

技術報告

國內 PWR 原子爐 壓力容器的 遠隔自動超音波 檢査技術

朴文浩 朴光熙 具仁守 朴大英

한국에너지연구소 비파괴시험실

1987년 3월 3일 접수

The Technology of Mechanized Ultrasonic Test for
the Reactor Vessel of PWR Power Plant in Korea.

Moon Ho Park, Kwang Hee Park, In Soo Koo Dae Young Park

I. 序 論

國內 原子力 發電所는 현재 稼動中이거나 建設中인 것이 10餘機에 이르며, 계속 建設이 이루어지는 始點에서 볼때 稼動中 檢査 (Inservic Inspection : ISI) 및 稼動前 檢査 (Preservice Inspection : PSI) 기간 단축, 검사데이터의 신속한 처리 및 정확한 缺陷 分析의 중요성은 날로 증대되고 있다. 이와같이 原子力 發電所의 主要系統 및 部品에 대한 安全性 확보를 위해 다종의 非破壞檢査 裝備와 고도의 檢査技術이 요구된다. 이러한 견지에서 볼때 非破壞 檢査技術의 開發 및 裝備의 自動化는 檢査者의 방사선 피폭량을 감소시켜 신체의 安全을 도모하며 一貫性이 있는 검사데이터를 수집할 수 있으며 또한 檢査에서 얻은 데이터를 電算 처리함으로써 檢査 및 評價기간을 단축시켜 原子力 發電所의 稼動率을 향상시키는데 커다란 도움을 준다. 이와같이 自動化된 超音波檢査 裝備를 미국과 프랑스 같은 원자력 산업 선진 국가에서는 일찌기 原子爐檢査 自動化裝備의 研究 開發에 착수하여, 현재는 고도의 電子裝備와 컴

퓨터 등을 이용하여 檢査를 수행할 뿐만 아니라 데이터를 수집 처리 및 분석을 행하고 있다. 이와같이 고도의 檢査技術과 이에 따르는 裝備가 요구되는 原子爐 壓力容器 檢査를 몇년전까지만 하더라도 外國용역기관에 의해 실시해왔다. 그러나 國內 原子力 發電所의 증가에 따라 檢査에 대한 수요 및 중요성은 날로 증가되고 있으며, 이 檢査技術의 自立化를 위하여 檢査技術 확보, 自動超音波檢査裝備의 國內도입, 檢査에 따른 檢査계획 지침서, 裝備의 기본구동 原理 및 Software 技術을 몇년전부터 확보하기 시작하였다. 이렇게 하여 國內 原子力 發電所 6, 7 호기 및 8 호기의 原子爐 自動超音波檢査를 국내 기술진에 의해 성공적으로 수행하였다.

本稿를 통하여 도입장비의 효율적인 활용과 자체개발을 위한 기반을 구축하는데 큰 도움이 될 것이다. 빠른 시일내에 裝備 및 部品の 國產化를 이룩하여 外貨를 절약하고, 보다나은 技術自立의 토착화와 장비 개발을 통한 우리의 檢査로 國內 原子力 發電所의 安全性 및 健全性을 확보하여야 할 것이다.

II. 本 論

1. 定 義

原子力 發電所의 原子炉 稼動中 檢査는 심한 放射能 때문에 檢査者가 접근하여 檢査 하는 것이 불가능하다. 따라서 超音波를 이용한 非破壞 檢査方法을 써서 裝備를 遠거리에서 원격조정하여 요구하는 code를 충족시키며 原子炉의 벽, 저면 및 Nozzle 부위 등의 용접 부위를 檢査한다.^{1), 2)} 이와같이 手動 檢査를 수행할 수 없는 主要系統 및 部品에 있어서 遠거리에서 원격조정하여 檢査할 수 있도록 한 장치를 Automatic Remote Controlled Mechanized Ultrasonic Testing System이라고 부르며 간단히 Mechanized Ultrasonic Testing System 이라고도 한다. 또한 최근에는 이러한 원격자동초음파검사 장비에 컴퓨터를 부착하여 檢査로부터 얻어지는 데이터를 수집, 처리 및 분석하는 장치들도 있다.

2. 特性

2-1 超音波檢査法の 종류 및 概要

超音波檢査는 여러가지 방법으로 分類되지만 自動超音波檢査裝備를 이용한 檢査方法에는 외관상 대략 두 가지로 區別하여 直接接觸法과 水浸法으로 나눌 수 있다. 여기서 이 두 가지 方法에 대하여 간략히 기술한다.³⁾

2-1-1 直接接觸法 (Contact Method)

探觸子를 檢査體 表面에 直接接觸시키는 방법으로 이 때 探觸子和 檢査體 表面과의 공간을 없애기 위하여 접촉매질을 이용한다. 표면상태가 좋을 경우에는 機械油나 물을 사용 하며 표면상태가 거칠 때에는 Glycerine 등을 사용한다.

가. 垂直法

缺陷을 가장 檢出하기 쉬운 方向은 探觸子에서 보아서 缺陷이 가장 크게 보이는 方向이다. 그러나 檢査體의 製造를 고찰하여 探觸子和 接觸하는 最適의 探傷面을 선정한다. 圧延 재료에서는 缺陷이 일반적으로 表面에 平行하기 때문에 表面에서 檢査한다.

나. 傾斜角法

檢査體의 探傷面에 대하여 屈折되어 入射되는 超音波를 利用하여 檢査하는 方法을 傾斜角法이라고 한다. 일반적으로 橫波가 사용되며 音波의 感쇄가 심한 材料의 探傷 등에서는 從波가 사용된다. 傾斜角法의 용도는 광범위하지만 널리 이용되는 것이 接部, 軸류 및 管類이다.

그림 2-1에서의 표시처럼 板의 垂直探傷에서는 저면 echo가 얻어지므로 缺陷의 位置를 직감적으로 알 수 있다.

