



The Non-destructive Quality Test Method based on Acoustic Signal Recognition of the Tapping Object Parts

Gwang-Seok Lee*

Department of Electronic Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology

ABSTRACT

The resonant acoustic method is a volumetric resonant inspection technique that measures the structural integrity of each part to detect defects, anomalies and inconsistencies on a component level. This technique automates easily. It eliminates human errors and subjectivity with fast throughput. Also it provides cost-effective inspection by minimal disruption to production and successes on the production lines of powder metal and cast parts. Resonant inspection measures the structural response of a part and evaluates it against the statistical variation from a control set of good parts to screen defects. Its volumetric approach tests the whole part, both for external and internal structural flaws or deviations, providing objective and quantitative results. This structural response is a unique and measurable signature defined by a component's mechanical resonances. In this research, we propose a new method of the non-destructive quality test based on acoustic signal recognition. It helps to determine whether inspection object parts are defective and normal. It uses pattern recognition algorithm applicable to acoustic signal and resonant frequency analysis of the tapping sound measurement value, following of trippet tapping the surface of the inspection object parts with constant strength. We verified that it has inspection ability of the improve performance, accuracy, objective and reliability of the products through the numerical analysis processing method to the obtained data.

© 2017 KKITS All rights reserved

KEYWORDS: NDT(Non Destructive Testing), RAM(Resonant Acoustic Method), Frequency pattern recognition algorithm, MFCC(Mel Frequency Cepstral Coefficient), Tapping sound of the product

ARTICLE INFO: Received 1 December 2017, Revised 7 December 2017, Accepted 12 December 2017.

*Corresponding author is with the Department of Electronic Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, 33 Dongjin-ro Jinju

Gyungnam, 52725, KOREA.

E-mail address: kslee@gntech.ac.kr

1. 서 론

비파괴 검사는 공업재료 및 제품을 깨뜨리지 않고 부품 및 제품의 결함의 유무를 검사 또는 시험하는 방법이다[1-2]. 이와 관련된 기술 및 산업의 해외동향을 살펴보면 미국, 유럽, 일본 등 선진국들은 NDT 개념에 입각한 R&D 계획·투자 및 전문 연구소를 설립하는 등 국가적 차원의 지원을 확대하고 있으며 국내 NDT 기술 수준은 선진국 대비 45% 이하 수준으로 비파괴 안전진단 원천기술은 선진국에 대한 기술 의존도가 상당히 높은 수준에 있다. 그 중에서도 검사장비, 특히 NDT 장비의 95%이상을 수입에 의존하고 있으며 핵심기술 및 응용기술 등은 약 50%, 센서 및 장비 기술은 약 30% 수준에서 선진국에 비하여 낙후되어 있으며 또한 기반기술인 NDT 기술의 대부분도 선진국에 의존하고 있는 실정이다.

비파괴 검사를 통한 기업의 품질관리 강화는 불량품 감소, 제품의 수명연장, 생산 시간 단축 등 많은 불필요한 비용을 줄이고 생산성을 향상시킬 수 있으며 이는 기업의 경쟁력 강화와 중장기적인 성장을 가능하게 하며 작업공정과정에서 효과적인 비파괴검사 기술을 적용함으로써 고품질의 제품생산이 가능하고 이를 통해 단계별 제품생산과정에서 비정상적인 결함을 유효하게 검출함으로써 불량품의 최소화 및 작업 공정상에서의 문제점을 초기에 발견할 수 있는 장점을 가진다.

한편으로, 본 기술은 그동안 선진국 시장에서 주로 활용되었지만 지난 10년간 아시아 및 동유럽의 급격한 경제성장은 다양한 산업 활동을 증가시키 인도, 대만, 싱가포르를 물론 폴란드, 루마니아, 우크라이나 등 제조업과 대량생산을 하고 있는 국가에서도 최종 소비자의 요구를 만족시키기 위한 시장 범위가 지속적으로 확대되고 있다. 아울러 소재 산업 측면에서도 저항력과 강도를 높이면서 경량

화한 새로운 소재들의 개발이 추구하고 있는 경향으로서 이러한 소재들은 국내 비파괴 검사기술 진흥계획에 따르면 항공, 국방, 자동차등 다양한 분야에 활용되면서 새로운 비파괴검사 기술의 필요성이 절실한 실정으로 미래 부품소재 및 항공 산업 분야에서 높은 시장 성장이 예상되고 있다.

