

원자력 발전소 STUD BOLT의 자동초음파 주사장치 개발

서동만, 박문호, 홍순신

(한국에너지연구소 비파괴시험연구실)

Development of Automatic Ultrasonic Testing Equipment for Pressure-Retaining Studs and Bolts in Nuclear Power Plant.

D. M. Suh, M. H. Park and S. S. Hong

Abstract Bolting degradation problems in primary coolant pressure boundary applications have become a major concern in the nuclear industry. In the bolts concerned, the failure mechanism was either corrosion wastage(loss of bolt diameter) or stress-corrosion cracking.(3) Here the manual ultrasonic testing of RPV(Reactor Pressure Vessel) and RCP(Reactor Coolant Pump) stud has been performed. But it is difficult to detect indications because examiner can not exactly control the rotation angle and can not distinguish the indication from signals of bolt. In many cases, the critical sizes of damage depth are very small(1-2 mm order). At critical size, the crack tends to propagate completely through the bolt under stress, Resulting in total fracture.(3)

Automatic stud scanner for studs(bolts) was developed because the precise measurement of bolt diameter is required in this circumstance. By use of this scanner, the rotation angle of probe was exactly controlled and the exposure time of radiations was reduced.

1. 서 론

원자력 발전소에 대한 안전성 확보는 매우 중요해서 정기보수기간마다 발전설비 및 중요 부품에 대한 가동중 검사의 중요성은 날로 증가되고 있다. 이 가동중 검사는 발전의 정기보수기간에 되도록 신속하고 정확하게 수행하여 발전소의 가동율을 향상시키고 검사요원의 방사선 피폭량을 최대한으로 감소시켜 신체적안전을

도모하여야 한다.

현재 국내 원자력 발전소의 압력용기(Reactor Pressure Vessel) 및 전열관(Steam Generator Tube)에 대해서는 원격으로 검사할 수 있는 자동화된 장비로 검사를 수행하고 있는 반면에 이들을 제외한 대부분의 발전 설비 및 중요 부품에 대해서는 검사자가 직접 검사체에 접근하여 검사를 수행하고 있다. 이러한 수동검사는 시간의 경과에 따른 발전소 노후화로 검사

자의 방사선 피폭량이 증가하여 검사 수행에 커다란 문제점으로 대두되고 있다. 따라서 원자력 발전소가 동중검사에서의 초음파 검사는 검사자의 방사선 피폭량을 최대한 감소시키고 검사설과의 신뢰성을 보다 향상시키기 위하여 검사장비의 자동화가 절실히 요구되고 있다.

여기서 개발된 검사 장비는 압력 용기와 냉각수 펌프(Reactor Coolant Pump)의 STUD BOLT(Pressure-Retaining Studs and Bolts) (Fig. 1, Fig. 2)(2)에 대한 수동 초음파 검사를 원격으로 검사할 수 있도록 자동화된 STUD BOLT 검사용 장치(Photo. 1, 2)이다.

KNU 9 & 10 -CALIBRATION BLOCK EQUIPMENT: REACTOR PRESSURE VESSEL						
STD N°	EQUIPMENT	MATERIAL	LENGTH	DIAMETER	HOLE DIA.	HOLE LENGTH
S1	RPV STUD	40 NCDV 7.03	1998 mm	149.5 mm	3/8 in. ±1/32 in.	76mm ⁺¹ ₋₀

KNU 9 & 10-CALIBRATION BLOCK EQUIPMENT: PRIMARY PUMP						
STD N°	EQUIPMENT	MATERIAL	LENGTH	DIAMETER	HOLE DIA.	HOLE LENGTH
S2	PP STUD	40 NCD	924 mm	109.5 mm	3/8 in+ 1/32 in.	76mm ⁺¹ ₋₀

