

論文2000-37TE-3-5

## 최소극 문턱치 알고리즘을 이용한 고감쇠 용접부에서 초음파 검사방법에 관한 연구

(A Study on the Ultrasonic Inspection Method in High  
Attenuation Welds using Minimization-Polarity  
Threshold Algorithm)

具吉謨\*, 朴致承\*\*, 崔鍾鎬\*\*\*, 高德永\*\*\*\*

(Kil-Mo Koo, Chi-Seung Park, Jong-Ho Choi, and Duck-Young Ko)

### 요 약

본 논문에서는 결합신호의 신호 대 잡음비를 높이기 위해 최소진폭선택 알고리즘과 극 문턱치(PT: polarity threshold) 알고리즘을 결합한 최소극 문턱치(MPO: minimum polarity threshold) 알고리즘을 이용한 원전 고감쇠 용접부 초음파 검사방법을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 유용성을 확인하기 위한 실험에서는 ASME XI 코드에 준하는 원전의 실제 모재와 동일한 용접방법으로 제작된 대비 시험편과 4종류의 개선된 탐촉자를 이용하였다. 실험 결과, SE(safeend)와 CCSS(centrifugal casting stainless steel) 재료는 조직의 구조적 특성 때문에 산란신호가 발생하고, 용접 내부에서는 높은 감쇠 현상이 발생하여 정확한 결합검출 능력이 저하되며, 이러한 결합신호에 최소극 문턱치 알고리즘을 적용하면 신호 대 잡음비가 2.6배 개선됨을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, an ultrasonic testing method for inspection of high attenuation welding area using the minimum polarity threshold algorithm which combines the minimum amplitude selection algorithm and polarity threshold algorithm is suggested to increase the signal to noise ratio of the flow signal. In order to confirm the usefulness of the suggested algorithm, experiments were performed using four probes and standard specimens following the ASME XI Code. As a result, scattering signals were observed from the SE(safe end) and CCSS(centrifugal casting stainless steel) materials due to the microstructural characteristic, and the detectability was reduced due to the highly attenuated signal from the weldment area, but it was conformed that using the suggested algorithm, the signal to noise ratio increased about 2.6.

\* 正會員, 韓國原子力研究所 熱水力 安全研究部  
(Heat-Water Power Safety Research Division, KAERI)

\*\* 正會員, 카이텍(주) 技術 研究所  
(Technical Research Institute, KAITEK)

\*\*\* 正會員, 江南大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec.Eng., Kang-Nam University).

\*\*\*\* 正會員, 全州工業大學 電子科  
(Dept. of Elec.Eng., Jeon-Ju Technical College)

※ 본 논문은 과학 기술부에서 시행한 원자력 연구개발사업이 일환으로 수행되었습니다.

接受日字:2000年7月28日, 수정완료일:2000年8月31日

### I. 서 론

증기발생기 열교환 관의 부식과 미세 결함은 고온 고압에서 누수와 같은 중대한 사고를 일으키므로 이를 방지하기 위한 목적으로 slug에 의한 관보수 및 관막음 작업을 수행하고 있다. 그러나 관막음 수의 증가는 열 전달 용량을 현저히 감소시키기 때문에 발전효율이 떨어지게 된다. 이러한 이유로 증기발생기 교체 장기계획은 경제성과 효율성 및 보수유지의 가능성을 분석하여 원전의 전력생산 증가에 지침이 되는 방향으로 수립되

고 있다.

고리 1호기에서 수행된 최근의 증기발생기 교체 작업에는 원자로 냉각수 계통의 배관과 새로운 증기발생기 노즐부를 용접하는 방법인 자동화 GTAW(gas tungsten arc welding) 기술 기반의 협소간격 용접방법을 사용하였다. 이러한 용접 방법은 기존의 방법과 비교해서 용접시간을 현격히 줄일 수 있으므로 피폭 양을 줄일 수 있다는 장점이 있다<sup>[1]</sup>.

증기발생기 교체작업에서 생기는 용접부의 안전성은 원전의 수명기간 중에 실시되는 가동 중 점검대상 항목으로서 현재는 초음파 비파괴 검사 방식으로 수행되고 있다. 그러나 스테인레스강 재료는 용접시 발생하는 열 때문에 결정입자가 증가하게 되므로 초음파가 결정입자 경계를 지날 때에는 강한 다산란 현상이 생기고, 용접부를 지날 때에는 굴절 및 반사 현상이 일어난다<sup>[2,3]</sup>. 이러한 현상 때문에 수신신호는 불필요한 결정입자 잡음이 나타나게 되므로 신호 대 잡음비가 떨어진다라는 문제점이 있다.

