

## 적응적 임계치를 적용한 멀티 채널 소리 기반의 데이터 전송 시스템

강현모\*, 정진우\*, 최천용\*, 권영훈\*, 이성구\*\*

### 요약

최근 스마트폰의 보급화로 기기 간 근거리 무선통신에 관련된 기술이 주목받고 있다. 하지만 NFC의 저 보급화로 근거리 무선통신에 별도 추가의 H/W 설치 없이, S/W기반으로 무선통신을 이루어 내는 통신 기술이 필요한 실정이다. 이에 모든 기기에 탑재되어있는 마이크와 스피커를 활용하여 소리를 활용한 근거리 무선통신 기술이 주목받고 있다. 본 논문에서는 소리의 다중채널 병렬식 전송으로 전송속도를 개선함과, 적응적 임계치를 활용하여 잡음 및 기기 마이크별 특성에 따른 상이한 전송률을 개선하는 방법을 제안한다. 이러한 연구는 기업홍보 목적이나 결제시스템과 같은 특정 제한된 조건이 아닌, 일반 사용자를 대상으로 빠르고 편리한 데이터 전송 시스템을 제공하는데 이용될 수 있다.

키워드 : 음향 통신, 적응적 임계치, 멀티 채널 병렬 전송, 적응적 임계치

## Data Transmission System Applying An Adaptive Threshold Based Multi-channel Sound

Gang Hyun-Mo\*, Jung Jin-Woo\*, Choi Chun-Yong\*, Kwon Young-Hun\*, Lee Sung-koo\*\*

### Abstract

Recently Wireless communication among short-distance devices has come to notice due to smart phone generalization recently. However, instead of setting up additional H/W, communication technology providing wireless communication based on S/W is in need due to limited availability of NFC's use. Accordingly, short-distance wireless communication technology that makes great use of mike and speaker which installed in every device draws attention. Our thesis suggests improvement of acoustic transmission speed by applying multi-channel parallel transmission and advancement of transmission rate that differed from each mike's own characteristics through optimizing adaptive threshold. The study is not only just applied in specific and limited conditions such as promoting corporation and payments system but also fast and convenient data transmit system general users-oriented.

Keywords : Acoustic Communication, Adaptive Threshold, Multi-channel parallel transmission

## 1. 서론

※ 교신저자(Corresponding Author): Lee Sung-Koo  
접수일:2014년 01월 02일, 수정일:2014년 01월 30일  
완료일:2014년 20월 27일

\* 한신대학교 컴퓨터공학부

\*\* 한신대학교 컴퓨터공학부

Tel: +82-31-379-0640. Fax: +82-31-379-0646

email: [sklee@hs.ac.kr](mailto:sklee@hs.ac.kr)

■ 본 연구는 한신대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

최근 기기 간 근거리 무선통신 관련 기술이 주목받고 있다. 보기를 들면 근거리 통신(NFC)은 가까운 거리에서 기기끼리 통신을 주고받도록 고안된 기술이다[1,2]. NFC는 차세대 무선결제 기반 기술로 각광받고 있지만 대중화하는데 많은 시간이 필요하였다. 가장 큰 문제는 NFC칩이 탑재된 단말기가 제대로 보급되지 않았다는 점인데, 전 세계 휴대폰 가운데 NFC칩이 탑재된 기기는 5% 미만인 것으로 추정된다. 스마트폰이라면 '와이파이 다이렉트[3]'나 '블루투스

[4]를 활용하여 기기끼리 근거리 무선통신을 이용할 수 있다. 그러나 이러한 무선 기술조차 사용할 수 없는 기기에 적용될 수 있으며 추가 하드웨어 모듈 장착 없이 소프트웨어 기반의 무선 통신을 수행하는 통신방법으로 소리 기반의 데이터 전송 방법이 화제가 되고 있다[5]. 본 논문에서는 소리 정보를 6채널 병렬식으로 전송하여 보다 빠른 전송속도를 가능하게 하며, 적응적 임계치를 적용하여 잡음에 강하고 마이크 기기에 독립적인 소리 기반 데이터 전송 방법을 제안하고자 한다.

