

## 초음파 신호 해석의 신뢰도 개선을 위한 하이브리드 스플릿-스펙트럼 신호 처리 기술에 관한 연구

허 형\*, 구 길 모\*, 김 건 중\*\*

\*한국원자력연구소

\*\*충남대학교 전기공학과

요 약 본 연구는 원자력발전소 1차측 배관계통의 약 60% 이상을 차지하고 있는 오스테나이트계 스테인레스강 배관 용접부 검사시 낮은 신호 대 잡음비로 결함 발견 및 신호 해석에 있어 많은 문제점을 야기한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 레이더에서 확립된 신호 처리 기술인 스플릿-스펙트럼 기법을 도입하여 주파수를 다양하게 하고 이 다양한 주파수에 따른 RF신호의 진폭들을 최소화, 극성치 확률 분석 및 최소화-극성치 확률 분석법을 이용하여 개선된 신호 대 잡음비를 얻고자 하였다.

### 1. 서론

초음파를 이용한 구조물 등의 안전성 검사는 여러 산업 분야에서 중요한 비파괴검사 기술로 이용되어 왔으며 근래에는 원자력발전소, 복합재료, 반도체 분야 등에서 미세 결함을 측정하는 기술로 발전되고 있다. 그 중 원자력발전소의 가동전·중에 실시하는 비파괴검사 방법(ASME Sec. V & XI)중에서 초음파검사(ultrasonic testing)는 체적검사 방법으로 중요한 역할을 하고 있다.

그러나 초음파검사 부위중 1차측 배관 계통의 약 60% 이상을 차지하고 있는 오스테나이트계 스테인레스강 배관 용접부 검사시 낮은 신호 대 잡음비(SNR)로 결함 발견 및 신호 해석에 있어 많은 어려움이 있다. 이는 배관 용접 작업시 열처리 영향에 의하여 결정립 크기의 성장 및 다양한 구조적 특성을 갖게 되며 이로 인하여 결정립계로부터 다중 산란 및 감쇠 현상이 발생하여 수신 신호의 구

조적 잡음 신호가 나타나기 때문이다.<sup>1)</sup> 이러한 결정립 신호는 시불변성(time-invariant) coherent 신호로 기존의 signal averaging 기술로는 제거하지 못하며 spatial averaging 기술로는 많은 제약 및 한계성이 따른다.<sup>2)</sup> 본 논문에서는 radar에서 확립된 신호 처리 기술인 split-spectrum 기법(SSP)을 도입하여<sup>3)</sup> 주파수를 다양하게 하고<sup>4)</sup> 이 다양한 주파수에 따른 RF 신호의 진폭들을 최소화선택법(minimization),<sup>5)</sup> 극성치확률분석법(polarity-check) 및 최소화-극성치확률분석법을 이용하여 보다 개선된 SNR을 얻고자 비교, 분석하였다.<sup>6)</sup>

실험을 위하여 실제 검사 부위의 특성과 유사한 시편으로 SUS 304 스테인레스강을 선택하여 각각 1125°C, 1150°C, 1175°C, 1200°C로 8시간 이상의 최종 열처리하였고 시편 배면에 원통형 인공 결함을 가공하였다. 초음파 탐촉자(ultrasonic transducer)는 중심주파수 5MHz 이고 대역폭이 2MHz 인 디스크형 종파 탐촉자를 사용하였고 펄스-에코우법을 이

용하여 반사 신호를 수신한 후 초음파 신호 처리 시스템에 의하여 수집된 데이터에 여러 알고리즘을 적용하여 SNR의 개선을 비교하였다.

### 2. 이론적 배경

#### 2. 1. 스플릿-스펙트럼(split-spectrum) 신호 처리

스플릿-스펙트럼 신호처리(split-spectrum processing : SSP)는 초음파 진행시 재료 결정립 구조에서 오는 random 산란자들의 상호 물리적 관계를 해석하고자 도입되었다. 결정립에 의한 산란은 불규칙하게 산란된 초음파 파장의 상호 간섭에 의해서 발생된 간섭 패턴(interference pattern)이라 볼 수 있고 이로 인해서 시험체 내에 존재하는 산란자들의 물리적 특성을 이해할 수 있다. 왜냐하면 산란자는 탐촉자와 시험편의 공간적 위치뿐만 아니라 시험 주파수에 따라 응답이 종속적이기 때문이다.<sup>6)</sup> SSP 기법은 각기 독립된 여러 주파수의 탐촉자를 사용하지 않고 한 개의 광대역 주파수 초음파 탐촉자를 사용하여 서로 다른 N개의 협대역 탐촉자를 만들 수 있는 주파수 다양화(frequency-diverse) 기술이다. SSP 처리방법은 수신된 신호를 fast fourier transform(FFT) 처리를 하여 시간 함수를 주파수 함수로 바꾸고 이 주파수 스펙트럼을 gaussian bandpass shape filter를 사용하여 N개의 협대역 주파수 스펙트럼으로 나누어 frequency-diverse 신호를 얻어 낸다. 이 때 스플릿 처리하기 위해서 사용된 윈도우의 전체의 수는 식 (1) 및 식 (2)에 의해서 결정한다.