이러한 문제점의 해결방법으로 주파수대역 분할 신호처리 기술<sup>[2-5]</sup>과 웨이브렛 평면 최소평균제곱(LMS: least mean square) 알고리즘 등이 비파괴 검사재료의 산란잡음을 억제하는데 적용되고 있으나 신호 대 잡음비의 개선에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 주파수대역 분할 신호처리 기술인 최소 진폭선택 알고리즘과 극 문턱치(PT: polarity threshold) 알고리즘을 동시에 적용하는 방식인 최소극 문턱치 알고리즘을 이용하여 용접부의 안전성을 검사하는 방법을 제안한다.

본 연구에서 제안된 알고리즘의 유용성을 증명하기 위한 실험에서는 교체 증기발생기의 실제 모재와 동일한 용접방법으로 제작된 대비 시험편에 4종류의 개선된 탐촉자를 사용하였다. 그리고 적용코드의 주요 요구모수인 사용 주파수, 탐촉자 크기, 초음파 모드 및 대비 시험편의 용접부, 모재의 검사위치에 따라 실험결과를 분석하였다.

## II. 웨이브렛 평면 LMS 알고리즘

최근 들어 신호처리, 영상부호화, 영상압축, 수학 등의 전 분야에 걸쳐서 웨이브렛 변환의 효용성이 널리 인식되고 있다. 특히 초음파를 이용한 비파괴 검사에

웨이브렛 변환을 적용하여 검사재료의 결정립 잡음감소 및 결함검출에 응용하고자 하는 연구가 다양하게 진행되고 있다<sup>[6]</sup>.

웨이브렛 변환은 웨이브렛이라는 기저함수(basis function)를 이용하여  $L^2(R)$ 의 신호공간에 존재하는 값을 시간-스케일 평면으로 직교변환을 수행하는 기법의 일종이다. 기존의 푸리에 변환과는 달리 시간영역에서의 정보를 얻을 수 있고 알고리즘이 단순하다는 특징 때문에 웨이브렛 변환이 널리 사용되고 있다<sup>[6,7]</sup>.

이산신호의 웨이브렛 변환은 웨이브렛의 일정한 요구 조건을 만족하는 저역통과필터  $G_0(z)$ 와 고역통과필터  $H_0(z)$ , 그리고  $\downarrow 2$ 의 외삽(decimation) 요소로서 구성된 그림 1과 같은 PRQMF(perfect reconstruction filter bank) 구조로 구성된다. 신호  $f(n)$ 은 저역통과필터  $G_0(z)$  및 외삽처리를 수행한 다음 동일한 구조의 PRQMF가 다시 적용되어 저역신호 성분을 계속해서 분해하는 방향으로 구성된다<sup>[8]</sup>.

최소 평균제곱 알고리즘은 잡음제거, 시스템 인식 등 다양한 신호처리 분야에서 응용되고 있는 간단하고 강력한 적응 신호처리 방법들 중의 하나이지만, 입력신호의 자기상관함수 고유치가 퍼진 정도를 나타내는 condition number에 수렴율이 민감하게 반응하는 경향이 있다. 인위적으로 수렴율을 빠르게 하기 위해서는 입력 신호의 condition number를 감소시키는 기술이 필요하다.

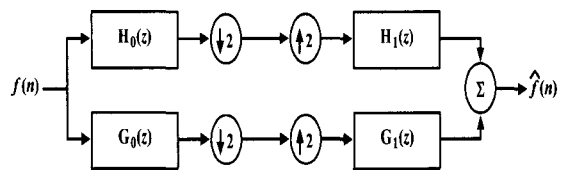


그림 1. PRQMF 구조  
Fig. 1. PRQMF structure.

시평면의 입력에 직교변환의 일종인 웨이브렛 변환이 적용된 신호에 대하여 최소평균제곱 알고리즘을 적용하면 직교변환의 특성상 condition number를 줄일 수 있다<sup>[9]</sup>. 웨이브렛 변환을 수행한 다음 최소평균제곱 알고리즘을 적용하는 신호처리 기법을 이용하여 결정입자의 잡음을 억제하는 적응 신호처리 과정을 그림 2에 나타냈다.