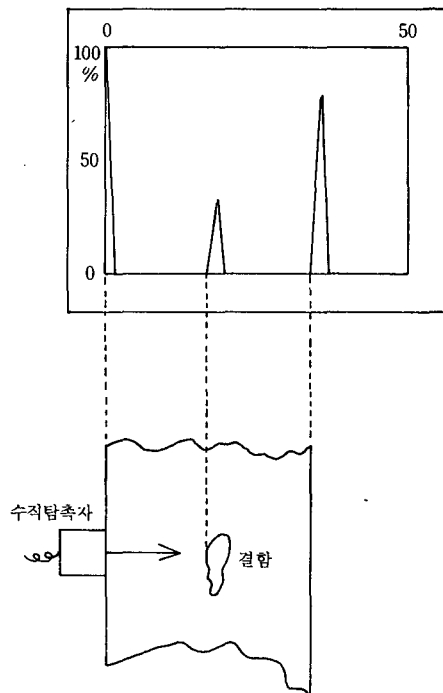


그림 2-1 수직 탐상

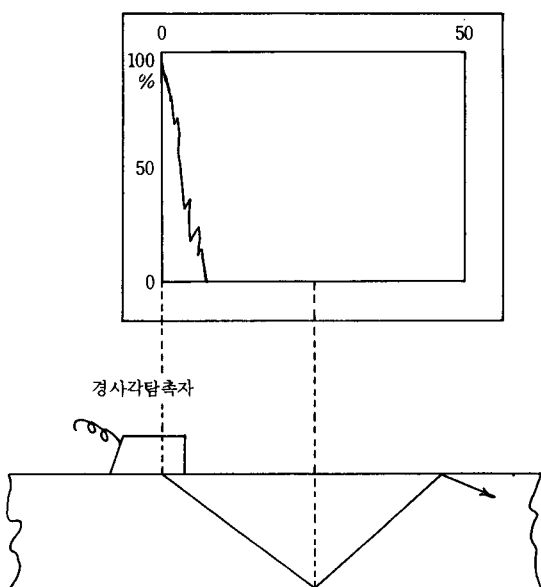


그림 2-2. 경사각 탐상

傾斜角探傷의 경우에는 그림 2-2에 나타난 바와같이 板의 垂直探傷에서 본 저면Echo가 일어나지 않으므로 초음파검사 장비 화면에 Echo가 나타나도 그 Echo의 발생위치를 직감적으로 파악하기가 어렵다. 그 때문에 傾射角探傷에서는 화면에서 읽는 Beam 궤적과 미리 측정해 둔 探觸子の 入射點 및 屈折角으로부터 三角函数 關係式을 이용하여 缺陷(Echo의 發生源)의 위치를 계산한다.

2-1-2 水浸法 (Immersion Method)

檢査體 전체를 水中에 담그던지 探觸子와 檢査體간에만 물이 층을 이루어 超音波를 전달하여 탐상하는 방법을 水浸法이라고 한다. 水浸法에서는 탐촉자와 검사체가 直接接觸하지 않으므로 檢査體를 安全하게 보호하며 또한 超音波의 送受信이 직접접촉법 보다 안정하게 행하여지므로 自動檢査에 널리 사용된다. 水浸法은 그 외에 屈折角의 조정이 용이하고, 焦點探觸子の 사용에 의하여 屈折角의 分散을 방지하는 잇점이 있다.'

가. 水浸法의 原理

(1) 물距離를 결정하는 法

管材를 檢査할 때 주로 橫波를 많이 사용한다. 따라서 물 거리를 설정할 때 鋼에서 橫波의 音速이 3,230m/sec이고 물에서는 1,500m/sec 이므로 이를 감안하여 表面의 多重反射 Echo의 방해가 없도록 해야 한다. 따라서 鋼을 檢査할 때 물거리가 鋼에서 Beam 거리의 1/2 이상이 되도록 한다 集束探觸子를 쓸 경우에는 焦點距離에 따라 결정한다.

(2) 屈折角을 구하는 法

基本的인 방법은 그림 2-3과 같다.

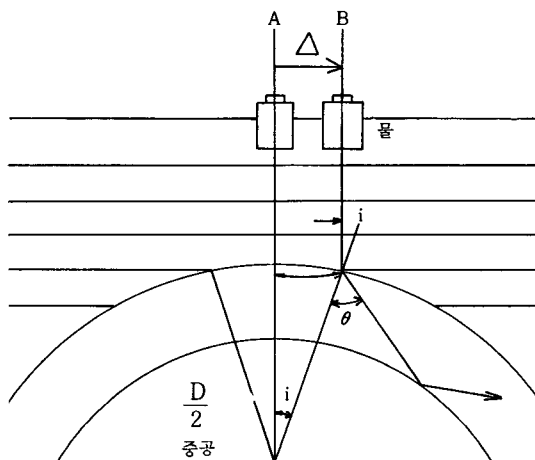


그림 2-3 굴절각을 구하는 법

管의 外側은 물에 접하지만 内部는 中空으로 해둔다. 먼저 A의 위치 즉 超音波 Beam의 中心이 管軸으로 향하도록 한다. 따라서 여기서 表面반사가 가장 크게 일어난다.

또 管의 두께에 따른 多重反射도 확인할 수 있어서 A의 위치 및 管軸의 位置를 알아낼 수 있다. Beam에 직각되게 探觸子를 B로 이동시키면 管軸으로부터 거리 Δ에 의해서 入射角 I를 만든다. 入射角 I, 管의 外徑D라고 하면

$$\sin I = \frac{2\Delta}{D} \dots\dots\dots (2.1)$$

과 같이 주어짐을 알 수 있다.

入射角 I 가 주어지면 屈折角 θ 는 Snell의 법칙⁵⁾에 의하여

$$\sin \theta = \frac{C_{2s}}{C_{1L}} \sin I \dots\dots\dots (2.2)$$

C_{2s} : 물속에서의 横波의 音速

C_{1L} : 물속에서의 音速(從波)

일반적으로 적당한 屈折角을 미리 정하는 것이 곤란하기 때문에 다음과 같이 한다. 그림 2-4와 같이 같은 칫수의 对比試驗片의 内外面に 같은 깊이의 放電加工 등에 의한 標準缺陷을 만들어서 이것으로 屈折角을 조정하는 것이 편리하다. 이때 对比試驗片을 적당한 速度로 回轉하게 두고, 探觸子를 서서히 偏心시키면 内外面 Notch에서 각각의 Echo 높이가 같게 되던지 또는 그 차이가 최고 작게 되도록 하는 것이 좋다.

