

비파괴평가 기술을 이용한 원전 가동검사



이 익 환

한국원자력연구소 비파괴평가사업부 부장

우리나라에서 원자력발전은 부존자원이 제한되어 있는 여건에서 산업 동력 공급원으로 매우 중요한 위치에 있다는 것을 우리는 모두 잘 알고 있다. 1970년 초기단계 원전 건설은 설계에서부터 제작 건설 운전까지 모두 외국에 의존 하였으며 운전을 위한 최종 점검 절차인 가동전 검사까지도 마찬가지였다. 우리나라의 산업저변이 확장, 고도화 되고 기술 집약형으로 바뀌어지면서 원전 기술자립에 눈을 돌리게 되어 정부의 지원과 체계적인 추진과 노력이 뒤따라 오늘날 [한국형 경수로]기술도 보유하게 된 것이다.

또한 비파괴 평가기술을 이용한 원전의 가동전(Pre-Inservice Inspection) 및 가동중(In-Service Inspection)검사는 원전의 안전 운전과 경제성 제고에 직결되는 대단히 중요한 일로써 이 기술을 확보하고 실제로 활용할 수 있는 능력이 있다는 것은 우리나라와 같이 원전기술 개발도상국으로서 긍지와 자랑이 아닐 수 없다. 우리가 원전의 설계 기술을 보유하고 있다는 것은 우리나라의 위치를 크게 향상시켜주는 것과 마찬가지로 우리가 원전의 안전운전을 확인시켜주는 가동 검사 기술 또한 이에 못지 않다.

원전의 시설이 가동한 후 해가 거듭할 수록 계통이나, 부품, 기기의 결함이 있을 수

있고 높은 온도, 압력, 방사선으로 인한 재질의 취화 현상이 일어날 수도 있다. 이를 확인하기 위하여 기술기준 및 코드(세계적으로 통용되는 ASME등)가 정립되었고 우리는 그 규정에 의해 매년 정기 보수기간을 활용하여 가동중 검사를 수행하고 있는 것이다.

우리 연구소는 1960년대부터 Ir-192에 의한 Radiography연구등 비파괴 관련 연구를 부분적으로 수행하여 왔고 주로 방사성동위원소를 이용한 연구가 주류를 이루었다. 국내 최초의 원전인 고리 1호기가 1978년부터 가동되면서 우리연구소는 이 발전소의 가동중검사에 참여하게 되었다. 당시에는 대부분 외국 비파괴 전문기관이 주도적으로 수행하고 우리 연구소를 포함한 국내 비파괴 전문기관은 부분적 참여로 시작하였다. 이를 계기로 우리 연구소는 단계별 기술자립 목표를 수립하고 이를 추진하게 되었다.

첫 단계는 기술도입 단계(1978~1981)라고 말할 수 있다. 이 기간에 우리 연구소는 외국회사와 공동으로 업무를 수행하는 한편 연구원들의 해외 훈련에 치중함으로써 최대한의 기술습득을 하도록 했다. 그리하여 주요 구조물이나 배관용접부 등에 대한 수동 비파괴검사 방법인 초음파탐상(UT), 액체침투탐상(PT), 자분탐상(MT), 및 육안검사(VT)는 물론 자동 비파괴검사 방법인 증기

발생기 전열관에 대한 와전류 탐상(ECT)을 수행하고 관련규정 적용, 선진 검사기술 도입, 각종 검사계획서 작성 등 각종 품질보증 업무를 수행하면서 기술을 익혀 나갔던 것이다.

기술소화단계(1982~1984)에서는 외국 검사기술의 선별적 도입과 함께 끊임없는 자체 기술개발에 박차를 가하여 이를 직접 현장검사에 적용하였다. 비교적 짧은 기간이었지만 이 기간동안 우리 연구원들은 투철한 사명감으로 비파괴검사 기술 전반을 자체 소화할 수 있게 되었다. 그리하여 고도의 기술이 요구되는 결함신호 분석과 해석도 가능하게 되었다. 즉 전문가가 환자에게 진단서를 발급하는 것과 같은 능력을 갖추게 된 것이다.

