

# 불규칙 표면 시편을 이용한 Flexible 위상배열초음파기술 적용 연구

## Feasibility Study of Flexible Phased Array Ultrasonic Technology Using Irregular Surface Specimen

이승표\*<sup>†</sup>, 문용식\*, 정남두\*

Seung-Pyo Lee\*<sup>†</sup>, Yong-Sig Moon\* and Nam-Du Jung\*

**초 록** 원자력발전소에는 탄소강과 스테인리스강 용접을 위해 alloy600 용접재를 적용한 이종금속용접부가 다수 존재하며, 전 세계적으로 이종금속용접부에서 결함 발생 보고가 지속되고 있다. 주기적인 건전성 평가를 위해 이종금속용접부 초음파검사 일반절차서 (KPD-UT-10)를 적용하여 검사를 수행하고 있으며, 검사절차서에서는 탐촉자와 검사체 표면 사이의 간격을 최대 1/32"(0.8mm) 이내로 제한하고 있다. 국내의 일부 이종금속용접부는 테이퍼진 형상과 불규칙한 표면 형상을 가지고 있어, 가변형 위상배열초음파기술을 적용하여 검사 신뢰성을 높이고자 본 연구를 수행하였다. 연구 결과, 검사체 표면이 불규칙한 시편 내부의 인공결함에 대한 검출이 양호하였고, 이를 통해, 가변형 위상배열초음파기술의 현장 적용 가능성을 확인하였다.

**주요용어:** 이종금속용접부, 위상배열, 가변형, 초음파, 갭

**Abstract** Nuclear power plant contain many dissimilar metal welds that connect carbon steel components with stainless steel pipes using alloy600 welding materials. Primary water stress corrosion cracks at dissimilar metal welds have been continuously reported around the world. In periodic integrity evaluations, dissimilar metal welds are examined using a generic ultrasonic testing procedure, KPD-UT-10. In this procedure, the gap between the probe and examination surface is limited to 1/32 inch (0.8mm). It is not easy to test some dissimilar metal welds in Korean plants applying ordinary technology because of their tapered shapes and irregular surface conditions. This paper introduces a method for applying a flexible phased array technology to improve the reliability of ultrasonic testing results for various shapes and surface conditions. The artificial flaws in specimens with irregular surfaces were completely detected using the flexible phased array ultrasonic technology. Therefore, it can be said that the technology is applicable to field examination.

**Keywords:** Dissimilar Metal Weld, Phased Array, Flexible, Ultrasonic, Gap

### 1. 서 론

원자력발전소의 주요 배관에는 탄소강과 스테인리스강의 용접을 위해 alloy600 용접재를 적용한 이종금속용접부가 다수 존재하며, 전 세계적으로 결함 발생 보고가 지속되고 있다. 국내에 가동중인 원전의 경우(20개호기 기준), 약 400개소의 이종금속용접부가 존재하며, 표면검사외 체적검사인 초음파검사를 적용하여 건전성을 확

인하고 있다. 국내의 경우, 2012년에 이종금속용접부에 대한 초음파검사 기량검증 체계를 구축하였고, 검사자, 절차서 및 검사장비에 대한 기량검증을 수행하고 있다. 이종금속용접부 검사의 경우, 기량검증된 이종금속용접부 초음파검사 일반절차서 (KPD-UT-10)을 적용하여 검사를 수행하고 있으며, 이 절차서에서는 검사대상 표면을 평탄하게 하도록 요구하고 있고, 배관용접부 외면의 검사부위 전체 길이에 대하여 탐촉자와 검사체

[Received: September 30, 2014, Revised: November 25, 2014, Accepted: December 18, 2014] \*한국수력원자력 중앙연구원 비파괴기량검증팀, <sup>†</sup>Corresponding Author: NDE Performance Demonstration Team, Korea Hydro & Nuclear Power, Central Research Institute, Daejeon, 305-343, Korea (E-mail: leespyo@khnpp.co.kr)

표면 사이의 갭이 1/32"(0.8 mm)를 넘지 않도록 규정하고 있다[1]. 따라서 일부 이중극속용접부의 경우 검사전 배관표면에 대한 연마작업이 필요하며, 배관표면 가공에 따른 추가적인 안전성 해석 등의 어려움이 발생하고 있다.

본 연구에서는 평탄하지 않은 표면의 용접부에 대한 flexible 위상배열초음파기술의 적용가능성을 확인하기 위해 불규칙 표면을 가진 시편에 대한 내부결함 검출 실험을 수행하고, 그 결과를 기술하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 일반 위상배열초음파검사 기술

위상배열초음파검사 기법의 중요한 특징은 사용자가 컴퓨터를 이용하여 각각의 미세진동자에 대한 초음파 지연시간과 진폭을 조절함으로써 초음파의 다양한 변수들인 각도, 집속 깊이(focused depth), 집속점에서의 빔 반경(focal spot size) 등을 제어할 수 있다는 것이다. 초음파탐상에서 검사의 민감도는 결함으로부터 반사되어 돌아오는 초음파의 에너지에 의존한다.