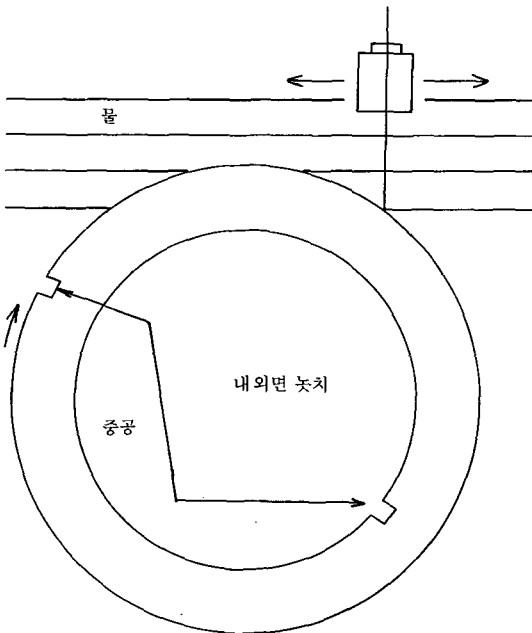


그림 2-4 대비시험편

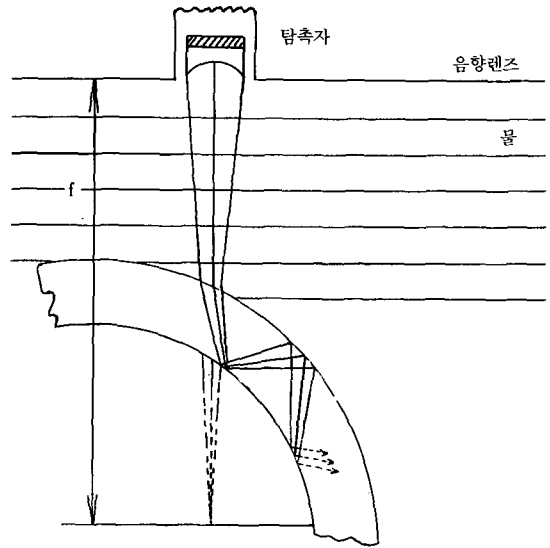


그림 2-5 집속탐촉자

나. 屈折角 分散에 대한 対策

管表面이 曲面이므로 管이 Lens작용을 하여 超音波 Beam을 확산시킨다. 探觸子 Shoe의 音速이 약 2,700m/sec, 물에서는 1,500m/sec이므로 入射角의 약간의 오차에도 屈折角은 크게 퍼지게 되므로 集束探觸子가 널리 사용된다. 따라서 2-5에서와 같이 探觸子에 오목 Lens를 붙인 集束探觸子를 사용하며, 音波를 平面波로 생각하고 적당한 Lens를 광학에서 처럼 생각할 수 있다.

$$R = (1 - \frac{C_2}{C_1}) F \dots\dots\dots (2.3)$$

여기서

R : 音響 Lens의 曲率 半徑

F : 물속에서의 焦点距離

C_1 : 音響 Lens 속의 音速

C_2 : 물속에서의 音速

그림 2-5와 같이 管의 軸에 焦点이 오도록 하면 屈折角의 分散이 작고 探傷感度を 높게 할 수 있다. 실제로 管에서 多重反射 등이

있으므로 管 軸上에 焦点이 오도록 하는 것이 어렵다. 두께가 얇은 管이라면 入射하는 곳을 焦点으로 하는 것이 편리하다. 焦束探觸子 方式을 취하지 않을때는 管의 外徑에 따라 探觸子는 작은 것을 쓰는 것이 좋다.

다. 水浸法 適用時 고려사항

① 水浸法에 사용되는 물이 더러워지면 超音波의 전달손실이 커지고 또한 氣泡가 探觸子나 檢査體의 表面에 붙기 쉬워 感度저하 뿐만 아니라 예상외의 Echo가 나타날 우려가 있다. 이 氣泡를 제거하기 위해서는 약 60°C 이상으로 물의 온도를 상승시켜 냉각 후 검사를 실시한다. 또한 물과 실온에 온도차가 있을때는 수중에 對流가 일어나 Echo가 불안정하게 되는 일도 있다.

② 水浸法에서 직접접촉법의 경우에 비해서 10dB 이상 感度を 올릴 필요가 있다. 그 때문에 효율이 좋은 탐촉자 (예를들면 황산리튬, 지르콘 산염, 티탄산바륨)를 사용하면 편리하다.

③ 探觸子를 지지하는 Module 등은 견고하여 檢査角度 변화가 없도록 하며 探觸子의 角度를 미동적으로 조절할 수 있어야 한다.

④ 탐촉자에서 검사체 표면까지의 거리는 검사체의 두번째 표면 Echo가 첫번째 저면 Echo 뒤에 위치하도록 하여야 한다.

2-2 機械的 驅動裝置

遠隔自動超音波檢査裝備의 機械的인 구동장치는 檢査者가 檢査에 적용하는 Code에 명시된 검사부위 및 肉眼檢査를 할 수 있도록 구성되어야 한다.

이러한 장비들은 일반적으로 검사할 熔接部位의 表面을 따라 走査(Scan)할 수 있도록 機械 및 空氣壓力을 作動시켜 探觸子의 위치를 움직이면서 檢査하도록 되어 있다.

먼저 이같은 장비를 開發製作하기 위하여 기

본적으로 몇가지 고려해야 할 사항을 서술해 보겠다.

첫째는 裝備의 安全裝置가 강구되어야 한다. 稼動中檢査에 있어서 장비에 대한 예측도 못한 사고로 막대한 경제적 및 시간적 손실을 막기위해 한 運動 메카니즘 (Mechanizm)에 多動의 安全裝置가 고려되어야 한다.

둘째는 가볍고 취급이 용이하여야 한다. 이것은 장비를 原子爐에 설치할 때 분해 및 조립시간을 短縮하고 放射能오염 및 피폭량을 줄인다.

셋째는 檢査部位에 탐촉자의 접근이 용이하도록 장비의 Mechanism을 간단히 한다. 이때 水浸法에서는 탐촉자 支持 및 角度調整장치는 상당히 정밀하고 Backlash가 작아야 한다.

네째는 물에 耐蝕性이 좋은 材質을 사용한다.

다섯째는 장비가 물을 접촉매질로 하여 수중에서 구동하므로 물이 장비내부로 스며들지 않도록 밀봉 상태가 좋아야 한다.

이 외에도 장비의 信賴度 및 位置 정확도를 기하도록 정밀하게 설계 제작되어야 한다. 그러면 이러한 設計 개념으로 Programmed and Remote System, Inc.에서 제작된 機械的 區動裝置 P₂R ISI-2라고 불리는 장비의 특징 및 그 부속장치에 대하여 알아 보겠으며 이러한 장비는 그림 2-7에 나타난 원자로의 다음 용접부를 검사한다.