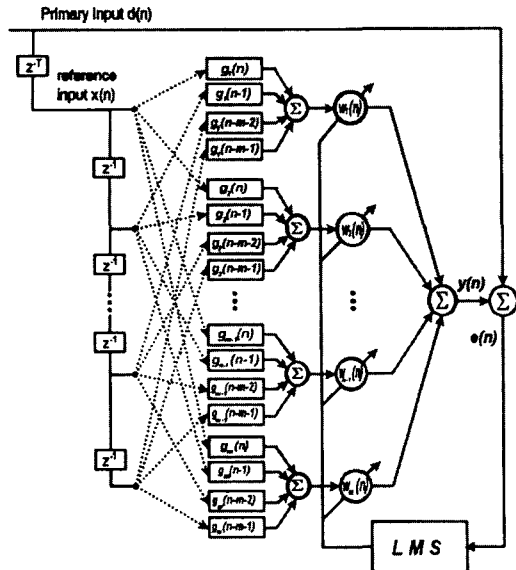


그림 2. 웨이브렛 평면 LMS 알고리즘의 구조  
Fig. 2. Structure of wavelet domain LMS algorithm.

### III. 최소극 문턱치 알고리즘을 이용한 원전 고감쇠 용접부 검사법

본 논문에서 제안한 최소극 문턱치 알고리즘의 주요 처리과정은 다음과 같다. 검사체로부터 수신된 후방산란 광대역 신호를 푸리에 변환한 다음 차등 협대역 주파수영역의 신호를 얻기 위해서 가우시안 필터 뱅크 (gaussian filter bank)에 통과시킨다.

이들 각각의 협대역을 다시 역푸리에 변환하여 시간 영역의 진폭을 정규화하고, 제로-평균 출력을 얻는다. 이 경우 협대역폭의 수 N의 설정은 개선결과에 영향을 미치는 매우 중요한 매개 변수이다<sup>[3]</sup>. 이러한 절차를 거친 산란신호에 최소 진폭선택 알고리즘을 적용한다.

최소 진폭선택 알고리즘은 비상관성 랜덤 분포의 산란잡음을 억제하는데 효과가 좋은 방법이다. 출력 신호  $y(t)$  는  $i=1, 2, \dots, N$  의 각각 시점에서, N개의 필터를 거친  $r_i(t)$  의 최소진폭을 선택한다.

이러한 과정을 간단한 수식으로 표현하면 식(1)과 같다<sup>[3]</sup>.

$$y(t) = \min[ |r_i(t)| ; i=1, 2, \dots, N ] \quad (1)$$

$$= r_{\min}(t)$$

여기서  $r_i(t)$  는 시간 영역 t에서 N개의 필터를 거친

협대역 신호이다. 이때 산란입자들로부터 발생된 랜덤 특성을 가지는 결정입자의 잡음진폭은 시점 t에서 N 번째 진폭 중 최소진폭이 선택되므로 비 상관 데이터를 추출하는 결과가 된다. 반면에 결합인 목표물에서는 상관성 신호특성을 얻게 되어 결합 진폭을 선택하는 결과가 된다.

최소 진폭선택 알고리즘과 동시에 극 문턱치 알고리즘을 동시에 적용하면 목표물 결합신호와 산란잡음을 구분하여 결정입자의 잡음을 제거할 수가 있다. 극 문턱치 알고리즘은 동일시점 t에서 i번째 양극 점의 진폭을 비교하여 일정할 경우 최대의 진폭을 선택하고, 양극 점의 진폭이 변화되면 0의 진폭으로 선택하여 출력  $y(t)$ 를 얻게 된다<sup>[3-4]</sup>. 이러한 처리과정은 목표물 결합신호와 산란잡음을 구분하여 결정입자의 잡음을 제거하는 결과가 된다. 수식으로 표현하면 식(2)와 같다.<sup>[5]</sup>

$$y(t) = \begin{cases} \text{MAX}[ |r_i(t)| : i = 1, 2, \dots, N; \\ \text{if } \forall i, r_i(t) < 0 \text{ or } r_i(t) > 0 \\ \text{Otherwise } 0 \end{cases} \quad (2)$$

그림 3은 본 논문에서 제안한 최소극 문턱치 알고리즘의 처리과정을 나타낸 흐름도이다.