$$N = BT \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서, N은 스플릿 처리하기 위해서 사용된 필터의 수, B는 주파수 스펙트럼의 1/2 전력 대역폭, Δf는 인접 필터간의 중앙 주파수 차, T는 처리된 신호의 전체 주기이다.

또한 필터의 대역폭을 선정하는 데 있어서 고려해야 할 사항은 중앙 주파수간 차와 비교하여 적어도 3~4배가 되어야 한다.

식 (1) 및 식 (2)를 이용하여 얻은 N개의 협대

역 스펙트럼들을 각각 inverse FFT 처리하여 시간 영역 신호로 재변환한다. 스플릿 처리된 시간 영역 신호는 초음파검사 조건에 따라 최적의 파라미터를 선택하여야 하며 본 논문에서 사용된 주요 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 개개별 스플릿된 시간 영역내 신호 해석
- (2) 최소치선택법(minimization)
- (3) 극성치 확률분석법(polarity-check)
- (4) 최소치-극성치 확률비교법

#### 2. 2. 개개별 스플릿된 시간 영역내 신호 해석

수신 신호의 광대역 스펙트럼을 스플릿 처리함으로써 N개의 협대역 시간 영역 신호를 얻게 되는데 이러한 기술은 다수의 협대역 탐촉자 대신 단지 한 개의 광대역 탐촉자를 사용하여 같은 효과를 낼 수 있으므로 실험상 복잡성을 해소할 수 있고 또한 주파수 종속적인 정보를 많이 얻을 수 있어 다음과 같은 사항들을 파악할 수 있다.

- 1) 재질내에서 입사파의 주파수 변화로 인하여 파장과 파의 mode 변환에 따른 속도 변화를 이용하여 재료내의 분산적(dispersive) 성질.
- 2) 재질내에 입사파의 주파수 변화에 따른 파장과 결정립 크기와 관계를 해석하여 초음파 에너지의 감쇠적 성질.

#### 2. 3. 초음파 감쇠 이론

초음파가 재료내에 전파시 감쇠 현상을 이론적으로 고찰하면 초음파의 감쇠식은 식 (3)으로 정의된다.

$$A = A_0 \exp [-\alpha(f)x] \dots\dots\dots (3)$$

여기에서 A는 감쇠된 진폭, A<sub>0</sub>는 초기 진폭, κ는 초음파의 진행 거리, α(f)는 감쇠 계수, f는 주파수이다. 또한 감쇠 계수 α(f)는 식 (4)로 표현될 수 있다.

$$\alpha(f) = \alpha_a(f) + \alpha_s(f) \dots\dots\dots (4)$$

여기에서 α<sub>a</sub>는 흡수 계수, α<sub>s</sub>는 산란 계수이다. 초음파의 파장(λ)과 평균 결정립 지름과의 관계에서 3가지 기본 mechanism으로 정리된다.

- 1) Rayleigh region :  $\lambda > 2\pi D_g$  ..... (5)
- 2) Stochastic region :  $\lambda \cong 2\pi D_g$  ..... (6)
- 3) Diffusion region :  $\lambda < 2\pi D_g$  ..... (7)

여기서  $D_g$ 는 구형 결정립으로 근사한 평균 결정립 지름이다. 위에서 정의된 3가지 기본 mechanism으로 각각의 감쇠식을 유도하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\alpha(f) = a_1 f + a_2^2 D_g f^4 \quad a_2 : \lambda > 2\pi D_g \quad \dots\dots (8)$$

$$\alpha(f) = b_1 f + b_2 D_g f^2 : \lambda \cong 2\pi D_g \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\alpha(f) = c_1 f + c_2 f^2 + \frac{c_3}{D_g} : \lambda < 2\pi D_g \quad \dots (10)$$

여기에서  $a, b, c_1, c_2$  는 흡수계수 상수이고,  $a_2, b_2, c_3$ 는 산란계수 상수이다. 따라서 식 (8), (9), (10)으로부터 다음과 같은 성질을 알 수 있다.