소리를 데이터로 변환함에 있어서 6비트인 표준 BCD코드를 적용, 6채널 소리를 혼합하여 데이터를 구성한다. 소리는 2KHz ~ 4KHz 대역의 주파수를 사용하여 주위 잡음에 크게 민감하지 않으면서 인간이 듣기에 거부감이 없는 소리 통신을 수행한다. 마이크 의존도란 마이크 기기별 특징에 따라 소리 측정 수치가 달라질 수 있는데 이에 따른 전송도가 달라짐을 의미한다. 또한, 소음 및 통신 기기간의 거리와 같은 주위 상황에 따라 전송신호가 손실되거나 변형될 수 있다. 이에 본 논문은 적응적 임계치 적용하여 마이크 의존도를 낮추고 잡음에 강한 데이터 전송 방법을 제시한다.

본 연구 결과는 기기 간 근거리 무선통신에 있어서 별도의 H/W모듈 없이 S/W기반으로 소리가 닿는 범위 내 다수의 유저에게 일괄적으로 데이터를 전송할 수 있다. 이는 기업홍보 목적이나 결제시스템과 같은 특정 제한된 조건이 아닌 일반 사용자를 대상으로 빠르고 편리한 데이터 전송 시스템을 제공하는데 이용될 수 있다.

## 2. 관련연구

모든 통신기기는 마이크로폰과 스피커가 탑재되어 있기 때문에 소리 기반의 통신이 효율적이다. 즉 별도의 H/W모듈 없이 모든 기기에 존재하는 마이크로폰과 스피커를 활용하여 S/W기반으로 작동하는 무선 데이터 전송 기술이 발전할 것으로 전망된다[6,7].

Lopes[6]은 소리 통신 시 3가지 유의할 점으로써 추가적인 H/W설치 없이 기존 주어진 환경을 이용하여 데이터 통신을 이루어야 하고, 주변

잡음을 효과적으로 제거하여 정확한 데이터 추출이 가능하여야 하며, 인간이 들을 수 없으며 듣기에 거부감이 없는 소리를 이용하여야 한다고 언급하였다. 현재 이와 같이 소리를 이용하여 데이터 통신을 하는 전형적인 기술로는 사운드코드[7]과 드와니[8]가 존재한다.

### 2.1 사운드코드

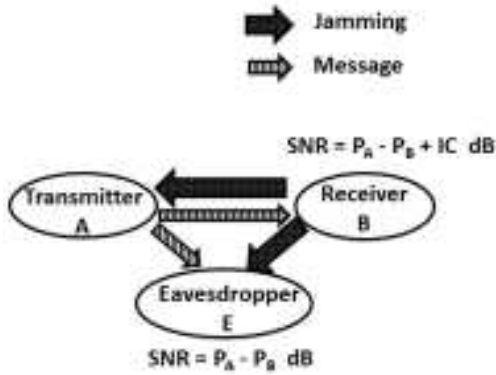
사운드코드는 음악과 같은 베이스, 오디오, 콘텐츠 상에 사람이 인지할 수 없는 데이터를 삽입하여 데이터를 전송하는 음파통신 기술이다[9]. 사운드코드는 스마트폰을 통해 데이터가 담긴 베이스 오디오 콘텐츠의 음파를 분석하고 데이터를 추출한다. 이 기술을 활용할 경우 음악이나 광고 속에 URL 전화번호, 텍스트 등의 부가적인 데이터를 사람이 인지하지 못하도록 첨부할 수 있다. 하지만 베이스 음원이 반드시 필요하며 음향 OFDM을 통한 기존 음원 음질이 저하되는 문제가 있다.

### 2.2 드와니

드와니는 소리 단일 채널 FSK(주파수 편이 변조) 방식을 사용한 기술이다[7]. FSK는 디지털 신호를 음성 신호로 변환하는 방식인데 데이터 '0'일 때는 낮은 주파수의 반송파를 데이터 '1'일 때는 높은 주파수의 반송파를 보낸다. 받을 때는 내장된 아날로그 비교기를 사용하여 음성 신호의 분석을 실시한다. 아날로그 비교기에서 음성 신호의 하강을 검출한다. 하강에서 다음 하강 시간을 계산하고 주파수를 찾아낸다. 주파수를 알게 되면 '0' 또는 '1'을 알 수 있으므로, 나머지는 전송 속도에 맞추어 디지털 신호를 복원한다. 드와니는 근처에 있는 다른 스마트폰이 소리를 수신할 수 없도록 '잼시큐어'란 기술을 적용하여 보안을 강화하였다.

