

초음파를 이용한 모바일 비파괴 검사 시스템

권성근*, 이석환**

Mobile NDT Inspection System Using Ultrasonic

Seong-Geun Kwon*, Suk-Hwan Lee**

ABSTRACT

In order to inspect the quality of spot welding, inefficient destructive test and NDT (non destructive testing) utilizing expensive foreign ultrasonic inspection are being conducted in the automobile production lines, but NDT will be difficult to be used in the domestic automobile production due to complexity of the waveform analysis and lack of mobility. In this paper, NDT system inspecting the quality of spot welding based on mobile network is proposed to complement drawbacks of the conventional inefficient destructive testing and NDT inspecting the quality of spot welding. Regardless of daily condition of NDT tester, the proposed NDT system can determine the quality of spot welding automatically and transmit the information of NDT quality to smart devices of field workers in real-time so that convenience of NDT and productivity of automobile production will be improved. Several specimens with a variety of welding quality was produced to evaluate the performance of the proposed mobile ultrasonic NDT system and the conventional foreign equipment, through this experiments, the proposed mobile ultrasonic NDT system indicate the superior properties compared to the conventional equipment in terms of convenience, productivity, and economic.

Key words: NDT, Spot Welding, Ultrasonic , Transducer, Mobile Network

1. 서 론

완성차 업계에서 자동차 1대를 조립하기 위해서는 일반적으로 8천점의 저항 점용접 (spot welding) 을 수행하기 때문에 자동차의 충돌 안정성은 저항 점용접의 품질이 좌우한다. 저항 점 용접 시 발생하는 용접의 불량을 검사하기 위해서는 인장 테스트 및 드라이버 체크 등의 파괴 검사와 초음파 및 방사선 투과를 이용하는 비파괴 검사 (non-destructive testing, NDT)가 있다[1]-[3].

파괴 검사는 검사 시에 발생하는 외부 손상에 의한 외관 품질 저하와 검사 시간이 오래 걸린다는 단점이 있지만, 현재까지도 자동차 생산 라인에서 행해

지는 용접 품질 검사로는 외관검사와 샘플 채취 후 드라이버 체크를 통한 파괴 검사가 주를 이루고 있어 이에 대한 개선이 절실한 상황이다. 한편 NDT는 초음파 검사 방식이 주를 이루는데, 초음파 측정 파형에 대한 정확한 분석 능력을 갖춘 전문가가 필요하고, 초음파 측정 장비가 고가이고 전적으로 외산에 의존하고 있는 단점이 있다.

초음파 NDT는 용접 시편에 초음파를 투과한 후 반사된 신호를 분석하여 결함의 크기 및 위치를 판별하는 방법으로서, 측정 장비가 소형으로 취급이 간편하고 검사 결과를 바로 확인이 가능하여 검사 속도가 빠르며 결함의 위치를 정확하게 파악할 수 있는 장점이 있다. 하지만 1~5MHz대역의 특정 주파수의 초음파

※ Corresponding Author : Suk-Hwan Lee, Address: (71 2-701) 428, Sinseon-ro, Nam-gu, Busan, Korea, TEL : +82-10-6523-6666, E-mail : skyllee@tu.ac.kr
Receipt date : Nov. 3, 2015, Revision date : Dec. 1, 2015
Approval date : Dec. 7, 2015

* Department of Electronics Engineering, KyungIl University (E-mail : sgkwon@kiu.ac.kr)

** Department of Information Security, Tongmyong University

탐촉자를 사용해야 하고 시편의 금속 종류에 따라 주파수 대역을 달리해야 하는 단점이 있다[4-6].

대표적인 초음파 NDT 장비는 GE사에 독점 생산하고 있는데, 이는 장비의 크기와 무게로 인해 특정 측정 장소에 고정되어 있으므로 생산 현장에서 자유롭게 용접 품질을 측정하기에는 어려움이 있고, 초음파 트랜스듀서(transducer)와 측정 파형을 디스플레이하는 모니터가 일체형으로 구성되어 있어 IoT(internet of things)기반 스마트 팩토리(smart factory)를 추구하는 생산 현장의 현실과는 괴리가 있다. 따라서 특정 회사가 고가로 독점 공급하고 있는 기존의 초음파 NDT 장비의 단점을 개선하여 휴대와 사용이 간편한 저가의 보급형 초음파 NDT 검사 장비의 개발이 필요하다[7].

