

EMD를 이용한 초음파 비파괴 평가용 3차원 영상처리 소프트웨어 개발

남명우^{1*}, 이영석², 양옥렬³

Development of 3D Image Processing Software using EMD for Ultrasonic NDE

Myung-Woo Nam^{1*}, Young-Seock Lee² and Ok-Yul Yang³

요 약 본 논문은 핵발전소 증기발생기의 초음파 비파괴 검사용 프로그램 개발에 관한 것이다. 개발된 프로그램은 A, B, C, D-스캔과 같은 고전적인 해석방법뿐만 아니라 3차원 영상처리 기법을 이용하여 증기발생기 내부에 발생한 결함을 해석하고 검출할 수 있다. 결함의 3차원 영상은 핵발전소의 파이프라인으로부터 얻어진 1차원 초음파 데이터를 EMD(Empirical Mode Decomposition)로 분석해 결함의 위치를 구하고 voxel을 이용하여 구현하였다. 얻어진 3차원 영상은 2차원 해석방법을 사용하지 않더라도 결함의 위치, 형태, 크기 등과 같은 유용한 정보를 얻는데 용이하다. 개발된 프로그램은 이미 결함의 위치 및 모양, 크기 등을 알고 있는 시편의 측정에 사용하여 프로그램의 정확성을 검증하였고, 3차원 영상으로 결함의 입체적 모양을 구현하였다.

Abstract This paper describes a development of Ultrasonic NDE software to analyze steam generator of nuclear power plant. The developed software includes classical analysis method such as A, B, C and D-scan images. And it can analyze the detected internal cracks using 3D image processing method. To do such, we obtain raw data from specimens of real pipeline of power plants, and get the envelope signal using Empirical Mode Decomposition from obtained ultrasonic 1-dimensional data. The reconstructed 3D crack images offer useful information about the location, shape and size of cracks, even if there is no special 2D image analysis technique. The developed analysis software is applied to specimens containing various cracks with known dimensions. The results of application showed that the developed software provided accurate and enhanced 2D images and reconstructed 3D image of cracks.

Key Words : Ultrasonic NDE, Image Processing, Empirical Mode Decomposition

1. 서론

국내 발전소 또는 화학 관련 기업들은 60~70년대 건설되어 사용되던 설비들의 수명이 다함에 따라 노후화된 설비들의 대체나 유지보수, 폐기 등을 결정해야 하며, 이때 노후화된 설비들의 상태를 정확히 판단할 진단 기술을 필요로 하고 있다. 그러나 업무 특성상 현재 가동 중인 설비들의 작동을 멈추나 설비들을 훼손하며 시편을 얻는 진단 기술은 사용이 불가능하다. 이러한 이유로 시

설물의 원형과 기능에 변화를 주지 않으면서 결함을 찾아내어 재료나 제품을 평가하는 비파괴 평가(nondestructive evaluation) 방법이 각광을 받고 있다. 그 중에서 특히 초음파를 이용한 비파괴 평가 방법은 검사 비용과 평가 정확도에서 장점을 가지며, 특히 방사능 환경과 같은 열악한 작업환경에서의 비파괴 평가에 가장 적합한 방법으로 인식되고 있다[1].

본 논문은 핵발전소 증기발생기의 초음파 비파괴 평가용 프로그램 개발에 관한 것이다. 개발된 프로그램은 A,

본 논문은 해전대학 교내연구과제로 수행되었음.

¹해전대학 디지털전자디자인과

³해전대학 보건의료정보과

접수일 08년 11월 18일

수정일 08년 12월 15일

²청운대학교 디지털방송공학과

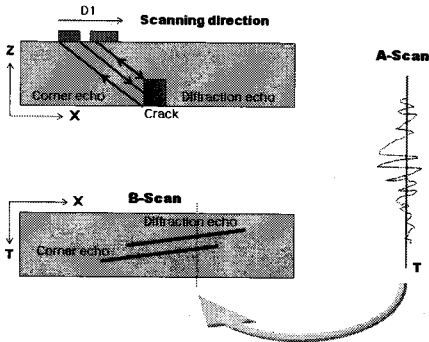
*교신저자: 남명우(mwnam@hj.ac.kr)