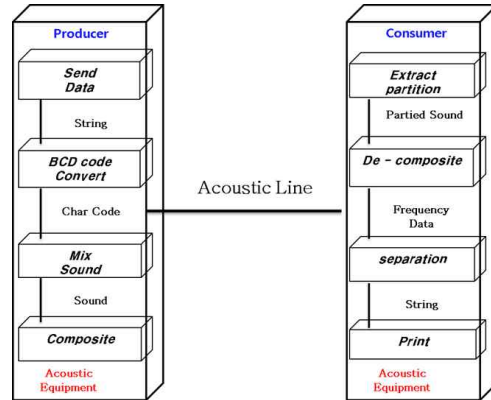
(그림 1)은 드와니의 잼시큐어 기술을 적용하여 데이터를 전송하는 과정을 보인다.

(그림 1) 드와니의 잼시큐어 기술[8]



(Figure 1) JamSecure in Dhvani[8]

(그림 2) 시스템 구성도



(Figure 2) System Architecture

### 3. 멀티 채널기반 소리 데이터 통신

#### 3.1 시스템 구성도

소리를 데이터로 변환함에 있어서 6채널 소리를 Mix하여 6비트 데이터를 이루고 소리는 2KHz~4KHz 대역의 주파수를 사용하여 주위 잡음에 크게 민감하지 않으며, 인간이 듣기에 거부감이 없는 소리 데이터 통신을 제안한다.

또한, 마이크 특성에 따라 기기별 소리 신호의 임계치가 각각 다르게 설정되어야 하는 문제점을 보완하기 위해, 적응적 임계치를 적용할 것을 제안한다. 적응적 임계치는 소음 및 통신 기기간의 거리와 같은 주위 상황에 따라 전송신호가 손실되거나 변형되는 현상을 보완할 것이다.

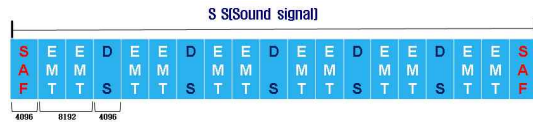
적응적 임계치를 설정함에 있어, 본 연구는 6개 채널이 모두 수신되는 start 신호음 소리 세기의 70% dB을 임계치로 설정하는 방법을 적용하였다.

(그림 2)는 송신단인 producer와 수신단인 consumer를 포함한 전체 시스템 구성도이다. producer는 데이터를 표준 BCD코드로 변환 후 6개 채널 소리를 합성하여 소리를 재생한다. consumer는 주파수 분석을 통해 6개 멀티 채널을 분할하는 과정을 통해 데이터의 수신이 이루어진다.

#### 3.2 송신단

데이터 전송에 필요한 소리는 잡음에 영향을 덜 받고 인간이 듣기에 거부감이 없는 2KHz~4KHz 주파수 대역의 소리를 이용하였으며, 해당 주파수 대역에서 각기 다른 주파수를 가지는 6개의 실로폰 소리를 이용하였다.

(그림 3) 소리 패킷 구조



(Figure 3) Sound Packet Structure

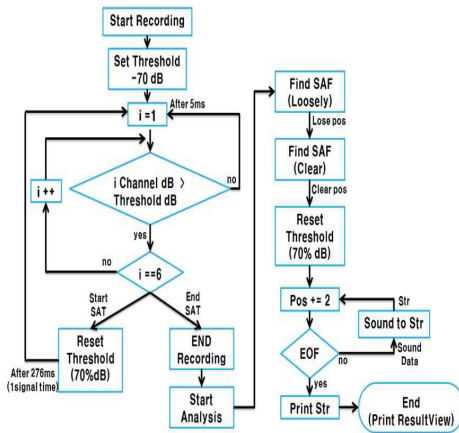
소리 패킷의 구조를 보이는 (그림 3)을 통해 Sender는 44100 Sample Rate의 속도로 소리를 재생한다. 소리 신호는 소리 신호의 시작과 끝을 알리는 SAF(Start And Finish)신호와 실제 6비트 데이터 신호가 달린 DS음, 그리고 전후 DS 사이의 데이터 간섭을 회피하기 위한 EMT음(공음)으로 구성되어 있다. 1개 소리 신호의 길이는 4096 Sample Data이며, 이는 0.093sec와 같다. EMT는 마이크 진동판의 관성에 따라 이전 DS가 죽지 않고 남아 있게 되는 현상을 완화하는 역할을 한다. EMT 신호의 길이는 수신자의 마이크 성능에 영향을 받는다. 본 연구에서 EPT 시간은 2 \* DS 신호 시간으로 채택하였다. 이는 낮은 마이크 사양의 모든 기기와 무리 없이 통

신하기 위함이며, 만약 수신 기기가 고정이라면 EMT 시간을 최적화하여 전송 속도의 향상을 기대할 수 있다.