위상배열(phased array) 초음파검사서 중요한 기능은 원하는 검사 깊이에 초음파 에너지를 집중시켜 초음파 손실을 보상하고 투과능을 높여 결함에서 반사되는 더 많은 초음파를 수신함으로써 결함의 검출 감도 및 분해능을 높게 하는 것이다. 일반 위상배열초음파기술이 기존의 단일진동자 또는 복수진동자를 적용하는 일반 초음파검사 기술에 비해 다양한 검사각 적용, 빔 조절, 전기적 주사가 가능하도록 하였으나, 일반 위상배열초음파기술의 경우에도 탐촉자가 검사체와 직접 접촉하거나 웨지를 장착하여 검사체와 접촉하는 방식으로 검사에 적용되고 있어, 검사체와 탐촉자 사이의 갭이 발생할 경우, 검사체 내부에 빔의 산란, 분산 또는 왜곡되는 현상이 필연적으로 발생한다.

### 2.2. Flexible 위상배열초음파검사 기술

Flexible 위상배열초음파검사 기술은 flexible 위상배열초음파검사용 탐촉자와 장비를 기반으로 탐촉자 내부에 장착된 위치측정기에서 취득된 검

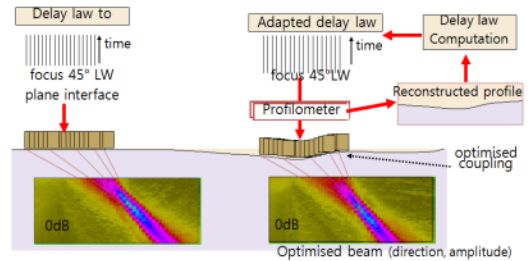


Fig. 1 Comparison between general and flexible phased array UT technology

사체 표면의 형상 정보를 실시간으로 수신하여 표면 형상을 계산하고 검사체 내에 일정 또는 다양한 검사각이 생성되도록 탐촉자 시간지연을 실시간으로 계산할 수 있는 기술이다. 기존의 일반 위상배열초음파검사 장비는 검사체의 정해진 치수를 통해 탐촉자의 집속점, 검사각 생성에 필요한 시간지연을 미리 계산하여 적용하는 방식이나 flexible 위상배열초음파기술은 이 과정을 실시간으로 계산하여 반영한다.

Flexible 위상배열초음파 탐촉자는 진동자 별로 스프링 타입의 탄성재질이 장착되어 있고, 표면 형상을 따라 탐촉자의 이동이 가능하며 표면 형상을 실시간으로 측정하고 계산할 수 있다. 검사체 형상에 관계없이 검사체 내부에 일정한 검사각과 초음파 빔의 생성이 가능하도록 'profilometer' 기술을 장착하고 있어, 검사체 표면에 굴곡 또는 갭이 존재하여도 표면 형상을 실시간으로 측정하고 피드백 처리를 통해 개별 진동자에 대한 시간지연을 계산하므로 검사체 내에 일정한 초음파 빔과 검사각 생성이 가능하도록 한다. Fig. 1은 일반 위상배열초음파기술과 flexible 위상배열초음파검사 기술의 차이를 보여준다[2].

### 2.3. Flexible 위상배열초음파 장비

Flexible 위상배열초음파검사 장비인 MultiX는 flexible 위상배열초음파기술을 적용하기 위한 장비로 프랑스 M2M사에서 제작되었다(Fig. 2). 일반 위상배열초음파검사 기능도 보유하며, flexible 위상배열초음파 탐촉자에 의해 측정된 표면 형상을 실시간으로 측정하고 계산할 수 있는 기능을 장착하고 있다. 장비 전면에는 탐촉자의 각 진동자 별 입출력 단자를 연결하는 부위가 있으며, 뒷면에는 탐촉자를 통한 표면 형상 데이터를 입

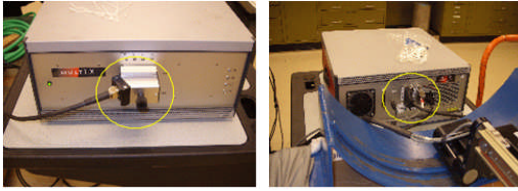


Fig. 2 Equipment of flexible phased array UT

력할 수 있는 위치측정기의 입출력 단자와 컴퓨터와 통신에 필요한 랜 연결 부위 및 엔코더 연결 커넥터가 존재한다. MultiX 장비는 NDE 시뮬레이션 프로그램인 CIVA 프로그램과 초음파검사 및 신호해석용 소프트웨어인 Multi 2000을 탑재한 컴퓨터에 의해 구동되며 연결 케이블로 위상배열초음파 탐촉자, 탐촉자 내부 위치측정기 연결 케이블 및 엔코더를 연결하여 스캐너를 구동할 수 있도록 지원한다[3].