$$\alpha_s(f) \text{는 } \lambda > 2\pi D_g \text{일 때 } D_g^3 f^4 \text{에 비례} \quad \dots (11)$$

$$\alpha_s(f) \text{는 } \lambda \cong 2\pi D_g \text{일 때 } D_g f^2 \text{에 비례} \quad \dots (12)$$

$$\alpha_s(f) \text{는 } \lambda < 2\pi D_g \text{일 때 } \frac{1}{D_g} \text{에 비례} \quad \dots\dots\dots (13)$$

여기에서 산란적인 개념은 입사된 신호의 주파수와 평균 결정립의 크기의 함수로 표현되고 초음파 신호 내에 존재하는 고유적(coherent) 잡음은 결정립계로부터 산란된 파(wavelets)의 상호 간섭에 의해서 발생되기 때문에 이 신호의 SNR은 산란 주파수, 결정립 크기, 잡음 레벨 요소 등과 관계가 있음을 알 수 있다.

2. 4. 최소치선택법(minimization)

최소치로 선택되는 신호는 N개의 스플릿 시간영역 신호들의 진폭을 비교하여 얻는다. 각기 지연시간  $\tau$  범위 안에서 N개의 신호중 최소 절대값을 선택한다. 선택된 진폭의 대수학적인 표현은 식 (14)와 같고 지연시간  $\tau$ 에서 처리된 신호의 진폭을 재구성하여 저장한다.

$$Z(\tau) = X_i(\tau) \quad \dots\dots\dots (14)$$

여기에서  $|X_i(\tau)|$ 는  $[|X_1(\tau)|, \dots |X_i(\tau)|, \dots |X_N(\tau)|]$ 의 최소치,  $Z(\tau)$ 는 최소치로 선택된 신호,  $X_i(\tau)$ 는  $\tau$  지연시간에서의 진폭이다. 여기에서 중요한 사항은 결합에 의한 신호 진폭은 광대역 주파수내에 중앙 주파수를 가변시켜도 신호의 진폭은 일정하게 유지되나 결정립에 의한 진폭은 비록 한 순간에는 큰 진폭을 가지더라도 진폭의 변화가 각기 주파수 대역폭에 따라 심하게 분산된다는 것이다.

2. 5. 극성치 확률분석법

Polarity-check 알고리즘의 입력은 주파수 성분의 신호 스펙트럼을 스플릿한 다음 최소치로 선택된 출력 신호이다.

가우시안 윈도우에 의해서 필터링된 각각의 스플릿 시간 영역 신호들은 결정립계에서 발생한 간섭 패턴 때문에 발생하는 진폭값들은 확률적으로 모두 양 또는 음일 확률이 매우 적으며 그 확률은 N값에 반비례한다. 반대로 결합 신호는 모든 진폭이 양 또는 음일 확률이 입력 SNR의 역함수로 증가한다.

$$Y(\tau) = Z(\tau), \text{ if all } X_i(\tau) < 0, \text{ for } i = 1, \dots, N \quad \dots (15)$$

$$Y(\tau) = Z(\tau), \text{ if all } X_i(\tau) > 0, \text{ for } i = 1, \dots, N \quad \dots (16)$$

$$Y(\tau) = 0, \text{ otherwise.} \quad \dots\dots\dots (17)$$

여기에서  $Y(\tau)$ 는 polarity-check 알고리즘의 출력,  $Z(\tau)$ 는 최소치로 선택된 신호,  $X_i(\tau)$ 는  $i = 1, \dots, N$  까지 스플릿된 시간 영역 신호이다.

3. 시험편의 준비

다양한 결정립 크기 조건에서 스플릿-스펙트럼 신호 처리 방법으로 검사하기 위하여 직경이 2인치 인 스테인레스강 시험편들에 대하여 최종 열처리 온도 및 시간을 변화시켜 결정립 크기를 조정하였다. 재료의 화학적 성분을 Table 1에 나타내었고, 실험상 편의를 돕기 위하여 본 시험편의 열처리 전·후 재료의 성질을 모두 알아보았다. 각기 시험편들은 결정립 성장을 위해 1000℃로부터 1200℃까지의 온도 범위로 최종 열처리하였다.

Table 1. Chemical components of SUS 304 samples. (wt.%)

성분	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
시험편	0.06	0.52	1.95	0.02	0.01	8.65	19.1

각 시험편의 인공결함 치수는 결정립 및 인공 결함으로부터 반사된 초음파의 에코우 비가 거의 같도록 설계하였다. 인공 홀의 치수는 1.59mm, 1.87mm, 2.03mm 이고 이 때 각각 시험편의 최종 열처리 온도는 1125°C, 1150°C, 1175°C, 1200°C 이다.