① Vessel Shell Circumferential Weld Joints

② Vessel Shell Longitudinal Weld Joints

③ Spherical Vessel Head Circumferential and Meridional Weld Joints

④ Shell-to-Flange Weld Joints

⑤ Nozzle in Shell

⑥ Similar and Dissimilar Metal Welds in Components and Piping

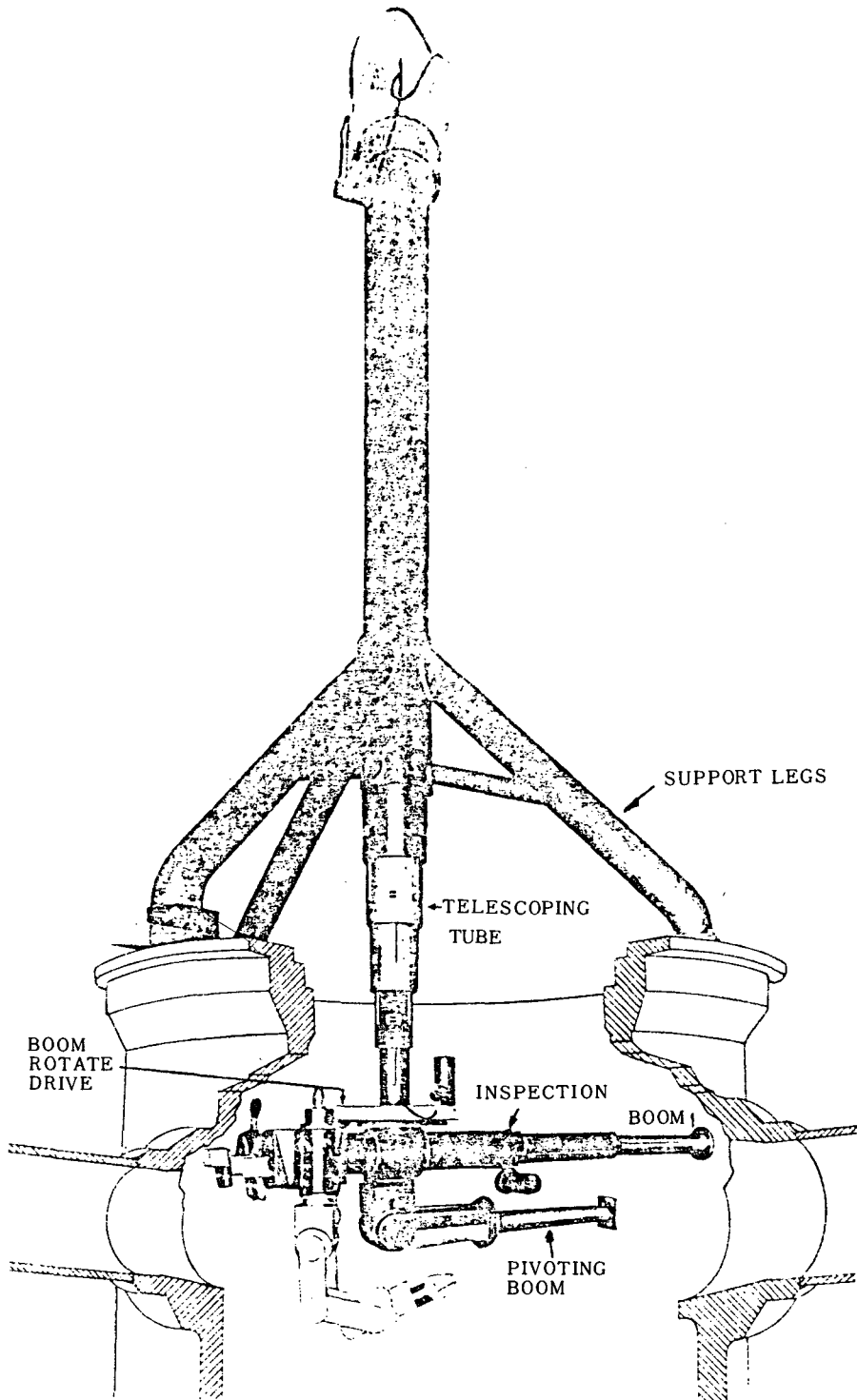


그림 2-6 Model ISI-2 In-Service Inspection System

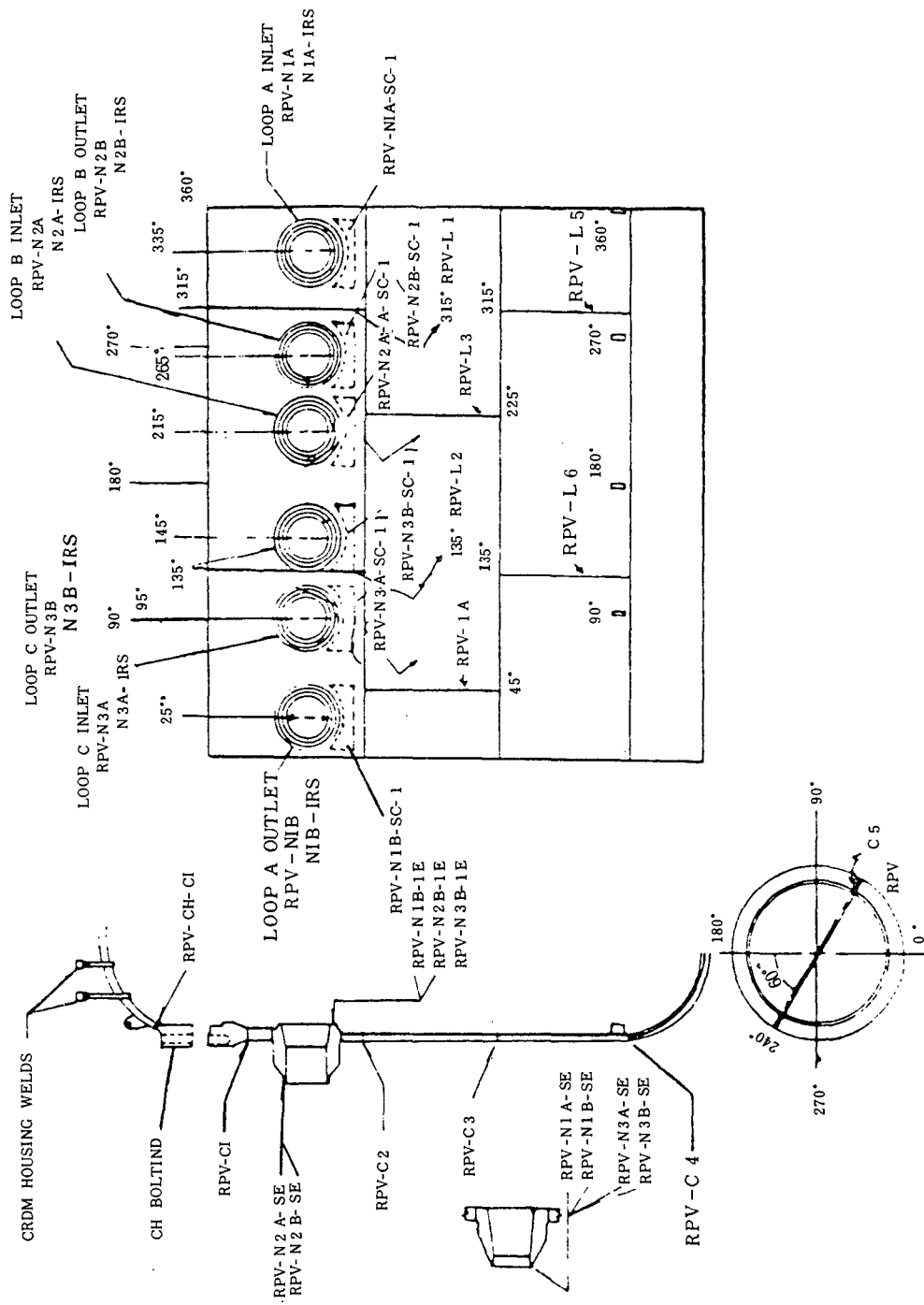


그림 2-7 Reactor Pressure Vessel Roll Out