### 3.3 수신단

수신단에서 소리 인식 및 데이터 추출 과정을 보이는 (그림 4)는 1개 DS 크기와 같은 4096개의 Sample Data를 이용하여 FFT변환을 수행하고 각 비트에 대응되는 주파수의 dB를 추출한다. 추출된 주파수 dB값이 threshold dB값보다 클 때 해당 비트를 1로 인지하고, 그렇지 않으면 0으로 인지한다. 수신자가 인식하는 신호음의 강도는 송신기기의 소리 세기, 거리 그리고 기타 주변 환경 등에 따라 변할 수 있는 고정적인 값이 아니므로 상황에 따라 유연하게 대처할 수 있는 적응적 임계치(Adaptive Threshold)를 활용하여 신호음 강도에 유연하게 대응한다.

(그림 4) 수신단 소리 인식 및 데이터 추출 과정



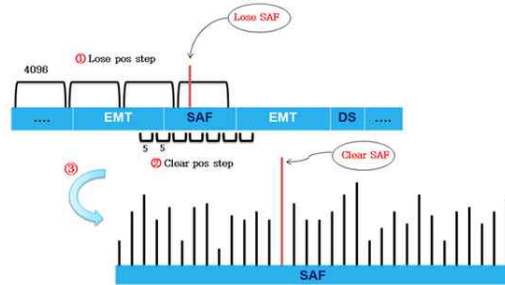
(Figure 4) Process of acoustic sound recognition and data extraction in receiver

SAF 신호는 6개 채널의 음이 모두 Mix된 단일 음이다. 수신단은 이 SAF신호를 감지하며 주위 소리를 녹음한다. Start SAF신호가 감지되면 threshold를 해당 dB의 70%값으로 재설정하고 276ms동안 유희시간을 가진다. 276ms는 1 SAF Cycle의 시간과 같고 유희시간을 가지는 이유는 Start SAF가 END SAF로 오인될 수 있기 때문

이다. END SAF가 감지되면 수신단은 녹음을 정지하고 녹음된 파일을 분석하여 데이터를 추출을 시작한다.

녹음된 파일로부터 EMT를 제외한 DS신호만 추출하여 분석한다. 이 때, 파일의 정확한 DS신호들의 위치를 찾아야 정확한 주파수 변환을 할 수 있다. SAF와 DS사이, DS와 DS의 사이 간격은 EMT의 8192 Sample Data로 일정하므로 Start SAF의 위치를 정확하게 추출하면 모든 DS 신호의 위치를 정확하게 추출할 수 있다.

(그림 5) Clear Start SAF를 찾는 과정



(Figure 5) Process of finding Clear Start SAF

(그림 5)는 Clear Start SAF를 찾는 과정을 보인다. 정확한 Start SAF의 위치를 추출하기 위해 크게 두 가지 단계로 나뉜다. 먼저 4096 Sample 크기 간격으로 소리를 분석해 나가며 빠른 속도로 Start SAF의 위치를 찾는다. 발견한 Loose SAF 좌우 2048의 Sample을 10 Sample크기 간격으로 정확한 SAF 위치를 찾아 명확한 DS 구간을 추출하기 위해 동기화를 이룬다.

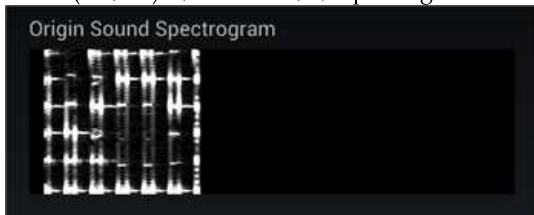
Clear SAF의 위치를 찾은 뒤 threshold를 다시 재설정 한다. 이는 앞으로 DS를 분석할 때 신호음 강도에 유연하게 대응할 수 있도록 허락한다.

