

음향방출 신기술 동향

Research Trend on Acoustic Emission Technology

윤동진, 한병희 (한국표준과학연구원)
 Dong-Jin Yoon and Byeong-Hee Han (KRISS)
 E-mail: djyoon@kriss.re.kr

본 고에서는 음향방출기술 분야에서 최근 활발히 연구되고 있는 신기술에 대해 살펴보기로 하였다. 최근 연구 동향의 주류는 통신 기술의 발전에 따른 무선 센서 및 네트워크 기술, 구조물의 대형화 및 재료의 불균질성에 따른 기존 위치 표정기술에 대한 난제 해결, 측정 환경의 애로점을 극복하기 위한 비접촉 음향방출 송수신 기술, 그리고 새로운 영역의 출현으로 인한 에너지 분야에서의 적용 연구 등이 큰 비중을 차지하고 있음을 확인 할 수 있었다.

1. 무선 음향방출 센서 및 신호처리 (Wireless Sensor and Network)

음향방출 모니터링 기법은 상시 감시에 적용하기 적합한 기법으로서, 대형 구조물의 상시 감시

를 위해서는 복잡한 유선 시스템을 탈피할 수 있는 무선 AE 시스템 개발이 연구되어지고 있다. 무선 AE 시스템은 음향방출 센서, 센서 구동 및 신호 수집 및 처리, 저장을 위한 앰프 및 측정 유닛, 데이터 전송을 위한 무선 통신 유닛 및 각 유닛의 구동을 위한 배터리로 구성되며, 이들 유닛의 소형화 및 저전력화가 지금까지의 핵심 개발 내용이었다. 최근에는 보다 더 오래 사용할 수 있는 무선 장치 개발을 위해 음향방출 센서로부터 전력을 발전시키는 에너지 하베스팅 시스템의 적용 및 무선으로 전달되는 데이터의 양을 축소시킬 수 있는 새로운 신호처리 기법의 개발 및 위치 표정 기법의 적용을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 대표적인 응용 사례가 아래의 교량과 같은 대형구조물에서의 무선 AE 센서 시스템 적용 연구라 할 수 있다[1].

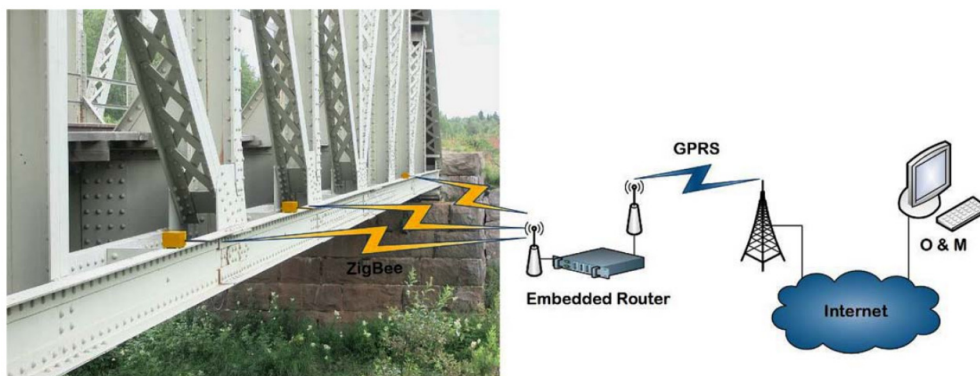


Fig. 1 Scheme for wireless sensing of large structures using radio frequency transmission techniques and MEMS based sensors [1]

2. 위치표정기술 (Source Location Method)

구조물에서의 손상 위치 표정 기법에 관련된 신기술 개발은 크게 두 가지 방향으로 진행되고 있다. 하나는 무선 시스템에 적용 가능한 알고리즘 개발이며, 다른 하나는 이중 재료로 구성된

대형 복합소재 구조물에서의 손상 위치 표정이 가능한 알고리즘 개발이다. 먼저, 무선시스템에서 위치표정 기법을 적용시 개별 유닛으로 측정되는 신호의 동기화가 어려우므로 하나의 유닛에서 위치 표정에 필요한 센서의 수만큼 채널을 확보한다. 이러한 환경에서 좁은 범위에 센서를 배치하