열처리된 시편들의 측면 및 측면들은 평균 결정립 크기의 결정을 위하여 Fig. 1의 금속현미경 사진을 검토하였다.

여기 주어진 결정립 크기는 평균 결정립계 간격에 해당한다. 그러나 분산에 관련된 계산시에 때로는 평균 결정립 직경을 사용한다.  $\bar{D}$  와  $\bar{L}$  사이에 관계식은 다음과 같다.

$$\bar{D} = K \bar{L} \dots\dots\dots (18)$$

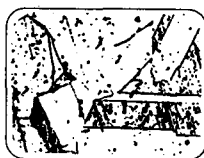
여기서  $\bar{D}$ 는 평균 결정립 직경,  $\bar{L}$ 은 intercept method에 의한 평균 결정립계 간격,  $k$ 는 결정립 모양에 따른 1.5~2.5 사이의 근사값이다. 그리고, 식 (18)에 근거로 하여 열처리한 시편들 내에 평균 결



Raw Material Radial Surface



Axial Surface



Radial Surface

Fig. 1. Micrograph of SUS 304 samples, magnification: x128.

정립 직경은 결정립계 간격과 비교해서 대략 2배가 된다. 또한 ASTM분석 방법을 이용하여  $g_e$ 를 얻기 위하여 식 (3.2)에 평균 결정립 크기값을 대입하였다.

$$g_e = -10.0 + 6.64 \log_{10}(1/L) \dots\dots\dots (19)$$

여기에서  $L$ 의 단위는 cm이다.

Table 2. Useful parameters for estimation of scattering regions for the heat treated samples.

	열처리 온도 (°C)	평균 결정립 크기 $\bar{L}(\mu\text{m})$	홀크기 (mm)	홀위치 (mm)	감쇠차 *(dB)	$g_e$
1	1125	69	1.59	10.8	14	4
2	1150	80	1.87	9.6	16	4
3	1175	95	2.03	10.2	24	3
4	1200	156	2.03	9.1	32	2

\*.시편의 열처리 전, 후의 초음파 신호의 감쇠 차

#### 4. 실험 방법

##### 4. 1. 실험 장치 및 신호 수집

결함 신호 검출 장치는 1/2전력 대역폭이 2 MHz 이고 5 MHz의 중앙 주파수를 갖는 광대역 전송 신호를 이용하였다. 초음파 장비에서 나온 전기적 신호들은 탐촉자에 의해서 초음파로 바뀌고 시편속으로 전파되고 다시 수신되었다. 결함으로부터 반사된 신호는 탐촉자에 의해서 수신되고 correlator의 입력으로 전달되었다. Fig. 2는 초음파 신호 수집 및 신호 처리 block diagram으로 correlation 수행 전단의 신호를 얻기 위한 초음파탐상 아날로그 장비인 USK-7, TEK 2430 오실로스코프, 26927-f board와 연결하여 RF신호를 얻었다. 이 때 board의 test points는 RF 와 Video 모드 각각 2 와 3 test points에서 선택하여 얻었다. RF신호를 임시 저장하기 위하여 TEK 2430을 사용하였고, 이 신호는 GPIB interface를 통해서 IBM-PC 내 floppy disk에 저장하고 레코더에 입력 신호를 기록하였다. 최종적

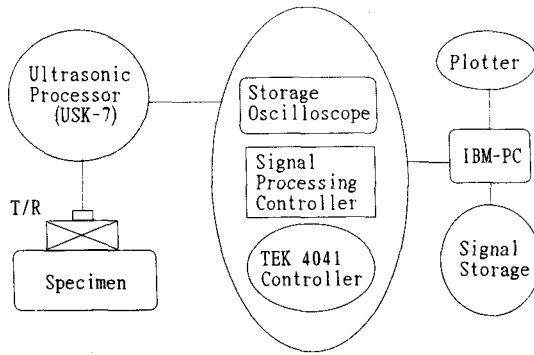


Fig. 2. Block diagram of the experimental system.

으로 PC상에서 저장된 신호를 SPD S/W를 사용하여 신호처리하였다.

4. 2. 스플릿-스펙트럼기법 적용

스플릿-스펙트럼기법의 첫 단계는 프로그램을 이용하여 frequency shift한 신호를 얻는 것이다.

