

# 바닥 진동을 통한 노인 낙상 검출

## Fall detection of the elderly through floor vibrations

김 동 완\*, 유 종 현\*\*, 백 승 화\*\*

Dong-Wan Kim\*, Jong-Hyun Ryu\*\*, Seung-Hwa Beack\*\*

### Abstract

According to survey, more than 57.2% of the fall which is the most frequent safety accident of the elders takes place at home. This research aims to verify the fall by measuring and analyzing the floor vibration. And the vibration sensor module was designed with piezo film sensor and operation amplifier. The vibration signals are converted to digital signals through the data acquisition device and vibration sensor module. And then modified the signals into frequency domain to obtain characteristic vibration data. The characteristic signals are verified by K-Nearest Neighbor verification, and experimental results shows the recognition rate 93.6%. Also the fall detection sensor module is useful for extract the meaningful data for fall detection. 10 persons are participated for this experiment.

### 요 약

노인의 생활안전 사고 유형 중 가장 높은 비율을 차지하는 낙상은 57.2% 이상이 가정에서 발생하는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 실내 바닥의 진동을 측정, 분석하여 낙상의 유무를 판별하고자 하였으며, 이를 위해 압전 필름과 연산증폭기로 증폭 및 필터링 회로를 제작하여 진동 센서 모듈을 구성하였다. 진동 센서 모듈에서 증폭 및 필터링 과정을 거친 진동 신호는 데이터 수집 장치를 통해 디지털 신호로 변환되어 PC로 전송된다. 진동 신호는 k-NN 분류기를 이용하여 낙상 유무를 판별한다. 피험자 10명을 대상으로 낙상 실험결과, 분류기는 93.6%의 인식율을 나타내었다. 제작된 센서 모듈은 낙상 검출에 유용한 것으로 판단된다.

*Key words : Fall detection, Floor vibrations, Elder, k-NN, Piezo film sensor*

## 1. 서론

노인의 안전사고 발생장소로 가정내가 57.2%로 가장 높았으며, 사고유형중 추락, 넘어짐, 미끄러짐 사고가 63.3%의 높은 비율을 차지하고 있다[1]. 낙상이란 WHO의 정의에 따르면 본인의 의사와 상관없이 발바

닥 이외의 신체 일부가 바닥면에 접지한 경우를 의미한다. 즉 외부의 힘, 의식소실, 갑작스러운 마비에 기인되어 넘어지는 현상과 갑작스러운 비의도적인 자세 변화 때문에 바닥에 주저앉거나, 넘어지거나, 눕게 되는 상황을 의미한다[2, 3]. 낙상은 골절 및 뇌손상 등 심각한 신체 손상을 일으키고 노인의 낙상으로 인한 사망률은 어린이에 비교하면 8배나 높은 것으로 나타났다[4].

낙상을 감지하는 방법은 영상정보를 이용하여 낙상의 상황을 구분하는 방법과 낙상 대상에게 센서를 부착하여 낙상을 검출하는 방식이 주류를 이루고 있다. 영상 정보를 이용하는 방식은 인식률은 높으나 사생활이 영상으로 노출되는 점과 낙상감지 대상자의 행동 반경이 크거나 다수의 장애물이 존재할 경우 여러 대의 영상획득 장치가 필요한 단점이 있다[5~7]. 낙상

\* Dept. of Information & communication Engineering, Myongji University  
E-mail : [dwkim516@gmail.com](mailto:dwkim516@gmail.com), TEL : 031-330-6753

\*\* Wonkwang University

★ Corresponding author 031-330-6753 [sbeack@naver.com](mailto:sbeack@naver.com)

※ Acknowledgment

Manuscript received Dec. 5, 2013; revised Mar. 3, 2014 ; accepted Mar. 13 . 2014

대상자에게 센서를 부착하는 방식은 주로 가속도 센서를 사용하여 낙상시 발생하는 가속도 변화를 통해 낙상을 구별하게 되는데 센서의 신체 부착에 따른 이질감과 부착 위치에 따라 낙상 인식률에 큰 차이를 보이는 단점을 가지고 있다[8,9].