비파괴 검사에는 방사선 투과법, 음파-초음파 탐상법, 전자기 탐상법, 액체 침투 탐상법, 음향 탐상법 등이 있다. 그 중에서도 음향 공진 비파괴 검사 방법에는 음향 공진 검사(NDT-RAM)[3-5], FRF검사, 음성 탐상 검사, 청음검사 등이 있으며, 특히 음향공진검사는 소리의 주파수 특성을 이용하여 불량품을 한 번에 찾을 수 있는 비파괴 검사 방법입니다. 특정제품의 고유 진동수는 제품의 형태, 치수, 장력, 탄성률도, 재질 등에 의하여 변하는 특성을 가지며 이를 이용하는 방식이 음향 공진 검사이다. 이는 가청 음파에 의한 것과 초음파에 의한 것이 있으며 좁은 의미로는 전자를 가리키며 피검사체를 손 또는 기계적으로 망치 등으로 타격 진동시켜 발생하는 타격 음에 의해 조직, 결함을 선별하는 방식이다. 타격 방식, 피검사체의 형상, 유지 방법 등을 일정하게 하고 시행한다면 상호차가 간단하게 비교적 정밀도 좋게 알 수 있으므로 다량 검사의 선별에 광범위하게 적용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 타격음의 음향신호 인식을 기반으로 한 비파괴 전수검사 시스템으로 기존의 개발 기술인 단일제품에 대해서만 적용 가능한 공진 주파수를 이용한 검사, 뿐만 아니라, 조립제품의 검사 또한 가능하도록 음향신호에 적용 가능한 패턴인식 알고리즘을 적용하여 검사 대상물의 정상/불량 여부를 판별하는 알고리즘 및 처리 기술을 제안코자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 음향 공진 주파수 검사법에 대하여 살펴본다. 제 3장에서는 음향신호 인식형 비파괴 검사기법을 제 4

장에서는 결론을 기술한다.

2. 음향 공진주파수 검사법

모든 부품들은 각기 다른 고유 주파수를 가진다. 이러한 고유 주파수는 정상적인 제품에서는 대부분 유사한 패턴의 경향을 가지지만 내부 또는 외부에 결함을 가진 경우에는 고유 주파수가 변하게 된다. 이를 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 각 고유 진동수와 고유 진동수를 나타내면 각각 식 (1)과 식 (2)와 같다[3,4,6,7].

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} w_n \quad (2)$$

여기서, 질량은 m, 강성은 k 그리고 댐핑은 c로 표시하였다.

식 (2)에서 질량이 크게 되거나 강성이 작아지면 고유주파수가 낮은 영역으로 이동하게 되며 반대로 질량이 작게 되거나 강성이 커지면 고유 주파수가 높은 영역으로 이동하는 결과를 갖는다. 만약 제품에서 크랙 등의 결함이 생기면 강성의 변화로 인하여 고유 주파수가 변하게 된다. <그림 3>에 보이고 있다. 한편 피검사 제품을 1차 유도계라 가정하면 이는 아래의 식 (3)과 같다.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = f(t) \quad (3)$$

이러한 고유 주파수인 공진 주파수를 이용하여 객관적이며 신뢰성 있게 검사할 수 있는 제조공정에 따른 부품들의 구조 결함들을 <표 1>에 나타내었다.

표 1. 공진주파수 검사로 검출 가능한 전형적인 구조결함
Table 1. Typical structural detectable by resonant frequency inspection

Cast	Forged	Powder metal
<ul style="list-style-type: none"> · Cracks · Cold shuts · Porosity · Hardness · Inclusions · Heat treatment · Compressive stress · Nonquality · Gross dimensions · Missed ops 	<ul style="list-style-type: none"> · Cracks · Missed strikes · Porosity · Hardness · Inclusions · Heat treat · Quenching problems · Laps · Gross dimensions · Missed ops 	<ul style="list-style-type: none"> · Cracks · Chips · Voids · Hardness/density · Inclusions · Heat treat · Decare · Oxides · Gross dimensions · Missed ops

3. 음향신호 인식형 비파괴 검사기법

3.1 검사과정

본 과제에서 제안하고자 하는 다음의 음향신호 인식 비파괴 전수검사 기법은 제 2장에서 기술한 단일제품에 대해서만 적용 가능한 외국제품의 공진 주파수를 이용한 검사, 뿐만 아니라, 조립제품의 검사 또한 가능하도록 음향신호에 적용 가능한 패턴인식 알고리즘을 적용하여 검사 대상물의 정상/불량 여부를 판별할 수 있도록 하였으며 그 과정은 <그림 1>에 나타내었다.