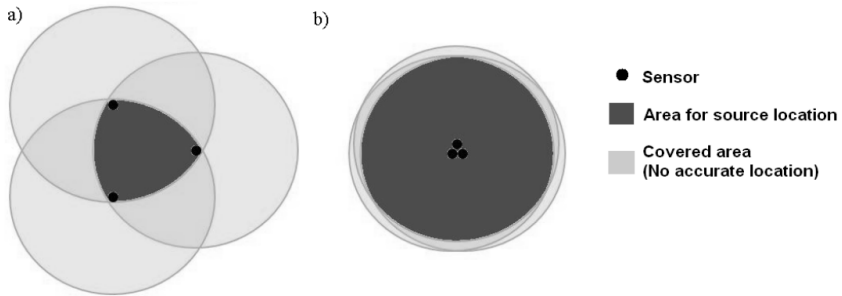


Fig. 2 Comparison of covered area of TOA and local triangular sensor array method[2]

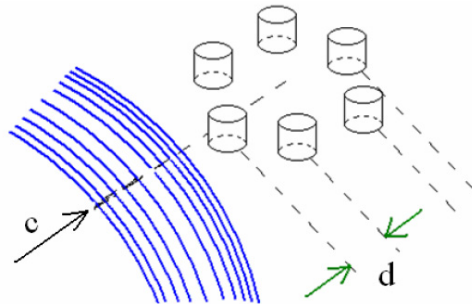


Fig. 3 A spherical wave with propagation velocity c impinges upon a planer, circular array of six elements[3]

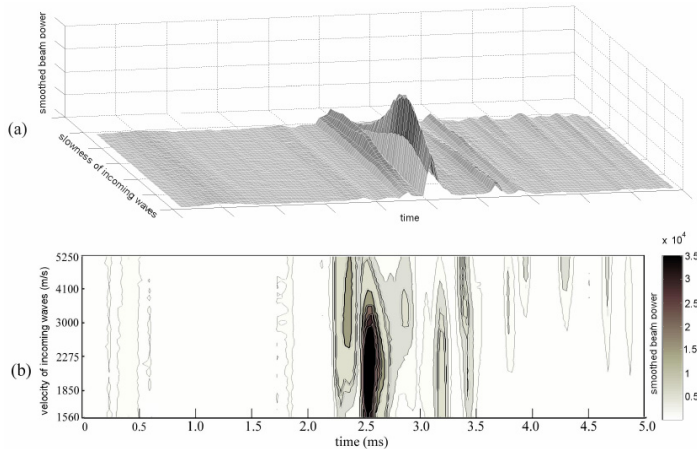


Fig. 4 The vespagram (a) and contours of the 3D plot (b) for a typical acoustic emission in a reinforced concrete structure[3]

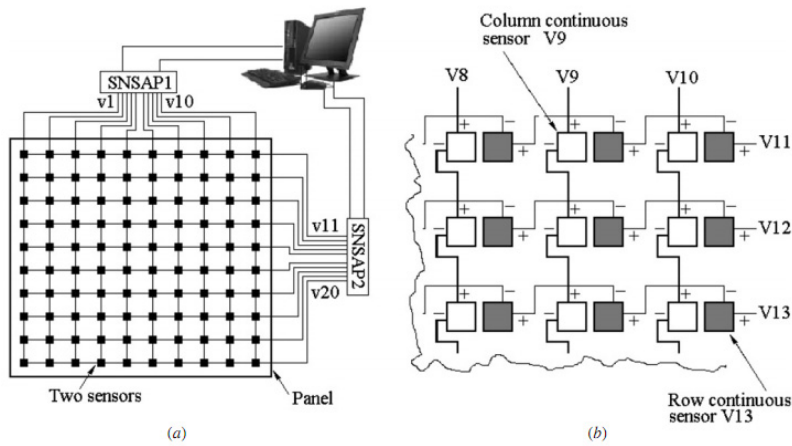


Fig. 5 Architecture of the SNS: (a) each small square indicates two adjacent sensor nodes. (b) the magnified view of the detail of sensors arrangement to form row continuous sensors and column continuous sensors [4]

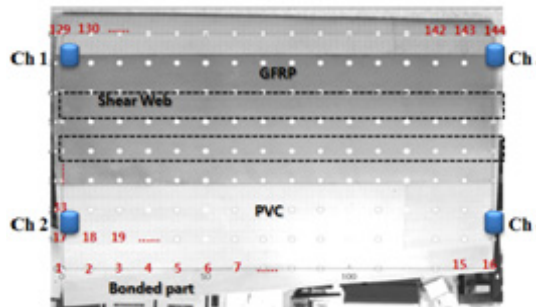
고 넓은 범위에서 손상 측정 및 위치 표정이 가능하도록 하는 새로운 센서 배열 및 신호처리 기법[2,3]이 연구되고 있다.