입력단의 초음파 신호를 correlation하고 탐촉자로부터 광대역폭 신호를 협대역 신호로 나누기 위해서 소프트웨어적으로 얻을 수 있다. 또한 에코우의 진폭 스펙트럼을 얻기 위해서 광대역 시스템 출력을 Fourier변환을 하고, 디지털 필터로써 스펙트럼이 요구되는 대역폭 수로 나누고 각각을 역 Fourier 변환을 하여 주파수 함수를 얻었다. 다음은 신호의 진폭을 정규화(normalization)하고 unity의 최대 크기는 zero-mean 출력을 갖는다. Fig. 3 은 본 기법의 흐름도이다.

4. 3. 결함 대 결정립 신호의 비 산출

5MHz의 광대역 탐촉자를 사용하여 시험편 측면공의 결함과 산란 잡음을 동시에 잡는다. 이 때 신호대 잡음비를 구하는 식은 다음과 같다.

$$SNR = \frac{\text{결함 신호의 최대 peak to peak 진폭}}{\text{결정립 신호의 최대 peak to peak 진폭}} \quad (20)$$

신호 처리는 20 여개의 협대역 여파기의 중앙 주

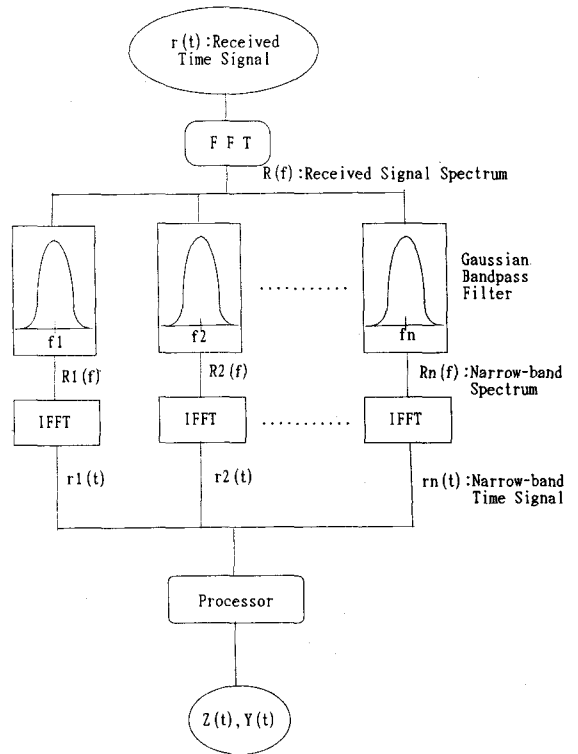


Fig. 3. Split-spectrum processing.

파수로 수행되고 시험편으로부터 얻어진 각 신호에 대한 frequency-diverse split time-domain 신호는 SSP기법으로 얻을 수 있다.

5. 결과 및 고찰

본 실험에 사용된 시험편의 감쇠 및 산란 조건을 실제 용접 상태와 동일 조건으로 보기에는 어려우나 결정립 크기 및 열영향부내의 온도 조건 등을 고려하여 유사 조건으로 접근시키려고 노력하였다.

최종 열처리된 시험편으로부터 수신된 신호 처리 전 입력 신호는 결함 신호뿐만 아니라 결정립 신호 및 랜덤 잡음이 합성된 상태로 볼 수 있기 때문에 진단에서 교차 상관을 취하였다.

신호 처리전 시간 영역 수신 신호를 보다 개선된 신호 해석을 위한 출력 신호를 얻기 위해 랜덤한 잡음과 교차 상관하였고 상관시키기 전에 입력신호

들은 시간축 상에 근거리 음장(near zone)에서 발생되는 불필요한 신호가 제거되었다. 주파수 분할은 초음파 탐촉자의 반전력 대역폭 내에서 중심 주파수의 간격이 동일한 20여개의 협대역 필터뱅크로 수행하였다.

그리고 각 시험편에 대하여 수신된 광대역 신호를 필터링하여 얻은 협대역 시영역 신호들은 최소치선택법, 극성치 확률분석법 및 최소치-극성치 확률분석법을 적용하여 처리하였다.

5. 1. 신호 처리 결과

출력 신호는 최종적으로 평균 신호 처리하였고 이 때 얻은 개선된 값은 Table 4에 결합 대 결정립 신호의 비를 시험편의 조건에 따라 정리하였다.

Fig. 4, 5, 6, 7은 최종 열처리 온도가 1125°C, 1150°C, 1175°C, 1200°C에 해당하는 시험편에 대하여 신호 처리했을 때의 결과들이다. 각각의 모든 시험편에 대하여 공통적인 사실은 모든 target의 신호가 개선됨을 알 수 있었다.