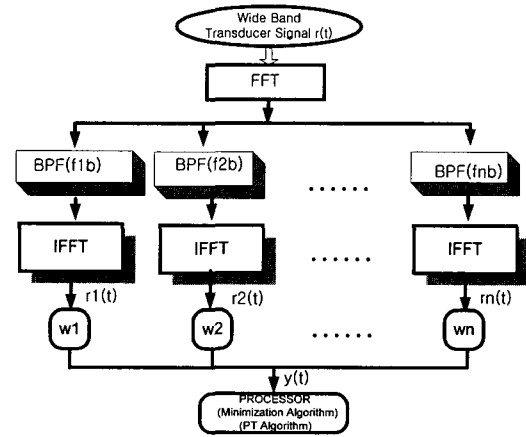


그림 3. 최소극 문턱치 알고리즘의 흐름도  
Fig. 3. Flow chart of minimum-polarity threshold algorithm.

### IV. 실험 및 검토

1. 시험편 모재의 치수 및 인공결함 가공  
본 실험에서는 교체 증기발생기와 동일한 모재로 용

접된 인증 대비 시험편을 사용하였다. 시험편의 치수는 <표 1>과 같다. 그림 4는 협소 간격 용접부의 형상 및 금속 단면의 미세구조이다.

표 1. 시험편의 치수

Table 1. Dimension of the specimen

	내 용	치 수
1	용접폭	10mm
2	Bevel Angle	5°
3	길이	393.7mm
4	두께	76mm
5	폭	90mm

대비 시험편의 인공결함 종류는 측면공과 노치(notch)로 구분한다. 측면공의 내경은 3.8mm이고 깊이는 1/4T, 1/2T, 3/4T이며, SE(safe-end)쪽과 원심주조 스테인레스강(CCSS, centrifugal casting stainless steel) 쪽 및 용접내부를 전기 방전하여 가공하였다. 인공 노치는 길이 30mm, 깊이 6mm의 직사각형으로 용접 하부를 전기 방전하여 가공하였다.

2. 실험 장치 및 절차

초음파 탐상 장치의 전체적인 시스템 구성은 PC 기반 제어 시스템으로서 초음파 탐상기는 Krautkrame 사의 USD-15와 2대의 오실로스코프를 RS-232 인터페이스로 접속하여 선택이 용이하도록 하였다. Ultra Optec UDASP 코드에서 1파일 당 처리 가능한 데이터 수는 1024 포인트로 제한되기 때문에 오실로스코프의 입력 데이터 수를 약 2000포인트로 저장한 다음 불필요한 주변 데이터를 제거하였다. 그림 5는 PC 기반 제어 초음파 데이터 수집 및 처리 시스템이다.



SE : Safe end,

CCSS : Centrifugal casting stainless steel

그림 4. 협소간격 용접부의 단면 미세구조

Fig. 4. Micro-structure of narrow gap weldment.

초음파 신호 데이터는 1/4T, 1/2T, 3/4T 깊이의 측면공 중 1/2T 깊이에 있는 측면 공을 이용하였고, 노치 신호는 SE쪽, 용접부내, CCSS 쪽에 위치한 노치로부터 얻었다

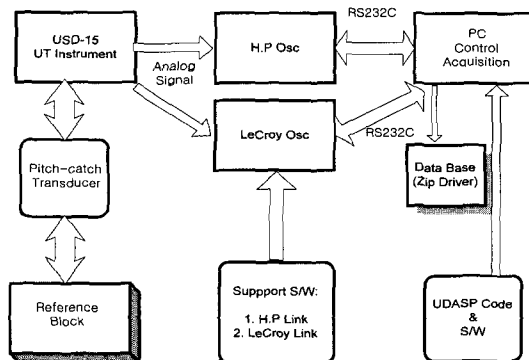


그림 5. PC 기반 제어 초음파 시험 시스템 구성도

Fig. 5. Schematic view of PC-based control ultrasonic testing system.

