

초음파 DAC 기법을 이용한 압력용기 용접부의 지시 크기측정 정확도 평가

김재동[†]·임형택^{*}·도의순^{**}

Accuracy of Ultrasonic Flaw Sizing using DAC Techniques for Pressure Vessels Welds of Nuclear Power Plant

Jae Dong Kim[†], Hyung Taik Lim^{*} and Eui Soon Doh^{**}

(Received 29 October 2015, Revised 26 November 2015, Accepted 15 December 2015)

ABSTRACT

During refueling Outage, In-service inspections(ISIs) for the Nuclear Power Plant components are mandatory requirement in accordance with ASME Code Sec. XI. Especially, in current ultrasonic testing is one of the most important NDT techniques that are used for volumetric examination methods for nuclear power plant components, and accurate sizing of flaw indication by UT is essential to assure the integrity of the components. However, ASME code specifies minimum requirement for vessel examination procedure, and so far many different flaw sizing approaches have been tried to apply. Through the Round Robin Test(RRT), the accuracy of ultrasonic flaw sizing using DAC techniques was measured with the mock-ups simulating typical pressure vessel welds. These mock-ups contain artificially introduced flaws of known size and location. This paper shows experimental comparison data on the accuracy of techniques using such as 6dB drop, 50%DAC, 20%DAC and 20%DAC with beam spread correction, and also shows that diverse DAC techniques can be effectively applied to the assessment of the flaw sizing for pressure vessel welds in the stage of welding and fabrication.

Key Words : Distance Amplitude Correction/DAC(거리진폭보정기법), In-service Inspection/ISI(가동중검사), Round Robin Test/RRT(다자간비교시험), ASME(미국 기계학회)

1. 서론

국내의 원자력발전소는 계획예방정비기간 중 ASME Sec. XI에 따라 법정검사인 가동중검사(In-Service Inspection)를 수행하고 있으며, 검사시 증기발생기, 가압기 등의 압력용기 용접부 초음파검사 지시의 크기평가(Sizing)를 위해 적용기술기준에 따라 거리진폭보정(DAC : Distance Amplitude Correction) 기법을 사용하고 있다. 본 기법은 1989년 변경된 기술기준에 의거

기록기준이 기존의 50%DAC 기준에서 20%DAC 기준이 적용하게 됨에 따라 가동전 검사에서 검출, 관리해 오고 있는 초음파 검사지시(결점)의 크기에 변화가 없음에도 불구하고 변경된 기술기준에 의거 일부 합격결점이 불합격 처리되는 문제가 있어 압력용기 초음파검사 지시에 대한 기록 및 크기 평가기준을 명확히 하고자 국내 가동중검사회사를 대상으로 다자간비교시험(Round Robin Test)을 수행하게 되었다.

2. 다자간비교시험 현황

2.1 주요현황

금번 다자간비교시험(이하 “RRT”이라한다.)은 국

[†] 회원, 한수원 중앙연구원

kimjaedong1kr@khnp.co.kr

TEL: (042)870-5552 FAX: (042)870-5549

^{*} 엔스코(주)

^{**} 한전 KPS(주)

내 가동중검사회사의 유자격 검사자가 참여하여 ‘15.4.13~9.21까지 한수원 중앙연구원에서 수행되었다. RRT에 사용된 목업 시험편은 압력용기와 동일재질로서 국외 결함시험편 전문 제작업체인 Sonaspection Co.에서 제작하였으며, 내재결함의 종류 및 크기는 관련 적용코드와 규제기관의 의견을 반영하여 결정하였고, 사용된 시험편 중 #2 시험편은 ASME Code 허용치 이내의 결함[두께 5인치에 대한 a/t ≪ 2%이하, ASME Sec. XI Table IWB3510-1(탄소강압력용기 결함허용기준)]에 대해서만 확대측정(Oversizing)의 영향을 파악하기 위하여 모사하여 제작되었다.

2.1.1 시험시험편 및 탐촉자

RRT에 사용된 목업 시험편은 총 2개로서 제작사는 국외 전문제작업체인 Sonaspection Co이며, 사양은 다음과 같으며, 시험시험편의 결함크기 및 형상은 국내 비파괴검사사의 기량검증 등의 활용에 대비하여 비공개로 하였다.

- #1 크기/재질 : 22"x28"x5", SA-508 GR3 CL1
- #2 크기/재질 : 12"x24"x5", SA-508 GR3 CL1



Fig. 1 Mock up Specimen #1

탐촉자는 실제 압력용기의 가동중 검사현장에서 사용되는 것으로서 수집데이터의 객관화를 위하여 45°와 60°로 각각 구분하여 RRT에 참여한 그룹에 공통적으로 적용하였으며, 탐촉자의 사양은 다음과 같다.