#### 2.4. Flexible 위상배열초음파 탐촉자

Flexible 위상배열초음파 탐촉자는 기존 초음파 검사 및 일반 위상배열초음파 탐촉자의 단점을 극복하기 위해 개발된 탐촉자로 linear 타입과 matrix 타입의 2가지가 있다. 1D linear flexible 위상배열초음파 탐촉자는 총 24개의 개별 진동자를 가지며, 주파수는 이중금속용접부 검사 적용을 위하여 1.5 MHz로 설계 및 제작되었고, 탐촉자 자체의 최고 및 최저 높이의 기계적 단차(가변가능 정도)는 약 15 mm이다. 1D linear flexible 위상배열초음파 탐촉자는 sector scan, multiple depth focusing, dynamic depth focusing 등 다양한 위상배열초음파검사 적용이 가능하며, 탐촉자 내부의 스프링 타입 구동파트에 의해 표면의 굴곡 및 겹을 따라 이동이 가능하도록 제작되었다. Fig. 3에 1D linear flexible 위상배열초음파 탐촉자를 나타내었다.

2D matrix flexible 위상배열초음파 탐촉자는 1D linear flexible 위상배열초음파 탐촉자보다 가변성(flexibility)을 전 방위로 확장시킨 탐촉자로 검사체 표면의 굴곡 및 겹에서도 적용이 가능하며, 노즐 부위와 같이 원주 및 축방향으로도 형상이 변하는 부위에 적용이 가능하도록 설계 및 제작된 탐촉자이다. 2D matrix 위상배열초음파 탐촉자는 총 64개(8×8 elements)의 진동자를 가지며, 주파수

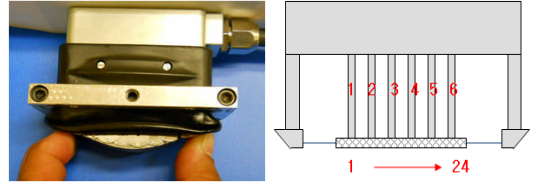


Fig. 3 1D linear flexible phased array UT probe

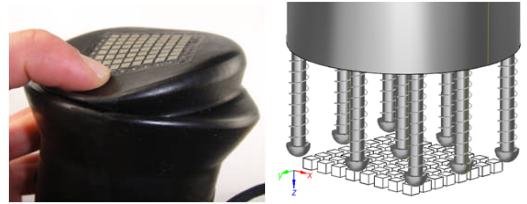


Fig. 4 2D matrix flexible phased array UT probe

는 1.5 MHz, 탐촉자 자체의 최고 및 최저 높이의 기계적 단차(가변 가능 정도)는 약 28~30 mm 이다. Sector scan, multiple depth focusing, dynamic depth focusing 등 다양한 위상배열초음파 검사의 적용이 가능하며, 탐촉자를 이동하지 않고도 모든 방향으로의 초음파 빔 주사가 가능하다. 또한 탐촉자가 이동하면서도 특정 방향의 깊이에 빔의 집속이 가능하도록 위치 측정과 피드백 기능을 가지고 있다. Fig. 4에 2D matrix flexible 위상배열초음파 탐촉자를 나타내었다[4].

#### 2.5. 표면굴곡시편

1D 및 2D flexible 위상배열초음파 탐촉자가 실제 불규칙 표면 형상을 갖는 시편 외면에서 탐촉자와 검사체 표면의 들뜸 현상없이 이동이 가능한 정도와 불규칙한 시편 내부의 인공결함에 대한 검출 정도를 평가하기 위해서 스테인리스강 304 재질의 표면굴곡시편을 설계 및 제작하였다.

표면굴곡시편은 시편의 상부에 길이 방향으로 깊이 방향으로 굴곡이 없는 평판 부위, 깊이 2 mm(R 251.97 mm), 4 mm(R 163.8 mm), 6 mm(R 112.58 mm), 8 mm(R 90.97 mm) 및 10 mm(R 73.56 mm)의 표면 겹을 갖도록 설계하였다. 또한 넓이(폭) 방향으로 반경 127 mm(두께 단차 2.57 mm)을 갖도록 라운드 형태로 가공되어 있으며, 깊이 방향으로 45.72 mm 위치에 총 19개의 직경 1.6 mm인 측면가공홀을 가공하였고, 형상은 Fig. 5와 같다[4].

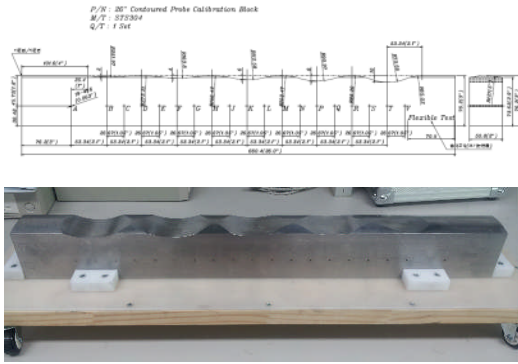


Fig. 5 Irregular surface specimen

### 3. 실험결과 및 고찰

표면굴곡시편 내부의 측면가공홀 검출을 위해 위상배열초음파검사 기법 중 하나인 'direction and depth scanning' 모드를 적용하였다. 본 검사 모드는 일정한 깊이에 빔의 집속이 가능하며, 검사체 내부의 동일 평면상에 초음파 빔을 동시에 다중각도로 주사할 수 있는 기법이다. 표면굴곡시편에 대한 측면가공홀 검출 실험은 1D 및 2D flexible 위상배열초음파 탐촉자를 각각 적용하여 실험하였고, 표면 굴곡이 있는 시편 상부에서 데이터를 취득하였다.