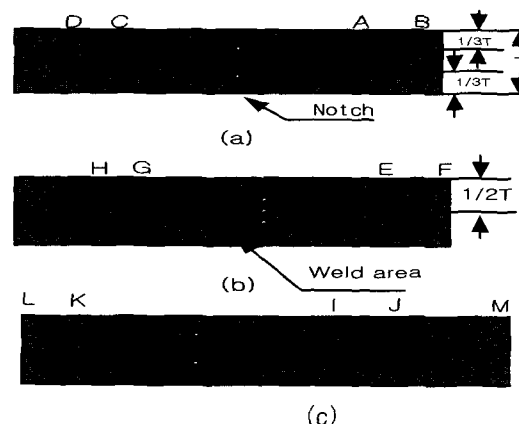


그림 6. 대비 시험편 모재의 탐촉자 위치에 따른 초음파 전파 모드

Fig. 6. Ultrasonic wave propagation modes according to the transducer positions on the reference block.

이들 노치신호는 감쇠로 인해 미약할 경우 초음파 진행거리를 계산하여 결함위치에서 damping으로 확인하였다. 그림 6은 대비 시험편의 인공결함에 45도로 입사하는 초음파 모드이고, A, B, C, D,..., M은 탐촉자 검사위치를 나타낸다. 그림 6(c)의 M위치는 CCSS 모재 상부위치에서 용접내부를 통과하여 SE쪽의 인공 노치신호를 검출하기 위한 듀얼 탐촉자의 위치이다.

본 실험에 사용된 초음파 탐촉자의 종류와 사양은

<표 2>와 같다.

수집된 검사 데이터에서 각각의 인공결합에서 발생하는 신호와 산란잡음의 신호 대 잡음비가 2:1 이상인 경우만을 결합신호로 판정하였다.

표 2. 초음파 탐촉자의 종류와 사양

Table 2. Specification and type of the ultrasonic transducers

Probe	Wave Type	Probe Type	Element Size (mm)	Frequency (MHz)	Angle (°)	
1	RTD	종파	Dual	2×(24×42)	1.0	45
2	VERY45	종파	Dual	2×(9×22)	1.0	45
3	WRY45	종파	Single	∅25	1.0	45
4	BENCH MARK	종파	Single	25×25	1.0	45

3. 실험 결과

탐촉자가 SE 쪽에 위치 할 경우에는 대부분의 인공 결합 탐지가 가능하였다. CCCC 재료는 SE재료 보다 RKARTHLXMR성이 크기 때문에 초음파 진행거리가 증가하게 되면 신호대 잡음비는 떨어지게된다. 그 결과 탐촉자가 CCSS쪽에 위치할 경우에는 결정입자의 경계에서 발생하는 산란신호와 결합신호의 구분이 어려웠다. 한편, 다른 탐촉자와 비교하여 RTD 탐촉자는 1/2T 측면공 및 용접 내부 노치 인공결합으로부터 탐지된 신호 대 잡음비가 양호한 편이었으나, ASME Sec. XI, Appendix III의 table III-2120-1의 요구사항에 따른 최대 허용치수는 25mm×25mm면적의 크기를 이용하였다.

이 탐촉자는 외경치수가 크기 때문에 주사속도가 빠를 경우 검사체와의 접촉속도가 떨어질 가능성이 있다.

<표 3>은 45° 종파 탐촉자 종류와 위치, 인공 결합 위치 및 모양에 따른 신호 대 잡음비를 데시벨 값으로 변환한 결과이다. 1/2T 인공 결합은 모든 탐촉자와 검사위치에서 미약하게 검출되었지만 일부 내부 노치 결합의 경우에는 결합신호의 탐지가 불가능한 경우도 있었다.

RTD-45 탐촉자는 두 검사부와 결합위치에서 최적의 탐지 결과를 얻었다.

M의 검사위치에서 수신신호가 낮은 신호 대 잡음비

를 가지므로 웨이브렛 최소평균제곱 알고리즘과 최소극 문턱치 알고리즘을 동시에 적용하였다.

표 3. 초음파 실험 결과에서의 신호 대 잡음비

Table 3. Signal to noise ratio values for the ultrasonic evaluation results.