본 논문에서는 초음파를 이용한 모바일 NDT 검사 시스템을 제안하는데, 제안한 NDT 시스템에서는 숙련된 용접 비파괴 검사 요원들이 필요 없이 용접 품질을 자동으로 판단할 수 있는 알고리즘을 개발하고, Wi-Fi 등[8]의 무선 네트워크를 통해 모바일 기반의 검사 방식을 개발하여 관리자의 스마트 기기에서 측정된 파형과 용접 품질을 확인할 수 있는 장점이 있다.

본 논문은 II장에서 국내외 초음파 NDT 기술의 현황, III장에서는 제안한 모바일 기반 초음파 NDT 검사 방법에 대하여 설명하고, IV장에서는 본 NDT 시스템의 성능을 평가하기 위한 실험을 진행하여 V장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 논의하는 것으로 구성된다.

2. 관련 연구

자동차 생산 현장에서 용접 품질을 효과적으로 측정하기 위해서는 NDT 검사가 필요한데, 본 장에서는 용접 품질 측정과 관련된 국내외 기술 현황에 대하여 살펴본다.

2.1 국외 기술 동향

용접 품질 검사를 위한 국외 초음파 NDT 장비는 매우 고가여서 국내 완성차 업계 및 협력사에 도입하기에는 부적합하다고 판단되고, 초음파 출력 파형에 대한 정확한 분석 능력을 보유한 NDT 분석 요원에 의해서만 품질 판단이 가능하므로 이를 활용할 수

있는 전문가의 양성이 부가적으로 필요하다.

초음파 NDT 검사장비 업계의 시장 점유율 1위인 GE사는 Fig. 1에서와 같이 랩 타입의 장비를 개발하여 판매하였고, 최근에는 노트북 및 PC 기반의 휴대용 저항 점용접부 품질 검사 전용 초음파 검사 장비를 개발하여 판매 중이지만 고가로 인해 국내에서는 완성차 제조업체 및 협력사 등 극소수 업체만 보유하고 있지만 대부분의 해외 완성차 업체에서는 본 장비를 활용하여 용접 품질을 판단하고 있다.



Fig. 1. Ultrasonic NDT inspection system of GE.

2.2 국내 기술 동향

국내의 자동차 차체 생산 현장에서 사용되는 점용접부 검사 방법은 주로 외관 검사 및 드라이버 체크를 통한 NDT 검사가 있는데, 일부 주요 공정에서 초음파 NDT 검사를 수행하고 있으나 용접 품질을 판독할 수 있는 전문가가 부족하고 장비가 고가여서 초음파 NDT 검사는 국내에서는 활성화는 되지 않고 있다. 국내에서 개발된 점용접 품질 검사용 초음파 NDT 장비는 전무하고, 국내의 초음파 개발은 의료기에만 국한된 상황이다.

따라서 본 논문에서는 장비의 이동과 모바일 네트워크를 지원하지 않는 기존의 초음파 NDT 장비의 단점을 개선하여, 모바일 기반의 점용접 품질 자동판단 초음파 NDT 시스템을 제안한다.

3. 제안한 초음파 NDT 검사 시스템

제안한 모바일 기반 초음파 NDT 검사 시스템은 자동차 차체의 저항 점용접부 품질을 자동으로 판정할 수 있는 모바일 무선통신 기반의 초음파 NDT 검사 장비로서 용접 품질을 판단할 수 있는 알고리즘, 모바일 기반의 무선 탐촉자, 무선 탐촉자의 신호를 분

석하고 디스플레이하는 스마트기기로 구성된다.

3.1 초음파 탐촉자 설계

저항 점용접부 검사 전용의 초음파 탐촉자 모듈에는 품질 측정 파형이 디스플레이되는 스마트기기와 무선 통신을 위한 통신 모듈과 이를 구동하기 위한 드라이버 펌웨어가 필요하다. 초음파 NDT를 위해 탐촉자를 새롭게 설계하는 것은 비현실적이므로 Fig. 2에서와 같은 형태의 올림푸스사에서 제조한 트랜스듀서를 채택하였다.