기술도착단계(1985~1987)에서는 최신 검사 장비의 도입과 더불어 선진기술에만 의존해 왔던 원자로 압력용기에 대한 압력경계 내에서의 결함을 검출하고 평가하는 기술까지 확립하게끔 되었다. 이로써 명실공히 100% 기술자립을 이룩하게 된 것이다. 이로부터 국내 원전의 가동중검사 업무는 우리 연구소 자체기술로 수행되고 평가되어 국가 경쟁력 제고는 물론 이 분야에서도 외화 절감효과를 거두게 되었다.

뿐만 아니라 우리 연구소는 국내외 기준 및 규정에 따라 국내 비파괴 전문기관의 저변확대와 육성을 목표로 연구소 연수원에 관련 비파괴 강좌를 개설하여 전문인력을 양성하고 이들에게 연장 검사요원으로 일할 수 있는 자격증을 부여하여왔다. 현재까지 개설한 교육 프로그램과 수강한 전문인력은 다음과 같다.

가동검사를 위한 비파괴 훈련과정

기간	과정	피 교육 비파괴 전문회사					
		한국검사	유양	삼영	한양	한진기공	기타회사
1984~1994	Level I	101	29	23	8	14	8
	Level II	52	15	16	7	2	8
계		153	44	39	15	16	16

* 수강자중 75~80% 시험 합격후 자격증 취득

우리 연구소의 비파괴평가기술을 이용한 가동중검사 기술능력이 해외에 알려지면서 중국당국은 국제원자력기구(IAEA)를 통해 기술자문을 요청해 왔다. 대아만에 건설되던 광동 1,2호기 가동중검사 기술자문으로서 우리나라와 중국이 정식국교가 수립되기전인 1991년 부터 약 3년간 기술지원을 수행한 것이다. 별로 대수롭지 않은 해외 수출일지 모르지만 우리는 이 프로젝트에 상당한 의미를 두고 있다. 우리나라 원전 관련 기술이 최초로 해외에 수출되는 성공사례였기 때문이다. 이 원자로는 현재 가동중에 있으며 금년말부터 최초의 가동중검사가 수행될 예정이다. 중국 비파괴전문기관인 핵동력연구연구소(RINPO)는 가동중검사에서도 우리에게 기술협력을 요구하고 있으며 현재 양 기관은 기술 협력 협의를 하고 있는 중이다.

이제 우리의 원전 가동중검사기술은 선진국과도 경쟁력을 가질수 있는 수준에 있다. 이에 따라 우리 연구소는 외국의 우수검사업체(예컨데 SwRI, Zetec, Intercontrol, Tecnom 등)와 공동으로 기술협력을 추진하고 있다. 금년 8월 미국 텍사스 소재의 SwRI(Southwest Research Institute)와 기술협력 협정을 체결하고 미국 및 제 3국의 기술수출을 위한 발판을 마련하였다. 우리가 미국 및 제 3국에 진출한다는 것은 미국 기술을 도입한 이래 역으로 기술을 수출한다는 큰 의미도 있지만 날로 개발 발전하는 세계 비파괴기술에 우리가 세계 유수의 기관과 경쟁하면서 발전해야 한다는 사명감, 세계화 지향에 큰 의의가 있다고 생각된다. 동 협정에 따라 1차 우리 기술진과 SwRI 기술진이 공동으로 구 소련이 핀란드에 공급한 「루비사」(Loviisa)발전소의 원자로 성능평가를 8월말부터 수행하였다. 이 발전소는 VVER형 경수로 원자로로서 우리에게 익숙한 원자로 계통은 아니고 서방 국가의 경수로나 한국형 경수로에 비해 안전도가 떨어진다고 알고 있다. 이 협력 협정으로 현장기술지원 뿐만아니라 공동연구를 통한 기술개발로 이어지고 그 결과는 기술 테크닉의 고도화 및 검사장비 개발로 이어질

전망이다.