본 연구에서는 노인 낙상의 절반 이상이 가정내에서 발생하므로, 실내 바닥 진동을 측정 분석하여 낙상 대상자의 낙상을 검출하는 시스템을 구현하였다. 본 연구의 선행연구로 사람의 양무릎이 바닥에 부딪혀 발생하는 진동 패턴과 유사한 진동 패턴을 발생시키는 마네킹을 제작하여 낙상 검출 실험을 실시하여 평균 오인식률 3.8%의 결과를 얻었다[10]. 선행 연구 결과를 바탕으로 센서 모듈 등을 개량하여 실제 사람의 낙상 데이터를 수집 분석하여 낙상을 검출하는 시스템을 구현하였다.

## II. 본론

### 1. 시스템 구성

실내 바닥진동을 이용해 낙상을 검출하기 위한 전체 시스템 구성은 그림 1과 같다. 바닥 진동을 측정하기 위해 피에조 필름을 이용하여 제작한 진동 센서 모듈과 진동 데이터 수집을 위한 데이터 수집장치, 진동 데이터 분석을 통해 낙상 여부를 판단하는 소프트웨어 구동용 PC로 구성된다.

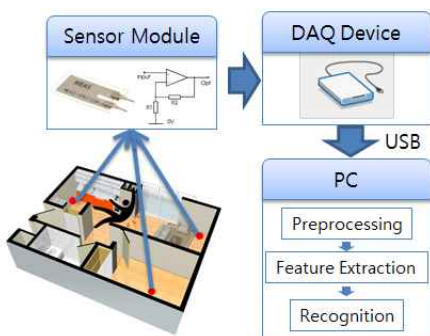


Fig. 1. System configuration  
그림 1. 시스템 구성

### 2. 진동 센서 모듈의 제작

제작된 센서 모듈은 LDTM-028K(Measurement Specialties Inc, USA) 압전 필름과 증폭 및 필터링을 위해 TL084 연산증폭기(Texas Instruments, USA)를 사용하여 그림 2와 같이 회로를 구성하였다. 바닥 진동에 의해 압전 필름에서 미세 전류가 발생하는데 이를 증폭하고 출력 전압으로 변환하기 위해 초단에 전

하 증폭기 회로를 구성하였다.

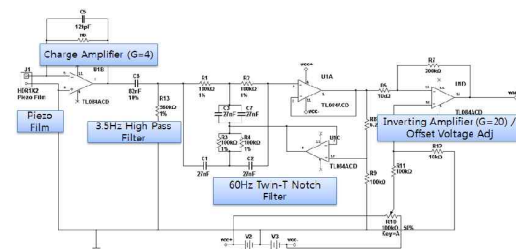


Fig. 2. Vibration sensor circuits  
그림 2. 진동센서 회로

센서의 바닥 부착 용이성과 바닥 진동 외에 공기 흐름에 의한 센서의 진동 등을 방지하기 위해 그림 3과 같이 압전 센서와 연산증폭기 회로를 보호 할 수 있는 케이스를 제작하여 실험에 사용하였다.

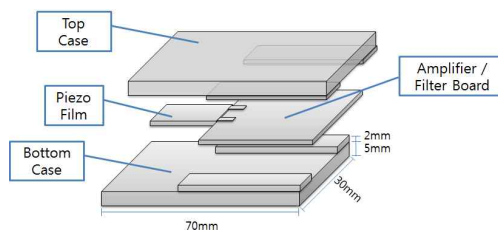


Fig. 3. Vibration sensor module  
그림 3. 진동센서 모듈

진동 센서 모듈에서 증폭 및 필터링된 진동 신호는 DAQPad-6015(National Instrument, USA) 데이터 수집 장치를 이용하여 진동 신호를 1000sample/sec로 샘플링 하고 16bit 양자화율로 디지털 신호로 변환하여 USB를 통해 PC로 전송한다.

### 3. 낙상인식의 처리과정

그림 4는 낙상인식의 전체적인 처리과정이다. 기계 학습 기법을 사용하는 패턴 인식에는 크게 두 가지 처리단계가 존재한다. 먼저 학습단계에서는 주어지는 낙상 학습 데이터를 이용하여 패턴의 특성을 분석하여 서로 다른 패턴들을 구분하기 위한 핵심 정보를 추출한다. 학습이 완료되고 나면 새롭게 주어지는 데이터가 어떤 패턴에 해당하는지 분류하고 인식하는 단계가 수행된다. 학습단계는 주로 인식을 만드는 첫 과정에서 한 번만 수행되며, 인식 단계는 새로운 데이터가 주어질 때마다 수행된다.