식 (1)은 신호로 인식할 threshold 재설정을 나타내는 식이다.  $T_k$ 는 k채널의 threshold,  $S_k$ 는 k채널의 Start SAF 신호 크기이다. Start SAF 신호 크기의 70%를 새로운 threshold로 적용한다.

$$T_k = S_k \times 0.7 \quad (1)$$

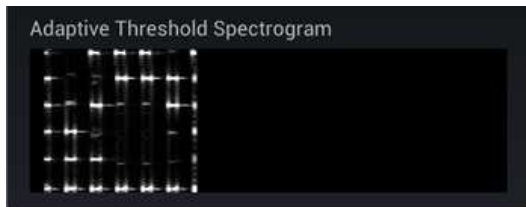
(그림 6)과 (그림 7)은 “HELLO” 데이터를 소리 통신 방법으로 수신한 spectrogram을 보여주는 보기이다. (그림 6)은 Adaptive threshold를 적용하기 이전 spectrogram이며 (그림 7)은 Adaptive threshold를 적용한 spectrogram이다. Adaptive threshold를 적용하였을 때 신호의 분산과 잡음에 강해짐을 볼 수 있다.

(그림 6) 수신된 소리의 Spectrogram



(Figure 6) Spectrogram of received sound

(그림 7) 적응적 임계치를 적용한 Spectrogram



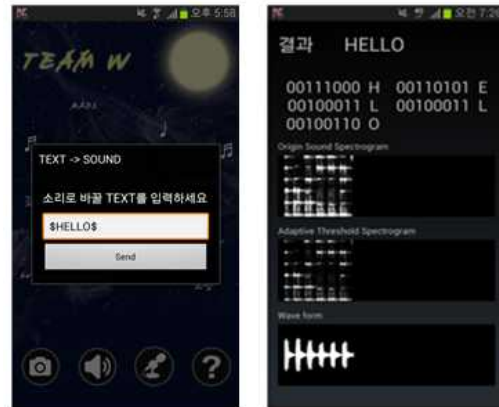
(Figure 7) Spectrogram of Applying an Adaptive Threshold

#### 4. 실험 결과

제안 방법의 검증을 위해 안드로이드 기반의 자체 프로토타입 애플리케이션을 제작하여 실험을 진행하였다. 개발 환경은 BASS라이브러리를 통해 제작하였다.

(그림 8)은 HELLO 텍스트 정보를 전송하고 수신한 시스템의 결과 화면이다. 좌측은 HELLO 텍스트 정보를 보내기 위해 “\$HELLO\$”를 입력한 화면이며 “\$”는 SAF를 의미한다. 우측은 수신된 소리를 분석하여 HELLO 텍스트 정보를 수신한 화면이다. 상단에 각 문자 정보에 대한 6비트 표준 BCD코드가 출력되며, 수신된 소리 Spectrogram, 적응적 임계치로 가공된 신호 Spectrogram, 소리의 dB크기에 대한 그래프가 출력된다.

(그림 8) 소리 통신 프로토타입 시스템

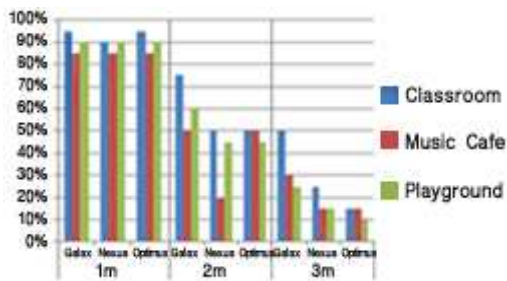


(Figure 8) acoustic communication prototype system

실험환경은 기기별, 상황별, 거리별로 각각 진행하였다. 실험에 사용된 기기는 Galaxy S3, Vega Racer, Optimus G Pro이며, 빈 강의실, 음악 카페, 놀이터 3가지 상황과 1m, 2m, 3m 3가지 거리별로 진행하였다.

(그림 9)은 기기별, 상황별, 거리별 전송성능을 보이는 전송 성능 분석 그래프이다. 그래프결과에 의해 3m 거리에서 기기별 전송률이 다소 차이가 있음을 확인할 수 있으며, 음악카페에서 대체적으로 낮은 전송률을 보임을 알 수 있다. 기기별 전송률이 다른 이유는 Speaker의 성능에 따라 볼륨을 증가시킬 경우 소리 파열 현상이 원인이라 생각이 되며, 음악 카페의 경우 악기소리가 2KHz~4KHz의 주파수를 사용하는 경우 데이터 전송률이 현저히 감소됨을 알 수 있었다.