<그림 1>의 단품 처리과정에서 획득한 다음을 분석하여 얻은 공진 주파수의 예를 <그림 2>에 나타내었으며 <그림 3>은 피검사물의 결함에 따른 공진 주파수의 변화로 인한 주파수 대역 이동에 대한 설명을 각각 나타내었다.

음향신호 인식형 비파괴 전수 검사 수행을 위한 알고리즘을 살펴보면 가진기를 이용하여 검사제품을 타격으로 발생한 음향신호를 마이크로폰을 통해 획득한 후 피검사 제품의 공진 주파수 분석과 함께 획득한 음향신호의 특징추출 및 인식 알고리즘을 적용하여 제품의 정상/불량 여부를 판별하고 실시간 작업 현황 분석 및 품질향상을 위한 통계

자료를 위해 피검사 재료의 성분 정보 및 검사 결과를 데이터베이스에 저장처리 하도록 하였다.

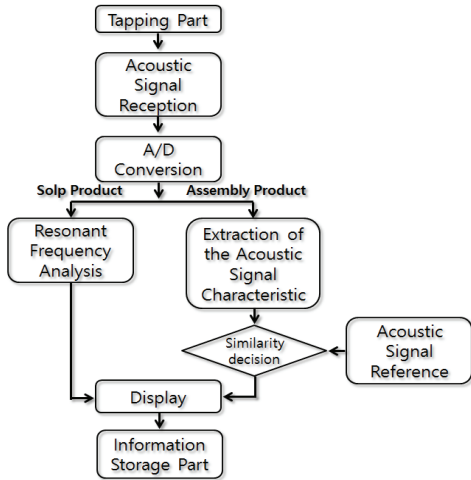


그림 1. 제품 (단일/조립)에 따른 검사 방법
Figure 1. Testing method of the product (solp/assembly)

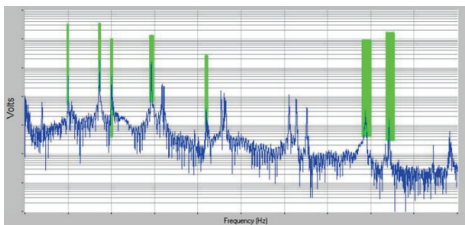


그림 2. 공진 주파수 분석 예
Figure 2. The example of the resonant frequency analysis

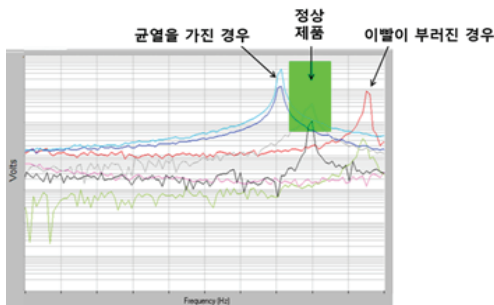


그림 3. 제품검사의 예 (그랭크의 경우)
Figure 3. The example of the parts inspection (In case of cranks)

3.2 음향 신호에 적용한 패턴 인식 알고리즘

최근의 음향 공진 주파수를 이용한 비파괴 검사 장치는 피검사 재료별 정상 제품에 대한 ROI영역을 선정하여 공진 주파수의 피크치 들이 ROI 내부에 위치하는지의 유/무만을 이용하여 불량검출을 수행함으로써 조립제품의 경우 검사가 불가능한 것으로 알려져 있다. 따라서 이를 개선코자 본 연구에서는 음향신호에 적용 가능한 패턴인식 알고리즘을 통한 제품의 정상/불량을 판정하는 방식을 도입하여 적용하였다.

처리과정을 살펴보면 먼저 음향신호의 특징추출을 위하여 주로 음성인식에 사용되는 사람의 청각 특성을 반영한 MFCC [1,8,9,10,11]를 구하였다. MFCC 추출을 위한 알고리즘 블록도를 <그림 4>에 나타내었다.