- 45° BRAND/Serial No/Size : GE(01TL90) 0.5"x1.0"
- 60° BRAND/Serial No/Size : GE(01TXMWC) 0.5"x1.0"



Fig. 2 Mock up Specimen #2

2.1.2 RRT 적용기법

금번 다자간비교시험에 적용된 검사기법은 초음파탐상검사에서 널리 사용되는 DAC기법으로 지시 크기별 사용기법은 다음과 같다.

- DAC 100% 초과 지시 : 6dB drop기법 적용
- DAC 50% 이상~100% 미만 지시
 - (1) DAC 50% 기준 적용
 - (2) DAC 20% 기준 적용[DAC 50%, 20% 빔폭보정]
- DAC 20% 이상~50% 미만 지시
 - (1) DAC 20% 기준 적용
 - (2) DAC 20% 기준 적용[DAC 70%(-3dB), 50%, 20% 빔폭보정]

2.1.3 RRT 크기측정절차

1) #1 목업 시험편의 측면공(6.35mm)을 이용하여 1/4T, 1/2T, 3/4T 및 5/4T(5/8 skip)까지 DAC 곡선을 작성한다.

2) DAC 곡선을 작성후 이를 이용하여 빔보정(Beam Spread)을 수행하여 검사기록지에 작성한다.

3) 결함지시 측정(Sizing)

목업 시험편에 모사된 결함을 검출하기 위하여 결함 지시 크기별 적용기법을 달리하여 지시를 검출 한다.

- DAC 100% 초과지시 : 6dB drop기법 적용
- DAC 50% 이상~100% 미만 지시
 - (1) DAC 50% 기준 적용
 - (2) DAC 20% 기준 적용[DAC 50%, 20% 빔폭보정]
- DAC 20% 이상~50% 미만 지시
 - (1) DAC 20% 기준 적용
 - (2) DAC 20% 기준 적용[DAC 70%(-3dB), 50%, 20% 빔폭보정]

3. 다자간 비교시험 결과

3.1 RRT 적용기법 및 시험결과

목업 시험편 2개에서 총 9개의 결함에 대하여 검사를 수행하여 총 48개의 데이터를 취득하였으며, 각 사별로 제출한 검사기록지를 바탕으로 하여 20%~50%DAC 사이결함, 50~100%DAC 사이결함에 대하여 -14dB, -6dB 및 -3dB 기법을 적용하였으며, 100%DAC 초과결함에 대해서는 +6dB Drop기법을 적용하였다. 제시된 그림에서의 가로축은 결함의 위치별 높이로서 실제 값과의 크기를 나타내며, 세로 축은 다자간 비교시험시 각 그룹별로 측정된 값의 크기를 나타내고 있다. 대각선방향에서 *표시된 값과 대비하여 대각선에서 편차가 클수록 실제적으로 확대측정이 되고 있음을 보여준다.

3.1.1 20~100% DAC 지시에 대한 크기평가

총 34개 지시에 대하여 현재 기록기준 20%DAC 기법에 근거하여 크기를 평가한 결과 31개 지시는 확대측정(Oversizing)된 것을 볼 수 있었고, 나머지 3개소의 지시에 대해서는 실제 값과 근접하거나 약간 낮아지는 결과를 나타내었다.(Fig. 3 참조)

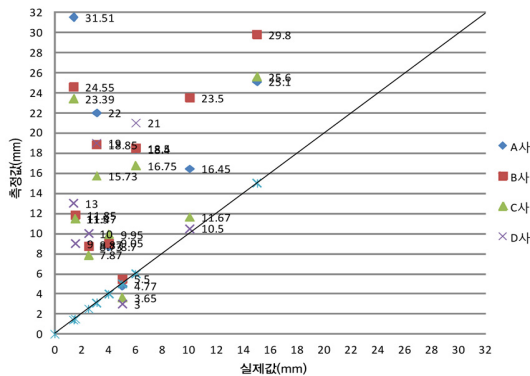


Fig. 3 20%DAC sizing results for 100%DAC below indication

3.1.2 50% DAC 미만인 지시에 대한 크기평가

해당지시 23개 중 확대측정은 20개로서 87%의 다수를 차지하고 있으며, 나머지 3개 지시에 대해서는 LOF(Lack of Fusion)의 얇은 결함(1/4T) 위치 및 전술한 코드와 허용치 이내의 작은 결함에 대해서만 발생되었다. 2차 RRT(1/4T → 3/4T) Sizing에서 시험을 뒤집어서 적용한 #2-3 시험편은 모두 실제 값보다(평

균 1.5mm → 23.11mm) 훨씬 크게 측정되었다. 깊은 결함(3/4T) 위치에서는 4개중 4개 모두 확대측정 되는 것으로 평가되었으며, 20% DAC Sizing에서의 1/2T 및 3/4T 깊이에서의 평가결과도 여전히 확대측정 되었고, ASME Code 허용치이내의 작은 결함에 대해서는 실제 값과 같거나 작아지는 현상을 보였다. 이는 반사된 신호진폭크기가 작은 결함에 대해서는 20%DAC 기법의 영향이 적게 미치는 것으로 판단된다.

