

배관 용접부 자동 초음파 결함 영상 보정 시스템 구현

김한중* · 박중훈** · 김철원***

* 한국수력원자력 · **중부대학교 · ***호남대학교

Implementation of An Automated Ultrasonic Flaw Imaging System for the Inspection of Pipe Welding

Han-Jong Kim* · Jong-Hoon Park** · Cheol-Won Kim***

*KOREA HYDRO&NUCLEAR POWER CO. **Joongbu University. ***Honam University

요 약

용접부 내에 존재하는 결함의 형태, 위치, 크기 등의 정보를 정량적으로 파악하기 위하여 초음파 탐상 검사가 많이 활용되는데, 최근 들어 용접부의 결함 탐상을 위해, 검사과정을 기계적 스캐너로 자동화한 자동 초음파 탐상 시스템이 많은 산업분야에서 활용되고 있고, 특히 배관 용접부의 건전성 평가를 위한 비파괴안전진단에서 그 활용 폭이 커지고 있다. 배관 용접부 건전성 제고를 위해 본 연구를 통해 용접부 결함 영상화 프로그램을 구현하였다.

ABSTRACT

In this study, an automated ultrasonic testing system and post signal and image processing techniques are developed in order to construct ultrasonic flaw images in weldments. The automated ultrasonic testing system developed in the present study adopted an 8 channel pulser/receiver-ADC unit and a 2 axis motion driving unit and the post signal and image processing algorithms are built into the system program of the automated ultrasonic testing system.

키워드

Automated Ultrasonic Inspection System, Flaw Imaging, SAFT

1. 연구 배경 및 필요성

배관 용접부 자동 초음파 검사는 자동검사를 통해 A/B/B'/C-Scan 검사결과[1, 2, 3]를 얻는 것은 물론, 얻어진 B/B'/C-Scan 검사영상에 대한 영상 후처리와 다양한 신호처리를 수행함으로써, 정밀하고 정량적인 검사결과판정에 필요한 객관적 근거자료를 제공 한다.

배관 용접부 자동 초음파 검사장치에 활용되는 대표적 영상처리 기법으로 SAFT(Synthetic Aperture

Focusing Technique)[4, 5], 영상증폭을 들 수 있는데, 이러한 기법들은 초음파 A-Scan 결합신호에 포함된 회절신호(diffraction signal)와 반사신호(reflection signal), 빔 퍼짐 효과(beam spreading effect) 등을 확대(혹은 보정)함으로써 결함신호의 정량적 측정을 가능하게 한다.

본 논문에서는 초음파 빔의 퍼짐현상을 보정하여 지시결함의 실제 크기산출에 도움을 주는 SAFT기법과 균열성 결함의 선단 회절신호(tip diffraction signal)[5]를 증폭해주는 영상증폭에 대하여 논한다.

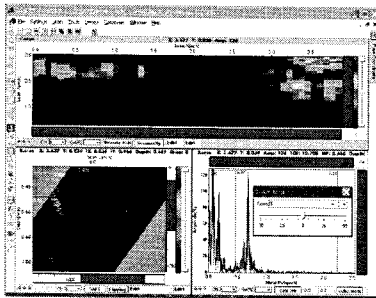
II. 자동 초음파 결합 영상 보정 시스템 구현

2.1 초음파 영상 증폭

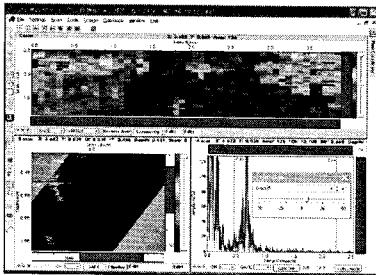
초음파 신호를 이용한 B/B'/C-Scan 영상의 구현에서, 이미지를 구성하는 픽셀의 색상이 낮은 수준의 세기를 보인다면 결합 영상을 통해 실제 결함을 확연히 구분하기 힘든 경우가 생길 수 있다. 특히 균열성 결함의 경우 균열의 선단(tip)에서 회절된 신호는 반사신호에 비하여 상대적으로 낮은 진폭을 보이지만[6], 결함의 크기산정을 위해서는 반드시 찾아내고 판독해야 할 신호이기 때문에, 영상의 증폭문제가 대두되게 된다.

증폭하고자 하는 본래의 스캔 영상을 구성하는 각 데이터 포인트의 신호세기를 A_{ij} 증폭을 원하는 증폭값을 G 증폭값 G 에 따라 본래의 데이터 포인트들에 적용될 증폭 비를 V_i 증폭이 적용된 후 매핑에 사용될 데이터 포인트들의 결과값을 E_{ij} 라고 정의하면, E_{ij} 는 식 (1)와 같다.

$$E_{ij} = (10^G)^{1/20} A_{ij} \quad (1)$$



a) 증폭을 적용하지 않은 초음파 스캔 이미지



b) 증폭된 초음파 스캔 이미지

그림 1. 일반 초음파 이미지와 증폭된 초음파 이미지의 비교

디지털 영상증폭모듈을 구현하고, 배관 용접시험편에 대하여 실험을 수행하였다. 그림 1.에 디지

털 증폭 전후 초음파 영상을 비교했는데, 증폭을 적용할 때 결함이 보다 쉽게 구분됨을 볼 수 있다.