게재확정일 08년 12월 16일

B, C, D-Scan과 같은 고전적인 해석방법뿐만 아니라 3차원 영상처리 기법을 이용하여 증기발생기 내부에 발생한 결함을 해석하고 검출할 수 있는 기능을 가지고 있다. 결함의 3차원 영상을 구현하기 위해 핵발전소의 파이프라 인으로부터 얻어진 1차원 A-Scan 초음파 데이터를 EMD로 분석해 초음파 신호의 최대 값이 존재하는 부분의 위치를 추정하였다. 얻어진 3차원 영상은 2차원 해석방법을 사용하지 않더라도 결함의 위치, 형태, 크기 등과 같은 유용한 정보를 얻는데 용이하다. 개발된 프로그램은 이미 결함의 위치 및 모양, 크기 등을 알고 있는 시편의 측정에 사용하여 프로그램의 정확성을 검증하였고, 3차원 영상으로 결함의 입체적 모양을 구현하였다.

2. 프로그램의 기능들

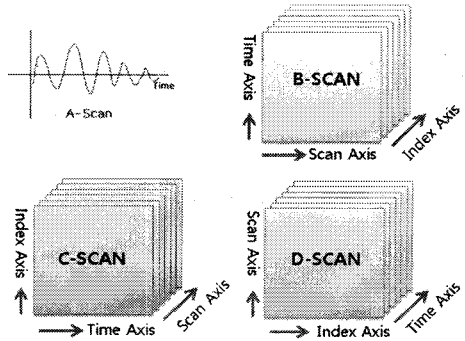
탐촉자로부터 발생한 초음파 신호는 시험 매질의 내부 구조에 따라 매질 자체에 흡수되기도 하고, 불균일한 입자들의 영향으로 산란되기도 한다. 또한 진행 경로 상에 조직의 불연속성이나 불균질성을 만나게 되면 반사를 일으키게 된다. 이러한 특성으로 초음파가 매질속의 결함을 만나게 되면 결함의 형태, 초음파 주파수, 신호의 입사각 등에 따라 복잡한 형태의 반사 신호를 생성한다.



[그림 1] 초음파 비파괴 검사 개념도

[그림 1]은 초음파 비파괴 평가를 위한 A-Scan 탐상 방법을 설명하고 있으며 A-Scan 데이터를 구조적으로 배열하여 B-Scan 영상을 얻게 된다. 그러나 수신 단에서 얻어진 A-Scan 데이터에는 스펙클 잡음(speckle noises)과 시스템 노이즈 등이 포함되어 있기 때문에 초음파 신호 분석 전문가라 할지라도 결함의 크기와 위치, 형태뿐 아니라 존재 여부도 판단하기 어려운 경우가 많다. 개발된 프로그램은 분석가의 정확한 판단에 도움을 주고자 다양한 정보제공 기능들을 포함하고 있다. 먼저 [그림 2]와 같이

A, B, C와 D-Scan 영상을 제공하며 각 영상들은 서로 연동되어 화면에 표시되어진다. 그리고 [표 1]에 설명된 유용한 기능들은 초음파 비파괴 평가업무에 종사중인 기술자와 협의를 통해 개발되어 졌다.



[그림 2] A, B, C와 D-Scan의 영상 구조

[표 1] 각 scan 영상들에서 가능한 기능들

	A-SCAN	B-SCAN	C-SCAN	D-SCAN
Max Value	○	○	×	○
FFT	○	×	×	×
Crack Area	×	○	×	×
Gate	○	○	×	○
Length	○	○	○	○

3. 3차원 영상 처리 기법

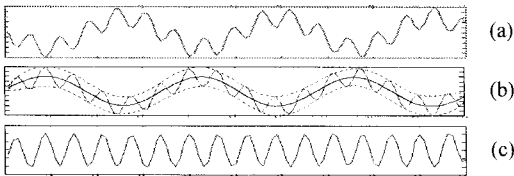
3.1 EMD(Empirical Mode Decomposition)

EMD는 1998년 Huang et al에 의해 발표된 것으로 비선형, 비정상적인 신호 해석에 많이 이용되고 있다[2]. EMD는 다중 주파수 성분으로 구성된 신호를 단일 주파수 성분 신호인 IMF(Intrinsic Mode Functions)들로 분류해 내는 것이다. IMF는 각 주기에서 영 교차하고, 국부적으로 다른 복잡한 파형을 포함하지 않은 주파수 성분을 가지는 파형을 의미한다[3]. IMF로 분해된 성분들은 식 (1)과 같이 n개의 IMF 성분들과 나머지 잔여신호 $r_n(t)$ 의 합으로 나타낼 수 있다[2].

