

# APR1400 RVI CVAP 측정용 보호구조물 설계에 대한 고찰

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

이동화† · 최영순\* · 최한광\* · 고도영\*\*

Dong-Hwa Lee, Young-Soon Choi, Han-Kwang Choi 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)으로 분류되었다<sup>(1)</sup>.

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<sup>(2)</sup>.

이 논문은 APR1400 RVI CVAP 측정용 보호구조물에 대한 다양한 연구조사 수행결과에 따라, 최적의 설계를 제안하고자 한다.

### 2. APR1400 RVI CVAP 측정용 보호구조물 설치 환경 및 요건

측정용 보호구조물이 설치되는 APR1400 원전의 원자로 내부 운전압력은 2250 psi (158.2kgf/cm<sup>2</sup>) 이고 설계 운전온도는 555° F (290.6° C)이다<sup>(3)</sup>.

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

첫째, CVAP을 위한 계측기 및 측정케이블을 유동 및 구조해석 결과에 근거하여 선정된 위치에 고정하고 보호하여야 한다. 둘째, 원자로내부 운전 설계 온도, 설계압력 및 열유동 환경에 견딜 수 있어야 한다. 셋째 설치, 제거 및 Test 도중 RVI의 건전성

에 미치는 영향이 없어야 한다. 특히 과도한 용접에 따른 RVI의 변형이 없어야 한다. 넷째, 설치 및 제거는 정해진 기한 내 작업이 가능해야 하므로, 설치 및 제거가 용이해야 한다. 다섯째, Loose Part 발생시, 원자로 1차 계통의 안전성 및 건전성에 심각한 영향을 줄 수 있으므로 Test 도중 Loose Part 발생이 없어야 한다. 또한 Loose Part 발생 시에도 영향을 최소화 하기 위해, 증기 발생기 세관의 직경보다 보호구조물의 크기가 커야 한다.

### 3. 측정 위치별 계측기 보호구조물 설계

#### 3.1 Strain Gage at CEA Shroud Tube & Web

Fig.1에 나타난 영광 4호기 변형률계(strain gage) 보호구조물은 GSSS top plate(APR 1400의 IBA top plate에 해당)에 클램핑 방식으로 고정되어, 보호구조물과 접촉하는 CEA shroud web과 tube에 강한 Contact force를 가함으로써, 측정된 진동에 감쇠를 기대할 수 있으며, 구조 응답을 변화시킬 수 있다.

Fig.2와 같이 APR1400 변형률계 보호구조물은 변형률계가 부착되는 해당 CEA shroud web과 tube에 직접 용접됨으로써, 영광 4호기 변형률계 보호구조물에 나타날 수 있는 문제점을 방지하였다. 또한 Mock-up 시험 결과 검토를 통하여 용접량을 최소화 하여, 용접으로 인한 RVI의 변형을 방지하였다.

#### 3.2 Pressure Transducer at CEA Shroud Web

Fig.3에 나타난 영광4호기 압력계(pressure transducer) 보호구조물은 CEA shroud web의 Hole과 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

† 교신저자: 정희원, 두산중공업(주)

E-mail : donghwa1.lee@doosan.com

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

\* 두산중공업(주)

\*\* 한국수력원자력(주) 중앙연구원

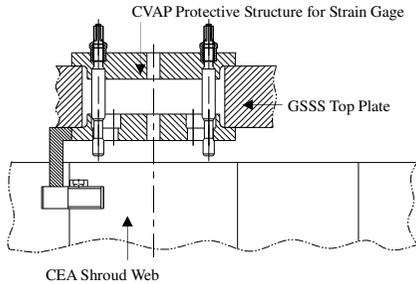


Fig.1 Protective Structure for Strain Gage of YGN Unit 4<sup>(4)</sup>

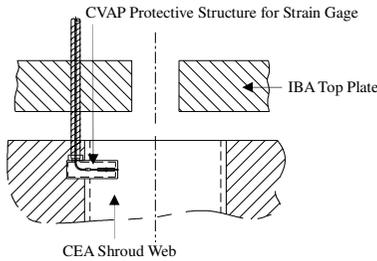


Fig.2 Protective Structure for Strain Gage of APR1400

(wobble) 현상이 발생한다. 또한 긴 튜브 형태의 보호구조물이 유체가 지나가는 통로에 위치함으로써, 보호구조물 및 측정 케이블에 과도한 떨림이 발생하여 측정 결과에 Noise가 발생할 수 있다.

Fig.4에 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. 비용집 클램핑 방식으로 보호 구조물을 고정함으로써 RVI의 변형 및 훼손을 방지하였으며, 설치 및 제거에 소요되는 시간의 최소화가 가능하다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 APR1400 원전의 열수력 및 구조 해석 결과를 바탕으로 APR1400 측정용 보호구조물의 기본요건을 제시하였고, 영광 4호기에 사용된 RVI CVAP 측정용 보호구조물 설계를 검토하여, APR100 측정용 보호구조물의 건전성을 확보하고, 측정 결과에 영향을 미치지 않도록 문제 발생 예상 부위 설계를 변경하였다. 또한 측정용 보호구조물은 RVI CVAP용 계측기와 측정케이블의 고정 및 보호

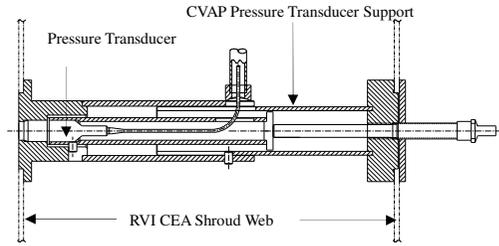


Fig.3 Protective Structure for Pressure Transducer of YGN Unit 4<sup>(5)</sup>

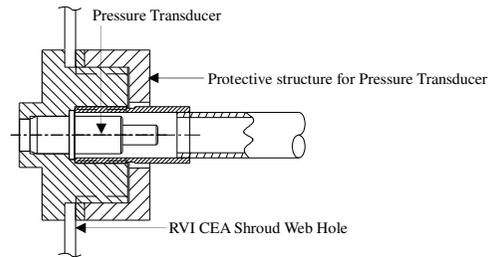


Fig.4 Protective Structure for Strain Gage of APR1400

가 가장 큰 목적이거나, CVAP 목적이 RVI 건전성 확인이므로 계측기 보호구조물이 RVI 자체 건전성에 영향을 주지 않도록 설계안을 제안하였다.

#### 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., 2008, Design Specification for Reactor Vessel Core Support and Internal Structures.
- (4) Combustion Engineering Inc., 1984, CVAP Strain gage details & Installation CEA Shroud. E-10287-164-463, Rev.5
- (5) Combustion Engineering Inc., 1984, CVAP Pressure Transducer Support Details CEA Shroud. E-10287-164-461, Rev.5