 용접.

### 3.3 노즐캡 수압시험 요건

압력경계관통부 구조물 설치, 제거 및 노즐캡의 설치시 사용되는 오메가 씰 용접부는 3.2항의 면제요건 중 누설방지 용접에 적용되어 계통수압시험에서 면제될 수 있다.

### 3.4 오메가 씰 용접부 건전성 평가

오메가 씰 용접에 의하여 설치된 압력경계관통부 구조물 및 노즐캡 부위는 유한요소 해석 결과 54% 이상의 설계 여유를 가짐으로 내압에 의해 구조물 전 단면적에 걸치 파손 또는 변형은 없는 것으로 평가되었으며, 수압시험 조건하에서도 건전성을 확보하는 것으로 확인되었다<sup>(5)</sup>.

### 3.3 비파괴검사 적용 기준

압력경계관통부 구조물 설치, 제거 및 노즐캡의 설치시 사용되는 오메가 씰 용접부는 해당 기기의 건조시 적용되었던 기술기준 MNB5000<sup>(6)</sup>의 절차 및 합격기준에 따라 자분탐상 또는 침투탐상검사를 수행하여야 한다.

## 4. 결 론

압력경계관통부 구조물 설치, 제거 및 노즐캡 설치시 수압시험 요건 검토결과, 오메가 씰 용접으로 설치되는 압력경계관통부 구조물 및 노즐캡 부위는 원자력 기술기준에 따라 해당 용접 부위에 대한 비파괴검사 만족시 수압시험 면제 부위로 확인되었으며, 유한요소 해석결과 수압시험 조건하에서도 건전성을 확보하는 것으로 확인되었다

## 참 고 문 헌

- (1) U.S. NRC, 2007, "Comprehensive Vibration Assessment Program for Reactor Internals during Preoperational and Initial Startup Testing," Regulatory Guide 1.20, Rev.3
- (2) Ko, D. Y. Kim, K. H., and Kim, S.H. 2011, Selection Criteria of Measurement Locations for Advanced Power Reactor 1400 Reactor Vessel Internals Comprehensive Vibration Assessment Program, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.21, No.8, pp.708~713.
- (3) Lee, D. H., Choi, Y. S., Choi H. K. and Ko, D. Y. 2013, A review on the Design of APR1400 RVI CVAP Pressure Boundary Penetration, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, 23th, pp.583~584.
- (4) KEPIC MI, In Service Inspection of Nuclear Power Plant Components, 2000 Edition.
- (5) Noh, B. W., Cho, J. R., Gu, J. Y. and Ko, D. Y 2013, The Structural Evaluations of Pressure Boundary Penetration for APR1400 RVI CVAP, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, 23th, pp.585~586.
- (6) KEPIC MNB, Rules for Construction of Nuclear Facility class 1 components, 2000 Edition.