#### 3.1. 1D Flexible 위상배열 탐촉자 실험 결과

1D linear flexible 위상배열초음파 탐촉자 적용 실험에서 빔 집속 및 주사 모드는 'direction and depth scanning'을 적용하였고, 검사각은 25°에서 55°로 총 30개의 개별 검사각이 동시에 주사되도록 실험하였다. Fig. 6은 상기 모드와 검사각을 적용했을 때 검사체 내부에 어떤 방식으로 초음파 빔이 생성되는지를 나타내고 있다.

표면 굴곡 정도에 따른 측면가공홀의 검출 정도를 실험하기 위해 검사각 25°에서 55°까지를 동시에 적용하여 시편의 처음부터 끝부분까지 이동하면서 엔코더 적용 없이 일정 시간 데이터 취득 방식으로 실험을 수행한 결과, Fig. 7과 같이 각각 평면(0 mm), 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm 및 10 mm 정도의 높낮이를 갖는 불규칙한 표면 굴곡이 존재하여도 시편 내부에 가공된 총 19개의 측면가공홀이 모두 검출되는 것을 확인할 수 있

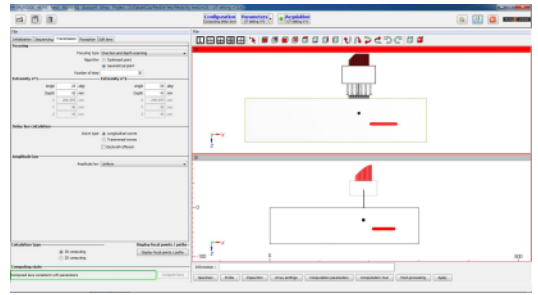


Fig. 6 Direction and depth scanning mode(25°~55°)

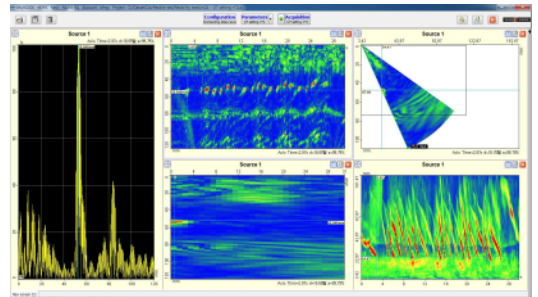


Fig. 7 Scanning results of direction and depth scanning mode(25°~55°) with 1D flexible probe

었다. 이는 웻지를 장착하거나 직접 탐촉자를 접촉하는 위상배열초음파 탐촉자에서는 검출이 불가능한 것으로, flexible 위상배열초음파 탐촉자에서 최소 평면부터 최대 10 mm의 높낮이를 갖는 표면 굴곡이 존재하여도 시편 내부의 측면가공홀 검출이 가능하다는 것을 확인하였다.

표면굴곡시편의 첫 번째 측면가공홀은 길이 방향으로 평면이고, 넓이(폭) 방향으로 반경 127 mm(두께차 2.57 mm)로 가공된 상부 표면에서 깊이 방향으로 45.72 mm에 위치한 직경 1.6 mm 가공홀이다. 검사각 25°에서 55°까지 동시에 적용했을 때 첫 번째 측면가공홀의 검출 정도를 각도 별로 비교하기 위하여 Fig. 8에 25°, 40°, 55°의 각도에서 측정된 초음파 검출 신호를 각각 나타내었다. 검사각 55°에서는 첫 번째 측면가공홀의 검출 신호가 나타나지 않은 것을 알 수 있는데, 이는 탐촉자 위치가 시편의 끝단 부위에 위치하여도 검사각 55°는 측면가공홀의 측정 범위를 벗어나기 때문이다.

표면굴곡시편의 두 번째 측면가공홀은 시편의 길이 방향에서 깊이 방향으로 2 mm의 표면 겹을 갖고 있으며, 깊이 방향으로 45.72 mm에 위치한

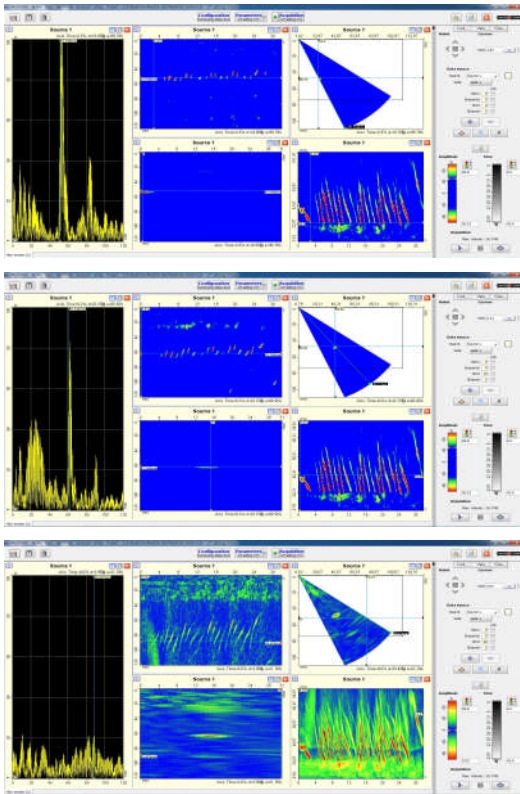


Fig. 8 Detection signal of first SDH at 25°, 40°, 55°

직경 1.6 mm 가공홀이다. 표면이 평면일 경우, 표면 굴곡에 의한 탐촉자와 검사 표면 사이의 간극은 2 mm로 Fig. 9에 검사각 25° 및 40°에서 측정된 두 번째 측면가공홀에 대한 초음파 검출 신호를 각각 나타내었으며, 검사각 55°에서도 검출 신호는 양호하였다.