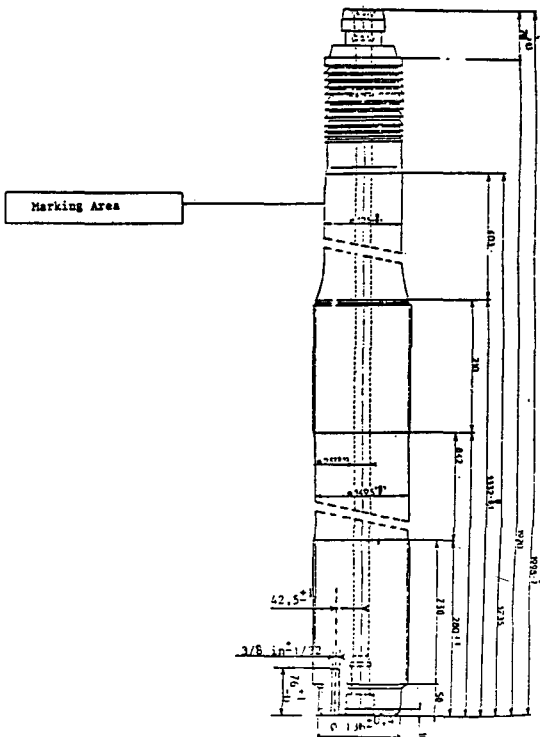


Fig. 1. RPV stud.

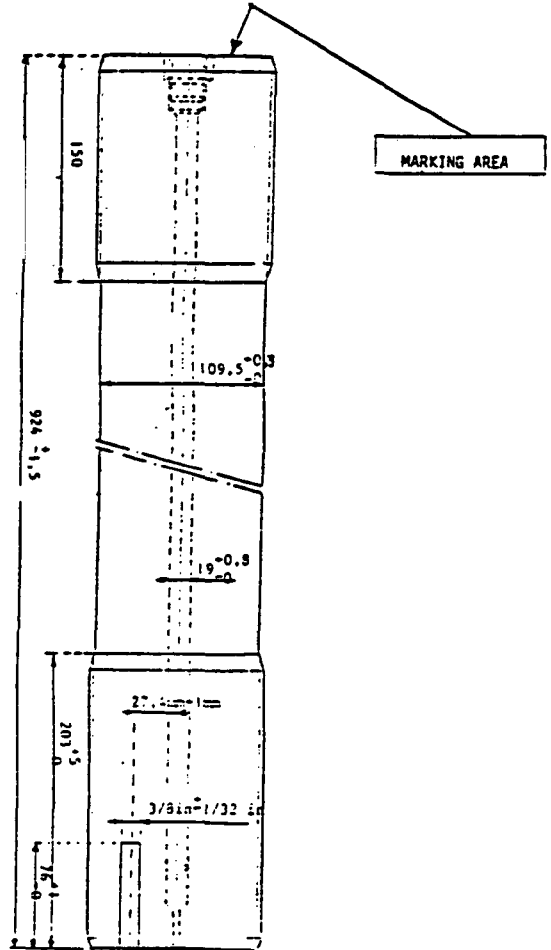


Fig. 2. RCP stud

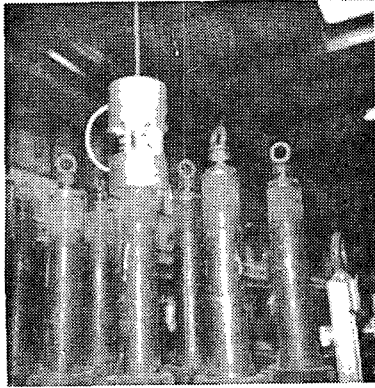


Photo.1. Examination of RPV stud



Photo.2. Calibration

2. STUD BOLT 자동검사 장치의 필요성

현재 국내 원자력 발전소의 STUD BOLT 초음파 검사는 탐촉자가 달린 주사봉을 검사자의 상하 운동과 회전 운동으로 검사를 수행하는데 어려움이 있으며, 나사산으로 부터 나오는 신호 양상(Photo.3)이 노이즈와 섞여 복잡한 신호를 이뤄 수동 검사로는 구분하기

어려운 실정이다. 또한 발전소 정지기간에 STUD BOLT를 해체하는 데 OVER TORQUE가 가해지므로 검사 계획보다 많은 검사를 수행하고 있고, 검사의 자동화로 검사자의 방사선 피폭량을 감소시켜 검사의 질을 향상시켜야 된다.

