

논문 2013-08-19

## 화재감지기를 사용한 발화점추적기반의 자동소방시스템 설계 및 구현

(Design and Implementation of the Automatic Fire Extinguishing System Based on the Ignition Point Tracking using the Flame Detector)

백 승 현, 김 영 웅, 오 세 일, 박 흥 배\*

(Seung Hyun Paik, Young Wung Kim, Se Il Oh, Hong Bae Park)

Abstract : To reduce the personnel and material loss caused by fire, we propose the automatic fire extinguishing system based on the ignition point tracking using the flame detector. This automatic fire extinguishing system is composed of the flame detecting system and the fire extinguishing system based on the water cannon. We study the method for the ignition point tracking and the automatic fire extinguishing using the water cannon and the flame detector. The flame detecting system for the early fire detection and the ignition point tracking has to be satisfied the requirement of the detecting range and the flame detection time. So we study the signal process algorithm for an improvement of the flame detecting system.

Keywords : Automatic fire extinguishing, Ignition point detecting, Flame detecting, FFT, PCA

### 1. 서 론

대형의 상·공업장소나 재래시장, 화재에 취약한 문화재 등에서의 화재위험은 항상 이슈가 되며 발생빈도 또한 높다. 특히 화재진압이 어려운 대형건물, 화재 시 위험물이 있는 주유소, 물류창고, 각종 플랜트, 접근이 불가능한 지하통신구, 원자력 발전소 등 화재위험구역에서 화재는 초기진압이 화재진압과정에서 매우중요하다. 이러한 화재위험구역에서 효과적인 화재진압과정으로 화재초기에 발화지점을

포착, 발화지점에 소화약제를 방사하여 피해범위를 줄일 수 있는 방안을 모색해야한다[1, 2]. 현재까지의 화재감지와 소화시스템은 발화점인식과 소화과정에서 추가적으로 발생하는 물적 피해에 대해서는 대처방안이 부족하다. 그리고 기존의 온도·연기감지 방식에 의존하여서는 단순상황인지만이 가능할 뿐 발화시 위험정도와 발화점 파악, 원인분석까지는 요원하다.

현재 초기화재감지 방안으로 자외선센서나 적외선센서를 사용한 불꽃감지기가 개발·상용화되고 있다. 이러한 불꽃감지기는 화재 시 발생하는 적외선 파장이나 자외선 파장을 감지함으로써 빠른 감지속도와 높은 감도를 가질 수 있다. 기존 불꽃감지기는 고정된 형태로 제한된 영역에서 발생하는 화재를 감시하는 시스템이다. 화재감지기의 연구방향은 화재오인 오동작을 줄이고 감지영역을 넓히는 방향으로 발전하고 있다. 그리고 자동화재진압장치는 스프링클러를 이용한 방식이 대표적으로 사용되고 있지만, 발화점과 무관하게 소화약제를 방사하는 방식으로 화재와 무관한 물적 피해를 발생시키는 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기위한 연구들이 이루어지고 있으며, 그 방안으로 화재진압을 위한 물대

\* Corresponding Author (hbpark@knu.ac.kr)

Received: 12 Mar. 2013, Revised: 01 Apr. 2013.

Accepted: 09 Apr. 2013.

S.H. Paik, Y.W. Kim, and H.B. Park:  
Kyoungpook National University

S.I. Oh: GIVET

※ 본 논문은 중소기업청 미래선도과제인 영상 및 복합센서 기반의 스마트 화재감지 및 자동소화장치 개발(s2047509)의 수행된 연구결과임.

※ 이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

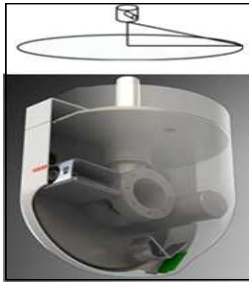


그림 1. 자동소방시스템 구상도

Fig. 1 Design Diagram of Automatic Fire Extinguishing System

포를 사용하여 화재위치에 자동화재진압을 하는 방안이 연구되고 있다[3-6].

본 논문에서는 빠른 동작속도와 비 화재 오작동을 줄일 수 있는 신호처리알고리즘을 적용하여 초기화재감지와 발화점추적이 가능한 화재감지시스템을 설계하고 물대포를 사용한 화재진압장치와 결합하여 화재범위에만 소화약제를 방사하여 화재로 인한 피해를 줄일 수 있는 자동소방시스템을 제안한다.