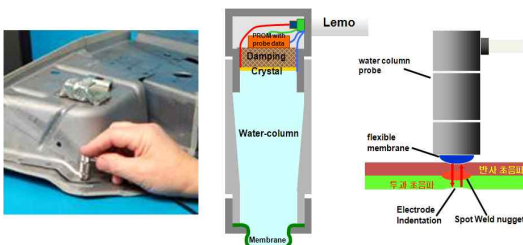


Fig. 2. Structure of ultrasonic transducer.

3.2 초음파 검출 신호 처리

초음파 신호를 대상 용접 시편에 방사 (emission) 하고 반사되는 에코 신호를 수신하는 기능을 담당하는 부분이 트랜스듀서인데, 본 트랜스듀서에서 수신되는 에코 신호는 여러 가지 원인에 의해 노이즈 성분들이 존재하게 된다. 따라서 트랜스듀서 신호를 용접 품질 정보를 포함한 데이터로서 디스플레이하기 위해서는 에코 신호들에 대하여 Fig. 3에서와 같은 신호처리 과정을 거친다. 초음파 주파수가 20MHz에서 동작하므로 에코신호를 20MHz의 중심주파수를 기준으로 $\pm 10\text{MHz}$ 의 대역폭으로 BPF (band pass filter)를 적용하여 에코신호의 노이즈를 제거한다[9].

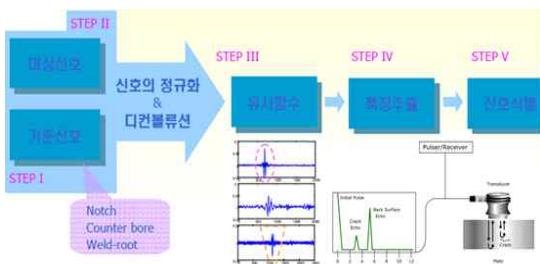


Fig. 3. Block diagram of signal processing for ultrasonic echo signal.

3.3 품질 DB 구축 및 자동품질 판단 알고리즘 개발

서로 다른 모재를 용접하기 위해 용접봉에는 용접 전류, 통전시간, 가압력 등의 입력 조건이 인가되는데, 이에 따른 용접의 불량 요인을 분석하기 위해서 본 논문에서는 용접전류, 통전시간, 가압력 등에 따라 용접부 너겟 (nugget)의 상태를 파악하기 위하여 Fig. 4에서와 같은 방법으로 다양한 입력 값에 따른 용접 품질 DB를 Fig. 5에서와 같이 구축하였다.

3.4 용접 품질 판단 알고리즘 및 모바일 앱 개발

다양한 값을 갖는 용접전류, 통전시간, 가압력에 따라 다양한 용접 품질을 갖는 시편을 제작하였고, 이에 따라 용접 품질을 Fig. 6에서와 같이 OK, Small nugget, Stick, Loose, Bad through welding, 및 Burnt 등 6종류로 분류하였다. 예를 들면, 정상적으로 용접이 되었을 경우 (OK)는 너겟이 적절하게 생성되어 에코 신호의 크기가 많이 감소되고 시간 간격도 넓게 되고, 너겟의 폭이 작은 경우 (Small)는 용접이 이루어지지 않은 접합부에서 발생하는 결함 에코 신호 (flaw echo signal)이 발생하며, 매우 약하게 용접이 된 경우 (Loose)는 상판에서 반사되어 오는 에코 신호들이 매우 촘촘히 발생한다. 그리고 과전류가 흘러 용접부 전체에 너겟이 발생한 경우 (Burnt)는 에코 신호의 감쇠가 거의 없는 것을 알 수 있다.

이와 같은 에코 신호의 파형을 분석하여 본 논문에서는 용접 품질을 자동으로 검출하는 알고리즘을 개발하여 초음파 NDT 검사자가 없이도 점용부 품질을 정확하게 판단할 수 있다. 자동차 생산 라인의 관리자들이 점용접 품질을 자신의 모바일기기에서 확인할 수 있도록 모바일 앱을 제작하였는데, 초음파 에코신호를 화면의 상단에 표시하고 이에 따른 용접 품질의 판정 결과를 하단에 표시하는 GUI를 Fig. 7에서와 같이 구성하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 초음파 모바일 NDT 검사 장비의 성능을 평가하기 위하여, Fig. 8에서와 같은 표준 용접 시편을 이용하여 자동 용접 품질 알고리즘과 모바일 특성을 시험하였다. 즉 6개의 용접 품질을 갖는 시편에 대하여 제안한 NDT 검사 장비를 통해서