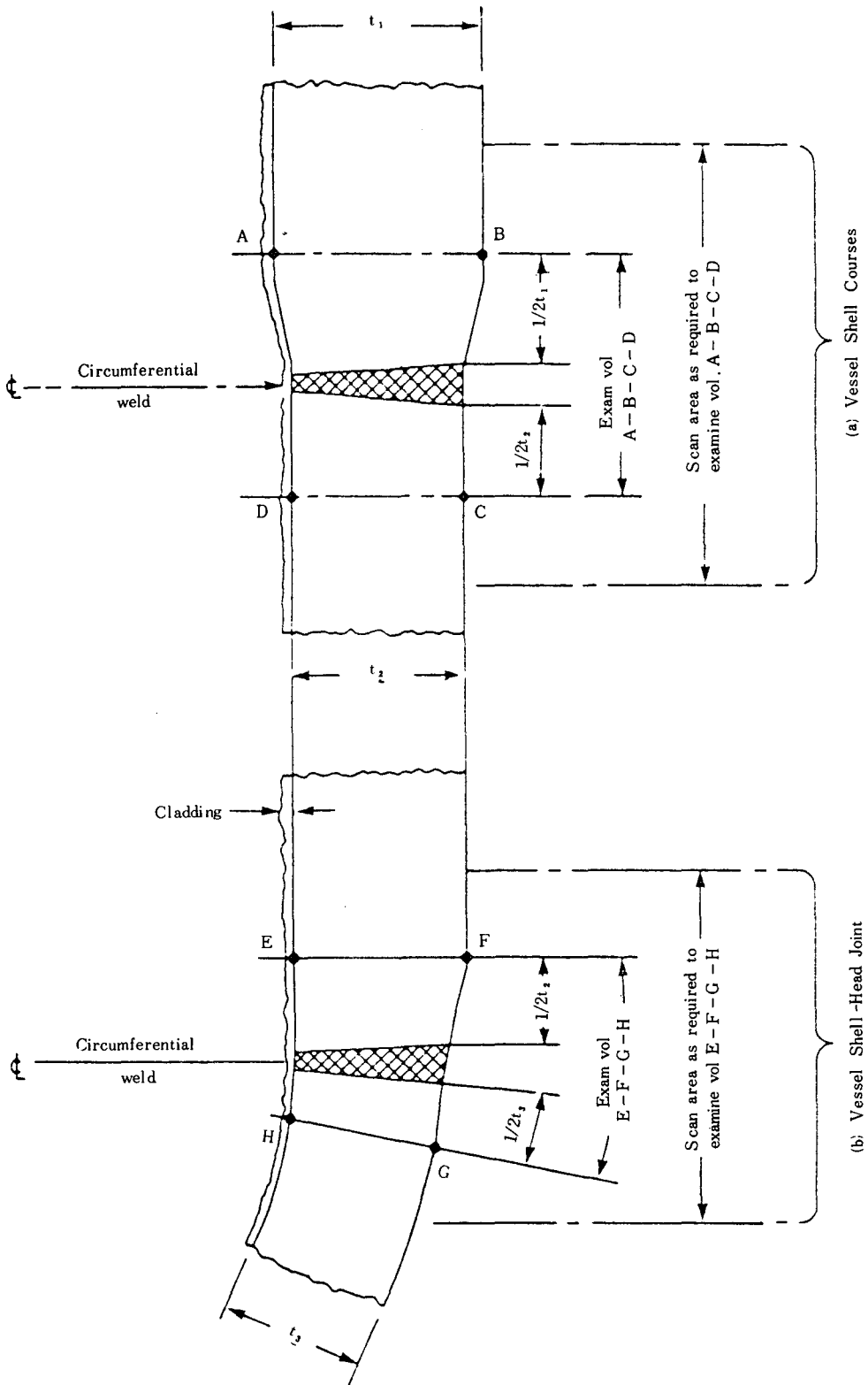


그림 2 - 8 VESSEL SHELL CIRCUMFERENTIAL WELD JOINTS

이 P₂R ISI- 2 裝備는 그림 2- 8 과 같이 American Society of Mechanical Engineers (ASME)의 Boiler and Pressure Vessel Code Section XI에 요구된 檢査를 수행하도록 되어 있으며, 이러한 각 檢査部位마다 그림 2- 9와 같이 原子炉 自動超音波 走査계획서를 작성한다. 이러한 走査계획서를 작성할 때는 장비의 基本的인 特性 및 原子炉 형상을 반드시 고려하여 한다.⁸⁾

이 P₂R ISI- 2 裝備의 特徵은

- ① 速度 변환시 일정하게 速度를 변환시킨다.
- ② 裝備의 0点 調整은 매년 산출하는 Data 結果에 신뢰성을 준다.
- ③ 裝착 flange 가 있어서 多種의 檢査 裝置를 裝착하도록 되어 있다.