제안하는 자동소방시스템은 물대포를 사용한 화재진압장치와 불꽃센서를 사용한 화재감지시스템을 결합하여 발화점추적과 화재진압이 이루어지도록 한다. 화재진압장치는 그림 1과 같이 소화영역 상부에 설치하여 소화영역을 탐색하고 화재진압동작이 가능하도록 한다. 화재진압장치의 구동부는 360도의 회전과 상·하 90도의 회전이 가능한 2상의 자유도를 가지도록 설계한다. 화재발생 시 신속한 초기 대응을 위해 화재발생 30초 이내 불꽃감지 후 1분 이내 화재진압동작이 이루어 질 수 있도록 한다. 그리고 소방시스템은 높이 5m 위치 설치되었을 때를 가정하여 평면 반경 30미터의 소방영역을 만족하기 위해 화재감지거리가 40m가 되도록 한다. 자동소방시스템은 그림 1에서 보이는 구상도와 같은 형태로 소화약제의 방출도관과 방출관, 노즐로 구성된 물대포의 구조를 나타낸다. 방출도관과 방출관을 연결하여 소화약제를 이동시킨다. 방출도관은 수평회전으로 360도를 움직이며 방출관은 상·하 90도의 회전각을 가지며, 회전속도는 10 deg/sec로 요구시간이내에 소화영역에서 발화점을 찾는다. 소화약제가 방사되는 노즐부분을 배관의 중심으로 설계하여 방사에 따른 반작용 힘을 최소화한다.

화재감지시스템은 자외선과 적외선 불꽃센서를 사용하여 불꽃에서 방출되는 적외선과 자외선을 감

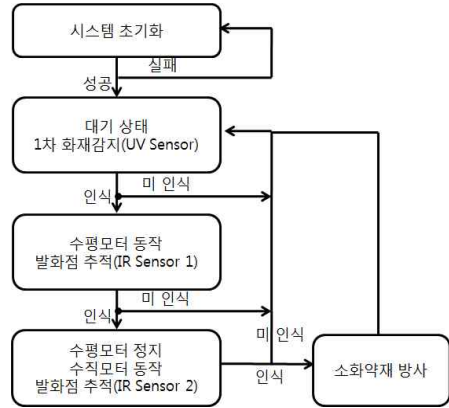


그림 2. 자동소화시스템의 동작절차  
Fig. 2 Process of Automatic Fire Extinguishing System

지한다. 자외선센서는 암모니아, 수소, 황, 마그네슘, 탄화수소를 포함한 화재에 대해 응답특성이 우수하지만 태양에너지에 의한 반응으로 간섭을 일으킬 수 있으므로 태양광차폐가 필요하다. 적외선센서는 화재발생시 최대방사강도가 나타나는 약 4.1~4.7 $\mu$ m의 파장을 감지하며 태양에너지는 4.4 $\mu$ m 파장대역에서 방사에너지가 낮아지므로 태양광에 의한 오감지를 방지한다. 자외선센서의 높은 불꽃감지성능과 감지거리가 먼 특성을 이용하여 1차 화재감지를 위한 자외선센서모듈을 설계한다. 발화점추적은 적외선센서를 사용함으로써 화재진압동작이 자외선과 적외선센서가 모두 감지하는 조건에서 이루어지도록 하여 비화재 오동작을 방지한다. 발화점추적을 위해 적외선센서모듈은 수평방향을 검색하는 모듈과 수직방향을 검색하는 모듈 2개를 사용한다. 그림 2의 동작절차와 같이 1차 화재감지가 되면 수평모터가 동작하면서 수평방향의 화재위치를 적외선모듈에서 추적하도록 하고, 수평위치인식 이후 수직모터가 회전하면서 수직위치를 추적하여 발화점추적을 완료한다. 발화점추적이 완료된 후 소화약제를 발화점으로 방사하여 화재진압과정을 수행한다.