Fig. 4는 1125°C 온도로 열처리된 시험편에서 얻은 신호로 rayleigh region 산란 조건이었고 신호 처리 매개 변수인 중앙주파수간 차  $\Delta f$ 는 50kHz 일 때 소대역 b가 150kHz에서 최종 결합 대 결정립의 비는 최소치선택법(min)에서는 약 4.2배, 극성치 확률분석법(pol)에서는 약 5.3배, 최소치-극성치 확률분석법(min-pol)에서는 약 8.9배의 개선된 값을 얻을 수 있었다. 이들 개선비는 평균 결정립 크기가 작으므로 산란적 신호의 진폭이 미약하므로 최대의 신호 개선을 얻을 수 있었다고 사려된다.

Fig. 5는 1150°C 온도로 열처리된 시편에서 얻은 신호로 stochastic region 산란조건이었고 신호처리 매개 변수인 중앙 주파수간 차  $\Delta f$ 를 50kHz일 때 소대역 b가 150kHz에서 최종 결합 대 결정립의 비는 최소치 선택법(min)에서는 약 3.6배, 극성치 확률 분석법(pol)에서는 약 4.4배, 최소치-극성치 확률 분석법(min-pol)에서는 약 7.4배의 개선된 값을 얻을 수 있었다.

Fig. 6은 1175°C 온도로 열처리된 시편에서 얻은

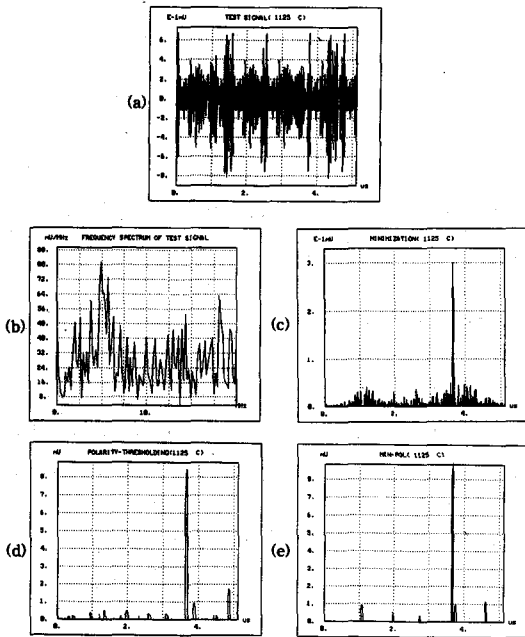


Fig. 4. Signal processing output for SUS 304 sample at 1125°C.  
 (a) correlator output (b) frequency spectrum  
 (c) minimization output (d) polarity-check output  
 (e) min.-pol. output

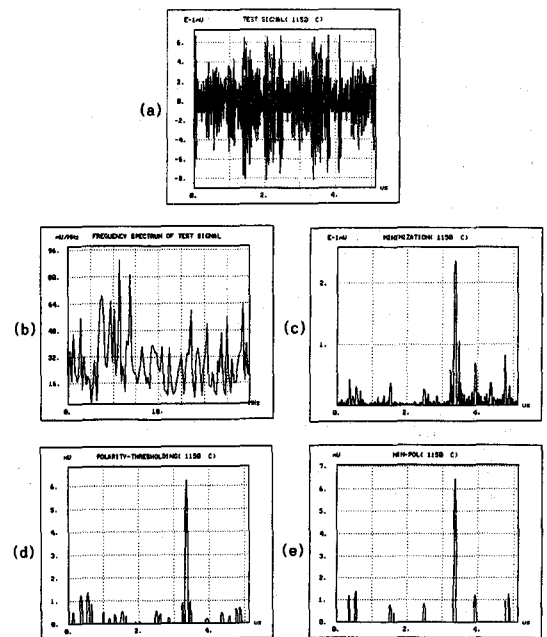


Fig. 5. Signal processing output for SUS 304 sample at 1150°C.  
 (a) correlator output (b) frequency spectrum  
 (c) minimization output (d) polarity-check output  
 (e) min.-pol. output