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t) \quad (1)$$

[그림 3]은 EMD 방법을 이용하여 입력 신호의 IMF를 구하는 과정을 설명하고 있다. 먼저 (b)와 같이 잡음신호

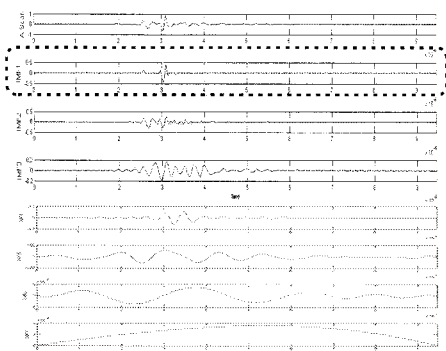
의 국부적 극대 값들로 상단 포락선과 하단 포락선을 고차 스플라인(spline)을 사용하여 구한다. 상·하단 포락선의 평균값을 잡음신호 (a)에서 빼주면 (c)와 같은 신호가 나오며, 이 신호가 IMF조건을 만족한다면 첫 번째 IMF 신호가 된다. 만약 조건을 만족하지 못한다면 (c) 신호를 가지고 같은 과정을 되풀이 한다. 최종적으로 더 이상 IMF를 구할 수 없게 되면 식 (1)과 같이 IMF신호와 잔여 신호(residual signal)로 입력 신호를 나타낼 수 있다.



(a) 잡음신호 (b) EMD과정 (c) 잡음신호와 평균값의 차
[그림 3] EMD과정의 예

3.2 EMD의 적용

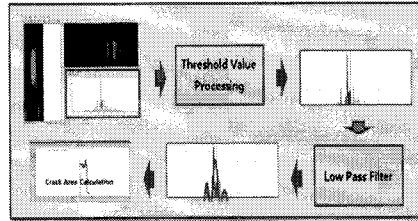
본 논문에서는 결함의 깊이 방향의 위치를 구하고자 결함으로부터 반사된 초음파 신호의 분해능 향상을 위해 EMD를 사용하였다. 결함의 위치를 파악하는 기존의 방법은 A-Scan 신호 데이터 가운데 가장 큰 값을 갖는 부분의 위치를 결함이 존재하는 부분으로 추정하는 것이었으나 결함의 정확한 위치와 일치하지 않는 문제점이 있었다[4][5][6].



[그림 4] A-Scan 데이터의 EMD과정

본 논문에서는 먼저 A-Scan 데이터를 EMD를 이용하여 IMF들로 분리한 후 가장 에너지가 큰 IMF를 추출하여 결함 위치 검출에 사용하였다. [그림 4]는 EMD방법을 이용해 초음파 신호를 분석하는 과정이며 점선으로 표시된 부분이 가장 에너지가 큰 IMF이다. EMD를 통해 얻어

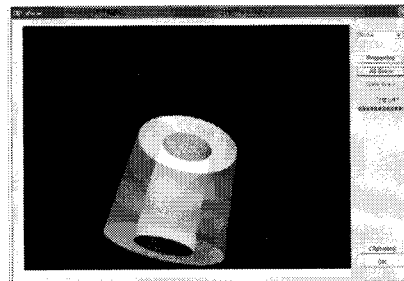
진 IMF신호를 임계값 처리를 하고 저주파 필터를 통과시킨 후 포락선을 구하여 결함의 위치를 구하였다. 사용된 알고리즘은 [그림 5]와 같다.



[그림 5] 결함 검출 알고리즘

3.3 3차원 초음파 데이터의 구현

본 논문에서는 결함을 3차원으로 구현하기 위해 복셀 (voxel)을 이용한 렌더링 기법을 사용하였다[7][8]. 복셀은 초음파로 얻어진 각 단면 영상을 위치에 맞게 3차원적으로 나열하고 단면영상 사이의 공간을 보간하여 만들어진 볼륨 데이터이다. C-Scan과 A-Scan을 이용하여 결함이 존재하는 부분의 (x,y,z)좌표를 구하고, z값을 밝기 값을 가지는 데이터로 변경함으로써 2차원 이미지가 컴퓨터에 의해 다양한 각도의 3차원 영상으로 보일 수 있도록 하였다.

