

# APR1400 RVI CVAP 변형률계 보호덮개 설계에 관한 고찰

## The Case Study on Design of Strain Gage Protective Cover for APR1400 RVI CVAP

안동현† · 조정래\* · 고도영\*\*

Dong-Hyun Ahn, Chung-Rae Cho and Do-Young Ko

### 1. 서 론

원자력발전소를 운영하기 위해 정상운전 및 과도 운전 상태에서 발생하는 유동유발진동(flow induced vibration)으로 인한 원자로내부구조물(reactor internals)의 안전성을 입증해야 하며, 그 방법으로 미국원자력 규제위원회 규제지침(US Nuclear Regulatory Commission Regulatory Guide, US NRC RG) 1.20<sup>(1)</sup>, "Comprehensive Vibration Assessment Program for Reactor Internals during Preoperational and Initial Startup Testing"을 수행해야 한다. 이러한 실험적 절차를 수행함으로써 원자로냉각재의 유동유발진동에 대한 원자로의 구조적 건전성을 확인하고, 안전여유도(safety margin)를 확보할 수 있다.

한국수력원자력(주)는 신형원자로 APR1400(Advanced Power Reactor)으로 건설중인 신고리 4호기를 인허가와 별도로 CVAP 원천기술 확보등을 목적으로 RVI CVAP을 Non-prototype Category II로 분류하였다. 따라서, 해석(analysis), 제한적 측정(limited measurements) 그리고 전체 검사(full inspection)가 수행되어야 한다.

CVAP 수행기간 동안 측정에 사용될 계측기는 유동하중으로부터 보호되어야 하고, 계측기 이탈로 인한 이물질 발생을 방지하기 위해 계측기 보호 구조물의 설계와 제작은 반드시 수행되어야 할 사항이다. APR1400에 적용 가능하도록 설계된 계측기 보호구조물은 실제품의 파단시험을 통하여 설계 건전성을 입증하였으나<sup>(2)</sup> 변형률계 보호덮개(strain gage cover)의 경우 실제품에 필렛용접으로 접합하

여 설치 후 제거하게 되므로 작업의 어려움과 예상치 못한 손상발생 가능성이 있어 이에 대한 설계 개선의 필요성이 대두되었다.

따라서 본 연구에서는 OPR1000과 APR1400 RVI CVAP 변형률계 보호구조물을 대상으로 설계 개선 사항을 반영하여 최적 설계안이 도출되는 과정을 고찰하였다.

### 2. 변형률계 보호덮개 설치 환경 및 요건

#### 2.1 설치환경

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

#### 2.2 설치요건

APR1400 RVI 설계환경 분석결과 RVI CVAP 측정용 보호구조물은 아래 조건을 만족하여야 한다.

첫째, CVAP을 위한 변형률계 보호덮개 및 측정케이블을 유동 및 구조해석 결과에 근거하여 선정된 위치에 고정하고 보호하여야 한다. 둘째, 원자로내부 운전설계온도, 설계압력 및 열유동 환경에 견딜 수 있어야 한다. 셋째, 설치, 제거 및 시험 도중 RVI의 건전성에 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, 이탈물질(loose part) 발생 시 원자로 1차 계통의 안전성 및 건전성에 심각한 영향을 줄 수 있으므로 시험 도중 이탈물질 발생이 없어야 한다.

### 3. 변형률계 보호덮개의 설계 개선안

Fig.1에 나타낸 변형률계 보호구조물은 OPR1000(Optimized Power Reactor 1000)에 적용된 설계로 GSSS(guide support structure system)상부 판넬(APR1400의 IBA(inner barrel assembly) top plate

† 교신저자; 정회원, 두산중공업(주)

E-mail : donghyun.ahn@doosan.com

Tel : (055)278-3861, Fax : (055)278-8476

\* 두산중공업(주)

\*\* 한국수력원자력(주) 중앙연구원

에 해당)에 클램핑 방식으로 고정된다. 측정대상인 IBA는 보호구조물의 클램핑부와 변형률계 부착 위치가 이격되어 있어, 이러한 설계를 적용할 경우 보호구조물과 접촉하는 CEA(control element assembly) shroud web과 tube에 강한 접촉하중(contact force)을 가함으로써, 측정된 진동의 감쇠와 구조 응답의 변화를 유발시킬 수 있는 단점이 존재하게 된다.

