

APR1400 원자로 내부구조물 종합진동평가 측정센서 선정 Selection of Measuring Sensors for Reactor Vessel Internals Comprehensive Vibration Assessment Program in Advanced Power Reactor 1400

고도영†, 이재곤*
Do-Young Ko, Jae-Gon Lee

Key Words : RVI(원자로내부구조물), CVAP(종합진동평가프로그램), APR1400(신형경수로1400), Measuring sensor(측정센서)

ABSTRACT

Reactor vessel internals comprehensive vibration assessment program(RVI CVAP) is one of the necessary tests to ensure the safety of nuclear power plants. RVI CVAP of U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulatory Guide 1.20(U.S. NRC R.G. 1.20) consists of the analysis, measurement, and inspection. One of the core technologies of the measurement program for RVI CVAP is to select suitable sensors. We analyzed RVI design data of Palo Verde nuclear generating station(U.S.) and Yonggwang nuclear generating station(Korea) and investigated measuring sensors used in both of them; moreover, we investigated sensors used for measurement of RVI CVAP for the last 20 years throughout the world. Based on these results, we selected the most suitable sensors for RVI CVAP in Advanced Power Reactor 1400(APR1400).

1. 서 론

신형경수로 1400(APR1400 : Advanced Power Reactor 1400)은 국내 기술로 개발한 전기출력 1,400MWe의 신형 가압경수로(PWR : Pressurized Water Reactor)이다. APR1400은 한국표준형원전(OPR 1000 : Optimized Power Reactor)의 설계, 건설, 운영 및 정비를 통해 축적된 경험과 기술을 기반으로 신개념 기술을 도입하여 안전성, 경제성, 운전 및 정비 편의성을 향상 시켰다(1). 우리나라가 2009년 12월 UAE에 수출하기로 계약한 원전이 바로 APR1400이다.

미국 연방법 10 CFR(Code of Federal Regulations) Part 50은 원전의 일반설계기준(GDC : General Design Criterion)을 포함하고 있으며, GDC는 원전사업자가 안전성을 확보하기 위해 원전의 중요한 구조물, 시스템 그리고 기기의 설계 및 성능에 대한 평가를 수행하도록 명시하고 있다(2).

† 교신저자; 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원
E-mail : kodoyoung@khnp.co.kr
Tel : (042) 870-5774, Fax : (042) 870-5779

* 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

원자력발전소 구성기기 중 가장 중요한 원자로(RV : Reactor Vessel)가 운영 기간 중 유체유발진동(flow induced vibration)에 구조적으로 건전한지를 확인하고 안전 여유도를 확보하기 위해 제정된 것이 미국원자력규제위원회의 규제지침 1.20 Comprehensive Vibration Assessment Program for Reactor Internals during Preoperational and Initial Startup Testing 이다. U.S. NRC R.G. 1.20은 원자로 내부구조물의 배열(arrangement), 설계(design), 크기(size) 및 운전조건(operating conditions)이 유효원형(valid prototype) 발전소와 본질적 동일성 정도에 따라 해당 원전의 원자로 내부구조물 종합진동평가(RVI CVAP : Reactor Vessel Internals Comprehensive Vibration Assessment Program) 방법을 결정하도록 그림 1과 같이 분류되어 있다.

그림 1에서 보는 바와 같이 Non-Prototype Category I은 해석과 광범위한 측정 또는 전체 검사 중 선택할 수 있으며, 영광 4호기 원전 이후 건설된 10개의 OPR1000 원전은 해석과 전체 검사로 RVI CVAP를 수행해 오고 있다. 그러나 Non-Prototype II는 해석, 제한적 측정 그리고 전체 검사로 구성되어 측정이 필수 요소이다.