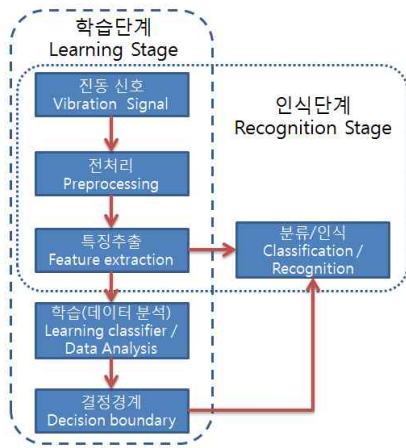


Fig. 4. Operation process of fall recognition  
 그림 4. 낙상인식 과정

가. 전처리

전처리는 주어진 원래 데이터를 정제하여 인식이기 다루기 쉬운 형태로 변환하는 과정이다. 센서로부터 들어오는 실시간 데이터에서 진동신호를 포함한 일정 길이의 데이터를 획득하기 위하여 그림 5의 (B)와 같이 신호의 절대값을 구하여 설정된 문턱치값과 비교하여 진동 발생 여부를 판단한다.

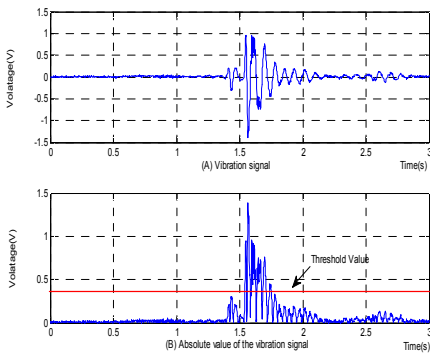


Fig. 5. Signal for sensor  
 그림 5. 진동 신호

그림 6의 (A)는 서로 다른 시간대에서 낙상 실험을 했을 때 얻어진 낙상 데이터이다. 두 데이터의 패턴은 비슷하지만 시간 영역에서의 패턴의 위치가 있다 시간 영역에서 패턴 인식을 위해서는 두 신호를 동일 시간대에 발생하도록 정확하게 매핑 하여야만 매핑이 가능하다. 그러나 시간 영역에서 두 신

호를 동일 시간대에 발생하도록 정확하게 매핑 하는 것은 패턴 인식 이상의 어려움이 있다. 이런 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 변환했을 때, 같은 특성을 갖는 신호는 그림 6의 (B)와 같이 주파수 영역에서 같은 위치에 있게 되므로 서로 다른 시간대에 취득한 신호의 매핑 문제를 해결할 수 있다.

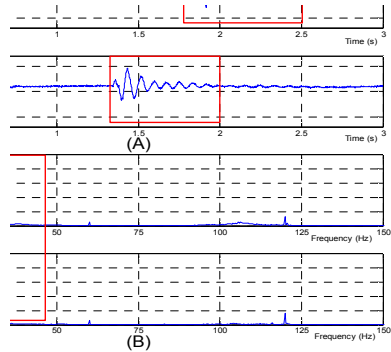


Fig. 6. Transform to frequency domain  
 그림 6. 주파수 영역으로 변환

나. 특징추출

특징추출은 데이터의 특성을 분석하여 각 패턴을 표현하는 가장 핵심적인 정보들을 특징으로 찾는다. 데이터를 원래 형태 그대로 사용하지 않고, 핵심적인 특징만을 추출하여 사용함으로써 계산량과 메모리를 절약할 뿐만 아니라 데이터에 포함된 불필요한 정보를 제거하는 효과를 얻을 수 있다.

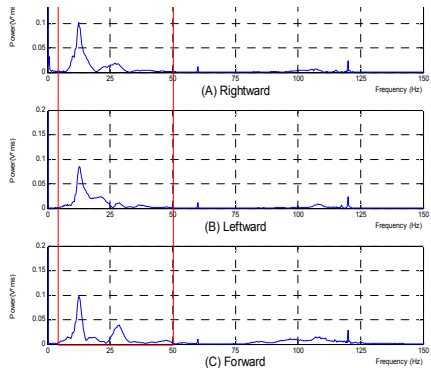


Fig. 7. Vibration signal after preprocessing  
 그림 7. 전처리 후 진동신호

그림 7의 (A), (B), (C)는 각 방향별 낙상시 발생한 진동 데이터의 전처리 후 결과이다. 대부분의 데이터

가 50Hz미만에 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 진처리 과정을 거친 진동 데이터에서 주파수 범위가 4~50Hz인 189개의 데이터를 특징으로 추출하여 패턴인식에 사용한다. 그림 8은 진처리 과정을 거친 그림 7의 낙상 데이터에서 특징으로 추출한 189개의 데이터이다.