등과 같이 Controller에 의해 裝備를 直線 및 回轉運動 등을 하며 또한 区動運動에 제한치를 설정하여 反自動 方式으로 그 檢査구역만 계

표 2- 1 PaR Model ISI- 2 구성요소 및 기능

구성요소	기능
Support Legs	3개의 다리중에서 2개의 다리에 공기 Clamp 가 있어 장비를 원자로에 확실히 고정해 준다.
Telescoping Tube Hoist	5 대의 튜브가 상하 수직방향으로 운동하고 그때의 위치를 읽어낸다.
Inspection Boom	전후 직선운동을 하며 또한 이것의 그위치를 읽어내며 TV카메라 및 수중 전등 및 檢査에 필요한 장치들의 裝착을 위한 플랜지가 있다.
Boom Rotate Drive	Inspection Boom을 회전시키고, 그것의 회전각을 읽어낸다.
Pivoting Boom	원자로의 Lower Head를 檢査하기 위한 것이며, Inspection Boom 아래에 裝착되어 각 운동을 한다.
Control System	모든 운동을 수동 또는 반자동으로 컨트롤한다.
Hydraulic Unit	물표면에 공기의 압력을 가하여 Inspection Boom을 작동시키고, 위치 Encoder에 전원을 공급한다.

속 반복 운동을 수행하도록 되어 있다.

이 裝備의 超音波檢査方法은 直接接觸法 方式을 채택하고 있으며, 檢査體 表面에 探觸子는 공기압력 및 용수철 힘에 의해 접하도록 되어 있다. 이러한 공기압력 및 용수철 힘은 檢査體 表面의 거칠기 및 형상에 의한 反力을 흡수하는 역할을 한다.

이와같은 기계적 구동장치인 P₂R ISI- 2 의 구조”를 간략하게 살펴보면 그림 2- 6 에 나타난 바와 같이 Support Legs, Telescoping Tube, Inspection Boom, Boom Rotator Drive, Pivot Boom, Control System 및 Hydraulic Unit로 구성되어 있고 이들의 각각의 機能은 表 2- 1에 간략히 설명되어 있다.

2- 3 데이터 수집계통 (Data Acquisition System)

手動檢査에서는 檢査者가 얻은 데이터를 分析하여 缺陷 判定을 한다. 그러나 장비의 自動化에 따라 세계 여러 선진 국가에서는 0°, 45° 및 60° 등과 같이 여러개의 탐촉자를 동시에 사용하여 檢査에서 얻은 데이터를 수집 기록 하여 그것을 처리 분석함으로써 結論을 평가한다.⁸⁾

최근에 이러한 데이터 수집계통장치를 研究開發하는 중요한 이유는 유용하고 중요한 데이터를 영구히 記錄保存하고 불필요한 데이터는 제거하고 檢査者가 설정한 기준에 의해 선정된 데이터량만을 받아들이기 위한 것이다. 이들 指示값들과 座標등은 앞으로의 自動처리를 위해 디지털 形態로 記錄보존된다. 또한 檢査자가 수집 기록한 데이터의 特性 및 有效性을 용이하게 점검할 수 있고 데이터를 계속 수집하는 동안 檢査자가 바라는 A-Scan, B-Scan, 및 C-Scan으로 나타낼 수 있다.⁹⁾ 이와같이 超音波 檢査로 부터 얻은 데이터를 수집, 처리 및 分析하는 自動超音波檢査裝備인 미국 Southwest Research

Institute (SwRI)에서 研究開發한 Advanced Date Acquisition System(ADAS)를 예를 들어 설명해 보겠다. 먼저 이 ADAS라고 불리워지는 시스템의 현저한 特徵은 다음과 같다.

- ① 超音波 裝備에서 나온 缺陷 시그날을 探知 수집한다.
- ② 缺陷에 대한 情報를 컴퓨터에 入力시켜 알기 쉽게 分析하여 圖表를 작성한다.
- ③ 融通性이 좋고 正確하고 빠른 速度로 데이터 수집을 한다.
- ④ ADAS의 作動 모드(mode)를 單一化 함으로써 檢査者의 作業量을 줄인다.

다음은 이 시스템을 구성하고 있는 중요한 機器들은 Input Multiplexer, 3개의 超音波檢査 裝備, 데이터 수집장치(Data Acquisition Unit : DAU), Video Display, 記録보존 裝置, Strip Chart Recorder, Voice Communications 보조 장치 및 Computer System이다.

이 시스템의 개략도는 그림 2-10과 같고 이것에 대한 각각의 機能은 표 2-2 과 같다. 여기서 컴퓨터의 데이터 수집 및 처리 방법 개념

은 2 단계로 檢査를 수행하도록 되어 있는데 첫 단계는 Searching Mode 1을 사용하여 檢査를 하다가 缺陷指示가 나타났을 때는 Mode 2, 3 및 4 번을 한번에 1Channel을 사용하여 檢査를 하여 指示를 分析評價한다.

표 2-2 ADAS 구성요소 및 기능

구성요소	기능
Input Multiplexer	시스템 Synchronization Signal을 공급하고 Repetition Rate Control를 한다.
Ultrasonic Instrument	탐촉자로부터 나오는 초음파 Signal을 화면에 나타낸다.
Data Acquisition Unit (DAU)	초음파 장비에서 온 Analog Signal을 Digital 형태로 변환하고, Data를 저장하여 Analysis Computer로 보낸다.
Analog Scaler	Analog Amplitude와 시간의 크기를 조정하여 Strip Chart Recorder와 Video Display Subsystem으로 보낸다.
Strip Chart Recorder	가장 높은 Amplitude와 그때의 시간을 기록한다.
Video Display Subsystem	초음파 장비의 화면, Amplitude 및 시간 그리고 x, y, z 위치를 나타낸다