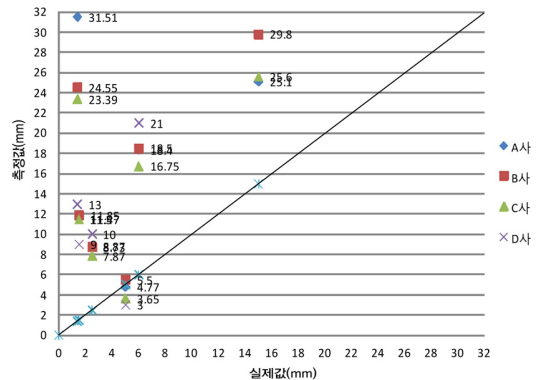


Fig. 4 20%DAC Sizing results

3.1.3 50% DAC 미만 지시에 대한 크기평가(-3dB Sizing 적용)

3.1.2에서의 결과에 대하여 개선안인 -3dB 기법을 적용한 결과 거의 실제크기에 근접함을 알 수 있었으며, 특히 축소측정(Undersizing)된 4개의 지시에 대해서는 ASME Code 허용치 이내의 지시들로서 중요한 결함합부 판정을 위한 지시 평가에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.(Fig. 5 참조)

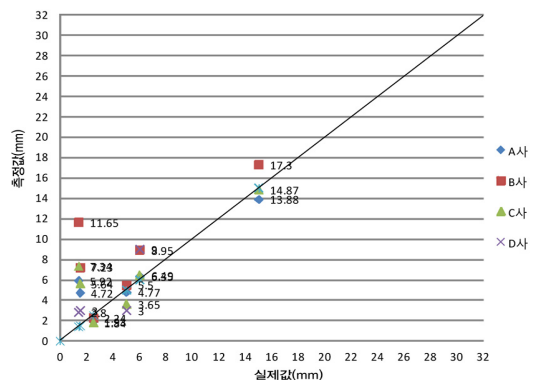


Fig. 5 20%DAC(-3dB) Sizing results

3.1.4 50~100% DAC 지시에 대한 크기평가

깊은 결함(3/4T) 위치에서는 12개 중 11개가 확대 측정이 되는 것으로 평가되었으며, 또한 결함크기가 작아질수록 확대측정 됨을 알 수 있었다. 결함크기가 5mm이하(ASME Sec. XI IWB-3000에 의거 허용 결함임)인 경우에도 50%DAC Sizing기법도 확대측정(Oversizing)이 됨을 알 수 있다.(Fig. 6 참조)

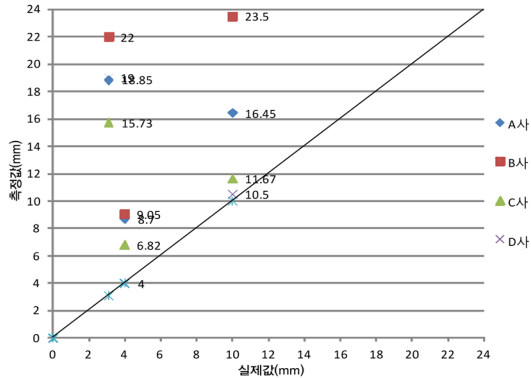


Fig. 6 50%DAC Sizing(3/4T)

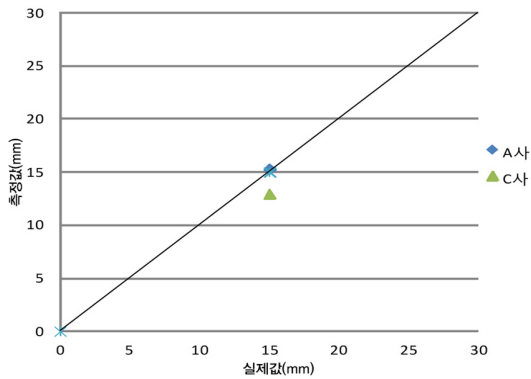


Fig. 7 100%DAC Sizing(1/4T)