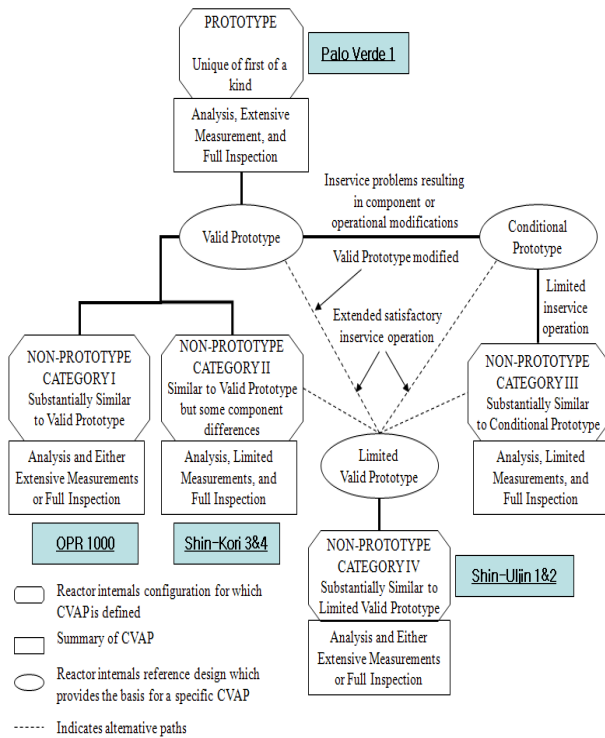


그림 1. RVI CVAP Category

OPR1000의 최초 원전인 영광 3, 4호기 건설시 영광 4호기는 미국 Palo Verde 1호기 원형(prototype) 시험을 근거로 그림 1의 Non-Prototype Category II로 수행하였고, 이후 국내 원전은 OPR1000 원전의 반복 건설로 Non-Prototype Category I으로 수행해 왔다(3)~(6). 영광 4호기에서 RVI CVAP 측정프로그램을 수행시 해외기관인 CE사(Combustion Engineering Inc.)에 의해 수행 되었으므로 국내에 관련기술이 부족한 실정이다.

현재 건설 중인 신고리 3, 4호기는 APR1400의 최초 건설 원전이다. 원자로 내부구조물이 Palo Verde 1호기와 유사하나 철저한 검증 및 기술 확보를 위해 신고리 4호기에서 Non-Prototype Category II로 수행하기 위한 기술을 개발 중이다(7)~(9).

본 논문은 신고리 4호기 원전의 RVI CVAP 측정프로그램 수행시 사용가능한 최적의 압력계(PT : pressure transducer), 가속도계(Accel. : accelerometer), 변형률계(SG : strain gage)에 대해 제안하고자 한다.

2. RVI CVAP 측정환경 및 센서 구비요건

본 장에서는 APR1400 원전의 열수력 및 구조 설계에 근거하여 RVI CVAP 측정환경 및 센서 구비요건에 대하여 제시하였다.

2.1 RVI 설계 분석

원자로 내부구조물 진동측정 환경을 살펴보기 위해 APR1400 RVI 열수력 설계를 분석하였다(10)~(14). APR1400 원전의 원자로 내부 설계압력은 2500psi(175.8kgf/cm²)이고 최대 설계온도는 800°F(426.7°C)이다(10). RVI CVAP 수력하중(hydraulic forcing function)은 펌프맥동에 의한 규칙적(deterministic) 하중, 유체난류(turbulence)에 의한 불규칙적(random) 하중이 발생한다. 펌프맥동은 본질적으로 음향 하중으로서 원자로 냉각재 펌프 주파수(20Hz)와 원자로 냉각재 펌프 Blade passing frequency(120Hz)의 배수에서 발생한다. APR1400 원자로 냉각재 펌프는 4대이므로 20Hz ~ 480Hz에서 측정 가능한 센서가 선정되어야 할 것으로 검토되었다.

표 1은 RVI CVAP 센서의 측정환경 도출과 관련된 APR1400 원전의 RVI 열수력 자료를 나타낸 것이다.

