

APR1400 RVI CVAP 변형률계 설치에 대한 고찰

The Case Study on Installation of Strain Gage for APR1400 RVI CVAP

안동현† · 구자영* · 강동수* · 고도영**

Dong-Hyun Ahn, Ja-Yeong Gu, Dong-Soo Kang 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⁽¹⁾, "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 수행된다.

CVAP 측정기간 동안 사용될 계측기는 유동하중으로부터 보호되어야 하고, 계측기 이탈로 인한 이물질 발생을 방지하기 위해 계측기 보호구조물의 설계와 제작은 반드시 수행되어야 할 사항이다. APR1400에 적용 가능하도록 설계된 계측기 보호구조물은 실제품의 과단시험을 통하여 설계 건전성을 입증하였으나⁽²⁾ 변형률계 보호덮개(strain gage cover)의 경우 실제품에 필렛용접으로 접합하여 설

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

따라서 본 연구에서는 OPR1000(Optimized Power Reactor 1000)과 APR1400 RVI CVAP 변형률계 보호구조물을 제거한 설계 방안을 제시하였다.

2. 변형률계 설치 환경 및 요건

2.1 설치환경

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

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, 정해진 기한 내 작업이 가능하도록 설치 및 제거가 용이해야 한다. 다섯째, 이탈물질(loose part) 발생시 원자로 1차 계통의 안전성 및 건전성에 심각한 영향을 줄 수 있으므로 시험 중 이탈물질 발생이 없어야 한다.

3. 변형률계 설치 방안

Fig.1에 나타낸 변형률계 보호구조물은 OPR1000에 적용된 설치 방법으로 GSSS(guide structure support system)상부 판넬(APR1400 IBA(inner barrel assembly) top plate에 해당)에 클램핑 방식

† 교신저자; 정회원, 두산중공업(주)

E-mail : donghyun.ahn@doosan.com

Tel : (055)278-3861, Fax : (055)278-8497

* 두산중공업(주)

** 한국수력원자력(주) 중앙연구원

으로 고정된다. 측정대상인 IBA는 보호구조물의 클램핑부와 변형률계 부착 위치가 이격되어 있어, 이러한 설치 방법은 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.

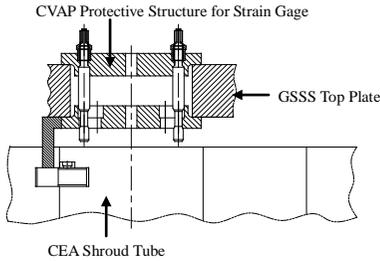


Fig.1 Protective Structure for Strain Gauge of YGN Unit 4

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 클램프를 제거하여 부가질량에 대한 영향을 최소화 하였다.

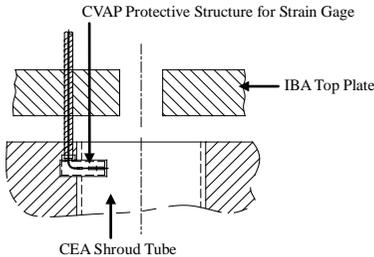


Fig.2 Protective Structure for Strain Gauge of APR1400

상기 설계에 대한 실제품 형태의 파단시험을 수행한 결과⁽²⁾ 건전성이 충분함은 확인되었으나 설치, 제거작업의 어려움과 본품 손상에 대한 가능성이 존재하여 이를 개선하기 위한 설치방안이 필요하였다. 기존의 보호구조물을 박판형태의 보호덮개로 변경하고, 점용접(spot welding) 방식으로 부착하게 되면 기존의 필렛용접이 가지는 문제점은 해결할 수 있으나, 변형률계와 보호덮개의 직접적인 접촉으로 측정 시 민감도를 낮추는 요인이 된다.

Fig.3에 나타난 변형률계는 해당 CEA shroud web 및 tube에 직접 용접되며, 점용접으로 고정하여 설치되었다. 점용접은 영광 4호기에서 사용된 바가 있으므로 건전성은 실증된 상태이며, 실제품 형

태의 건전성 평가를 수행하여 확인⁽³⁾ 하였다.

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

첫째, 기존 보호구조물 대신 보호덮개를 사용하여 RVI와의 접촉 부위가 최소화되며, 설치 및 제거방식이 간소화된다. 둘째, 기존 보호구조물 부착을 위한 필렛 용접대신 용접량을 최소화 한 점용접방법을 사용하여 용접으로 인한 RVI의 변형을 방지한다. 셋째, 보호구조물이 제거되면서 이탈물질 발생률이 감소한다.

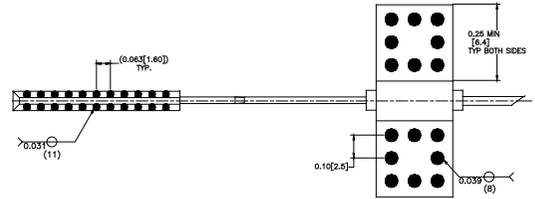


Fig.3 Protective Structure for Strain Gauge of APR1400

3. 결 론

본 연구에서는 APR1400 RVI CVAP 측정용 변형률계 설치 방안을 제시하였으며, 작업성과 부가적인 기능을 검토한 결과 설치 방안으로서의 적합성을 확인하였다. 또한 개선된 설치 방안은 해외 적용사례 검토와 실제품 형태의 파단시험을 이용한 건전성 평가를 만족하였으므로 충분히 실제 적용이 가능할 것으로 사료된다.

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) Noh, B. W., Choi, Y. S., Ko, D. Y., 2013, The Structural Evaluation of Strain Gauge Cover for APR1400 RVI CVAP Measurement, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 408~409.