표면굴곡시편의 여섯 번째 측면가공홀은 시편의 길이 방향에서 깊이 방향으로 4 mm의 표면 갭을 갖고 있으며, 깊이 방향으로 45.72 mm에 직경 1.6 mm 가공홀이다. 탐촉자와 검사체 표면 사이의 간극은 4 mm로 Fig. 10에 측정된 여섯 번째 측면가공홀에 대한 초음파 검출 신호를 나타내었으며, 검출이 모두 양호함을 확인하였다.

열 번째 측면가공홀은 깊이 방향으로 6 mm의 표면 갭을 갖고 있으면서 깊이 방향으로 45.72 mm에 직경 1.6 mm로 가공된 홀이다. 표면이 평면일 경우, 표면 굴곡에 의한 탐촉자와 검사체 표면 사이의 간극은 6 mm로 Fig. 11에 검사각 25° 및 40°에서 측정된 초음파 검출 신호를 각각 나타내었고, 검출이 모두 양호함을 확인하였다.

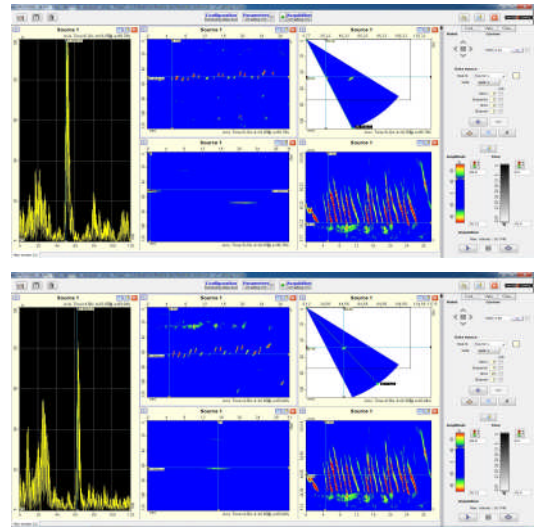


Fig. 9 Detection signal of second SDH at 25°, 40°

열네번째 측면가공홀은 깊이 방향으로 8 mm의 표면 갭을 갖고 있으면서 깊이 방향으로 45.72 mm에 직경 1.6 mm로 가공된 홀이다. 표면이 평면일 경우, 표면 굴곡에 의한 탐촉자와 검사체 표면 사이의 간극은 8 mm로 Fig. 12에 검사각 25° 및 40°에서 측정된 초음파 검출 신호를 각각 나타내었고, 검출이 모두 양호함을 확인하였다.

열여덟 번째 측면가공홀은 깊이 방향으로 10 mm의 표면 갭을 갖고 있으면서 깊이 방향으로 45.72 mm에 직경 1.6 mm로 가공된 홀이다. 표면이 평면일 경우, 표면 굴곡에 의한 탐촉자와 검사체 표면 사이의 간극은 10 mm로 Fig. 13에 검사각 25° 및 40°에서 측정된 초음파 검출 신호를 각각 나타내었으며, 검출이 모두 양호하였다.

맨 마지막 열아홉 번째 측면가공홀은 깊이 방향으로 10 mm의 표면 갭을 갖고 있으면서 깊이 방향으로 45.72 mm에 직경 1.6 mm로 가공된 홀이다. 표면이 평면일 경우, 표면 굴곡에 의해 탐촉자와 검사체 표면 사이가 라운드형으로 바뀌는 부위의 수직 깊이 방향에 위치하고 있어 간극은 약 5 mm이다. Fig. 14에 검사각 40° 및 55°에서 측정된 초음파 검출 신호를 각각 나타내었으며, 검출이 모두 양호하였다.

1D linear flexible 위상배열초음파 탐촉자 적용 실험에서 적용된 빔 집속 및 주사 모드인 'direction and depth scanning'과 비교하기 위해