표 1. RVI Thermal-hydraulic Design for APR1400

Item	Spec.
RV Operating Pressure(psia)	2250
Maximum Design Temp.(°F)	800
Pump Rotor Speed(rpm)	1190
Reactor Coolant Pump Frequency(Hz)	20
Reactor Coolant Pump Blade Passing Frequency(Hz)	120

또한, 측정센서 케이블 길이 등을 도출하기 위해 APR1400 RVI 구조 설계를 분석하였다(10)~(14). RVI의 노심지지통(CSB : Core Support Barrel)의 길이가 약 9.7m 정도이므로 센서가 설치되는 원자로 내부에서부터 원자로 외부까지의 고온 및 고압에 견딜 수 있는 하드케이블은 라우팅 길이를 감안하여 최소 20m 이상 되어야 할 것이다. 또한, 하드케이블이 끝나는 원자로 외부에서부터 측정실의 신호 증폭기까지 연결할 소프트케이블은 최소 30m 이상 되어야 할 것으로 검토되었다.

표 2는 RVI CVAP 센서의 측정환경 도출과 관련된 APR1400 원전의 RVI 구조 설계를 나타낸 것이다.

표 2. RVI Structure Design for APR1400

Component		Spec. (mm)
CSB	Length	9715.5
	Diameter	3987.8
UGS	Length	4924.4
	Diameter	3962.4

※ CSB : core support barrel, UGS : upper guide structure

2.2 RVI CVAP 측정센서 구비요건

APR1400 RVI 설계 분석 결과를 근거로 APR1400 RVI CVAP 수행에 사용가능한 측정센서는 다음과 같은 조건을 만족하여야 할 것이다.

첫째 측정센서는 원자로 내부 최대 설계온도 426.7℃ (800°F), 최대 설계압력 175.8kgf/cm²(2500psi), 수력하중 환경에 견딜 수 있어야 한다. 둘째 측정센서는 원자로 내부에 설치하고, 센서의 신호증폭 및 신호변환기는 원자로 외부에 설치할 수 있는 분리형태가 되어야 한다. 셋째 측정케이블 중에서 원자로 내부에 설치되는 하드케이블은 극한 환경에 견딜 수 있는 특수케이블(MI cable : mineral insulated cable)로 구성되어야 한다. 넷째 APR1400 원자로냉각재펌프 Blade passing frequency 가 120Hz이며 4대 이므로 500Hz 이상 측정 가능한 센서가 선정되어야 할 것으로 판단된다. 다섯째 원자로 내부의 하드케이블과 외부의 소프트케이블은 RVI 구조를 감안할 때 각각 최소 20m와 30m 이상 되어야 한다.

표 3은 APR1400 RVI CVAP을 위한 측정센서의 기본요건을 나타내었다.

표 3. Requirements of Sensors for APR1400 RVI CVAP

Item	Specification
Operational Temp.	426.7℃ or more
Frequency	500Hz or more
Operational Pressure	175.8kgf/cm ² or more
Hard Cable	20m or more
Soft Cable	30m or more

3. 측정센서의 종류 및 특성

본 장은 APR1400 원전의 원형인 Palo Verde 1호기와 OPR1000 원전인 영광 4호기 원전 RVI CVAP에 사용된 측정센서에 대한 조사와 최근 사용된 실적이 있는

RVI CVAP 측정센서를 비교분석 하였다.

3.1 RVI CVAP이 수행된 원전의 측정센서

APR1400의 RVI CVAP 측정프로그램에 적용할 측정센서 선정을 위하여 APR1400 원전의 핵증기공급계통(NSSS : nuclear steam supply system) 설계부터 검토해야 한다. APR1400은 PWR로써 미국 CE사의 System 80 원자로 설계에 기반하며, 우리나라의 OPR1000 원자로 설계를 개량한 원전이다. 그러므로 System 80의 원형(prototype) 원전인 미국의 Palo Verde 원전에서 RVI CVAP 측정프로그램을 수행한 1호기 원전과 OPR1000 RVI CVAP 측정프로그램을 수행한 영광 4호기 원전에서 사용된 측정센서에 대하여 조사하였다.