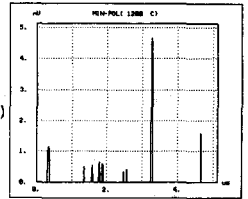
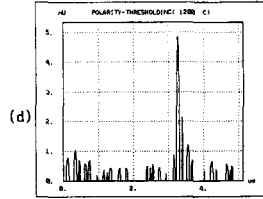
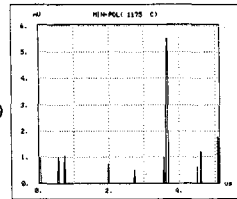
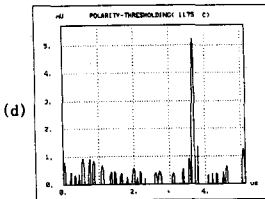
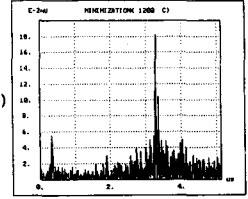
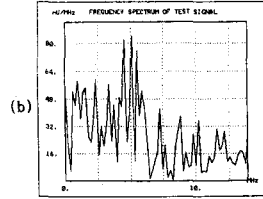
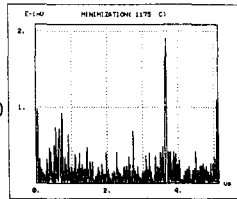
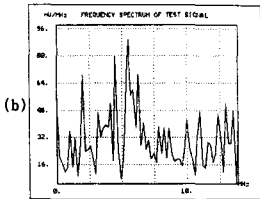
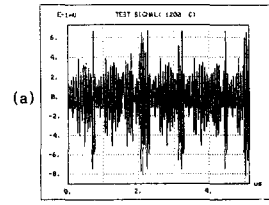
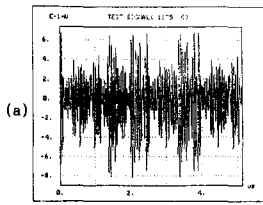


Fig. 6. Signal processing output for SUS 304 sample at 1175°C.

- (a) correlator output (b) frequency spectrum
- (c) minimization output (d) polarity-check output
- (e) min.-pol. output

Fig. 7. Signal processing output for SUS 304 sample at 1200°C.

- (a) correlator output (b) frequency spectrum
- (c) minimization output (d) polarity-check output
- (e) min.-pol. output

신호로 stochastic region 산란 조건이었고, 신호 처리 매개 변수인 중앙 주파수간 차  $\Delta f$  는 50kHz일 때 소대역 b가 150kHz에서 최종 결합 대 결정립의 비는 최소치선택법(min)에서는 약 3.1배, 극성치 확률분석법(pol)에서는 약 3.9배, 최소치-극성치 확률분석법(min-pol)에서는 약 6.5배의 개선된 값을 얻을 수 있었다.

Fig. 7은 1200°C 온도로 열처리된 시험편에서 얻은 신호로 diffusion region 산란 조건이었고 신호처리 매개 변수인 중앙 주파수간 차  $\Delta f$  는 50kHz일 때 소대역 b가 150kHz에서 최종 결합 대 결정립의 비는 최소치선택법(min)에서는 약 1.5배, 극성치 확률 분석법(pol)에서는 약 1.9배, 최소치-극성치 확률 분석법(min-pol)에서는 약 3.1배의 개선된 값을 얻을 수 있었다. 여기에서는 평균 결정립이 크고 탐촉자와 결합간 거리가 먼 등 복합적인 원인으로 감쇠가

Table 3. Data corresponding to heat treated SUS 304 samples.

항목\열처리 온도	산란조건	F/G <sub>lenh</sub> = F/G <sub>lout</sub> / F/G <sub>lin</sub>			신호처리 매개변수
		MIN	POL	MINPOL	
1125°C	Rayleigh Region	4.2	5.3	8.9	$\Delta f = 50\text{kHz}$ $b = 150\text{kHz}$
1150°C	Stochastic Region	3.6	4.4	7.4	$\Delta f = 50\text{kHz}$ $b = 150\text{kHz}$
1175°C	Stochastic Region	3.1	3.9	6.5	$\Delta f = 50\text{kHz}$ $b = 150\text{kHz}$
1200°C	Diffusion Region	1.5	1.9	3.1	$\Delta f = 50\text{kHz}$ $b = 150\text{kHz}$

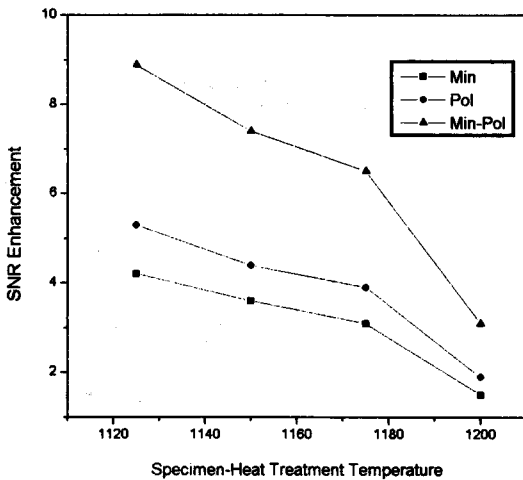


Fig. 8. SNR enhancement for the heat treated SUS 304 samples using hybrid SSP.