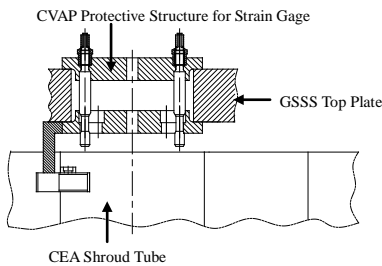


Fig.1 Protective Structure for Strain Gauge of YGN Unit 4

OPR1000에 적용했던 변형률계 보호구조물에서 발생할 수 있는 문제점을 개선하기 위해 APR1400 변형률계 보호구조물은 Fig.2에 나타난 바와 같이 변형률계가 부착되는 해당 CEA shroud web과 tube에 필렛용접으로 부착하는 방식을 선택하여 IBA top plate와 CEA shroud web 사이의 영향을 최소화 하였으며, 상부의 클래프를 제거하여 부가질량에 대한 영향을 최소화 하였다.

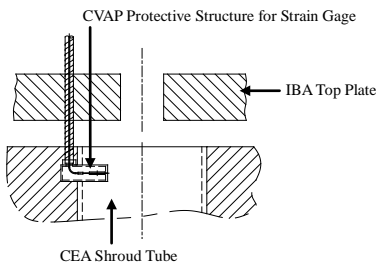


Fig.2 Protective Structure for Strain Gauge of APR1400

상기 설계에 대한 실제품 형태의 파단시험을 수행한 결과<sup>(2)</sup> 건전성이 충분함은 확인되었으나 설치, 제거작업의 어려움과 본품 손상에 대한 가능성이 존재하여 이를 개선하기 위한 설계개선이 필요하였다. 기존의 보호구조물을 박판형태의 보호덮개로 변경하고, 점용접(spot welding) 방식으로 부착하게 되면 기존의 필렛용접이 가지는 문제점을 해결할 수 있게 된다. 점용접은 변형률계를 부착할 경우에도 사용되는 방법으로 영광 4호기에서 사용된 바가 있으므로 건전성은 실증된 상태이다.

Fig.3에 나타난 변형률계 보호덮개는 변형률계가 부착되는 해당 CEA shroud web 및 tube에 직접

용접되며, 변형률계는 점용접으로 고정되도록 설계되었다.

Fig.3과 같이 변형률계 보호구조물 대신 보호덮개를 점용접으로 부착하게 되면 필렛용접 부착방식 대비 아래의 3가지 장점을 가지게 된다.

첫째, 기존 보호구조물 대신 보호덮개를 사용하여 RVI와의 접촉 부위가 최소화되었으며, 설치 및 제거방식이 간소화되었다. 둘째, 기존 보호구조물 부착을 위한 필렛 용접대신 용접량을 최소화 한 점용접방법을 사용하여 용접으로 인한 RVI의 변형을 방지하였다. 셋째, 보호구조물에서 보호덮개로 변경되면서 변형률계 보호 방식이 간접에서 직접적 보호 방식으로 변경되었다.



Fig.3 Protective Structure for Strain Gauge of APR1400

### 3. 결 론

본 연구에서는 APR1400 RVI CVAP 측정용 변형률계 보호구조물의 설계 개선안을 제시하였으며, 작업성과 부가적인 기능을 검토한 결과 개선안으로서의 보호덮개는 가장 적합한 설계안임을 확인하였다. 또한 개선된 설계안의 실제 적용을 위해서는 국내외 실제 적용사례의 충분한 검토와 실제품 형태의 파단시험을 이용한 건전성 평가를 수행하여 신뢰도를 향상시킬 필요성이 있다.

### 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) Lee, D. H., Choi, Y. S., Choi, H. K, Ko, D. Y., 2012, The Case Study of Design for APR1400 RVI CVAP Protective Hardware, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 312~313.
- (3) Kepco Engineering and Construction Company Inc., 2008, Design Specification for Reactor Vessel Core Support and Internal Structures.