Depth	탐촉자 타입 (각도)	In S.E through S.E(dB)	In S.E through Weld(dB)	In Weld from SE(dB)	In Weld from CCSS(dB)	In CCSS through CCSS(dB)	
1	B	20	12	11	13	10	
2	1/2T Hole	V	20	10	18	6	11
3		W	11	10	11	13	10
4		R	20	13	20	8	9
5	ID Notch	B	18	N/D	N/D	N/D	N/D
6		V	18	N/D	6	N/D	N/D
7		W	18	6	6	N/D	N/D
8		R	18	6	21	6	8

(‘N/D’ means ‘not detectable’)

R: RTD, B: Benchmark, V: VRY 45, W: WRY 45

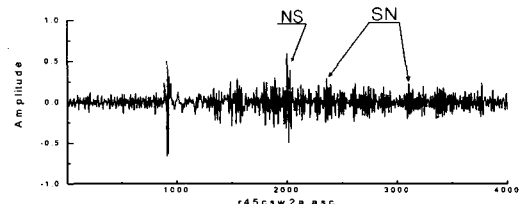
그림 7(a)는 대비 시험편의 M위치에서 RTD-45 탐촉자를 사용하여 측정된 노치신호이며, 그림 7(b)는 최소평균제곱 알고리즘을 적용한 결과이다. 신호 대 잡음비가 약 1.7배 개선되었다.

결합 대 결정입자 신호 비의 산출 방법은 식(3), 식(4)와 같다.

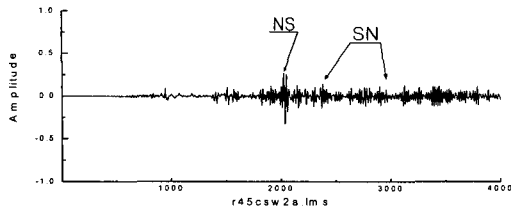
$$SNR = \frac{\text{결합신호의 최대진폭}}{\text{잡음의 최대진폭}} \quad (3)$$

$$Enhanced\ SNR = \frac{SNR(a)}{SNR(b)} \quad (4)$$

여기에서, SNR(a)는 신호처리 전 신호 대 잡음비이고, SNR(b)는 신호처리 후 신호 대 잡음비이다.



(a)



(b)

NS : Notch Signal, SN : Scattering Noise

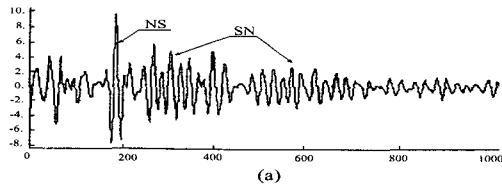
그림 7. 웨이블릿 최소평균제곱 알고리즘 적용 결과 (a) 노치신호 (b) 처리된 후의 신호

Fig. 7. Results of Wavelet LMS algorithm, (a) Notch signal (b) Processed signal.

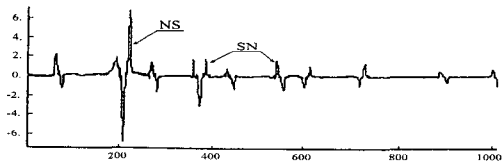
본 논문에서 제안한 최소극 문턱치 알고리즘에서 최소 진폭선택 알고리즘과 극 문턱치 알고리즘을 적용하기 위해 사용한 협대역폭 가우시안 필터 뱅크의 수  $N$  은 식(5)와 (6)을 이용하여 설정하였다.

$$N = BT \tag{5}$$

$$\Delta f = \frac{1}{T} (Hz) \tag{6}$$



(a)



(b)

NS : Notch Signal, SN : Scattering Noise

그림 8. MPO 알고리즘 적용 결과, (a) 노치신호 (b) 처리된 후의 신호

Fig. 8. Results of MPO algorithm (a) Notch signal (b) Processed signal.

여기서  $B$ 는 탐촉자 스펙트럼의  $\frac{1}{2}$  전력 대역폭,  $\Delta f$ 는 협대역 중앙 주파수 차,  $T$ 는 협대역 주기이다. 탐촉자의 수신 중앙주파수  $f=1MHz$ , 대역폭  $B=1.5MHz$ 일 경우의 필터 뱅크의 수  $N$ 은 16, 협대역폭  $b$ 는 93.75KHz로 설정하였다. 그림 8(a)는 대비 시험편의 M위치에서 RTD-45 탐촉자를 사용하여 측정된 노치신

호이다. 그림 8(b)는 최소극 문턱치 알고리즘을 적용한 결과로서 이 경우 신호 대 잡음비가 약 2.6배 개선되었다.

### V. 결론

본 논문에서는 교체 증기발생기 primary nozzle의 SE와 원자로 냉각수 계통 배관재료인 CCSS의 협소간격 용접부 검사에 적용할 수 있는 최소극 문턱치 알고리즘을 제안하고, 원전의 모재와 용접방법이 동일한 대비 시험편을 사용하여 수행한 실험결과를 분석하였다.