(1) 압력계

1983년 Palo Verde 1호기 원전에 사용된 RVI CVAP 압력계는 동적 응답형인 Columbia Research Lab. No. 774와 정적 및 동적 응답형인 Kaman Sciences Model KP-1911의 2종류가 사용되었다(15).

1995년 영광 4호기 원전에 사용된 RVI CVAP 압력계는 동적응답형으로 Vibro-Meter사의 CP-103이 사용되었다. 측정센서가 설치된 원자로 내부로부터 원자로 외부까지 사용된 하드케이블은 RVI 구조 및 원자로 내부 운전온도와 운전압력을 반영한 MI케이블이 50ft(15.24m) 사용되었다(16).

(2) 가속도계

Palo Verde 1호기 원전에 사용된 RVI CVAP 가속도계는 2축 및 3축 가속도계로 Columbia Research Lab. No. 775와 No. 776이 사용(15) 되었고, 영광 4호기 원전에 사용된 RVI CVAP 가속도계는 2축 가속도계로 Vibro-Meter사의 CA-602가 사용되었다(16).

(3) 변형률계

Palo Verde 1호기 원전에 사용된 RVI CVAP 변형률계는 용접 가능한 고온용 응력계로 Ailtech사의 Micro-dot가 사용(15) 되었고, 영광 4호기 원전에 사용된 RVI CVAP 변형률계는 용접 가능한 고온용 변형률계로 KYOWA사의 KHC-20-120-G8-16이 사용되었다(16). 여기서 KHC는 Kyowa사의 고온형 변형률계, 20은 변형률계 길이 20mm, 120은 변형률계 저항, G8은 변형률계 케이스(sheath) 및 테두리(flange)의 재료가 Inconel 600, 16은 스테인레스 스틸 재료를 위한 센서라는 것을 각각 의미한다.

Palo Verde 1호기 RVI CVAP 측정프로그램에 사용된 측정센서의 종류, 수량, 부착위치는 표 4와 같다.

표 4. Sensors for CVAP in Palo Verde Unit 1

Position Sensors	CSB	UGS	LSS	Sum
Pressure Transducer	9	3	1	13
Accelerometer	1	6	1	8
Strain Gage	8	4	2	14
Displacement Transducer	3			3
Sum	21	13	4	38

※ LSS : lower support structure

영광 4호기 RVI CVAP 측정프로그램에 사용된 측정센서의 종류, 수량 및 부착위치는 표 5와 같다.

표 5. Sensors for CVAP in Yonggwang Unit 4

Position Sensors	CSB	UGS	LSS	Sum
Pressure Transducer		8	-	8
Accelerometer	2	4	-	6
Strain Gage	4	12	-	16
Sum	6	24	-	30

3.2 최근 사용된 측정센서의 비교분석

APR1400 RVI CVAP 측정센서를 도출하기 위해 1990년부터 최근까지 약 20년간 전 세계 원전에서 RVI CVAP 측정을 위해 사용된 센서를 조사하였다. 조사된 국가는 미국, 프랑스, 일본, 캐나다, 중국 등 총 13개국이며, 신규 원전 건설 또는 기존 원전의 출력증강을 위해 PWR 노형과 BWR(boiled water reactor) 노형에 사용된 센서들을 모두 조사한 후, 다시 APR1400 원자로 형태인 PWR 노형의 RVI CVAP 환경에서 사용된 측정센서를 정리하였다.

첫째 압력계로 가장 많이 사용된 센서로는 Vibro-Meter사의 CP-211, CP-103, CP-104 그리고 CP-216으로 조사되었다. 이 중에서 CP-104는 최대 압력이 140bar(142.7kgf/cm²)로 BWR 노형에서는 사용이 가능하나, 최대 압력이 최소 155bar(158kgf/cm²) 이상 필요한 PWR 노형에서는 사용되지 않음을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 CP-211, CP-103, CP-216의 3가지 압력계에 대하여 비교분석 하였다(17).