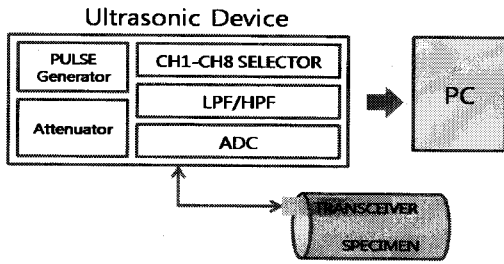


[그림 6] 결함을 3차원으로 렌더링한 이미지

4. 결 과

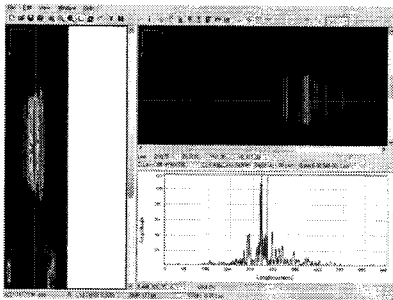
구현된 프로그램은 초음파 해석에 필요한 여러 가지 유용한 기능들을 포함하고 있다. 각 기능들은 이미 결함의 위치 및 모양, 크기 등을 알고 있는 시편의 측정에 사용하여 프로그램의 정확성을 확인하였으며, 현장 실무자와 협의를 통해 인터페이스 등을 결정하였다. 또한 프로그램은 지속적인 분석 기능의 추가가 가능하도록 설계되었으며, Windows XP 상에서 VC++ 6.0과 OpenGL을 이용하여 개발되었다.

초음파 데이터 수집을 위해 사용된 시스템은 [그림 7]과 같다.

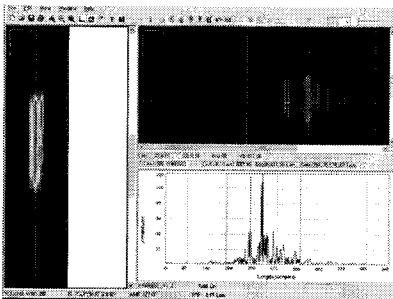


[그림 7] 초음파 데이터 수집 시스템

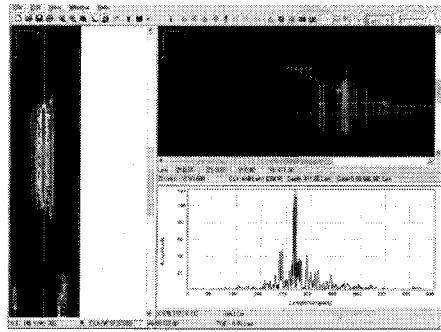
[그림 8]은 개발된 프로그램이 가지고 있는 기능들을 보여주고 있다. (a)는 기본 분석 화면이고 (b)는 게이트를 재설정 할 수 있는 기능이다. (c)는 설명 추가와 거리 측정 기능의 예이며 (d)는 A-Scan 데이터의 주파수 스펙트럼을 볼 수 있는 기능이다. (e)는 선택한 B-Scan내의 영상 일부분을 Y축 방향으로 일정한 개수의 프레임만큼 연속적으로 도시하는 기능이며 (f)는 B'-Scan 영상을 보여주는 예를 나타내고 있다. 이와 같은 다양한 기능들은 모두 초음파 신호 분석에 필요한 기능들이며 개발된 프로그램은 A-Scan, B-Scan, C-Scan이 동시에 연동되어 화면에 표시되도록 하였다.



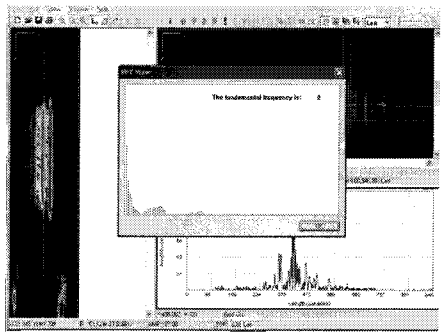
(a) Normal view



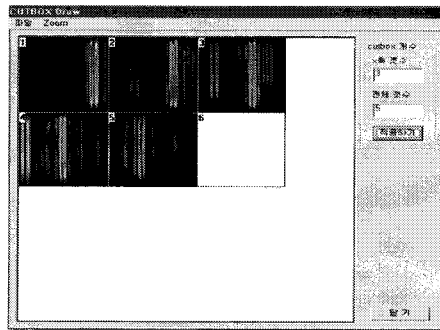
(b) Gate modify



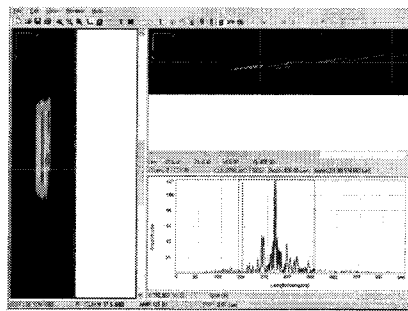
(c) Annotation and measure



(d) FFT



(e) Cutbox



(f) D-SCAN (B'-SCAN)

