

APR1400 RVI CVAP 측정용 보호구조물 설계 변경에 대한 고찰

The Case Study of Design Change for APR1400 RVI CVAP Protective Hardware

이동화† · 최영순* · 안봉국* · 고도영**

Dong-Hwa Lee, Young-Soon Choi, Bong-Kook An and Do-Young Ko

1. 서 론

미국 원자력규제위원회 규제지침서 1.20(US NRC RG1.20)에 따라, APR1400 RVI CVAP(comprehensive vibration assessment program)은 건설허가시 비원형범주 I (non-prototype category I)로 분류되었다.

한국수력원자력(주)는 발전소 인허가와 무관하게 사업자 자체 기술개발 등을 목적으로 비원형범주 II(non-prototype category II)로 APR1400 RVI CVAP을 수행하고 있다. 비원형범주 II는 해석, 제한적 측정, 전체 검사로 구성되어 있다⁽¹⁾.

이 논문은 APR1400 RVI CVAP 측정용 보호구조물의 설계 후 추가적인 연구조사 결과에 따라, 일부 측정용 보호구조물에 대한 개선된 설계를 제안하고자 한다.

2. APR1400 RVI CVAP 측정용 보호구조물 설치 환경 및 요건

측정용 보호구조물이 설치되는 APR1400 원전의 원자로 내부 운전압력은 2,250 psi (158.2kgf/cm²) 이고 설계 운전온도는 555°F (290.6 °C)이다.

APR1400 RVI 설계환경 분석결과 RVI CVAP 측정용 보호구조물은 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

첫째, CVAP을 위한 계측기 및 측정케이블은 유동 및 구조해석 결과에 근거하여 선정된 위치에 설치하고 보호하여야 한다. 둘째, 원자로 운전 설계온도, 설계압력 및 열유동 환경에 견딜 수 있어야 한다. 셋째, 설치 및 제거와 측정 이후에도 RVI의 건전성

에 미치는 영향이 없어야 한다. 특히 과도한 용접에 따른 RVI의 변형이 없어야 한다. 넷째, 정해진 기간 내 작업이 가능해야 하므로 설치 및 제거가 용이해야 한다. 다섯째, 원자로 1차 계통의 안전성 및 건전성에 심각한 영향을 줄 수 있는 Loose Part 발생이 없어야 한다. 만약 Loose Part가 발생 할 경우에도 영향을 최소화 하기 위해 증기발생기 세관의 직경보다 보호구조물의 크기가 커야 한다.

3. 계측기 보호구조물 변경 설계

3.1 Pressure Transducer at CEA Shroud

Fig.1 및 Fig.2 에 나타난 영광4호기 압력계 (pressure transducer) 보호구조물은 CEA shroud Tube 와 Web의 Hole 사이에 구조물을 삽입하여 체결하는 방식을 사용하였으나, 두 Hole 간 수평방향 정렬이 구조물의 허용 공차를 벗어날 경우 설치가 되지 않을 수 있다. 또한 Hole 간 수평방향 정렬이 허용 공차 범위 내에 있더라도 완벽히 정렬되지 않을 경우 보호구조물과 Hole 사이 간극이 발생하여, 흔들림(wobble) 현상이 발생한다. 또한 긴 튜브 형태의 보호구조물이 유체가 지나가는 통로에 위치함으로써, 보호구조물 및 측정 케이블에 과도한 떨림이 발생하여 계측 결과에 잡음이 발생할 수 있다.

Fig.3에 나타난 APR1400 압력계 보호구조물은 영광 4호기 압력계 보호구조물에 발생할 수 있는 문제점을 방지하기 위하여 기존 두 개의 CEA shroud web hole을 이용하여 체결한 튜브 형상의 구조물을 한 개의 CEA shroud web hole에 볼트와 너트를 이용하여 체결될 수 있는 클램핑 방식 구조물로 설계 변경하였다. 비용접 클램핑 방식으로 보호 구조물을 고정함으로써 RVI의 변형 및 훼손을 방지하였으며, 설치 및 제거에 소요되는 시간을 단축할 수 있다.

