

APR1400 RVI CVAP 압력경계관통부 설계에 대한 고찰

A Review on the Design 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, 유동유발진동에 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⁽¹⁾. APR1400 RVI는 건설허가 시 비원형범주 I (non-prototype category I)으로 분류되어 종합진동평가계획을 수립하였으나, 한국수력원자력(주)는 사업자 자체 기술개발 등을 목적으로 비원형범주II (non-prototype category II)로 APR 1400 RVI CVAP을 수행하고 있다⁽²⁾. 비원형 범주II는 해석, 제한적측정 및 전체검사로 구성된다.

RVI CVAP의 측정장치는 해석결과에 의해 RVI에 설치되는 계측기, 원자로 외부에 위치한 데이터취득장치 및 계측기와 데이터취득장치를 연결하는 케이블로 구성되어 있다. 계측기와 데이터취득장치 연결용 케이블은 원자로의 압력경계가 유지되며 압력경계 외부로 인출되어야 한다. 본 논문에서는 APR 1400 RVI CVAP 압력경계관통부에 대한 다양한 연구조사 수행결과에 따른, 최적 설계안을 소개한다.

2. 압력경계관통부 구조물 설계

2.1 설치 위치 및 환경

압력경계관통부 구조물은 원자로용기 상부헤드의 제어봉구동장치(CEDM: control element driving

mechanism)용 예비노즐에 설치되어 RVI CVAP 측정케이블이 압력경계부를 관통하는 수단을 제공한다. 압력경계관통부 구조물을 위한 설계 압력은 2,500 psia이며, 설계 온도는 650 F^o이다⁽³⁾.

2.2 압력경계관통부 구조물 요건

기능, 설치 위치 및 환경 검토결과 RVI CVAP 압력경계관통부 구조물은 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

첫째, 측정기간 동안 원자로용기 헤드의 환경에서 압력경계를 유지하며, 측정케이블을 압력경계 외부로 인출하는 기능을 수행하여야 한다. 둘째, 설치 및 제거와 측정 중 설치되는 노즐의 건전성에 영향을 주면 안된다. 셋째, 정해진 기한내 작업이 가능하도록 설치 및 제거가 용이해야 한다. 넷째, 설치 및 제거시 일체형 헤드집합체를 포함한 주변 구조물과 간섭이 없어야 한다. 다섯째, Loose Part 발생시, 원자로 1차 계통의 안전성 및 건전성에 심각한 영향을 줄 수 있으므로 측정기간 동안 Loose Part 발생이 없어야 한다.

2.3 압력경계관통부 구조물 상세 설계안

Fig. 1 (a) 에 나타난 바와 같이, 영광 4호기 압력경계관통부 구조물은 가열접점열전대 플랜지집합체와 동일한 형상을 적용하여, CVAP 측정 이후 예비용 CEDM 기능을 수행하는 영구구조물로 설계되었다. 신고리 4호기 압력경계관통부 구조물은 설치시 일체형 헤드집합체 구조물과 간섭을 방지하고 주기기의 건전성에 영향을 주지 않기 위하여 CVAP 측정 수행기간에만 설치하는 임시구조물로 설계하였고 Fig. 1 (b)와 같다. 이에 따라 CEDM 예비노즐과 용접되었던 모터 하우징을 제거하고, 트랜지션 허브가 직접 CEDM 예비노즐에 오메가씰 용접으로 설치될 수 있도록 설계 변경하였다. 압력경계관통부는 수행 기능별로 몸체, 계측기 케이블 관통부 및 클램프 집합체로 분류할 수 있다. 각 부위별 상세 설명은 아래 (1)~(3) 항에 기술하였다.

† 교신저자: 정회원, 두산중공업(주)

E-mail : donghwa1.lee@doosan.com

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

* 두산중공업(주)

** 한국수력원자력(주) 중앙연구원

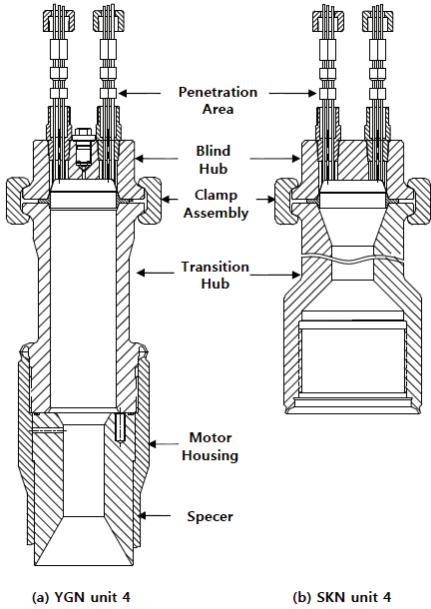


Fig.1 RVI CVAP Pressure Boundary Penetration of YGN unit 4 and SKN unit 4

(1) 몸체부

몸체부는 Fig. 1 (b)와 같이 압력경계를 형성하는 블라인드 허브, 트랜지션 허브로 이루어진다. 블라인드 허브와 트랜지션 허브는 클램프집합체의 스티드와 너트로 체결되며, 트랜지션 허브는 예비노즐에 오메가실 용접으로 체결된다.

(2) 계측기 케이블 관통부

Fig. 2에 나타난 계측기 케이블 관통부는 케이블이 압력경계를 관통하는 기능을 수행한다. 계측기 케이블 관통부는 설계 압력 및 온도범위에서 압력경계 유지 기능을 수행할 수 있는 Grafoil 소재 Sealant 제품을 사용한다.

(3) 클램프집합체

Fig. 3에 나타난 클램프집합체는 트랜지션 허브와 블라인드 허브 사이를 밀봉하여 압력경계 유지가 가능토록 하는 기능을 수행한다. 구성품으로는 스티드(stud), 너트(nut), 클램프(clamp) 및 밀봉링(seal ring)이 있다. 클램프집합체는 블라인드 허브 하단부와 트랜지션 허브 상단부 사이에 밀봉링을 삽입하고 이를 2개의 클램프, 4개의 스티드 및 8개의 너트를 고정하여 체결한다.

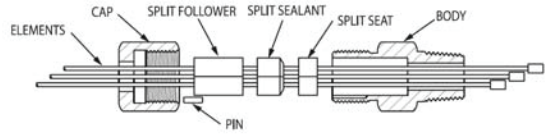


Fig.2 Conax Technologies Packing Gland of SKN unit 4

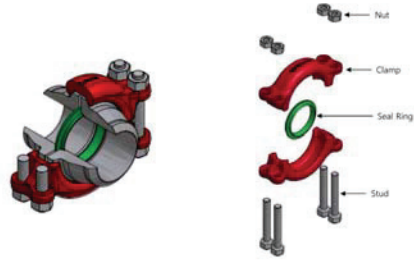


Fig.3 Grayloc lamp Assembly of SKN unit 4

4. 결 론

본 연구에서는 압력경계관통부 구조물이 설치된 환경 및 조건을 검토하여, CVAP 측정기간 동안 측정용 케이블을 압력경계 밖으로 인출하는 주기능을 수행하고 설치 및 제거 시 주변 구조물과 간섭 발생을 방지할 수 있는 압력경계관통부 구조물의 설계안을 제안하였다. 또한 본 연구에 따른 APR1400 RVI 압력경계관통부 구조물은 주기기에 영향을 최소화하기 위하여, 영광 4호기의 영구 구조물과 달리 임시 구조물 방식으로 설계하였다.

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) KEPCO Engineering and Construction Company Inc., 2009, Design Specification for Heated Junction Thermocouple Instrumentation Flange Assemblies.