또한 풍력 블레이드 및 항공기 날개와 같이 이방성 재료로 구성된 대형 복합재 구조물 들은 높은 안전성이 요구되는 구조물에 주로 사용되고 있어 상시 감시 시스템의 요구가 매우 큰 분야이다. 하지만 감쇠 및 속도 측정의 단점이 존재하는 이방성 재료의 경우 검출 및 위치 표정 측정이 난해한 것은 사실이다. 따라서 대형 복합재 구조물에서의 손상 위치 표정을 위한 새로운 기법 연구로서 기존 기법의 단점을 보완하기 위한 연구가 진행되고 있다. 최근 연구로서 neural sensor network를 이용하여 측정 채널의 효율적인 사용에 의한 위치 표정 성능의 향상을 꾀하고 있으며[4], database map 기반 algorithm 개발에서는 새로운 파라미터 및 손상 추적 알고리즘의 적용을 통하여 위치표정 결과의 향상 및 적용 분야의 확장에 새로운 장을 열기도 하였다[5].

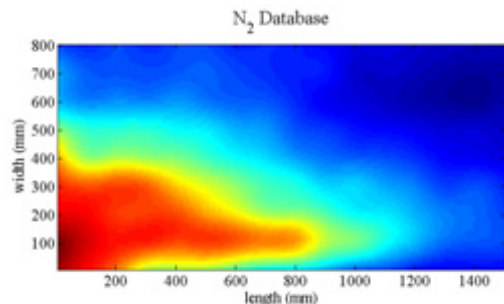
3. 연료전지 개발에의 적용 연구

Li-Ion 배터리 개발에 응용한 AE 시험: 고효율 배터리 개발은 무공해 차량 및 스마트폰 사용 시간 향상을 위해 매우 중요한 기술로서 최근 각광 받는 연구 분야이다. 소형 휴대용 기기의 배터리로 많이 이용되고 있는 리튬-이온 배터리의 성능 향상을 위하여 미국의 테네시 대학과 Oak Ridge

National Laboratory에서 음향방출 기법을 적용한 연구로서, 리튬-이온 배터리의 재료가 되는 실리콘 재료의 거동을 음향방출 실험을 통하여 측정하여 배터리 방전 특성을 개선하는 기초 연구가 진행되고 있다[6]. 아래 그림에서는 실험 개요 및 대표적인 결과를 보여주고 있다.



(a) 블레이드 시편 및 database 확보를 위한 신호 입력



(b) 손상 위치 표정을 위한 Database map

Fig. 6 Database map 알고리즘 기반 블레이드 손상 위치 표정 기법[5]