2.2 초음파 영상보정 시스템

원형 체적성 결함의 B-Scan 영상을 보면, 초음파 빔 퍼짐(beam spreading) 때문에, 실제와 달리 초승달 형태로 퍼진 결합영상이 얻어진다. 왜곡된 형상을 가진 초음파 결합영상은 자동 검사에서 overcall 요인이 되므로 보정이 필요한데, 주로 사용되는 영상처리기법 중 하나가 SAFT(Synthetic Aperture Focusing Technique)이다[7].

피검체 내부를 전파하는 초음파 빔은 초음파 탐촉자의 형상과 중심주파수, 음압점의 기하학적 위치에 따라 그 세기와 위상이 변한다. 초음파 음장식으로 일반화된 것이 Rayleigh-Sommerfeld 적분이다[8]. 그림 2.에서와 같이, 체적 V 를 둘러싼 표면(S)을 포함하는 X-Y평면의 임의의 점을 y 그로부터 X-Y평면에 대칭으로 r_1, r_2 위치에 존재하는 체적 밖의 소스점을 x, x^* 라고 하면, Rayleigh-Sommerfeld 적분식은,

$$t(x, \omega) = \frac{-i\omega\rho}{2\pi} \int_{S_0} v_{z(y, \omega)} \frac{e^{ikr}}{r} dS(y) \quad (2)$$

여기서, ω 는 각속도, ρ 는 매질의 밀도, k 는 파수(wave number)이다.

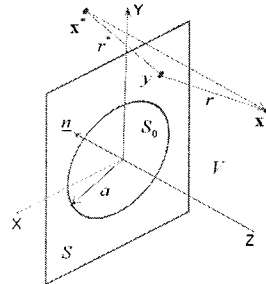


그림 2. 체적 V 인 곳에서 음압점 x 와 체적 V 바깥에서의 그 대칭 점 x^* 그리고 X-Y 평면상의 한 점 y 에서의 상대거리 r_1 과 r_2

식에 의해 원형탐촉자의 음장을 모사하여 그림 3.과 같은 결과를 얻게 되는데, 초음파 탐촉자 빔 퍼짐 폭은 1/2 강도 위치까지 초음파 신호 진행거리에 비례하고 중심주파수에 반비례한다. 평면 타입의 원형 진동자를 가지는 초음파 탐촉자의 빔 퍼짐 폭은 식 (3)과 같이 일반화할 수 있다[9].

$$\sin \frac{\phi}{2} = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (3)$$

여기서, λ 는 파장, D 는 탐촉자 직경, ϕ 는 1/2 강도 위치까지의 빔 퍼짐각의 1/2 이다.

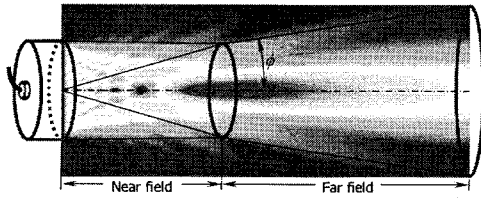


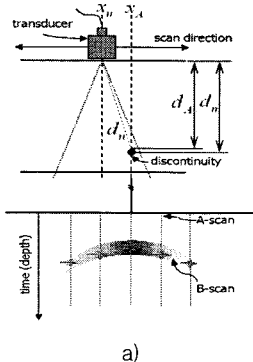
그림 3. 원거리 음장영역에서의 초음파 빔의 분산

SAFT 신호처리 알고리즘은 그림 4.과 같이 초음파 빔 퍼짐 때문에 나타나는 초음파 신호의 진행 시간차를 보정하기 위하여 인접한 A-Scan과 중첩한 후 평균을 구해 A-Scan을 재구성하고, 이를 B-Scan 영상화함으로 구현된다. 즉, 초음파 탐촉자의 정중앙에서 일직선상에 있는 반사원에서 반사될 때의 초음파 빔 진행거리를 d_A 초음파 탐촉자의 위치를 x_A 초음파 빔이 분산된 가장자리에서 반사된 신호의 진행거리를 d_n 초음파 탐촉자의 위치 x_n 이라면, x_n 위치에서의 초음파 빔의 진행거리 d_n 과 보정된 초음파 신호 A_c 는 식 (4), 식 (5)과 같이 표현할 수 있다.