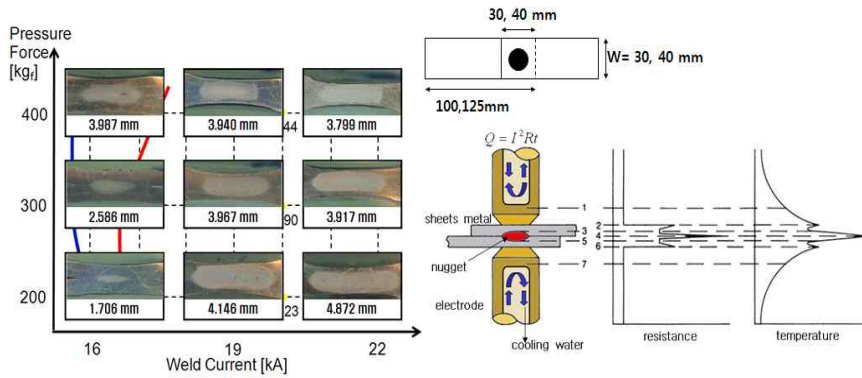


Fig. 4. Process of database generation for spot welding quality.

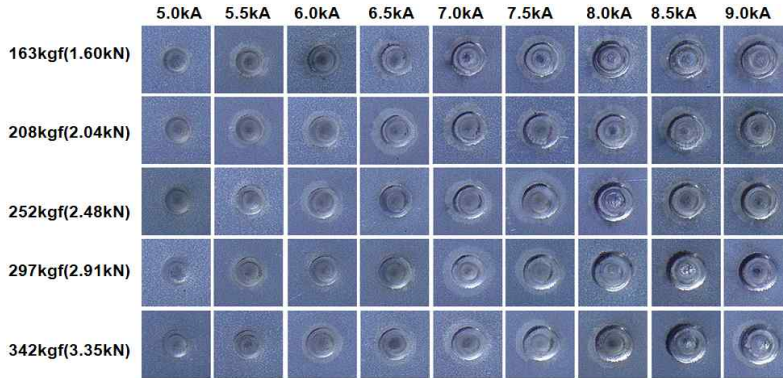


Fig. 5. Database generation for spot welding quality.



Fig. 6. Characteristics of echo signal according to the results of spot welding.

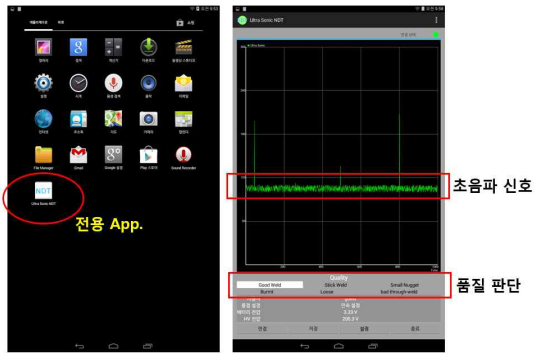


Fig. 7. Smart phone application displaying welding quality.

용접 품질을 측정 후, 자동 품질 판단 알고리즘에 의해 스마트기기에 표시되는 용접 품질 결과를 확인하는 방식으로 실험을 진행하였다. 본 실험에 사용된 제안한 모바일 NDT 검사 모듈과 모바일기에 디스

플레이된 에코 파형의 예는 Fig. 9에서와 같다.

4.2 실험 평가

제안한 모바일 NDT 검사 장비의 성능을 평가하기 위하여, Fig. 8에서 같은 시편의 Loose, Small nugget, Good weld, 및 Burnt weld의 4가지 용접 품질에 대하여 실험을 진행하였다. 본 실험에 사용된 초음파 트랜스듀서의 직경은 4mm이고 동작 주파수는 20MHz이며, 표준 시편에서 Loose, Small nugget, Good weld, 및 Burnt weld 등의 4종류의 용접 결과에 대한 측정된 에코신호는 Fig. 10에서와 같고 실제 용접 상태는 각 그림의 우측 상단에 나타내었다.