## II. 화재감지 신호처리알고리즘

발화점추적은 물대포의 회전운동 중에 발화점을 인식해야하므로 빠른 화재감지속도가 요구된다. 그리고 적외선센서의 감지신호가 약한 소화영역 가장자리에서의 화재감지가 가능해야하므로 빠른 화재

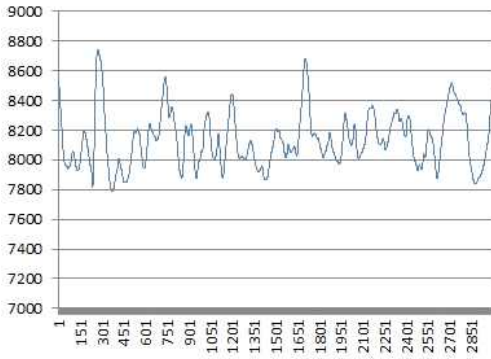


그림 3. 비화재측정신호

Fig. 3 Output signal of Flame Sensor(Nonfire)

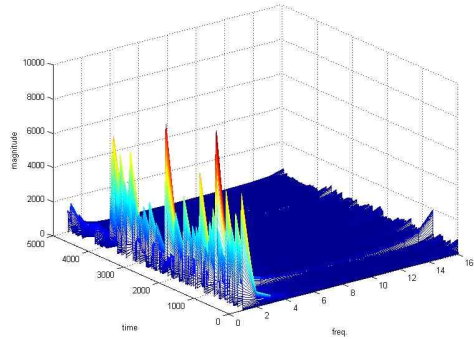


그림 5. 비 화재 출력신호의 FFT결과

Fig 5 Nonfire Output of FFT

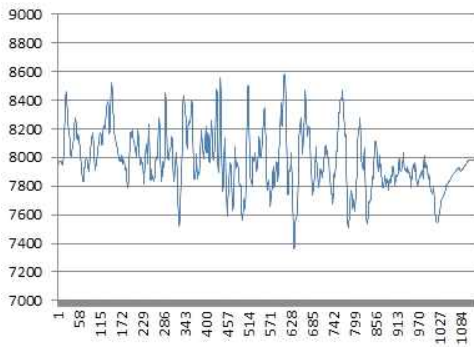


그림 4. 40m 거리의 불꽃측정신호

Fig. 4 40m Flame Measuring Output signal of Flame Sensor

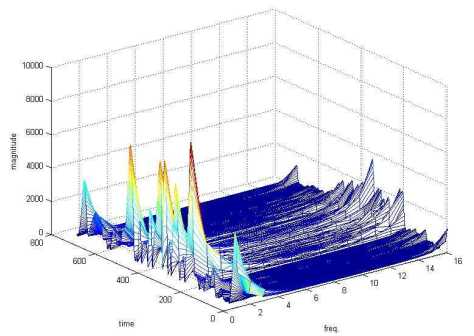


그림 6. 30m 거리의 불꽃측정신호의 FFT결과

Fig. 6 Output of FFT(30m Flame Measuring)

감지속도와 원거리에서의 화재감지정확확보가 필요하다. 적외선센서를 사용한 화재감지에서 화재감지속도와 거리를 향상시킬 수 있는 신호처리기법을 제안한다. 화재감지모듈로 한 실제실험을 통해 데이터를 수집하여 신호를 분석하고 이 데이터를 사용하여 신호처리 알고리즘을 연구한다. 실험은 소방방재청에서 소방기구의 합격기준이 되는 N-헵탄을 화원으로 한 불꽃높이 약 1m의 불꽃을 사용하여 화재감지시스템의 성능을 실험한다[7]. 자외선센서를 사용한 1차 화재감지는 40m거리에서 반복된 실험에서 오작동 없이 인식한다. 적외선센서모듈의 실험에서 비화재시 정상시의 노이즈에 따른 출력신호의 추이를 확인하기위해 장시간의 데이터를 수집한다. 그 중 평균적인 모습을 보여주는 데이터를 선택한다. 40m 거리의 불꽃은 N-헵탄의 발화시간동안 측정한다. 적외선센서의 실험결과는 그림 3의 비화

재 정상시 출력신호와 그림 4의 40m 거리에서 불꽃의 적외선센서 출력신호를 보면 신호크기의 차이로 구분이 불가능함을 알 수 있다.