† 교신저자; 정희원, 두산중공업(주)

E-mail : donghwa1.lee@doosan.com

Tel : (055)278-5936, Fax: (055)278-8497

* 두산중공업(주)

** 한국수력원자력(주) 중앙연구원

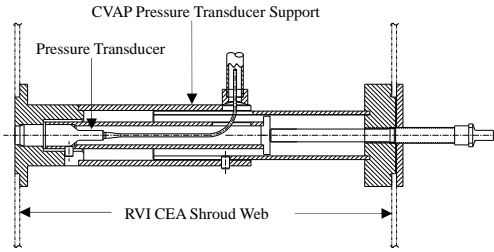


Fig.1 Protective Structure for Pressure Transducer of YGN Unit 4⁽²⁾

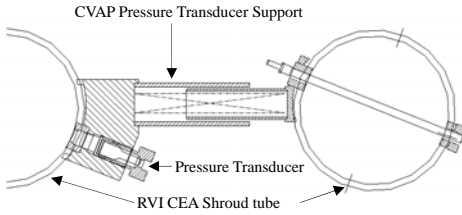


Fig.2 Protective Structure for Pressure Transducer of YGN Unit 4⁽²⁾

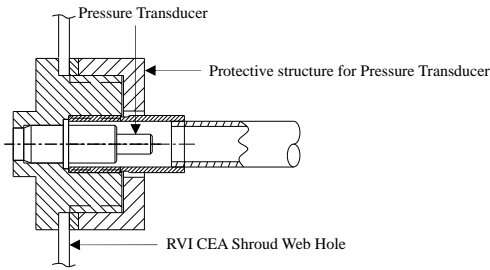


Fig.3 Protective Structure for Pressure Transducer of APR1400

3.2 Conduit Holder Assembly

Fig.4에 나타난 Palo Verde 1호기 도관 고정구조물(conduit holder assembly)은 CEA shroud web의 Hole 사이에 구조물을 삽입하여 용접 및 Spring으로 체결하는 방식을 사용하였으나, IBA (inner barrel assembly) 내부에 위치한 CEA shroud web에 접근이 어려워 스프링 압축 및 용접을 통한 설치 및 제거가 용이하지 않다. 또한 보호구조물 용접시 변형에 의하여 보호구조물과 Web 사이 간극이 발생하여 흔들림 현상이 발생한다.

Fig.5에 나타난 APR1400 도관고정구조물은 Palo Verde 1호기 도관고정구조물에 발생할 수 있는 문제점을 방지하기 위하여 기존 web hole에 체결한 구조물을 IBA 상부 실린더 외부에 Tie Rod를 이용하여 체결될 수 있는 클램핑 방식 구조물로 설계 변경하였다. 비용접 클램핑 방식으로 보호구조물을 고정함으로써 RVI의 변형 및 훼손을 방지하였으며, 설치 및 제거에 소요되는 시간을 절감할 수 있다.

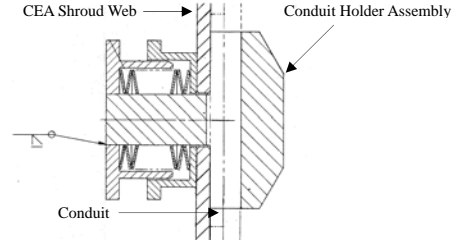


Fig.4 Conduit Holder Assembly of Palo Verde Unit 1⁽³⁾

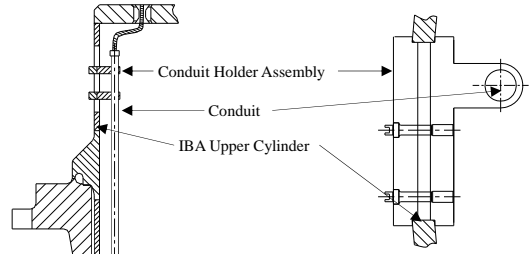


Fig.5 Conduit Holder Assembly of APR1400

4. 결 론

본 연구에서는 APR1400 원전의 열수력 및 구조 해석 결과를 바탕으로 APR1400 RVI CVAP 측정용 보호구조물의 기본요건을 제시하였다. 또한 영광 4호기 및 Palo Verde 1호기에 사용된 RVI CVAP 측정용 보호구조물 설계를 검토하였다. 본 논문에서 제안한 APR1400 RVI CVAP 측정용 보호구조물의 설계는 CVAP 측정 중 계측기와 측정케이블의 고정 및 보호의 기본적인 목적을 만족함과 동시에 계측기 보호구조물이 RVI 자체의 건전성에 영향을 미치지 않도록 개선한 설계라고 판단한다.

참 고 문 헌

- (1) Ko, D. Y. Kim, K. H., and Kim, S.H. 2011, Selection Criteria of Measurement Locations for APR 1400 RVI CVAP, Transactions of the KSNVE. Vol.21, No.8, pp. 708~713.
- (2) Combustion Engineering Inc., 1984, CVAP Pressure Transducer Support Details CEA Shroud. E-10287-164-461, Rev.5
- (3) Combustion Engineering Inc., 1980, Pre Critical Instrumentation Installation of UGS. E-14273-164-803, Rev.2