위와 같은 어려움으로 외국의 원자력 발전소에서는 다수의 사고의 예를 가지고 있다.(Table 1)(3), (5)

Table 1. Summary of Degraded Threaded Fasteners in Reactor Coolant Pressure Boundary

Degraded Reactor Coolant Pressure Boundary Threaded Fasteners	No. of Reported Incidents	Plants(Year Incident Reported)&Reactor Vendor	Mode of Failure*
Pressurizer manway closure studs	2	Calvert Cliffs 2(1981) C-E	BC
		St. Lucie 1 (1978) C-E	BC
Steam generator manway closure studs	7	Maine Yankee(1982) C-E	SC
		Oconee 3 (1980) B&W	SC
		Arkansas 1 (1978) B&W	BC
		Arkansas 1 (1980) B&W	SC
		Calvert Cliffs 1 (1980) C-E	BC
		St. Lucie 1 (1977) C-E	BC
		San Onofre 1 (1977) W	SC
Reactor coolant pump closure studs	5	Ft. Calhoun (1980) C-E	BC
		Calvert Cliffs 1 (1980) C-E	BC
		Calvert Cliffs 2 (1980) C-E	BC
		Oconee 3 (1981) B&W	BC
		Oconee 2 (1981) B&W	BC
Safety injection check valve studs	1	Calvert Cliffs 2 (1981) C-E	BC

*SC=stress corrosion ; BC=borated water corrosion.



Photo 3. Signals from stud threads

3. 장비의 개요

STUD BOLT의 수동 초음파 검사는 초음파 탐촉자가 달린 주사봉을 검사자가 회전운동과 상하운동으로 감사를 수행하는 반면, 이 자동 검사 장비는 주사장치(Fig. 3)를 검사 부위에 설치한 후 Fig. 4와 같이 구성된 제어기의 원격 제어로 주사봉을 이송토록 하여 검사를 수행한다. 이 때 초음파 탐촉자의 위치는 Fig. 4의 제어기에 위치정보가 표시되며 최대이송거리와 최대회전각에 알맞게 위치값을 리미트 스위치로 설정하면 주사봉이 그 제한위치내에서 구동되어 감사체가 보호된다. 주사봉의 직선운동시에는 1mm진행에 위치값 1이 변하게 해서 결함의 위치파악에 용이하도록 하였고, 주사봉의 속도는 ASME(American Society Mechanical Engineers)에 의거 1분간에 6인치 범위내에서 구동토록 제작되었다.¹⁾

또한 장비의 효율성을 높이기 위해 반자동과 자동(Computer Control)으로 제어할 수 있게 했으며, 크기가 다른 STUD BOLT에도 적용할 수 있게 조립식으로 주사봉을 제작했다.

4. 장비의 구성

이 장비는 반자동 및 자동의 2중제어 방식으로 제작했으며 반자동주사시에는 주사속도를 검사자가 변화시킬 수 있으며 자동주사시에는 소프트웨어로 실현했다. 상하직선운동 및 회전운동의 2축제어는 스텝

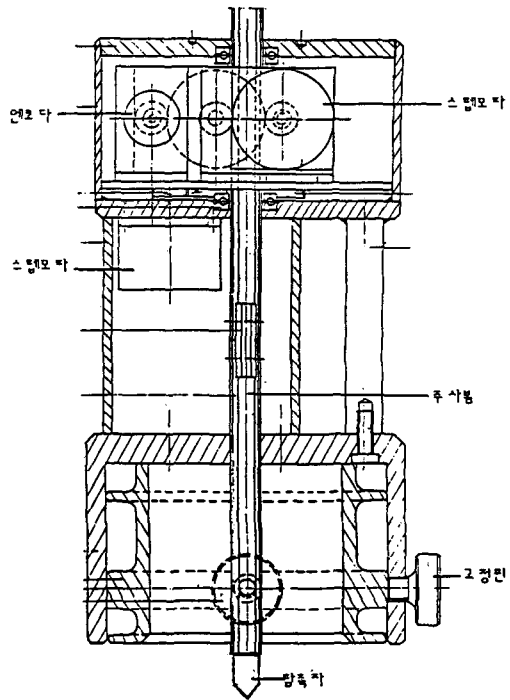


Fig. 3. Stud scanner.