위 그림 3, 4의 출력신호 형태를 살펴볼 때, FFT를 사용하여 출력신호 주파수특성은 다를 것임을 예상할 수 있다. 그림 5, 6, 7에서 보이는 바와 같이 출력신호의 주파수특성이 다름을 확인할 수 있고, 여기에서 보이는 FFT 윈도우크기는 4부터 32까지 특성을 비교한 결과 윈도우크기는 16일 때 윈도우크기대비 특성이 잘 나타난다. 이와 같은 결과를 사용하여 40m이상의 거리에서도 FFT결과 샘플에서 특성을 사용하여 화재감지가 가능함을 알 수 있다.

하지만 주파수특성을 확실히 찾기 위해서는 연속해서 FFT윈도우들을 지속적으로 비교해야 화재에 대한 신뢰성을 가지게 되므로 이에 따른 대기시간이 필요한 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하

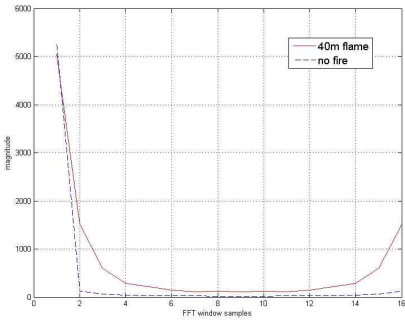


그림 7. FFT결과 비교

Fig. 7 The Comparison of FFT Results

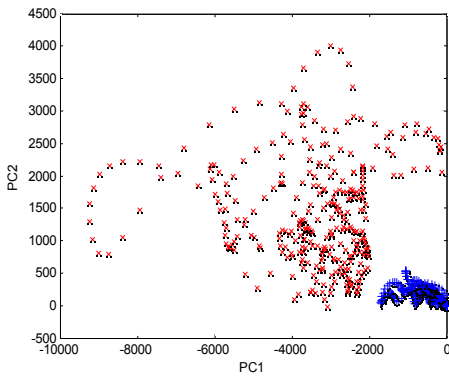


그림 8. 비화재와 화재시 PCA결과

Fig. 8 Result of PCA

기위해 PCA 기법을 사용하여 화재감지 결정경계를 정하여 대기시간을 줄여 화재감지속도를 향상시킨다. 그림 7에서 주파수 특성을 잘 보이는 값은 2, 3, 4, 14, 15, 16개의 샘플인 것을 확인할 수 있다. 따라서 이 6개의 샘플을 특징점으로 선택하여 PCA 결과를 그림 8에 보였다. 그림 8에서 x점들과 +점으로 비화재와 화재일 경우로 나타내어 살펴보면 결정경계가 뚜렷하게 나뉘는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과로 윈도우크기16의 FFT와 PCA를 적용한 신호처리알고리즘으로 빠른 처리시간과 향상된 화재감지성능을 확인할 수 있다.

### III. 하드웨어설계 및 구현

#### 1. 화재진압장치

발화점에 소화약제를 방사하기위해 일정한 압력에서 최대한 소화제를 직사할 수 있는 구조의 노즐

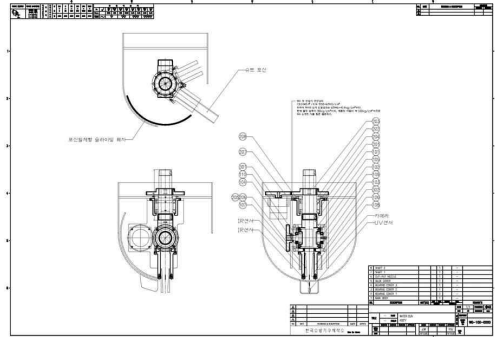


그림 9. 화재진압장치의 설계도(1)

Fig. 9 Design of Fire Extinguishing Apparatus(1)

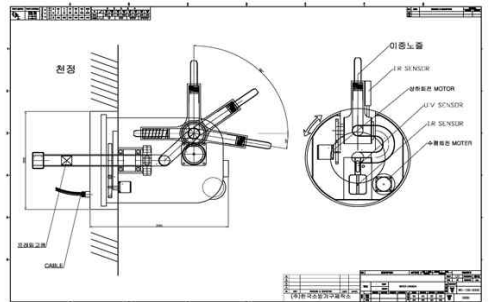


그림 10. 화재진압장치의 설계도(2)

Fig. 10 Design of Fire Extinguishing Apparatus(2)