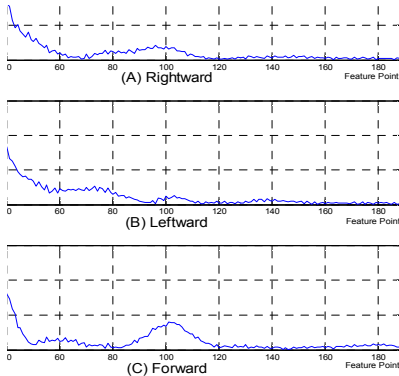


Fig. 8. Feature extraction  
그림 8. 특징 추출

다. 패턴 분류

특징 추출 과정에서 추출된 낙상 데이터의 특징들은 분류기를 통하여 분류함으로써 최종적으로 낙상 여부를 감지하게 된다. 특징 추출 과정에서 추출된 특징들은 189개의 데이터를 갖고 있으며 이는 189차원의 특징 공간에서 하나의 점으로 표시된다. 특징 공간에 분류하려고 하는 특징과 비슷한 다른 종류의 특징들이 존재할 때, 그 결정영역은 일반적으로 비선형 특성을 가지므로 이러한 특징들의 분류는 비선형 분류기로 분류함이 타당하다. 본 연구에서는 비선형 분류기의 일종인 k-NN(k-Nearest Neighbors)분류기를 사용하여 패턴을 분류한다.

패턴 분류에서 클래스별로 미리 저장해 놓은 표준 패턴과의 거리를 계산하여 가장 가까운 표준패턴의 클래스를 입력 패턴의 클래스로 결정하는 방법을 생각할 수 있다. 이와 같은 기본원리에 따른 최소거리 분류규칙을 최근방 식별규칙이라 한다. 최근방 식별 규칙을 위해서는 사전에 클래스별로 기준이 되는 표준 패턴을 선정해 놓아야 한다. 최근방 식별 규칙은 다음과 같다.

클래스가  $\{\omega_i\}_{i=1}^c$  이고 소속 클래스를 미리 알고 있는 표준 패턴  $\{y_i\}_{i=1}^m$  이 주어졌을 때, 임의의 입력 패턴  $x$  를 분류하기 위해 최근방 식별법은  $\{y_i\}_{i=1}^m$  중에

서  $x$ 에 가장 가깝게 위치한 패턴의 클래스를 입력 패턴의 클래스로 결정한다. 즉 NN규칙은 수식 1과 같다.

$$\|x - y_j\| = \min\{\|x - y_i\|\}_{i=1}^m \Rightarrow x \in \omega_j \quad (1)$$

기본적으로 최소거리 식별법인 이 규칙은  $x$ 의 최근방 이웃  $k$ 개를 선정하고 다수결 원칙을 적용하는 방식으로 확장할 수 있으며, 이를 k-NN 규칙이라 한다. k-NN 규칙에 근거하는 k-NN 분류기는 그림 9의 알고리즘으로 표시할 수 있다.

- Input:
  - NN규칙의 차수  $k$ ; 입력 패턴  $x$ ; 표준 패턴의 수  $m$ ;
  - 패턴 클래스의 수  $c$ ; 표준 패턴  $y_i, 1 \leq i \leq m$ 와 그 클래스  $j_i, 1 \leq j_i \leq c$ 의 쌍  $(y_i, j_i), \forall i$ .
- Output:
  - 입력 패턴이 속하는 클래스 번호  $l$ .

- 1)  $S \leftarrow \{(y_i, j_i)\}_{i=1}^m$ 을 수행한 후,  $\|y - x\| = \min\{\|y_i - x\|\}_{i=1}^m, (y, j) \in S$ 를 만족하는  $(y, j_0)$ 를 찾는다.
- 2)  $k = 1$ 이면  $l \leftarrow j_0$ 로 하고 종료한다. 아니면  $c$ 차원의 벡터  $IC(i') \leftarrow 0, i' \neq j_0; IC(j_0) \leftarrow 1$ 로 초기화하고,  $S \leftarrow S - \{(y, j_0)\}$ 를 수행한다.
- 3) 다음 단계를  $k-1$ 번 반복 수행한다.
  - (a)  $\|y - x\| = \min\{\|y_i - x\|\}_{i=1}^m, (y, j) \in S$ 를 만족하는  $(y, j_0)$ 를 찾는다.
  - (b)  $IC(j_0) \leftarrow IC(j_0) + 1, S \leftarrow S - \{(y, j_0)\}$ 를 수행한다.
- 4)  $l \leftarrow \arg \max\{IC(i)\}_{i=1}^c$ 로 하고 종료한다.