4종류의 탐촉자 중에서  $2 \times 24 \times 42mm$  크기의 RTD-45 초점형 듀얼타임 탐촉자가 가장 좋은 탐지 능력을 얻을 수 있었고, 이 탐촉자를 사용하여 M의 위치에서 탐지한 노치신호는 웨이블릿 최소평균자승 알고리즘과 최소극 문턱치 알고리즘을 적용한 결과는 신호 대 잡음비가 약 1.7배 개선비를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안한 주파수대역 분할 신호처리 방식인 최소 진폭선택 알고리즘과 최소극 문턱치 알고리즘을 동시에 처리하는 최소극 문턱치 알고리즘을 적용한 결과에서는 신호 대 잡음비가 약 2.6배가 향상된 값을 얻을 수 있음을 확인하여, 제안된 방식의 우수함을 입증할 수 있었다.

앞으로 모수 도출을 위한 다양하고 지속적인 실험과 연구방법을 통한 산업분야에서의 적용이 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] G. Maes and M. Lepiec, "Advanced procedures for the ultrasonic examination of narrow gap welds connecting the steam generator to the RCS piping," Proceedings of the 14th International/Conference on NDE in the Nuclear and Pressure Vessel Industries. pp.157-164, Aug. 1996.
- [2] N. M. Bilgutay, "Split spectrum processing for flaw-to-grain echo enhancement in ultrasonic detection," Ph. D. thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, TR-EE 81-20, June 1981.
- [3] J. D. Aussel, "Split-spectrum processing with finite impulse response filters of constant frequency to bandwidth ratio," Ultrasonics Vol. 28, pp.229-240, Jul. 1990.

- [4] V. L. Newhouse, N. M. Bilgutay, J. Sanie, and E. S. Furgasin, "Flaw to grain echo enhancement by split-spectrum processing," *Ultrasonics*, Vol. 20, pp.59-68, Mar. 1982.
- [5] K. M. Koo and K. S. Jun, "A Study on Suppression of UT Grain Noise Using SSP MPO Algorithms," *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, Vol. 15, No. 6, pp.81-89, Sep. 1996.
- [6] C. W. Jon, K. S. and S. H. Kim, "Speckle noise reduction of ultrasonic NDT using adaptive filter in WT domain," *the Journal of the Acoustical Society of Korea*, Vol. 15, No. 5, pp.21-29 April, 1996.
- [7] I. Doroslovachi and H. Fan, "Wavelet based linear system modeling and adaptive filtering," *Trans. on SP*, Vol. 44, No. 5, pp.1156-1167, May 1996.
- [8] O. Rioul, M. Vetterli, "Wavelet and signal processing," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 8, No. 4, pp.14-38, October 1991.
- [9] S. Narayan, A. M. Peterson and M. J. Narasima, "Transform domain LMS algorithm," *IEEE Trans. on ASSP*, Vol. 31, pp.609-615, June 1993.
- [10] C. S. Park, S. S. Hong, K. M. Koo, and D. Y. Ko, "Ultrasonic examination of narrow gap welds connecting the steam generator to the reactor coolant pipe" *KINS/AR-560* Vol. 2, pp.305-317, May 1999.

---

 저 자 소 개
 

---

## 具吉謨(正會員)

1952년 5월 16일생. 1980년 광운공대 전자공학 학사. 1983년 경희대 전자공학 석사. 1996년 경희대 전자공학 박사. 1985년 1월~현재 : 한국원자력 연구소 열수력 안전연구팀 근무. <주관심분야 : 초음파 신호처리, 비파괴 검사법 개발, 원자력 발전 계측 개발 >

## 崔鍾鎬(正會員) 第37卷 T編 第2號 參照

현재 강남대학교 전자공학부 부교수

## 朴致承(正會員)

1959년 6월 12일생. 1981년 한양대학 공대 재료공학 학사. 1984년 한양대학 공대 재료공학 석사. 2000년 한양대학 공대 재료공학 박사과정 수료. 1984년 2월~1997. 9월 : 한국원자력 연구소. 1997. 9월~현재 : (주) 카이텍 근무. <주관심분야 : 초음파 영상 신호처리, 원전 비파괴 검사법 개발>

## 高德永(正會員) 第37卷 T編 第2號 參照

현재 전주공업대학교 전자과 교수