표 6은 최근 전 세계적으로 PWR 노형의 원전에서 CVAP를 위해 가장 많이 사용한 압력계 3종에 대한 비교표이다.

표 6. Comparison of PT for RVI CVAP used in PWR

Press. Trans.	Max Temp. (°C)	Max Press. (kgf/cm ²)	Frequency Response (Hz)	Remark
CP211	777	356.9	2 ~ 15,000	- LOCA Simulation - Fuel Development - Fusion Reactor R&D - Compact size
CP103	700	254.9	2 ~ 10,000	- RVI Startup testing and HFT
CP216	520	356.9	2 ~ 15,000	- Compact size - SG Flow induced vibration

표 6에서 보는 바와 같이 CP-211은 극한 환경의 실험실 측정용으로 주로 사용 되었고 CP-216과 유사한 특성을 보였다. CP-103은 RVI의 초기시험과 출력상승시험 등 시운전시 사용 되었다.

CP-103은 최대 운영온도가 -196°C ~ +700°C, 최대 압력 254.9kg/cm², 주파수 응답 2Hz ~ 10,000Hz, 민감도 232pC/bar(16pC/psi), 프로브 무게 120g이고 수증 측정과 부식방지를 위해 Inconel 600으로 밀봉 용접 되었다. 입력전원은 불필요하고 신호전송은 센서 케이싱 내부의 절연된 두 개의 센서 단자로부터 이루어진다. 신호 증폭은 원자로 외부의 Charge converter에서 수행한다. 원자로 내부구조물의 측정센서로 부터 원자로 외부의 소프트웨어 연결단자까지는 하드케이블, 연결단자부터 Charge converter까지는 소프트웨어로 구성할 수 있다. CP-103은 영광 4호기 및 최근 20년간 원전에서의 사용실적 그리고 본 논문에서 제시한 측정센서의 기본요건을 모두 만족하므로 APR1400 RVI CVAP 압력계로 적합한 것으로 판단된다.

둘째 가속도계는 Vibro-Meter사의 CA-602, CA-901, CA-952 그리고 CA-962가 가장 많이 사용된 것으로 조사되었다. 이 중에서 CA-901은 최대 압력이 140bar(142.7kgf/cm²)로 BWR 노형에서 사용이 가능하나, PWR 노형에서는 적합하지 않음을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 CA-602, CA-952, CA-962의 3가지 가속도계에 대하여 비교분석 하였다(17).

표 7은 최근 전 세계적으로 PWR 노형의 원전에서 CVAP를 위해 가장 많이 사용한 가속도계 3종에 대한 비교표이다.

표 7. Comparison of Accel. for RVI CVAP used in PWR

Accel.	Max Temp (°C)	Max Pressure (kgf/cm ²)	Frequency Response (Hz)	Remark
CA602	600	224.9	2 ~ 700	- RVI Startup testing and HFT - SG vibration - Obsolete
CA952	650	254.9	2 ~ 2,500	- RVI Startup testing and HFT
CA962	650	254.9	0.5 ~ 400	- RVI Startup testing and HFT

표 7에서 보는 바와 같이 CA-602는 현재 구형 모델이며 CA-952와 CA-962는 거의 동일한 특성을 가지고 있으나 주파수 응답에서 각각 2 ~ 2,500Hz와 0.5 ~ 400Hz로 차이가 있어 CA-952가 더 적정함을 알 수 있다.