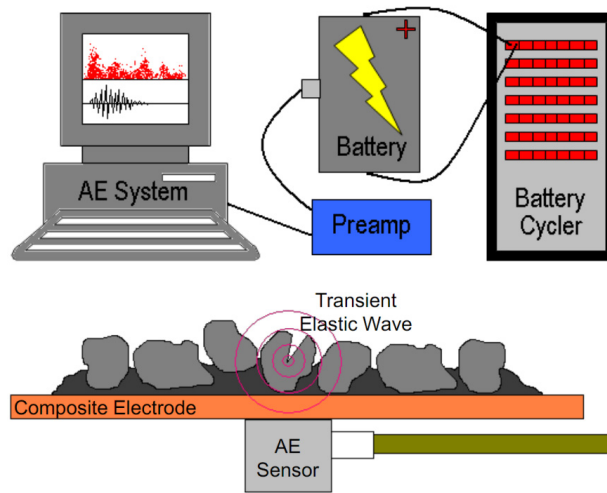


Fig. 7 Schematic diagram of measurement setup

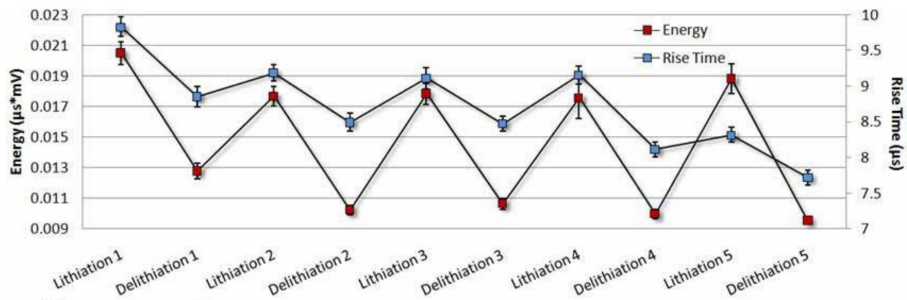


Fig. 8 Typical acoustic emission behavior for the process of lithiation

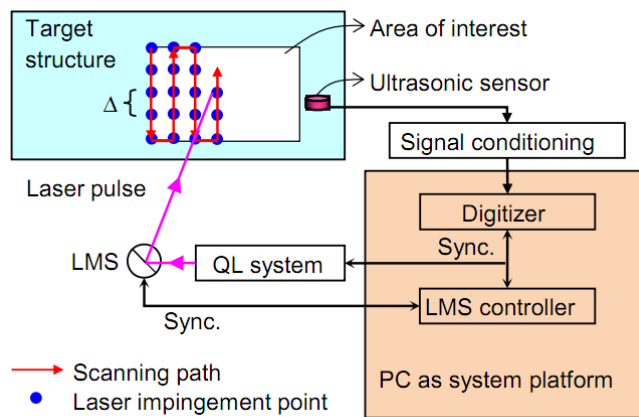


Fig. 9 System schematic showing raster scan paths. laser mirror scanner(LMS), Q-switched Nd:YAG diode-pumped solid-state laser (QL)[8]

Ni-HM 배터리의 생산 공정 효율화를 위한 AE 시험 적용: 니켈-메탈 수소 전지는 리튬-이온 전지의 등장으로 시장 점유율이 낮아지는 추세였으나 최근 하이브리드 자동차에 사용되면서 다시 한번 각광받게 되었다. 니켈-메탈 수소 전지의 성능 향상을 위하여 제조 공정상에서 니켈 재료의 분류를 위해 음향방출 기법을 적용하는 연구가 진행되고 있다. 니켈 재료의 충전 과정 중에 발생하는 MgNi과 LaNi의 음향방출 신호의 차이를 측정하여 재료를 구분해냄으로써 배터리의 성능을 향상시킬 수 있게 된다[7].

4. 비접촉 음향방출 기법

측정 환경이 유해하거나 접근이 어려운 곳에서의 음향방출 측정의 경우 최근에는 레이저를 이용한 비접촉 음향 발생 및 탄성과 측정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 수동적인 탄성과 측정의 경우 비접촉적인 방법으로 주로 laser vibrometer 등을 이용해 표면에서의 변위를 측정할 수 있으며, 이와 반대로 능동적인 음향방출 발생원을 만들고자 할 때에는 고출력 레이저 가진을 이용하여 임펄스 형태의 신호를 발생할 수 있다. 이들 기능의 대표적인 예로서 구조물에 미리 내장된 음향방출 센서 및 스캐닝이 가능한 고출력 원거리 레이저를 이용하여 대형 복합재 구조물에서의 손상 위치를 가시화 하는 연구 등이 이루어지고 있다[8].

참고문헌

[1] Christian U. Grosse, Steven D. Glaser and Markus Krüger, "Initial development of wireless acoustic emission sensor nodes for civil infrastructure state monitoring," *Smart Structures and Systems*, Vol. 6, No. 3, pp. 197-209 (2010)

- [2] A. Dirk, C. Alex and W. Steve, "Acoustic emission source location in plate-like structures using a closely arranged triangular sensor array," 29th European Conference on Acoustic Emission Testing, Austria (2010)
- [3] Gregory C. McLaskey, Steven D. Glaser and Christian U. Grosse, "Acoustic emission beamforming for enhanced damage detection," *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2008, Proceedings of the SPIE*, Vol. 6932, pp. 693239-693239-9 (2008)
- [4] M. J. Schulz and M. J. Sundaresan, "Smart sensor system for structural condition monitoring of wind turbines," Subcontract Report NREL/SR-500-40089, National Renewable Energy Laboratory, CO, USA (2006)
- [5] 한병희, 윤동진, "음향방출신호 맵핑을 이용한 풍력 블레이드 손상 검출 기법", *비파괴검사학회지*, Vol. 31, No. 1, pp. 68-72 (2011)
- [6] K. Rhodes, N. Dudney, L. Edgar-Curzio and C. Daniel, "Understanding the degradation of silicon electrodes for lithium-ion batteries using acoustic emission," *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 157, Issue 12, pp. A1354-A1360 (2010)
- [7] H. Idrissi, A. Etienne and L. Roue, "Study of metal hydride electrodes for Ni-MH batteries by acoustic emission", 29th European Conference on Acoustic Emission Testing, Austria (2010)
- [8] J. R. Lee, C. C. Chia, H. J. Shin, C. Y. Park and D. J. Yoon, "Laser ultrasonic propagation imaging method in the frequency domain based on wavelet transformation," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 49, Issue 1, pp. 167-175 (2011)