Loose 품질의 용접 상태는 상판과 하판의 용융된 부분이 거의 없기 때문에 크기가 큰 반사파가 상대적으로 매우 많은 것을 알 수 있고, Small nugget 및 Good weld 품질의 용접 결과에 대해서는 큰 크기를



Fig. 8. Standard welding specimens used in this experiments.

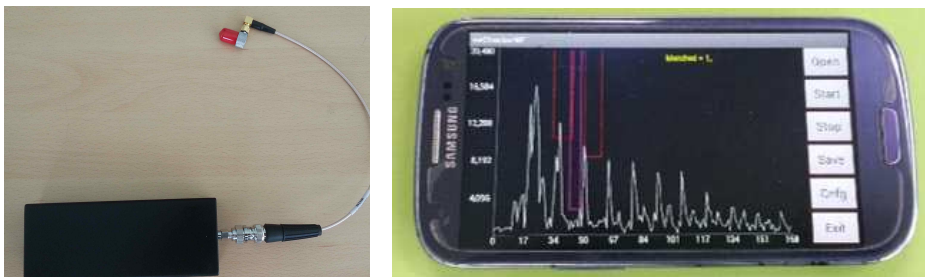


Fig. 9. Proposed mobile NDT inspection module and smart phone displaying an echo signal.

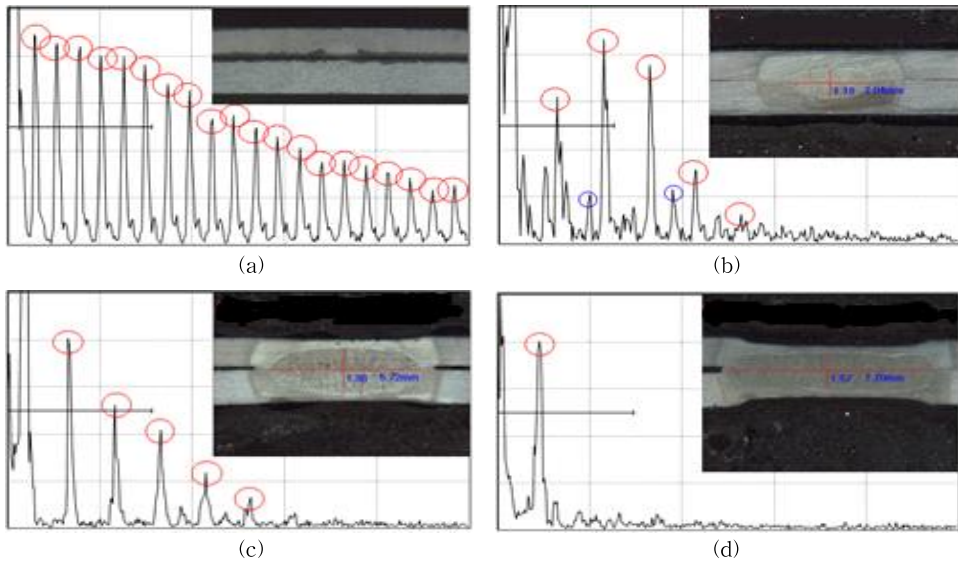


Fig. 10. Evaluation for welding quality of the proposed mobile NDT : (a) Loose, (b) Small nugget, (c) Good weld, and (d) Burnt weld.

갖는 반사파의 개수가 상대적으로 작으며, 과하게 용접이 되어 상판과 하판이 완전히 눌러 붙은 Burnt weld의 경우에는 하판의 하단에서 반사되는 반사파의 크기만 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다. Small nugget의 경우에는 너겟의 크기가 작으므로 큰 크기의 반사파 사이에 작은 크기를 갖는 반사파가 존재하기 때문에 Good weld와는 결과에 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