증가하였고 또한 산란 신호의 진폭이 상대적으로 증가하였다.

이상의 실험적 결과를 간략하게 정리하면 Table 4 및 Fig. 8과 같다.

## 6. 결론

본 논문에서는 가동전·중점사시에 원자력발전소의 압력용기 및 배관이 스테인레스강인 경우에 기존의 초음파검사 방법으로 문제가 되었던 초음파의 감쇠현상과 산란에 의한 결정립 잡음을 억제하기 위한 새로운 신호 처리 기법인 하이브리드 스플릿-스펙트럼 기법을 제시하였다.

이 기법은 잡음뿐만아니라 큰 결함 신호와 결정립 잡음이 합성된 신호에서 결함 신호만을 추출하는 데 효과적이었다. 특히 재료 내부에서 일어나는 주파수 종속적인 구조적 잡음과 결함과의 주파수 특성 분석에 효과적이었다.

그리고 본 실험에서 사용된 시험편들은 용접시 조건과 유사한 조건으로 하기 위해서 고온으로 최종 열처리하였고 그 때 시험편의 결정립 크기는 3

가지 기본 산란 조건으로 유도할 수 있었고 하이브리드 스플릿-스펙트럼 신호 처리로 SNR이 개선됨을 확인할 수 있었다.

끝으로 이 기법을 도입함으로써 원자력발전소의 오스테나이트계 스테인레스강 용접부의 초음파검사에 있어 보다 신뢰성 있는 결함 검출 및 평가에 크게 기여할 것으로 사려된다.

## 참고 문헌

1. P. Cotterill and P. R. Mould, "Recrystallization and Grain Growth in Metals" (1976). Surrey University Press, London, England.
2. P. Karpur, "Split-Spectrum Processing : Process Modeling and Evaluation of Polarity Thresholding Algorithm for Material Noise Reduction in Ultrasonic NDE," Ph.D. Thesis, Drexel University, Philadelphia, PA (1987)
3. H. Ray, "Improving Radar Range and Angle Detection with Frequency Agility," Proceedings of the Eleventh IRE East Coast Conference on Aerospace and Navigational Electronics, Institute of Radio Engineers, New York(1964), pp. 1.3.6-1 to 1.3.6-7.
4. E. W. Beasley, and H. R. Ward, "A Quantitative Analysis of Sea Clutter Decorrelation with Frequency Agility," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-4, No. 3 (1968), pp. 468-473.
5. N. M. Bilgutay and J. Saniie, "The Effect of Grain Size on Flaw Visibility Enhancement Using Split-Spectrum Processing," Mat. Eval., Vol. 42 (1984), pp. 808-814.
6. N. M. Bilgutay, "Split-Spectrum Processing for Flaw to Grain Echo Enhancement in Ultrasonic Detection," Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN (1981), TR-EE 81-20.



## A Study on Hybrid Split-Spectrum Processing Technique for Enhanced Reliability in Ultrasonic Signal Analysis

H. Huh\*, K. M. Koo\* and G. J. Kim\*\*

\* Korea Atomic Energy Research Institute

\*\* Chung Nam National University

**Abstract** Many signal-processing techniques have been found to be useful in ultrasonic and nondestructive evaluation. Among the most popular techniques are signal averaging, spatial compounding, matched filters and homomorphic processing. One of the significant new process is split-spectrum processing(SSP), which can be equally useful in signal-to-noise ratio(SNR) improvement and grain characterization in several specimens. The purpose of this paper is to explore the utility of SSP in ultrasonic NDE. A wide variety of engineering problems are reviewed, and suggestions for implementation of the technique are provided. SSP uses the frequency-dependent response of the interfering coherent noise produced by unresolvable scatters in the resolution range cell of a transducer. It is implemented by splitting the frequency spectrum of the received signal by using gaussian bandpass filter. The theoretical basis for the potential of SSP for grain characterization in SUS 304 material is discussed, and some experimental evidence for the feasibility of the approach is presented. Results of SNR enhancement in signals obtained from real four samples of SUS 304. The influence of various processing parameters on the performance of the processing technique is also discussed. The minimization algorithm, which provides an excellent SNR enhancement when used either in conjunction with other SSP algorithms like polarity-check or by itself, is also presented.

---

*(Received : August 7, 1995)*