[그림 8] 개발된 프로그램이 가지고 있는 기능들

5. 결론

본 논문에서는 초음파 비파괴 검사를 위한 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 고전적인 해석방법을 포함하고 있으며 3차원 영상처리 기법을 이용하여 증기발생기 내부에 발생한 결함을 해석할 수 있도록 하였다. 핵발전소의 파이프라인으로부터 얻어진 1차원 초음파 데이터는 EMD 방법을 사용해 노이즈를 감소시킨 후 결함의 위치를 구하고 voxel을 이용하여 3차원 영상을 구현하였다. 또한 EMD를 통해 얻어진 A-Scan 데이터는 재구성되어 B-Scan 및 C-Scan과 같은 초음파 영상구현에도 사용되었다. 얻어진 3차원 영상은 2차원 해석방법을 사용하지 않더라도 결함의 위치, 형태, 크기 등과 같은 유용한 정보를 얻는데 용이하다. 개발된 프로그램은 이미 결함의 위치 및 모양, 크기 등을 알고 있는 시편의 측정에 사용하여 프로그램의 정확성을 검증하였고, 3차원 영상으로 결함의 입체적 모양을 구현하였다.

참고문헌

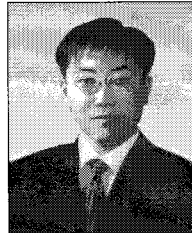
- [1] Youngseock Lee, C .S. Park and S. J. Kim(2004), "3D imaging technique for shape estimation of flaw in UT-NDE", Mater.Sci.Forum, p.270-273
- [2] Norden E. Huang, Zheng Shen, and Steven R. Long, 1998."The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis", Proceedings of the Royal Society of London, A. 454, pp. 903-995.
- [3] 이승목, 최연선(2007), "HHT를 이용한 간극이 있는 회전체의 고장진단" 한국소음진동공학회 2007년 추계학술대회논문집
- [4] S. Gautier, J. Idaier, F. Champagnal and D. Villard (2002), "Restoring Close Discontinuities from Ultrasonic Data", Rev. of process in quantitative evaluation, Vol.21, p.686-690
- [5] N.Y. Chung, S.I. Park, M.D. Lee and C.H. Park(2002), "Ultrasonic Detection of Interface Crack in Adhesively Bonded DCB Joints", Automotive Tec. Vol.3,p.157-163
- [6] K.N Park, C.M. Sim, C.O. Choi and C.H. Lee (2002), "Measurement of the Shape on the Radioactive Area by Ultrasonic Wave Sensor", KSME Vol.16, p.927-934
- [7] 고광천(2004), "초음파 비파괴 평가의 3차원 영상화 기술에 관한 연구" 청운대학교 정보산업대학원 석사

학위논문. pp34-39

- [8] 송문호 외 5인(2003), "초음파 펄스예코 신호의 3차원 처리" 비파괴검사학회지 Vol.23, No.5, pp464-474

남 명 우(Myung-Woo Nam)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울시립대학교 제어측공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2001년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2003년 2월 : LG 이노텍(선임연구원)

- 2003년 3월 - : 혜전대학 디지털전자디자인과(교수)

<관심분야>

신호처리, 회로설계, 마이크로프로세서

이 영 석(Young-Seock Lee)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1998년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1998년 3월 - : 청운대학교 디지털방송공학과(교수)

<관심분야>

임베디드 시스템, Soc, Image Processing

양 옥 렬(Ok-Yul Yang)

[정회원]



- 1995년 2월 : 원광대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1997 2월 : 원광대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2002년 2월 : 원광대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2000년 8월 : BNS MediaTech. (사장)

- 2003년 2월 : Human MediaTech. (IT기술이사)

- 2003년 3월 - : 혜전대학 보건의료정보과(교수)

<관심분야>

신호처리, Culture Contents, Medical Information, OCS, EMR