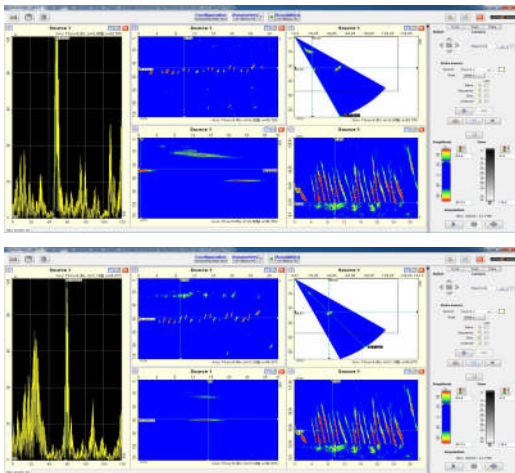


Fig. 10 Detection signal of sixth SDH at 25°, 40°

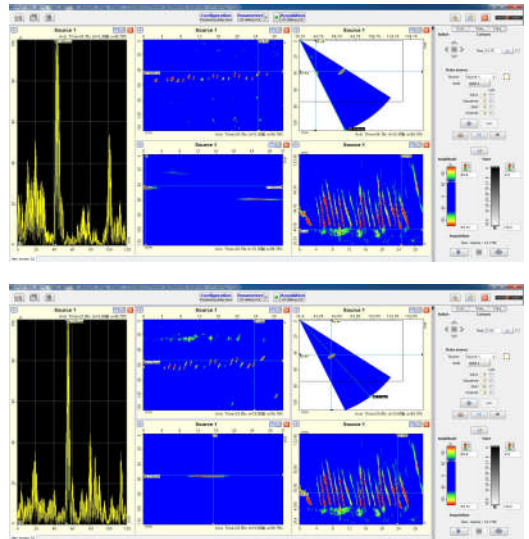


Fig. 13 Detection signal of eighteenth SDH at 25°, 40°

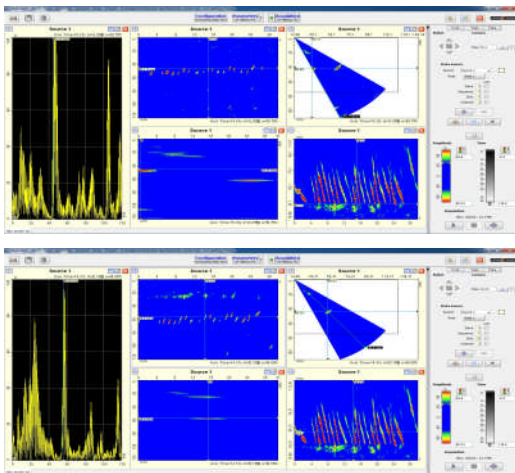


Fig. 11 Detection signal of tenth SDH at 25°, 40°

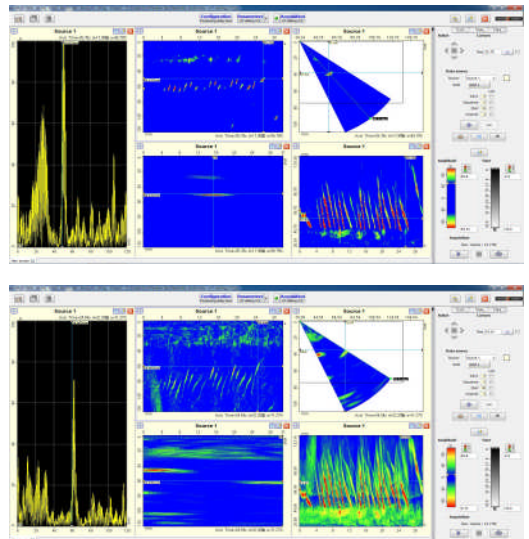


Fig. 14 Detection signal of nineteenth SDH at 40°, 55°

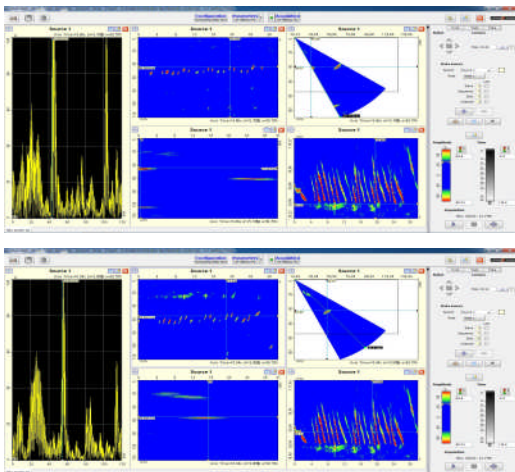


Fig. 12 Detection signal of fourteenth SDH at 25°, 40°

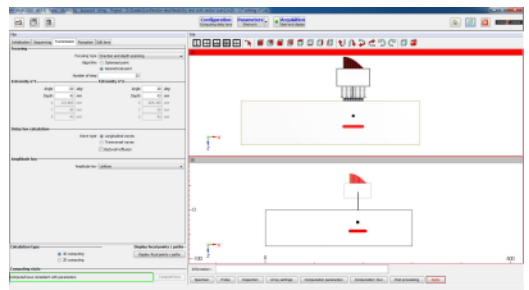


Fig. 15 Sectorial scanning mode(-20°~20°)

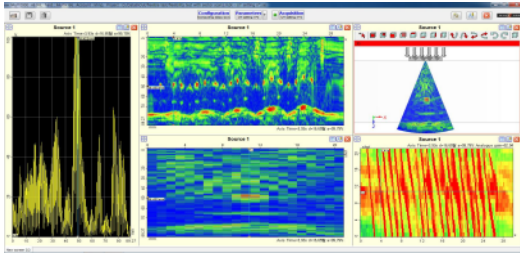


Fig. 16 Scanning results of sectorial scanning mode (-20°~20°) with 1D flexible probe

'sectorial scanning' 모드로, 검사각은 -20°에서 20°, 빔 집속 깊이는 43 mm로 총 40개의 개별 검사각을 동시에 적용하여 실험하였다. Fig. 15는 상기 모드를 적용했을 때 검사체 내부에 어떤 방식으로 초음파 빔이 생성되는지를 나타내고 있다.