로 설계하며, 수평회전과 수직회전의 2축 운동에 적합한 경량화를 위한 알루미늄 합금소재의 방출도관과 방출관으로 소화제의 방출시 충격을 완화할 수 있도록 설계한다. 소화제 방출거리는 40m 방출량은 200 L/min 이며, 소화제는 물을 기준으로 한다. 기초 강도와 배관의 굽힘강도 등은 본 논문에서는 생략한다. 구조는 그림 9, 10의 설계도와 같다. 모터는 AC모터로 기어 헤드를 장착한 모델로 K7RG15N를 사용한다. 토크는 1.3N·cm이고 15W, 10rpm으로 양방향 회전이 가능하다. 그림 11은 구현한 화재진압장치의 실사진이다.

#### 2. 화재감지장치

1차 화재감지는 자외선센서 UV Tron R2868모델을 사용하여 불꽃의 자외선파장 185nm~260nm에 대한 민감한 감지를 하도록 한다. 자외선감지모듈은 UV Tron R2868 자외선센서와 기존 상용화된



그림 11. 구현한 화재진압장치  
Fig. 11 Implementation of Fire Extinguishing Apparatus



그림 12. 자외선감지모듈  
Fig. 12 UV Sensing Module



그림 13. 적외선감지모듈  
Fig. 13 Infrared Sensing Module

HAMAMATSU C3704보드에 신호처리위한 설계를 추가하여 구현한다. 자외선감지모듈은 그림 12와 같다.

적외선센서는 Perkinelmer사의 DigiPyro PYS 3798모델을 사용한다. DigiPyro PYS 3798 센서의 적외선감지 파장대역은  $4.2\mu\text{m} \sim 4.7\mu\text{m}$ 로 화재에서 발생하는 이산화탄소에서 방사되는 전·후 파장대역을 검출하여 실제불꽃과 유사한 빛이나 열이 발생하는 경우를 구분하여 불꽃을 감지한다. 구현한 적외선감지모듈은 그림 13과 같다.

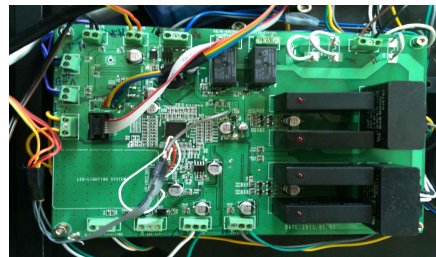


그림 14. 주제어보드  
Fig. 14 Main Control Board

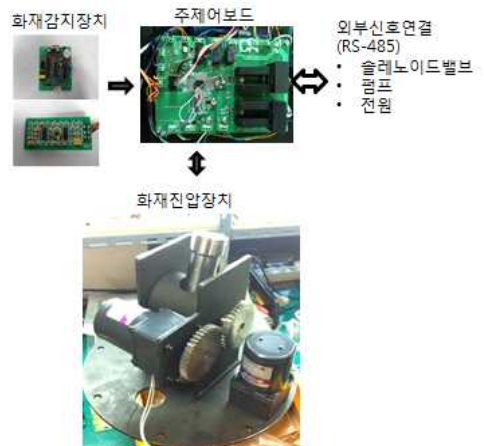


그림 15. 자동소방시스템 구성  
Fig. 15 Composition of Automatic Fire Extinguishing System

### 3. 주제어보드

주제어보드는 화재감지장치의 출력신호처리와 물대포 모터제어, 소화약제를 방사하는 화재진압과정에서 필요한 제어과정을 담당한다. 주제어보드는 ATmega128L8MU0640 MCU를 사용하여 그림 14와 같이 구현한다. RS-485 통신과 ZigBee 무선통신을 통한 외부와의 연결이 가능하고 AC모터제어, 모터접점제어, 솔레노이드 밸브제어, 펌프제어, 노즐개폐모터제어, 화재감지신호처리의 동작을 수행하도록 구현한다.

### 4. 자동소방시스템

자동소방시스템은 그림 15와 같이 하드웨어적으로 화재진압장치와 화재감지장치, 주제어보드로 구성한다. 주제어보드는 화재진압과정에서 필요한 외부장치인 솔레노이드밸브와 펌프, 전원 RS-485 통신을 사용하여 제어신호를 전송한다. 그림 16은



그림 16. 자동소방시스템 시제품

Fig. 16 Prototype of Automatic Fire Extinguishing System

화재진압장치와 화재감지장치 그리고 주제어보드를 내부에 장착하여 완성한 시제품이다.