CA-952 압전형 가속도계는 최대 운영온도가 -196°C ~ +650°C, 최대 압력 254.9kg/cm², 주파수 응답 2Hz ~ 2,500Hz, 민감도 50pC/g, 프роб 무게 450g이고 수중 측정과 부식방지를 위해 Inconel 600으로 밀봉 용접 되었다. 입력전원은 불필요하고 신호전송은 센서 케이싱 내부의 절연된 두 개의 센서 단자로부터 이루어진다. 신호 증폭은 원자로 외부의 Charge converter에서 수행한다. 원자로 내부구조물의 측정센서로 부터 원자로 외부의 소프트웨어 연결단자까지는 하드케이블, 연결단자부터 Charge converter까지는 소프트웨어로 구성할 수 있다. CA-952는 최근 20년간 원전에서의 사용실적과 본 논문에서 제시한 측정센서의 기본요건을 모두 만족하므로 APR1400 RVI CVAP 가속도계로 적합한 것으로 판단된다.

셋째 변형률계는 다양하게 사용되었으나 최근에 원전의 변형률계로 가장 많이 사용된 센서는 KYOWA사의 Capsule형으로 용접이 가능한 KHCX, KHCS, KHCM 그리고 KHC 계열이다.

표 8은 RVI CVAP를 위해 가장 많이 사용한 KYOWA사의 Capsule형으로 용접이 가능한 KHCX, KHCM, KHC 변형률계의 3종에 대한 비교표이다(18).

표 8. Comparison of SG for RVI CVAP used in PWR

Strain Gage	Max Temp (°C)	Frequency Response	Remark
KHCX	950	2 ~ 10,000Hz	- High-temp. gas-turbine dynamic/static wings - High-temp. furnace
KHCM	650	2 ~ 10,000Hz	- Nuclear reactor peripherals - Thermal-power-plant heat exchanger
KHC	550	2 ~ 10,000Hz	- Nuclear fuel rod - Boiler steam turbine

표 8에서 보는 바와 같이, KHCX, KHCM, KHC의 변형률계 3종은 최대 온도를 제외하고 거의 유사한 특성을 보였다.

KHC 변형률계는 최대 운영온도가 -196°C ~ +550°C, 주파수 응답 0Hz ~ 10,000Hz이고 재질은 수중 측정과 부식방지를 위해 Inconel 600으로 밀봉 용접되며 Spot 용접으로 원자로 내부구조물에 부착된다. 신호전송은 센서 케이싱내에 절연된 두 개의 센서 단자로부터 전송되며, 측정값의 저항값 계산을 위해 원자로 외부에 Bridge adapter가 설치된다. 원자로 내부구조물의 측정센서로 부터 원자로 외부의 소프트웨어 연결단자까지의 하드케이블, 연결단자부터 Bridge adapter까지의 소프트웨어로 구성할 수 있다. KHC는 영광 4호기 및 최근 20년간 원전에서의 사용실적 그리고 본 논문에서 제시한 측정센서의 기본요건을 모두 만족하므로 APR1400 RVI CVAP 변형률계로 적합함을 알 수 있다.

4. APR1400 RVI CVAP 측정센서 제안

앞에서 살펴본 APR1400 원자로 내부구조물 진동측정 환경 및 구비조건, 국내의 원전에서의 사용 사례, 측정센서 종류별 특성 등을 감안하여 APR1400 RVI CVAP 측정센서로 가장 적절한 센서를 정리하면 표 9와 같다.

표 9. Proposal of Sensors for APR1400 RVI CVAP

Sensor	Manufacturer	Model Name
Pressure Transducer	Vibro-Meter	CP-103
Accelerometer	Vibro-Meter	CA-952
Strain Gage	Kyowa	KHC-20-120-G8-16

그림 2, 3, 4는 APR1400의 RVI CVAP 압력계, 가속도계, 변형률계로 제안하는 CP-103, CA-952, KHC-20-120-G8-16이다.