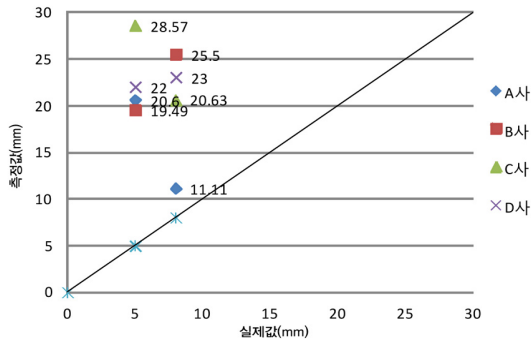


Fig. 8 100%DAC Sizing(1/2T)

3.1.5 100% DAC 초과지시에 대한 크기평가

6dB drop기법을 적용하여 적용한 결과 1/4T에서 1/2T 구간에서는 실제 값에 가깝게 측정되었다.(Fig. 7, 8 참조) 깊은 결함(3/4T) 위치에서는 8개 중 8개 모두 확대측정(Oversizing)되는 것으로 평가되었으며, 결함크기가 작은 5mm이하인 경우에도 50%DAC Sizing 기법과 같이 확대측정이 됨을 알 수 있다.

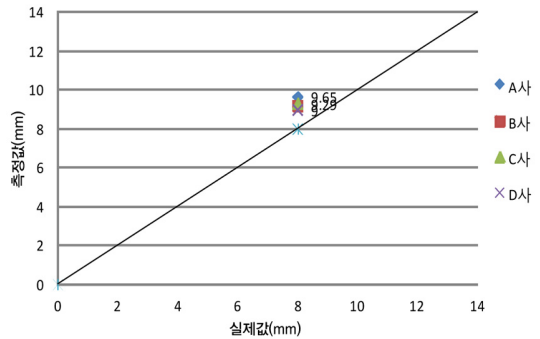


Fig. 9 100%DAC Sizing(3/4T)

4. 결론

금번 실시한 다자간 비교시험(RRT)의 결과는 다음과 같다.

- 1) 현재 20%DAC 이상 지시의 크기평가
 - (1) 50%DAC 이상 지시에 대해서는 이전규격에서 제작결함 또는 용접결함이 사용되었다. 50%DAC Sizing 및 6dB Drop기법이 유효한 것으로 나타났다.
 - (2) 20%~50%DAC 사이의 결함지시에 대해서는 전체적으로 20%DAC기법 적용결과 확대측정(Oversizing)이 되었으나, 반사된 신호진폭크기가 작은 결함에 대해서는 그 영향이 적게 나타났다. 이와 같이 20% DAC기법으로 확대측정(Oversizing)된 지시들에 대하여 -3dB기법을 적용한 결과(3.1.3 참조) 유효한 것으로 나타났다.

결론적으로 목업 시험편에 내재한 결함의 실제크기와 측정크기를 비교분석한 결과는 다음과 같다.

- 100%DAC초과 지시는 6dB drop 기법이 정확한 것으로 평가됨
- 50%DAC이상~100%DAC 미만 지시는 50%DAC

기법이 정확한 것으로 평가됨

- 20%DAC이상~50%DAC 미만 지시는 -3dB(70% 빔폭보정) 기법이 정확한 것으로 평가됨을 알 수 있었다.

후 기

본 다자간비교시험은 국내 가동중검사회사의 적극적 참여와 한국수력원자력(주) 엔지니어링처, 사업소 및 한국원자력안전기술원의 적극적인 도움으로 수행되었다. 기타 압력용기의 정확도 평가는 1980년경 미국 전력연구소에서 수행된 이래 관련된 연구가 이루어지지 않고 있었다. 그러던 차에 코드의 변경에 따라 그 필요성이 제기가 되어 시편제작 및 확보와 관련기관의 적극적인 협조로 장기간의 미해결 현안이었으나, 이를 해결하고자 국내에서 처음으로 시도된 것으로 그 의미가 있다고 하겠다. 향후

국내 가동전·중 검사에서 금번 다자간 비교시험으로 확립된 개선안을 적용하여 가동중검사회사에서 실제검사에 활용함으로써 원전의 안전성을 확보하는데 크게 기여하리라 사료된다.

참고문헌

- (1) EPRI, 1989, "Accuracy of Ultrasonic Flaw Sizing Techniques for Reactor Pressure Vessels," *EPRI TR-NP-6273*.
- (2) EPRI, 2009, "Technical Justification for ASME Sec. III Code Change," *EPRI TR-1019217*.
- (3) USNRC, 1983, "Ultrasonic Testing of Reactor Vessel Welds During Preservice and Inservice Examinations," *Reg Guide 1.150*.
- (4) ANSCO Co., Manual Ultrasonic Examination of Pressure Vessel Weld (ANSCO-NDE-05-UT-01)