이상에서와 같이 본 논문에서 제안한 모바일 기반 초음파 NDT 검사 장비는 기존 장비에 비해 소형이므로 자동차 생산현장에서 이동 측정이 매우 용이하고, 초음파 측정 결과인 에코 신호를 무선 네트워크를 통해 모바일 기기로 전송할 수 있으며, 숙련된 비파괴 검사 요원의 도움 없이 점 용접 품질을 자동으로 판단할 수 있는 장점이 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 무선 통신을 활용한 모바일 기반으로 점용접 품질 검사 및 품질 관리를 효율적으로 할 수 있는 모바일 기반 초음파 NDT 시스템을 제안하였는데, 제안한 NDT 시스템에서는 용접 품질 자동판정 알고리즘을 통해 초음파 트랜스듀서를 통해 수신된 용접부의 에코신호를 통해 용접 결과를 OK, Small nugget, Stick, Loose, Bad through welding, 및

Burnt 등의 6종류로 분류할 수 있는 알고리즘을 개발하였고, 초음파 에코 신호를 무선 통신을 통해 스마트기기로 전송하여 생산 현장 관리자의 단말에서 용접 품질을 확인할 수 있다. 자동차 생산 라인에서는 용접부에 대한 외관검사와 샘플 채취 후 드라이버 체크를 통한 파괴 검사가 용접부의 품질 검사의 주를 이루고 있고, 외산의 고가 초음파 NDT 장비는 이동성 문제와 NDT 전문 요원을 양성해야 하는 문제점 등으로 현장 적용이 어려운 상황이다. 따라서 제안한 모바일 기반 초음파 NDT 검사 장비는 자동차 산업의 품질 검사 및 관리 부분의 기술 경쟁력 향상과 이로 인한 기업의 생산성 향상, 매출 증대, 및 고용 창출이 기대된다.

REFERENCE

[1] Y. Kim, P.W. Park, K.Y. Park, and C.R. Park, "Fabrication of Spot Welding Standard Specimen for Mobile Type Ultrasonic Test Equipment," *Proceeding of The Conference of the Korean Welding and Joining Society*, pp. 13 8, 2014.

[2] J.W. Jung, B.G. Ahn, H.S. Yoo, and H.S. Jung, "A Study on Ultrasonic Test for Evaluation of Spot Weldability in Auto, Materials (1 step

: Ultrasonic Characteristic with Welding Currents," *Proceeding of The Conference of the Korean Welding and Joining Society*, pp. 43-45, 1997.

[3] M.D. Leon, A.R. Nisay, A. Gorospe, and H.S. Shin, "Investigation of Horn Tip Patterns Effect in Ultrasonic Spot Welded A5052-H32 Joints," *Proceeding of The Conference of the Korean Society of Mechanical Engineers*, pp. 2831-2832, 2013.

[4] M.D. Leon and H.S. Shin, "Determination of Process Parameters for Ultrasonic Spot Welding of Aluminum Alloy Sheets," *Proceeding of The Conference of the Korean Welding and Joining Society*, pp. 131, 2013.

[5] M.D. Leon and H.S. Shin, "Development of Solid-state Process for Dissimilar Joining of Magnesium/Aluminum Alloys : Ultrasonic Spot Welding," *Proceeding of The Conference of the Korean Society of Mechanical Engineers*, pp. 669-670, 2014.

[6] J.K. Na, "Nondestructive Inspection of Resistance Spot Welds Using Matrix Phased Array Ultrasonic Technology," *Advanced Materials and Processes*, pp. 22-24, Mar, 2014.

[7] X. Zhao, Y. Zhang, and G. Chen, "Research for Ultrasonic Fast-Identification of the Stick-Weld Defect," *Proceeding of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pp. 81-85, 2006.

[8] H.S. Kim, J.H. Nah, S.H. Park, and S.Y. Kwak, "A Wifi Smart Poser Outlet for Remote Monitoring and Control of Power Consumption," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.17, No. 2, pp. 160-169, Feb. 2014.

[9] J. San Emeterio and M. Rodriguez-Hernandez, "Wavelet Denoising of Ultrasonic A-Scans for Detection of Weak Signals," *Proceeding of IEEE International Conference on Systems, Signals and Image*, pp. 48-51, Apr. 2012.



권 성 근

1996년 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1998년 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 2002년~2011년 삼성전자 무선사업부 책임연구원

2011년~현재 경일대학교 전자공학과 부교수
 관심분야 : 멀티미디어 암호, 모바일 방송, 워터마킹



이 석 환

1999년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2001년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2004년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 2005년~현재 동명대학교 정보보호학과 부교수

관심분야 : 워터마킹, DRM, 영상신호처리