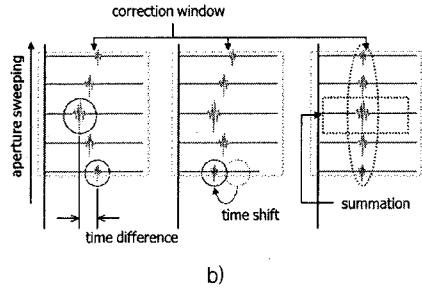
$$d_n = \sqrt{d_A^2 + (x_A + x_n)^2} \quad (4)$$

$$A_c = \frac{1}{m} \sum_{n=r-m/2}^{r+m/2} A_n(k) x_n(k) \quad (5)$$

여기에서, m 은 aperture를 구성하는 초음파 빔 다발의 개수, r 은 aperture의 중심라인, $A_n(k)$ 는 n 라인의 초음파 세기, $x_n(k)$ 은 n 라인의 보정 위치, A_c 는 보정된 초음파 빔이다.



a)



b)

그림 4. a) B-Scan 이미지에서의 빔 퍼짐 효과와 b) SAFT 기법의 개념

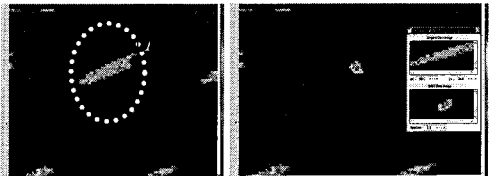
SAFT 프로그램을 개발하고 검증은 시도했다.

그림 5.에 보인 것과 같이 연강 재질의 시험편에 깊이와 크기가 다른 측면공을 가공하고, 자동 검사를 통해 얻은 데이터를 분석하였다.



그림 5. SAFT 알고리즘 검증을 위한 측면공 시험편

그림 6. a)는 측면공을 가공한 시험편에 대한 초음파 B-Scan 영상인데, 점선 원 부분이 깊이 18.62mm, 직경 2mm인 측면공에서 반사한 신호를 나타낸다. 지시결함의 크기는 ≈ 15 mm를 나타내고 있는데, 실제로는 반원에서 반사한 형태인 원형 결함영상패턴을 보여야 한다. 신호다발크기를 50(≈ 35 mm), aperture의 크기를 5(≈ 3.5 mm)로 설정한 b)의 경우, 지시결함의 크기가 ≈ 1.8 mm를 나타내고 있음을 알 수 있다.



a) 초음파 B-Scan 이미지 b) SAFT 보정 이미지

그림 6. 인공결함 시험편에서 얻은 초음파 B-Scan 이미지와 SAFT 보정 이미지

측면공 시험편의 경우, 지시크기가 ≈ 15 mm인데 이는 빔의 퍼짐현상이 없고 탐촉자의 직경이 12.5mm인 경우에 결함에 입사하는 초음파 빔의 경사영역이 ≈ 18 mm인 점을 감안하면, 상당히 정확한 결함지시양상을 보인다고 볼 수 있다.

III. 결 론

자동 초음파 결합 영상 보정 시스템을 개발하여 SAFT, 영상 증폭 알고리즘과 소프트웨어를 개발, 통합 하였으며 향후 원전현장 용접부 검사시 필요한 기술기반을 구축하였다.

참고문헌

- [1] "Nondestructive Testing Handbook, Vol. 7, Ultrasonic Testing", ASNT, pp. 220-266, 1991
- [2] 박은수, 박익근, 송성진, "비파괴평가공학", 학연사, pp. 245-270, 2004
- [3] R. L. Powis and W. J. Powis, "A Thinker's Guide to Ultrasonic Imaging", Urban & Schwarzwznberg, 1984
- [4] D. J. Chinn, H. A. Dieterman, "Defect Imaging Using Long-Distance Ultrasonic Testing", Review of Progress in QNDE, Vol. 11, Plenum Press, pp. 1901-1908, 1992
- [5] M. S. Hughes, D. K. Hsu, F. Margetan, R. B. Thompson, S. R. Ghorayeb, "Application of SAFT on Composites", Review of Progress in QNDE, Vol. 11, Plenum Press, pp. 1413-1419, 1992
- [6] K. Harumi, Y. Ogura M. Uchida: "Ultrasonic Defect Sizing-Japanese Tip Echo Handbook", Tip Echo Working Group of 210 and 202 Sub-committee of Japanese Society, pp. 45-53, 1996
- [7] Q. W. Elbern, L. Guimars, "Synthetic Aperture Focusing Technique for Image Restoration", NDT.net, Vol. 5 No. 08, 2000
- [8] Lester W. Schmerr, "Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation", Plenum Press, pp. 29-275, 1998
- [9] Josef Krautkramer, Herbert Krautkramer, "Ultrasonic Testing of Materials: 4th Fully Revised Edition", Springer-Verlag, pp. 4-92, 1990