(그림 9) 전송 성능 분석 그래프



(Figure 9) Transmission performance analysis graph

### 5. 결 론

본 연구는 별도의 추가 하드웨어 기기 설치 없이 소프트웨어 기반의 무선통신을 이루기 위해 소리를 활용한 데이터 전송 방법을 제안한다. 제안된 방법은 1m의 근거리 평균 90%에 이르는 전송 성공률을 보이며, 이 때 기기별 전송률은 크게 차이가 없다.

본 논문은 기존 소리 전송 방법보다 6개 소리를 합성, 다중 채널 전송 방식을 적용하여 빠른 데이터 전송속도를 보였으며, 적응적 임계치를 적용하여 잡음 및 기기 마이크별 특성에 따른 전송률을 효과적으로 개선하였다. 그러나 거리가 멀어질수록 전송률이 감소하는 결과를 보였으며, 특히 송신기기의 볼륨을 증가시켰을 때 스피커 성능별 소리가 과열되는 현상에 따른 전송률의 감소를 보이고 있다. 또한 거부감이 없는 소리를 위해 2KHz~4KHz의 상대적으로 낮은 주파수를 이용함에 따라 특정 환경에서 전송률이 현저히 감소하는 현상이 두드러졌다. 향후 거리와 스피커 성능에 따른 전송률 감소를 보완하기 위해 다양한 적응적 임계치에 관한 연구와 높은 소리 주파수 대역에서 인간이 듣기에 거부감이 없는 소리를 생성하여 잡음에 더욱 강한 소리 제작에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다..

### References

[1] ISO/IEC 18092:2004 Information technology - Near Field Communication - Interface and Protocol (NFCI P-1)

[2] Roh Jae-Sung, Ye Hui-Jin, "Performance Evaluation of a Wireless Home Network in the Presence of Co-Channel Interference" Journal of Digital Contents Society, Vol. 8, No. 4, 2007.

[3] Shin Jae-Hong, "Design & Implementation of Real Time Video Transmission System using Wi-Fi Direct", School of Electrical Engineering and Computer Science Graduate School Kyungpook National University, 2013

[4] Baek Jong-Kyung, "A study of security vulnerability in bluetooth environment", Department of Information Security Graduate School of Information Science Soongsil University, 2011

[5] Chi Min-Ju, "소리의 감성적인 측면과 활용", The Institute of Electronics Engineers of Korea VOL. 24 No. 11 NOV. 1997, (pp.1317-1333)

[6] Cristina Videira Lopes, Pedro M. Q. Aguiar, "AERIAL ACOUSTIC COMMUNICATIONS", 2001 IEEE Workshop on the. pp. 219-222, 2001.10

[7] Cho Gi-Ho "Data hiding in audio signal for audible frequency band acoustic communication", 서울대 박사 학위 논문, 2009

[8] Ajalakshmi Nandakumar, Krishna Kant Chintalapudi, Venkat Padmanabhan, and Ramarathnam Venkatesan, "Dhwani: Secure Peer-to-Peer Acoustic NFC", Microsoft Research, 2013

[9] SK Telecom, "Sound Code", World IT Show 2012



**강 현 모**

2008년~2013년: 한신대학교 컴퓨  
터공학부 학사

2013년~현재 재: (주)유니포인트  
관심분야: 소프트웨어 엔지니어링, 시스템 설계,  
TA(Technical Architecture), 네트워크 통신



**권 영 훈**

2008년~2013년: 한신대학교 컴퓨  
터공학부 학사

2013년~현재 재 (주)마이다스아이티  
관심분야: 소리공학, 감성분석, 컴퓨터그래픽스, 컴  
퓨터 비전



**정 진 우**

2008년~2013년: 한신대학교 컴퓨  
터공학부 학사

2013년~현재 재: 소프트캡프(주)  
관심분야: 데이터베이스튜닝, 컴퓨터 보안, 네트워  
크 보안, 소프트웨어 엔지니어링



**이 성 구**

1987년 : 중앙대학교 학사  
1995년 : 애리조나 주립대 석사  
1998년 : 애리조나 주립대 박사

1999년~현재: 한신대학교 컴퓨터공학부 교수  
관심분야: 소프트웨어 재사용, 컴포넌트 라이브러리,  
재공학, 객체지향 분석설계 등



**최 천 용**

2008년~2013년: 한신대학교 컴퓨  
터공학부 학사

관심분야: 네트워크 보안, 웹어플리케이션 개발, 암  
호화 알고리즘, 정보보안