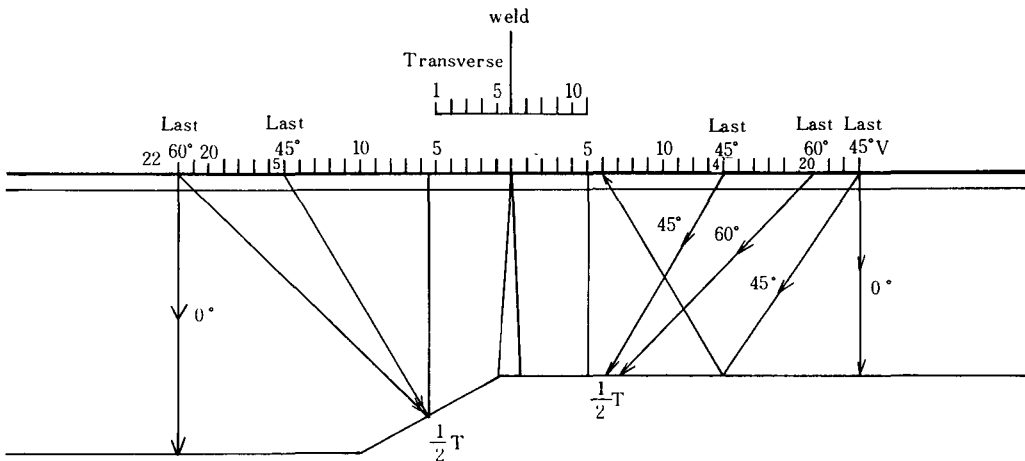


그림 2-9 UPPER SHELL - MIDDLE SHELL

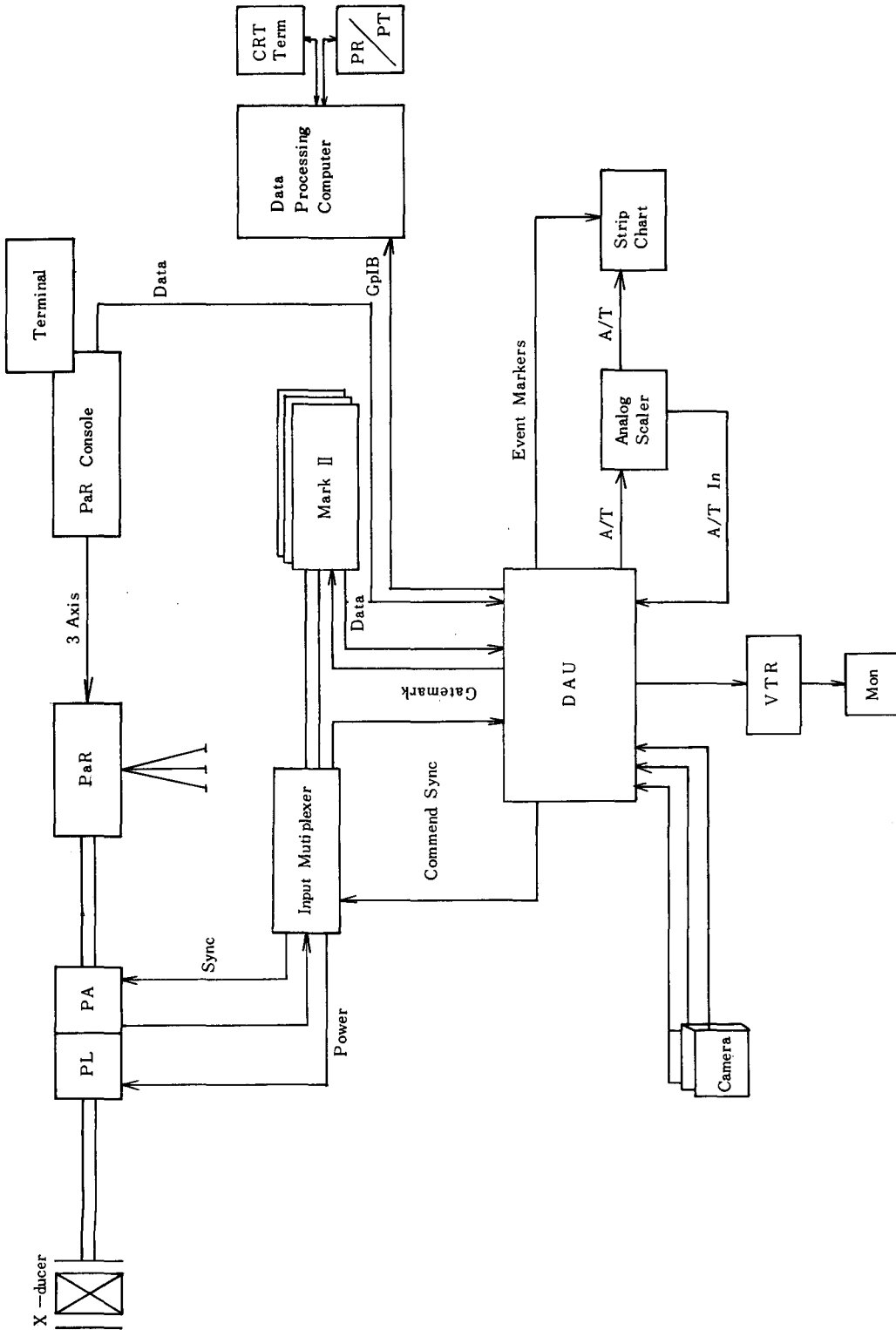


그림 2-10 DATA ACQUISITION AND PROCESSING SYSTEM

3. 技術水準의 分析

3-1 國內現況

國內에서는 韓國에너지 研究所에서 최초로 原子炉 超音波檢査를 위한 遠隔自動超音波檢査 裝備를 美國의 SwRI에서 導入하였다. 이 장비를 이용하여 처음으로 國內 技術陣에 의해 原子力發電所 6号機의 稼動前檢査를 성공적으로 수행한데 이어 7, 8号機도 수행하였다. 이제 선진국가들이 研究開發하여 製品화된 장비를 사용하여 原子炉를 檢査하는 檢査技術은 確保 되었으나 장비의 開發은 아직 초기 段階라고 할 수 있다.

를 사용하여 原子炉를 檢査하는 檢査技術은 確保 되었으나 장비의 開發은 아직 초기 段階라고 할 수 있다.

3-2 國外現況

非破壞檢査의 自動化에 있어서 미국, 프랑스, 독일 등 여러 선진국가는 여러 自動檢査 장비를 開發하여 이제는 계속 改良型을 제작하고 있다. 이렇게 하여 이미 상당히 발전 진보된 기존 검사 기술에 여러 전자장비 및 컴퓨터를 이용하여 데