그러나 이제 원전가동검사는 한 단계 높은 신기술을 요구하는 일대 전환기를 맞이하고 있다. 최근 미국에서 비상노심냉각계통(ECCS)등 주요 배관의 열성층화 현상에 의한 균열 즉, 원전의 배관계통임계응력 부식 균열(IGSCC)이 문제가 되고서부터 종래의 초음파검사 기술을 보장하지 않으면 안되게 되었다. 그래서 미국에서는 이에 대한 개선과 신뢰도 향상을 위해 새로운 검사요건을 제시하였고 이에 따라 검사를 하고 있다. 주요 내용을 보면 검사자의 자격 인증요건을 강화하였고 초음파탐상 시스템에 대한 기량 검증 요건을 부가하여 검사시 신뢰도를 보증할 수 있도록 강화하고 있다. 우리 연구소는 이에 대비한 기초연구와 기술개발을 진작부터 수행하여 왔다. 우리 연구소는 기술진을 미국 전력연구소(EPRI)에 파견하여 필요한 훈련을 받도록 했고 자격인증을 갖추도록 함으로써 검사안전성을 적극적으로 도모하고 있다.

또 하나의 특이한 것은 관련되는 배관, 구조물에 대한 초음파탐상검사법에 대한 규정이 혁신적으로 강화된 것이다. 즉 1989년판 미국 기계학회 코드인 ASME Sec. XI의 App. 8에 의하면 기존 사용되고 있는 초음파탐상용 교정 시험편 대신 자연결함을 내포한 검사 대상과 동일한 형태의 시험편이 준비되어야 하고 이들 시험편을 사용하여 자격을 획득한 검사자만이 별도로 준비되어진 절차서에 따라 검사를 수행할 수 있게 되어 있다. 미국내 전력회사들은 이러한 요건을 준비하고 1996년초 부터 이 규정으로 검사할 계획을 세워 대비하고 있는데 이에 소요되는 엄청난 경비를 공동부담하기 위하여 EPRI중심으로 기금을 만들어 PDI(Performance Demonstration Initiative)란 조직을 운영하고 있다. 이 Task 조직을 통해 이미 필요한 시험편이 제작되었고 적절한 훈련과 자격시험을 치루고 있다. 우리나라도 이에 대한 사실을 규제전문기관, 전력회사는 물론 관계기관이 모두 주지해야 할 것이다. 우리 연구소는

App 8 요건을 충족하기 전에 현기술과 App 8의 중간과정에 있는 App 7 요건을 만족시키기 위한 R&D 업무가 진행중이며 내년부터는 이를 실행에 옮길 계획으로 있다.

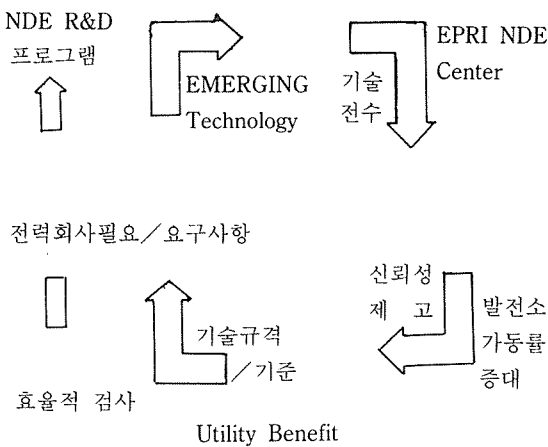
한편 주요 검사부위의 하나인 증기발생기 전열관에 대한 와전류 평가는 결함 사항이 다양화 되고 있고 또 결함량도 늘어나고 있기 때문에 전문적 지식이 절실히 필요한 분야이다. 따라서 우리 연구소는 결함의 전문성, 다양성과 Sizing에 대한 심도 있는 연구도 수행중이며 관련 데이터베이스를 구축하고 있다. 또한 한정된 검사 인력을 효율적으로 운영하기 위해 현장을 직접 가지 않고도 평가와 진단을 본소에서 할 수 있는 원거리 통신망을 별도로 운영할 계획이다. 현장에서 수집한 와전류 검사 신호를 우리 연구소로 전송하면 그 내용을 즉시 진단하여 현장으로 알려주는 시스템이다. 이 시스템이 개발되면 인력의 효율적 활용은 물론, 굳이 현장출장을 가지 않아도 되기 때문에 성능검사 업무의 획기적인 개선을 이룰 수가 있다.