Fig. 9. Pattern classification algorithm  
그림 9. 패턴 분류 알고리즘

4. 실험 방법

실험은 사람이 넘어지는 낙상과 사람이 넘어지는 경우를 제외한 실내에서 물건의 낙하 등으로 발생할 수 있는 비낙상 두 가지로 구분하였다. 낙상 실험은 표 1과 같이 3개의 낙상 시나리오와, 6개의 비낙상 시나리오로 진행하였다. 낙상 실험을 위해 20대 중반에서 30대 초반까지의 성인 남성 10명을 실험군으로 선정하였고, 비낙상 시나리오는 낙상 실험군의 제자리 점프, 책(2.2kg), 패트병(1.6kg), 유리병(700g), 화분(1.2kg), 의자(6kg)을 이용하여 실험을 실시하였다. 낙상 실험환경은 낙상 위치에 부상방지를 위해 18mm두께의 매트를 설치하고, 바닥 진동 측정을 위한 센서 모듈은 낙상 위치에서 3m떨어진 위치에 설치하였다.

Table 1. Fall experimental scenario

표 1. 낙상 실험 시나리오

분류	횟수/1인	피험자수	총횟수
낙상	전방 낙상	10	10
	좌측방 낙상	10	10
	우측방 낙상	10	10
비낙상	제자리 점프	10	10
	책(2.2kg)	120	1
	팩트병(1.6kg)	120	1
	유리병(700g)	120	1
	화분(1.2kg)	120	1
	의자(6kg)	120	1
합계			1,000

전처리부에서 진동발생 여부 판단을 위한 문턱치 값은 그림 10과 같이 모든 낙상 시나리오를 포함할 수 있도록 0.4로 설정하였다.

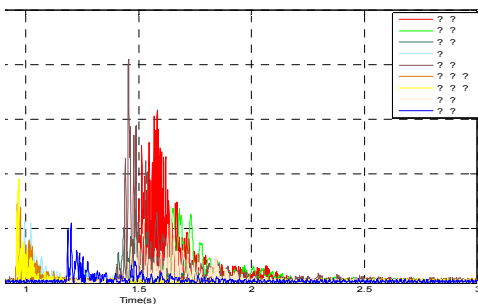


Fig. 10. Vibration signal  
그림 10. 진동 신호

### III 결과 및 고찰

실험 결과는 표 2와 같이 낙상의 인식율은 300회 실험에서 95%로 나타났지만, 비낙상의 인식율은 700회 실험에서 93%로 나타났다.

좌측방, 우측방 낙상의 인식율은 우수하지만, 전방 낙상과 제자리 점프의 오인식율이 높게 나타났는데, 이는 실험과정에서 피험자들이 전방낙상에 대한 공포심을 가지고 있어, 실험시 무릎과 손바닥 만을 이용해 넘어지는 경우가 종종 발생하였다. 이때 발생하는 진동 패턴이 제자리 점프시 발생하는 진동 패턴과 유사하기 때문에 전방 낙상과 제자리 점프의 인식율이 저하된 것으로 판단된다.

Table 2. Fall experimental results

표 2. 낙상 실험 결과

분류	횟수	인식횟수	오인식횟수	인식율(%)				
낙상	전방	100	90	10	90%			
	좌측방	100	97	3	97%			
	우측방	100	98	2	98%			
합계					300	285	15	95%
비낙상	제자리 점프	100	58	42	58%			
	책	120	113	7	94.2%			
	팩트병	120	120	0	100%			
	유리병	120	120	0	100%			
	화분	120	120	0	100%			
	의자	120	120	0	100%			
합계					700	651	49	93%
실험결과					1000	936	64	93.6%

Tong Zhang, Chia-Feng Juang, 김남호 등의 가속도 센서 또는 영상 기반 낙상 인식율은 86%~96.7%이다[5~9]. 실험 방법 등의 차이로 정확한 비교는 어렵지만 본 연구에서는 가속도 센서 또는 영상 기반 낙상 인식율과 유사한 93.6%의 결과를 얻을 수 있었다.