표면굴곡시편 내 측면가공홀에 대한 검출 정도를 실험하기 위해 검사각 -20°에서 20°까지를 동시에 적용하여 시편의 처음부터 끝부분까지 이동하면서 데이터를 취득한 결과, Fig. 16과 같이 각각 평면(0 mm), 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm 및 10 mm 정도의 높낮이를 갖는 불규칙한 표면 굴곡이 존재하여도 시편 내부에 가공된 총 19개의 측면가공홀이 모두 검출됨을 확인할 수 있다. 이는 일반 위상배열초음파검사 기술에서는 검출이 불가능하지만, flexible 위상배열초음파 탐촉자에서 최소 평면부터 최대 10 mm의 높낮이를 갖는 표면 굴곡이 존재하여도 시편 내부의 측면가공홀의 검출이 가능하다는 사실을 보여주며, 'direction and depth scanning' 모드와 동일한 결과를 나타 낸다.

### 3.2. 2D flexible 위상배열 탐촉자 실험 결과

2D matrix flexible 위상배열초음파 탐촉자에 의한 표면굴곡시편 내 측면가공홀에 대한 검출 정도를 실험하기 위하여 'sectorial scanning' 모드와 검사각은 -20°에서 20°, 빔 집속 깊이는 43 mm로 총 40개의 개별 검사각을 동시에 적용하여 실험하였다. 2D matrix 탐촉자의 경우, 1D 탐촉자와 같이 자동검사용 스캐너 적용 없이 일정시간을 세팅하고 수동으로 데이터를 취득하는 방식을 시도하였으나, 각 엘리먼트의 시간지연과 flexible 계산에 의한 하드웨어 및 소프트웨어의 한계로 'error'가 발생하여 화면 캡처로 검출 신호를 취득하였다. Fig. 17에는 첫 번째 측면가공홀에 대한

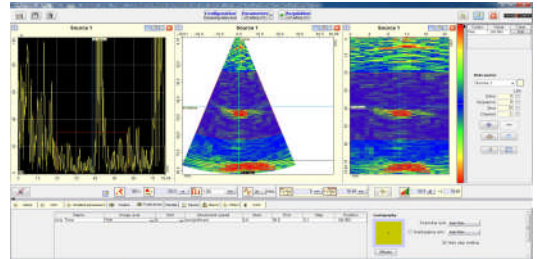


Fig. 17 Detection signal of first SDH at 0°

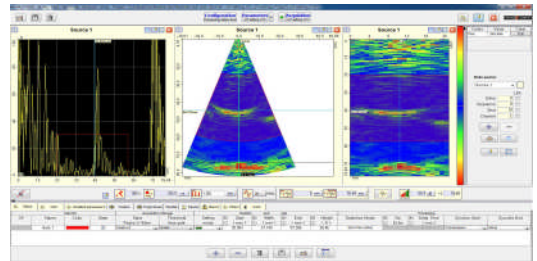


Fig. 18 Detection signal of second SDH at 0°

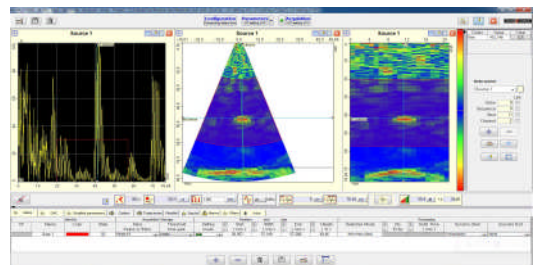


Fig. 19 Detection signal of sixth SDH at 0°

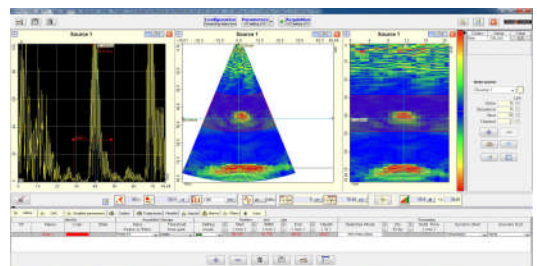


Fig. 20 Detection signal of tenth SDH at 0°

2D flexible 위상배열초음파 탐촉자의 검사각 0°에서 검출 신호를 나타내었다.

표면굴곡시편의 두 번째 측면가공홀은 2 mm의 표면 갭을 갖고 있으며, 이에 대해 검사각 0°에서의 검출 신호를 Fig. 18에 나타내었다.

표면굴곡시편의 여섯 번째 측면가공홀은 4 mm의 표면 갭을 갖고 있으며, 이에 대해 검사각 0°에서의 검출 신호를 Fig. 19에 나타내었다.