원자로 압력용기에 대한 원격자동 초음파검사는 1985년도에 검사장비가 도입된 이래 전 발전소에 걸쳐 총 16회의 검사를 실시함으로써 점진적으로 장비가 노후화되고 따라서 장비보수가 뒤따라야 했으며 이를 통해 축적된 검사 기술과 장비보수, 운영경험을 살려 최근에는 새로운 국산 장비 특히 장비 제어계통의 개발에 착수하였다. 원자로 압력용기 자동 초음파검사(MUT)에 대한 코드요구사항이 최근 강화됨으로 앞으로 이의 적용을 받도록 되어 있다. 즉, 원자로 용기내부에 감시시편 Holder등 영구적으로 설치되어 있는 구조물로 인해 검사 제한 부위가 생기게 마련이다. 여기에 대한 코드규정은 과거의 보고사항에서 탈피, 기본적 100%수행을 요구하고 있고 제한부위를 고려하더라도 최소한 90%이상의 검사수행을 못 박고 있다. 이 문제를 해결하기 위해 검사방법 내지 필요한 검사 Module 개발이 반드시 이루어져야 하겠다.

이러한 새로운 기술기준 변경에 따른 강화

요건을 충족시키는 일과 새로운 검사기법 및 장비개발을 위하여 기술개발(R&D)이 보다 더 강화 되어야 하겠다. 미국에서는 관련요건을 충족시키기 위한 비파괴 기술에 투입되는 R&D 비용이 너무 과다하기 때문에 여러 전력회사가 공동으로 투자하여 효율적인 결과를 도출하고 있다. 즉 각 전력회사는 전력연구소 (EPRI : Electrical Power Research Institute)의 구성원으로서 EPRI에 NDE Center를 설치하고 인력양성 및 대형 R&D 과제를 공동투자, 그결과를 공유, 공동이익 (Utility Benefit)을 얻고있는 것이다.

EPRI NDE 프로그램 주기



주요국의 가동검사관련 기관

국 가	미 국	프랑스	캐나다	중 국	일 본
규제기관	NRC	CER	AECB	CNNC	MITI
산업체	EPRI SwRI WH, CE ZETEC	Intercontrol Framatom	AECL OH	RINPO NNC	WHI TOSHIBA등

우리연구소는 기존 비파괴 기술에 머물지 않고 EPRI 및 IAEA 등 국제적 기관과 긴밀한 기술교류를 통하여 세계 최신의 정보를 취하며 우수관련 기관과 공동연구를 수행하고 그 결과를 검사테크닉 개발과 최신 검사장비 개발에 활용하고 또한, 국내 비파괴 관련 회사에 기술을 확신해 나갈 계획이다.

우리는 국제적으로 무한경쟁시대에 살고 있다. 따라서 우리 연구소는 그 동안의 80여 회 이상의 가동검사경험(70여차례의 가동중검사, 12차례의 가동전검사)을 근간으로 앞으로의 관련 업무에도 기여할 계획으로 이를 추진하고 있다. 즉 원자력 주요기기의 기기검증(Equipment Qualification), 제작검사(Shop Inspection), 원자로 계통설계 A/S 관련 업무 그리고 방사성폐기물 관련 비파괴 검사 업무도 수행할 계획이다. 현재 9기의 원전이 가동중이고 2기에 대해서는 가동전검사를 수행하고 있으며 앞으로 계속하여 국내 원전의 증대가 예상되므로 이 분야에 대한 비파괴 검사업무도 확대 될 전망이다. 우리 연구소는 확립된 기술에 대해서는 비파괴 전문 회사에 확산시켜 이에 적극 참여토록 할 계획이다.

결과적으로 가동중검사는 원전의 안전성과 경제성에 직결되는 중요한 업무이고 또한 작업환경이 방사선에 노출될 수 있는 가능성이 많으며 제한성을 가지므로 기술개발이 끊임 없이 수행되어야 함을 우리는 공동으로 인식하여야 하겠다. 이러한 중요성 때문에 선진 여러국가에서도 예외없이 이 업무를 연구개발 능력이 있는 공공기관위주로 추진되는 것이 실례이기도 하다. 이것은 바로 원전의 안전성에 대해서는 조그만한 실수도 용납될수 없다는 원칙이 그대로 적용되어야 하기 때문이다. 그러므로 국민들은 안심하고 원전에 대한 신뢰성을 갖게 되고 이것이 원자력에 종사하는 우리들의 사명이기도 하다.