#### IV. 결론

화재의 위협에서 조기화재진화와 화재진압과정에서 발생할 수 있는 부가적인 피해를 줄이기 위한 방안으로 물대포를 사용한 화재진압장치와 화재감지기를 결합한 발화점추적기반의 자동소방시스템을 제안하였다. 2상 자유도를 가지는 물대포를 활용하여 발화점을 인식할 수 있는 구조에 맞게 화재감지 시스템을 개발하였다. 또한 화재감지영역이 회전축의 동작에 따라 변하는 특성에 맞게 화재감지기의 빠른 동작속도와 소화영역의 감지신뢰성을 확보하기 위해 신호처리알고리즘을 연구하였다. FFT와 PCA를 적용하여 요구소화영역에서 물대포가 회전하는 시간동안에 화재감지가 가능한 신호처리알고리즘을 고안하였다. 본 논문에서 제안한 자동소방시스템으로 대형건물 또는 화재위험지역에서 조기화재감지와 발화점추적을 통한 화재진압으로 인적·물적 피해를 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

#### References

- [1] J. penny. "The Roles of Flame Detection in AFD," Fire surveyor, Vol. 14, No. 2, pp.22-28, 1990.
- [2] G.W. Mulholland, SFPE Handbook of fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, 2002.
- [3] N.Y. Ko, B.H. Lim, D.J. Seo, "Development of

Ultraviolet Infrared Flame Detector for Fire Detection," Proceedings of Autumn Conference of KSME, pp.68-73, 2006 (in Korean).

- [4] J.J. Huseynov, S. Baliga, A. Widmer, Z. Boger, "Infrared Flame Dtection System Using Multiple Neural Networks," Proceedings on International joint Conference of Neural Networks, 2007.
- [5] Shukla, Nitin, "Detecting the Flames on the Real Time Status through Flame Detector," Proceedings on International Conference of Advances in Computing and Communications (ICACC), pp.255-258, 2012.
- [6] T.Y Chung, H.S. Chung, H.B. Lee, J.H. Moon, "Implementation of A Remote Fire Monitoring System Based on Bidirectional USN," Journal of IEMEK, Vol. 2, No. 2, pp.107-115, 2007 (in Korean).
- [7] Notification of Ministry of Public Administration and Security 2001-19, Approbation and Qualification Standard of Sensing Device, 2001.

저 자 소 개

**백 승 현 (Seung Hyun Paik)**



2006년 경북대학교 전자  
전기컴퓨터학부 학사.

2008년 경북대학교 전자  
전기컴퓨터학부 석사.

2009년 ~ 현재 경북대  
학교 전자공학부 박사과  
정.

관심분야: 전자후각시스템, 임베디드시스템,  
이동통신, 센서네트워크.

Email: ksgino1@gmail.com

**김 영 웅 (Young Wung Kim)**



2006년 경일대학교 제어  
계측공학과 학사.

2008년 경북대학교 전자  
공학과 석사.

2008년 ~ 현재 경북대  
학교 전자공학부 박사과  
정.

관심분야: 전자후각시스템, 무선센서 네트  
워크, 임베디드시스템, 지능시스템.

Email: khero2002@naver.com

**오 세 일 (Se Il Oh)**



2000년 경일대학교 전자  
공학과 학사.

2002년 경북대학교 정보  
통신학과 석사.

2006년~현재 경북대학  
교 전자전기컴퓨터학부 박  
사과정.

현재, 경북차량용임베디드센터 선임연구원  
연구개발팀장.

관심분야: 임베디드시스템, 차량용 통신

Email: ohseil@givet.re.kr

**박 흥 배 (Hong Bae Park)**



1977년 경북대학교 전자  
공학과 학사.

1979년 경북대학교 전자  
공학과 석사.

1988년 University of  
New Mexico 전자공학과  
박사.

2004년~2006년 모바일단말상용화센터장.

1988년~현재 경북대학교 IT대학 전자공학  
부 교수.

관심분야: 견실제어, 임베디드시스템, 전자  
후각시스템.

Email: hbpark@knu.ac.kr