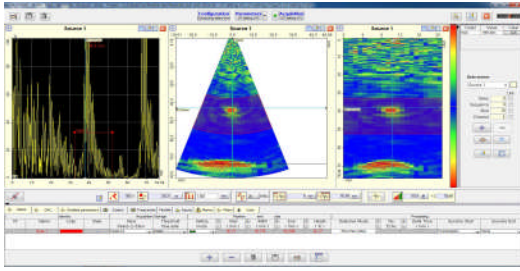


Fig. 21 Detection signal of fourteenth SDH at 0°

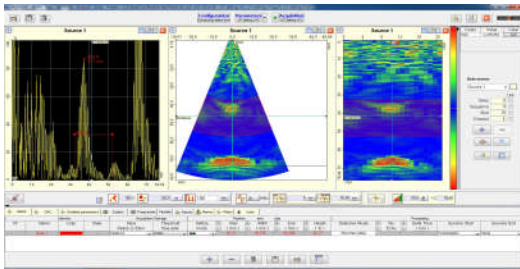


Fig. 22 Detection signal of eighteenth SDH at 0°

표면굴곡시편의 열 번째 측면가공홀은 6 mm의 표면 갭을 갖고 있으며, 이에 대해 검사각 0°에서의 검출 신호를 Fig. 20에 나타내었다.

표면굴곡시편의 열네 번째 측면가공홀은 8 mm의 표면 갭을 갖고 있으며, 이에 대해 검사각 0°에서의 검출 신호를 Fig. 21에 나타내었다.

표면굴곡시편의 열여덟 번째 측면가공홀은 10 mm의 표면 갭을 갖고 있으며, 이에 대해 검사각 0°에서의 검출 신호를 Fig. 22에 나타내었다.

#### 4. 결론

일반적인 기존 초음파검사 및 위상배열초음파검사의 경우, 초음파 빔의 전파와 검사체와의 접촉 보상을 위해 단단한 재질의 웨지를 결합하여 검사각을 생성하고 실제 검사에 적용되는 반면, 검사 표면이 불규칙할 경우, 탐촉자와 검사체 표면 사이에 틈이 발생하여 초음파 빔의 감쇄 및 산란이 발생하게 되므로 내부의 결함을 검출할 수 없다는 단점이 존재한다. 그러나 flexible 위상배열초음파기술은 탐촉자가 표면 형상을 따라 이동이 가능한 형태로 표면 형상 정보를 실시간으로 받아들여 탐촉자의 시간지연을 계산하기 때문에 불규칙한 표면이 존재하여도 검사체 내에 일

정한 초음파 빔의 생성이 가능한 이 기술의 실제 현장검사에 적용 가능성을 평가하기 위해 본 실험을 수행하였다.

실험 결과, 표면 굴곡이 존재하는 시편 외면에서 내부에 가공된 총 19개의 측면가공홀에 대한 초음파신호 검출이 매우 양호하였고, 특히 탐촉자와 검사체 표면의 간극이 최대 10 mm가 존재하는 부위에서도 측면가공홀에 대한 검출 신호도 양호한 것으로 나타났다. 또한 검출된 시편 내부의 측면가공홀 신호는 표면 굴곡의 형상과 동일한 형태를 나타내고 있어, 검출된 초음파 신호를 이용하여 표면 형상을 역으로 계산할 수도 있다. 탐촉자와 검사체 표면 사이의 간극을 1/32"를 넘지 않도록 제한하고 있는 현행 검사절차서의 제한사항을 벗어나더라도 현장 적용에 문제가 없음을 확인할 수 있었고, 기존 초음파검사와 일반 위상배열초음파검사의 단점을 극복하여 검사 신뢰도를 대폭 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다[5].

#### 후 기

본 연구는 한국수력원자력(주)의 차체 기술개발 과제인 “복합형상적용 지능형 초음파검사 기술개발 과제”에서 수행된 내용임

#### 참고문헌

- [1] "Generic Procedure for the Ultrasonic Examination of Dissimilar Metal Welds, KPD-UT-10", KHNP-CRI, Korea, pp. 5 (2011)
- [2] P. Benoist, "CIVA an Intergrated NDT Simulation Software" Presentation Document, CEA, France, pp. 13-14 (2006)
- [3] Y. S. Moon, S. P. Lee, C. S. Kim, K. S. Um, S. H. Yang, N. D. Jung, J. D. Kim, Y. B. Cho, S. H. Jin and S. H. Lee, "Final Report of Development of Smart Flexible Phased Array UT Technique for Irregular Surface of Dissimilar Metal Weld" KHNP CRI, Daejeon, Korea, pp. 70 (2012)
- [4] Y. S. Moon, S. P. Lee, C. S. Kim, K. S. Um, S. H. Yang, N. D. Jung, J. D. Kim, Y. B. Cho, S. H. Jin and S. H. Lee, "Final Report of Development of Smart Flexible



- Phased Array UT Technique for Irregular Surface of Dissimilar Metal Weld" KHNP CRI, Daejeon, Korea, pp. 73-74 (2012)
- [5] Y. S. Moon, S. P. Lee, C. S. Kim, K. S. Um, S. H. Yang, N. D. Jung, J. D. Kim, Y. B. Cho, S. H. Jin and S. H. Lee, "Final Report of Development of Smart Flexible Phased Array UT Technique for Irregular Surface of Dissimilar Metal Weld" KHNP CRI, Daejeon, Korea, pp. 150 (2012)