그림 2. Pressure Transducer for RVI CVAP in APR1400



그림 3. Accelerometer for RVI CVAP in APR1400



그림 4. Strain Gage for RVI CVAP in APR1400

5. 결 론

원자로 내부구조물 종합진동평가(RVI CVAP)는 신규 개발 원자로의 안전성과 건전성 확인을 위한 필수 시험 중 하나이다. 본 논문에서는 RVI 설계자료에 근거하여 APR1400 RVI CVAP 측정센서로 사용할 수 있는 기본 요건을 제시하였고, APR1400 원전의 원형인 Palo Verde 1호기와 OPR1000의 최초 원전인 영광 4호기 원전의 RVI CVAP 측정프로그램에 사용된 측정센서 조사 및 최근 20년간 전 세계적으로 RVI CVAP를 위해 사용된 측정센서를 비교분석 하였다. 이러한 자료조사와 비교에 근거하여 APR1400 RVI CVAP 측정프로그램을 위한 최적의 측정센서를 제안하였다.

본 논문에서 제안한 측정센서는 최초의 APR1400 원전인 신고리 3, 4호기 원전의 시운전 단계의 RVI CVAP 측정센서로 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) Korea Hydro and Nuclear Power Co., 2001, Advanced Power Reactor 1400 Standard Safety Analysis Report.
- (2) U. S. Nuclear Regulatory Committee, 2007, Regulatory Guide 1.20, Comprehensive Vibration Assessment Program for Reactor Internals during Preoperational and Initial Startup Testing, Rev. 3.
- (3) Korea Electric Power Corp., 2000, Report on the Observation and Synthesis about CVAP in KNGR RVI.
- (4) Korea Electric Power Corp., 1995, Special Test Part, Collection of Experience Record for Preoperational and Initial Startup Testing for Yonggwang Generating Station Unit 3, 4.
- (5) Korea Heavy Industry Co., 1995, A Comprehensive Vibration Assessment Program for

Yonggwang Nuclear Generating Station Unit 4, Final Evaluation of Pre-Core Hot Functional Measurement and Inspection Program.

(6) Seung-Ha Jung, 2005, "Reactor Vessel Internals Comprehensive Vibration Assessment Program for Korea Standard Nuclear Power Plant", The Korea Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.15, No.5, pp.7~14.

(7) Do-Young Ko, Jae-Gon Lee and Kyu-Hyung Kim, 2009, "Vibration Measurement Plan of RVI CVAP for Shin-kori Unit 4", Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, pp.1037~1038.

(8) Kyu-Hyung Kim, Do-Young Ko and Yong-Soo Kim, 2009, "Hydraulic and Structural Analysis Methodology of RVI CVAP in Shin-kori 4", Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, pp.1113~1114.

(9) Do-Young Ko, Jae-Gon Lee and Kyu-Hyung Kim, 2009, "Preliminary Determination of Measurement Sensors and Location for RVI CVAP of Shin-kori #4", Proceedings of the Conference on Information and Control Systems, pp.216~217.

(10) Kepco Engineering and Construction Company Inc., 2008, Design Specification for Reactor Vessel Core Support and Internal Structures.

(11) Kepco Engineering and Construction Company Inc., 2008, Fluid System and Component Engineering Design Data for Plant Safety, Containment and Performance Analyses.

(12) Kepco Engineering and Construction Company Inc., 2008, System Description for Reactor Internals Assembly.

(13) Kepco Engineering and Construction Company Inc., 2008, Reactor Vessel Core Support and Internal Structures System Design Requirements

(14) Kepco Engineering and Construction Company Inc., 2008, Design Data for The Hydraulic Loads on Reactor Internals During Normal Operation.

(15) Combustion Engineering Inc., 1984, A Comprehensive Vibration Assessment Program for the Prototype System 80 Reactor Internals Palo Verde Nuclear Generating Station Unit 1.

(16) Korea Institute of Nuclear Safety, 1995, Technical Review Report of Reactor Vessel Internals Comprehensive Vibration Assessment Program for Yonggwang Nuclear Power Station Unit 4.

(17) <http://www.vibro-meter.com>

(18) <http://www.kyowa-ei.co.jp>