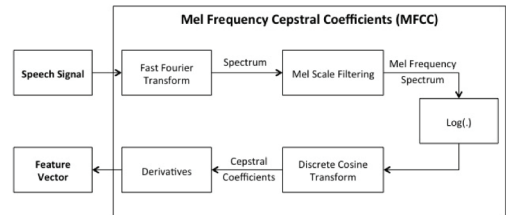


그림 4. MFCC 알고리즘 블록도
Figure 4. Block diagram of the MFCC algorithm

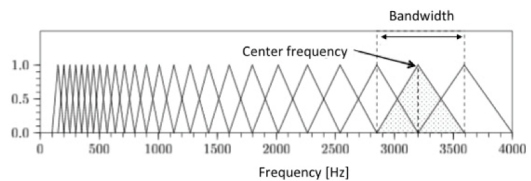


그림 5. 25-대역필터를 가지는 필터뱅크
Figure 5. Filterbank with 25-triangular bandpass filters

이 MFCC는 직접적인 음향분석 파라미터로는 부적합하므로 분석대상 음향신호에 적합한 <그림 5>

에 제시한 필터뱅크[12-15]로 구성된 새로운 특징 파라미터 제안하고 이를 기반으로 구성된 특징 파라미터를 이용한 음향신호 인식에 의한 검사를 수행하였다.

음향신호에 적용 가능한 패턴인식 알고리즘을 통한 조립 제품의 정상/불량 검사 판정 과정의 블록도와 이 기법에 의한 크랭크 조립 제품에 대한 정상/불량 검사 결과의 예를 <그림 6>과 <그림 7>에 각각 나타내었다.

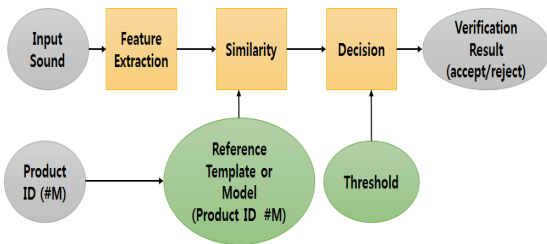


그림 6. 음향신호의 인식방법의 예
Figure 6. The example of the recognition method of the acoustic signal

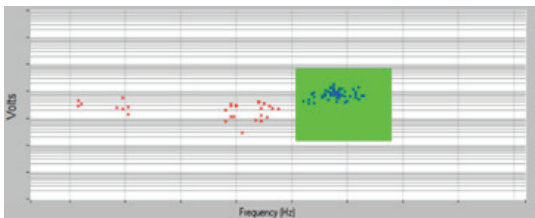


그림 7. 공진주파수와 음향신호 조합에 의한 검사결과예 (조립품)
Figure 7. The example of the inspection by the resonant frequency and acoustic signal (assembly)

일반적인 공진주파수에 의한 검사기법과 공진주파수와 더불어 <그림 6>에 제시한 음향신호 특징에 의한 검사기법의 조합으로 1,000샘플에 대하여 수행한 검사결과를 <표 2>에 나타내었다.

표 2. 공진주파수와 음향신호 조합에 의한 검사결과 (표본:1,000ea)

Table 2. Inspection rates of the resonant frequency and acoustic signal (samples:1,000ea)

-	Pass rates after inspection(%)	
Method	Resonant frequency	Resonant frequency + acoustic signal
Solp	99	-
Assembly	-	97.8

4. 결론 및 향후 개선사항

본 연구에서는 타격음의 음향신호 인식을 기반으로 한 비파괴 전수검사 시스템은 기존의 개발 기술인 단일제품에 대해서만 적용 가능한 공진 주파수를 이용한 검사, 뿐만 아니라, 조립제품의 검사 또한 가능하도록 음향신호에 적용 가능한 패턴 인식 알고리즘을 적용하여 검사 대상물의 정상/불량 여부를 판별하는 알고리즘 및 처리기술을 제안하였다. 이 처리기법은 검사과정 및 제시한 검사결과로써 정확성과 신뢰성을 확인할 수 있었다.

이로써, 정상 제품의 타격음 데이터를 수치 해석적으로 계산하여 제품의 불량 유/무 결과를 얻음으로서 보다 객관적이고, 정확하며 신뢰성 있는 제품 검사를 통한 검사 제품의 품질 향상할 수 있었으며 특히 피검사 재료의 주파수 특성 뿐만 아니라 음향학적 특징을 조립제품에 새로이 적용함으로써 가능성을 충분히 확인할 수 있었다.

앞으로, 계속하여 본 연구에 적용한 음향신호 전용 신호처리 컴포넌트 기술의 국산화를 시도할 계획이다.

References

[1] K. G. Boving, *Non-destructive examination methods for condition monitoring*, Elsevier Science, 2014.