### IV 결론

본 연구에서는 바닥의 미세한 진동을 측정하기 위하여 압전 필름과 연산증폭기 회로를 이용하여 센서 모듈을 제작하였다. 센서 모듈을 통해 증폭 및 필터링 과정을 거친 신호는 데이터수집장치를 통해 PC로 전송되어 기계학습방법을 이용하여 진동 데이터를 분류한다. k-NN분류기를 이용한 실험결과 93.6%의 인식 결과를 얻을 수 있었다. 또한 제작된 진동 센서 모듈은 의미 있는 낙상 진동 데이터를 수집 할 수 있었다.

향후 연구에서는 센서 모듈에 아날로그디지털 변환기와 무선 모듈을 추가하여 별도의 데이터수집장치 없이 무선으로 진동 신호를 측정할 수 있게 할 예정이다. 또한 낙상 인식 알고리즘 개선을 통해 낙상 인식 정밀도를 향상시켜야 할 것이다.

### References

[1] "Investigation of accidents of life of the elderly in 2007", Korea Consumer Agency, 2007

- [2] Mary E. Tinetti and Christianna S. Williams, "The effect of falls and fall injuries on functioning in community-dwelling older persons" *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, Vol. 53, No. 2, pp. 112-119 1998
- [3] Fuller GF, "Falls in the elderly" *The Journals of Gerontology Series A: Am Fam Physician*. Vol. 6 No. 1 pp. 2159-2168, Apr, 2000
- [4] Jong-Min Kim, Myung-Sun Lee, "Risk Factors for Falls in the Elderly Population in Korea: An Analysis of the Third Korea National Health and Nutrition Examination Survey data", *Journal of Korea Society for Health Education and Promotion* Vol.24, No 4, pp. 23-39, 2007
- [5] Chia-Wen Lin, Zhi-Hong Ling, Yuan-Cheng Chang, Chung J. Kuo, "Compressed-domain fall incident detection for intelligent home surveillance", *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol. 4, pp.3781-3784, May 2005
- [6] C. F. Juang and C. M. Chang, "Human Body Posture Classification by a Neural Fuzzy Network and Home Care System Application," *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, Vol. 37, No. 6, pp. 984-994, Nov. 2007.
- [7] Nam Ho Kim, Yun Seop Yu "Video Based Fall Detection Algorithm Using Hidden Markov Model", *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea* Vol. 50, NO. 8, pp. 2160-2165, August 2013
- [8] T. Zhang, J. Wang, L. Xu and P. Liu, "Detection by Wearable Fall Sensor and One-Class SVM Algorithm," in *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, pp. 858-863, 2006.
- [9] T. Zhang, J. Wang, P. Liu and J. Hou, *Journal "Fall Detection by Embedding an Accelerometer in Cellphone and Using KFD Algorithm," IJCSNS International of Computer Science and Network Security*, Vol. 6, No. 10, pp. 277-284, Oct. 2006.
- [10] Kim Dong-Wan, Ryu Jong-Hyun, Beack Seung-Hwa, "A simulation on fall detection system for the elders," *Journal of IKEEE / v.17 no.1*, pp.22-28, 2013

---

**BIOGRAPHY**


---

**Kim Dong-Wan** (Student Member)

University.

2004 : BS degree in Software,  
Semyung University.  
2006 : MS degree in  
Information Engineering, Myongji  
University.  
2010 : PhD complete in  
Information Engineering, Myongji

**Ryu Jong-Hyun** (Member)

University

2005 : PhD degree in Control &  
Information Engineering, Myongji  
University  
2006~2008 : Research  
Engineer, Nanofocusray  
2008~2010 : Research  
Engineer, Daeyong Electronics  
2010~2012 : Research Engineer, Dentium  
2012~ : Research professor, Wonkwang

**Beack Seung-Hwa** (Member)

1987 : PhD degree in Electrical  
Engineering Yonsei University  
1982~Present: Professor, Dept  
of Electrical, Eng, Control &  
Instrumentation Eng,  
Information & Communication  
Eng. Myongji University  
1991, 1999-2001: Research Associate, Missouri  
Institute of Mental Health.  
1991-1992; Director, Myongji Institute of  
Industrial Technology.