모터를 사용해서 Microprocessor로 제어하고 상하직선 운동축에는 엔코더(Encoder)를 설치해 위치정보를 정확히 알 수 있게 하였다. Microprocessor는 Z-80 CPU를 사용한 BRMC-01을 사용했다.⁴⁾

주사장치는 이동하기 쉽게 가벼운 재질인 알루미늄으로 제작했으며 제어장치도 이동하기 편리하게 소형으로 제작하였다. 제어장치에는 CPU, DRIVE, COUNTER, COMPARATOR BOARD와 POWER단으로 구성되어 있다.(Fig. 4)

5. 결 론

STUD BOLT의 수동 초음파 검사를 자동화함으로써 검사자의 방사선피폭량을 감소시켜 신체적인 안전을 도모하고 수동검사시 STUD BOLT 위에 검사자가 직접 접근하여 검사를 수행해야하는 문제점을 해결할 수 있다. 한편 수동검사시에는 주사봉을 이송시키는 검

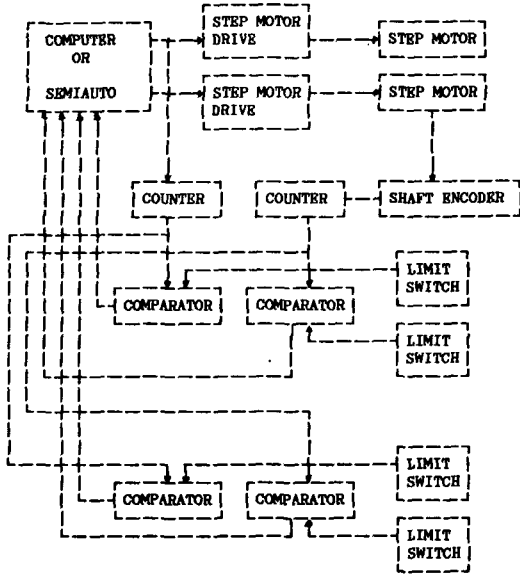


Fig. 4. Block diagram of stud scanner controller

사자와 초음파신호를 판독하는 검사자가 동시에 검사를 수행하여야 하지만 이 장비를 사용함으로써 검사자 1명이 검사를 수행할 수 있고 초음파 신호 처리를 이용해 나사산의 결함검출을 용이하게 할 수 있을 것이다.

또한 이러한 종류의 자동검사장비를 계속 연구 개발함으로써 검사장비의 국산화를 조속히 실현시킬 수 있으며 고 방사선 부위의 검사에도 적용해 검사의 신뢰성과 재현성을 향상시켜 발전소의 안전성을 확보할 수 있다.

References

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code XI Rule for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Component, 1983.
2. Framatome, KEPCO "KNU 9 & 10 Inservice Inspection Program Manual" Vol. 2/2, pp. 21, 23.
3. G. M. Light "Ultrasonic Detection of Stress-Corrosion Cracks in Reactor Pressure Vessel and Primary Coolant System Anchor Studs(Bolts)" Materials Evaluation, Dec. 1987, pp. 1413-1418.
4. DAVID M. Auslander and Paul Sagues "Microprocessors for Measurement and Control" Osborne/McGraw-Hill, 1981, pp. 33-49.
5. NRC Bulletin ssing No. : 6820, OMB No. : 3150-0086 "Degradation of Threaded Fasteners in the Reactor Coolant Pressure Boundary of PWR Plants" June 2, 1982.