- [2] A. Katunin, K. Dragan, and M. Dziendzikowski, *Damage identification in aircraft composite structures: A case study using various non-destructive testing techniques*, Elsevier Science, 2015.
- [3] R. I. Haque, C. Loussert, M. Sergent, P. Benaben, and X. Boddaert, *Optimization of capacitive acoustic resonant sensor using numerical simulation and design of experiment*, *Sensors*, Vol. 15, No. 4, pp. 8945-8967, 2015.
- [4] R. M. Hendrix, H. R. Jones, A. Fosnight, R. Shaver, E. Best, B. Shockey, R. A. Coutu, D. Langley, L. A. Starman, and J. A. Deibel, *Bending induced tuning of the resonant response of a flexible THz metamaterial device*, 39th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves, 2014.
- [5] V. Fokin, M. Ambati, C. Sun, and X. Zhang, *Method for retrieving effective properties of locally resonant acoustic metamaterials*, *Physics Review B*, Vol. 76, No. 5, pp. 144302-144305, 2007.
- [6] H. Zhang, and E. S. Kim, *Micromachined acoustic resonant mass sensor*, *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 14, No. 4, pp. 699-706, 2005.
- [7] Z. Fang, and L. Zheng, *Topology optimization for minimizing the resonant response of plates with constrained layer damping treatment*, *Shock and Vibration*, Vol. 2015, 2015.
- [8] M. Xu, K. Aizawa, Y. Nakamura, and S. Satoh, *HMM-based audio keyword generation*, *Advances in Multimedia Information Processing, PCM 2004: 5th Pacific Rim Conference on Multimedia*, 2004.
- [9] M. Sahidullah, and G. Saha, *Design, analysis and experimental evaluation of block based transformation in MFCC computation for speaker recognition*, *Speech Communication*, Vol. 54, No. 4, pp. 543-565, 2012.
- [10] D. L. Farley, *Implementation of a high-speed FPGA and DSP based FFT processor for improving strain demodulation*, Bibliogov, 2016.
- [11] M. Gang, Z. X. Wei, Y. J. Bin, Z. Xia, and P. Z. Song, *Speech reconstruction from MFCC based on nonnegative and sparse priors*, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, 2015.
- [12] J. E. Kim, and I. S. Lee, *Speech/mixed content signal classification based on GMM using MFCC*, *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 50, No. 2, pp. 185-192, 2013.
- [13] M. N. Do, and Y. M. Lu, *Multidimensional filter banks and multiscale geometric representations*, *Signal Processing: Vol. 5*, No. 3, pp. 157-264, 2012.
- [14] L. Zhang, and A. Makur, *Multidimensional perfect reconstruction filter banks: an approach of algebraic geometry*, *Multidimensional Systems and Signal Processing*, Vol. 20, No. 1, 2009.
- [15] Y. M. Lu, and M. N. Do, *Multidimensional directional filter banks and surfacelets*, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 16, No. 4, pp. 918-931, 2007.

제조 부품 타격 음향신호 인식형 비파괴
품질 검사법

이광석

경남과학기술대학교 전자공학과

요 약

본 연구에서, 우리는 음향신호 인식을 기반으로 한 새로운 비파괴 전수검사 기법을 새로이 제안하였다. 이 기법은 각종 기계부품 제조업 분야에서 피검사물의 정상/불량을 판별하는 데 기여한다. 또한 가진기를 통해 검사 대상물의 표면을 일정 강도로 타격 후 발생하는 타격음 측정치의 공진 주파수 분석과 음향신호에 응용 가능한 패턴인식 알고리즘을 적용하였다. 제안한 방식에 의한 검사 실험에서 획득한 데이터를 수치해석으로 계산하여 제품의 불량 유/무 결과를 얻음으로써 보다 객관적이고 정확하며 신뢰성 있는 검사능력을 확인할 수 있었다. 향후 본 기술의 국산화에 관한 연구를 계속할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 2016년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.



Gwang Seok Lee received the bachelor's degree in the Department of Electronic Engineering from the Dong-A University in 1983. He received the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Electronic Engineering from Dong-A University in 1985 and 1992, respectively. He was a professor in the Department of Electronic Engineering at Gyeongnam National University of Science and Technology from 1995. His current research interests include speech recognition, artificial intelligence, intelligent systems, fuzzy sets and biometrics. He is a life member of the KKITS.

E-mail address: kslee@gntech.ac.kr