표 3-1 원격 자동초음파 검사장치의 특성 비교

제작사 내용	Rockwell (U. S. A)	SwRI (U. S. A)	Westinghouse (U. S. A.)	Intercontrole (France)	KWU (W. Germany)	TRC (Sweden)
장치의 재질 (중 량)	대부분이 Al. 강 도를 요하는 부분 S.S (Stainless Steel) (1.7 ton)	대부분이 Al. 강도 를 요하는 부분 S. S (1.6 ton)	대부분이 S. S 이고 Al 부품이 약간 있 다. (5 ton)	대부분이 S. S. 이고 Plastic 부품이 약간 있다. (12ton)	대부분이 S. S. 이 고 Al 부품이 약간 있다. (6.5 ton)	대부분 S. S (2.7 ton)
검사 방법	Immersion 법과 Contact 법	Contact 법	Immersion 법	Focused Immersion 법	Contact 법	Contact 법이 주이고, Nozzle 일부를 Immersion 법
Data Acquisitiokn System Computer (channel 수)	DEC RT-11 (12 channel)	Data General Nova/Eclipse (9 channel)	Westinghouse P-2500 (≥16 channel)	Stadu-Produs (≥16 channel)	Data General Nova 3/Eclipse (≥18 channel)	Motorola M6800 (9 channel)
경 험	PWR Inspection 경험은 부족 (2개뿐)	비교적 풍부 한편	자체조사팀에서만 이용 타회사 판매실 적 없음	주로 불란서내 검사가 주된 실적	주로 서독내와 동 구라과 검사가 주된 실적	PWR Inspection 경험부족
기술지원 시설 및 배경	PaR System은 GCA사에서 UT System은 SwRI Date Acquisition 은 Rockwell	PaR 은 GCA 사 에서 나머지는 자체개발	자체개발	Data Acquisition 은 Intertechnique 사에 서 나머지는 자체개발	Mechanical Part 는 MAN에서 개발 하고 나머지는 자체 개발	UT System 은 SwRI에서 개발하고 나머 지는 자체 개발
특기사항 및 종합평가	BWR 에는 경험이 풍부하나 PWR 은 경험 부족	경험이 풍부하고 과거 3년간 KA ERI와 공동작업	Immersion 법은 강 도와 표면효과 때문 에 신빙성이 적으며 전문가들간에 논란 이 많은 기술	Focused Immersion 법은 불란서 특유의 원리에서 발전된 것이 며 미국 Code에는 부 관련 기계가 너무 무겁 다. Transducer가 총 60개	Technical / Research back- up이 제일 잘되었다 기계가 부거운 것과 고가인 것이 흠이다.	PWR 에는 경 험이 부족 Technical / Research back-up이 영세

이타 수집, 처리 및 분석등을 행하고 있다. 또한 遠隔自動超音波檢査 장비의 구동 역할이다. 특히 Calibration은 檢査體와 同一條件을 갖춘 直接的인 실험의 Calibration Block을 쓰지 않고 일종의 間接的인 Calibration Block 과 Computer 조작으로 校正하기 때문에 신빙성이 적어서 아직 많은 논쟁이 되고 있다. 또 프랑스 Intercontrole製¹³⁾는 集束된 Beam을 쓰기 때문에 探觸子の 直徑이 자연히 커지고 따라서 장비 자체도 大型化되어 운반의 기동성이 둔화된다. 다른 4社의 檢査方法은 接觸法을 사용하고 있으며, SwRI製 및 Rockwell製¹⁴⁾는 Programmed and Remote System, Inc.에서 제작한 Tripod가 달린 PaR System을 사용한다. KWU製¹⁵⁾나 TRC製¹⁶⁾는 PaR System과 같이 Tripod를 사용하지 않고 Verticle Mast가 환형 또는 선형 Rail 상을 이동하게끔 장치되어 있다. 물론 모든 製品은 Computer에 의해 C-scan이 가능하다.

Ⅲ. 結 論

原子力 發電所의 계속적인 建設 및 이미 稼動中인 원자력 발전소의 放射能 汚染 문제 및 安全性을 確保하기 위하여 遠隔自動超音波檢査 裝備의 研究開發은 계속되어야 한다. 이와 같이 自動化된 遠隔自動超音波檢査 裝備를 사용하여 稼動中 및 稼動前檢査를 함으로써 檢査기간 단축 및 檢査의 信賴性을 높이고 얻어지는 多量의 데이터를 신속하게 수집, 처리 및 分析할 수 있는 自動 시스템으로 研究開發이 장구되어야 한다. 이제 國內에서도 國外에서 製品化된 裝備를 도입하여 原子爐의 熔接部位를 檢査하는 技術의 國産化에만 그치지 말고 현장 檢査의 응용과 더불어 보다 나은 시스템을 研究開發하여 裝備의 國産化가 시작되어야 할 것

이다. 즉 기존 장비의 長短점을 잘 파악하여 간단한 部品부터 開發을 시작하여 國內 기술을 축적하고, 裝備운영에 따른 外貨를 절약하며 國內 기존장비를 더욱 더 다양하게 應用하는 Software를 개발하여 여러가지 개발된 非破壞試驗方法에 적용할 수 있도록 하여야 한다. 이러한 비파괴검사장비 技術 開發을 통해 檢査의 特性을 향상시키고 發電所의 安全性을 확보하여 稼動率을 增加시킬 수 있다.

참고문헌

1. W. P. Tiler and R. W. Hills, "Developments in the use of large forging for reactor vessel construction," The British Nuclear Energy Society, London (1979)
2. American Society of Mechanical Engineers의 Section XI, Boiler and Pressure Vessel Code.
3. 목춘능미 외 5명, "비파괴검사 편람 (신판)," 일본비파괴검사협회편, 일간공업신문사
4. 박대영 외 "원자로 부품의 검사기술 개발, 제 1부, 가동전 및 가동중 검사기술 개발," KAERI/RR-373-1/82, 한국에너지연구소 (1982)
5. Ultrasonic Method, ASNT Continuing Education In Nondestructive Testing, The American Society for Nondestructive Testing.
6. Operation and Maintenance Manual, Inservice Inspection Positioning System, Model ISI-2, GCA/ISG Job No.01601.
7. SwRI Proposal No.17-4465B, A Proposal of Preservice and Inservice Inspection, Equipment

- Southwest Research Institute (1983)
8. Jeon-Claude Frappier “The ‘STADUS’ Ultrasonic Data Acquisition and Processing System”, American Society for Metals Metals Park, Ohio 44073(1983)
 9. Metals Handbook, eighth edition, Nondestructive Inspection and Quality Control, American Society for Metals.
 10. 박대영, “원자로의 비파괴검사기술 개발”, 원자력산업 제2호, 제4권(통권 18호)(1984)
 11. Westinghouse, Technical Description PWR Reactor Vessel Inspection Tool. 2781B (1983)
 12. Intercontrole -15, rue des Solets-Silic 433-94583 Rungis Cedex France (1979)
 13. Rockwell International, Preservice and Inservice Inspection System, ESG-81-31 (1981)
 14. Kráftwerk Union, Ultrasonic Inspection Device for Inservice (Preservice) Inspection, VZS 15/092, (1983)
 15. Tekniska Röntgencentralen AB. Offer No.40/199 Inservice Inspection System (1983)