

논문 2011-481E-3-5

# 퍼텐셜 필드를 이용한 화재 응급 대피 시스템 설계

(Design of Fire Emergency Evacuation System using Potential Field)

이민구\*, 정경권\*, 이원석\*\*

(Min Goo Lee, Kyung Kwon Jung, and Won-Seok Lee)

## 요약

본 논문은 화재라는 특수한 상황에서 대피자를 로봇에 비유하여 퍼텐셜 필드 방식으로 최적의 대피 경로를 탐색하는 방식을 제안한다. 장애물은 화재가 발생된 위치를 나타내게 되며, 한정된 공간에서 센서를 통해 화재가 발생한 위치를 확인할 수 있어서 전역적인 탐색이 가능해진다. 건물 내에 설치된 화재 감지 센서와 복합 감지 센서로부터 상황 정보를 습득하여 무선으로 서버에 전송하면 퍼텐셜 필드 방식으로 최적의 대피 경로를 탐색하여 유도등을 대피 방향으로 동작시키며 스마트폰과 같은 모바일 단말에 무선으로 이용하여 대피 경로 정보를 표시할 수 있게 된다. 시뮬레이션 환경에서 제안한 화재 대피 알고리즘의 기능 및 성능 테스트를 통해 제안 알고리즘의 성능을 확인할 수 있었다.

## Abstract

This paper proposed that the method be searched for optimal route of evacuation by algorithm using potential field in specific situation, fire. When robot met an obstacle to be indicated it to ignition point, the installed sensor could be detected the point in restricted area. In according as the data of a fire detection sensor and a sensor complex in a building, the information was transmitted to server which computed optimal route of evacuation by algorithm using potential field. After that, it was able to blow a siren and mark the safe-path with using wireless device such as smart-phone. It was confirmed that the proposed method in functional test, fire emergency evacuation algorithm using potential field, was advanced in circumstance of simulation.

**Keywords:** 화재 응급 대피, 퍼텐셜 필드, 센서 네트워크, 경로 탐색

## I. 서론

최근의 건축물은 초고층화, 지하심층화, 대규모화 및 복합 용도화 등 매우 다양한 건물들이 많이 생겨나고 있다. 각 건물에 따라 구조와 형태가 다르며 거주자의 분포 또한 많은 변모를 가졌다. 특히 건축 양상이 단순한 빌딩이 아니라 과학적인 면과 예술적인 면까지 포함

하여 여러 모습으로 출현되고 있으며, 이러한 건축물의 안전성은 점점 더 중요시 되고 있다. 그 중 화재에 대한 안전성은 건축물에서 가장 중요시 되고 있는 요소로, 이는 화재로 인한 피해는 재산 피해뿐만 아니라 인명에까지도 영향이 크게 미치기 때문이다. 이에 건물의 안전성과 관련하여, 화재로 인한 피해를 방지하거나 극소화하기 위한 방화대책이 매우 중요하게 인식되고 있다. 특히 건물에서 화재발생은 사전에 완전히 예방하기가 매우 어려우며 일단 화재가 발생된 후에도 초기소화 및 연소 확대 방지에 많은 어려움이 따르므로, 거주자의 안전 대피를 위한 적절한 화재 대피 방법의 확보가 매우 중요하다<sup>1~3)</sup>.

건물에서의 화재 발생 차단이 현실적으로 불가능하다는 전제하에, 건물에서 화재가 발생할 경우 화재로

\* 정회원, 전자부품연구원  
(Korea Electronics Technology Institute)

\*\* 정회원, 동양미래대학 전기전자통신공학부  
(Dept. of Electronics, Dong Yang Mirae University)

※ 본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2008EBD11P1000002008)  
접수일자: 2011년5월26일, 수정완료일: 2011년9월7일

인한 인명 피해를 줄일 수 있는 접근 방법은 크게 2가지 측면에서 접근이 가능하다.

첫째 건물에서의 발화 지점을 빠르게 포착하여 초기에 화재를 차단하는 접근이다. 이는 인명피해와 재산피해 등을 동시에 줄일 수 있어 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다. 하지만 건물 내의 모든 곳을 실시간으로 감시하고 화재 발생 시 초기에 적절한 대응을 하는 것은 시스템의 막대한 설치 및 운용비용이 발생하게 된다.

두 번째 방법은 화재가 발생한 경우 건물 내 거주 인원들을 효율적으로 탈출 시키는 접근이다. 이는 재산피해를 원천적으로 차단하는 것은 불가능 할지 모르나 그래도 인명피해를 최소화 할 수 있다는 점에서 건물 화재대응에 효과적이 다고 할 수 있다. 이처럼 화재시 건물 내의 인원을 효과적으로 대피시키기 위해서는 두 가지 항목이 구비되어야 한다. 즉, 화재 환경에서도 거주자들에게 효과적으로 탈출 경로를 가이드 해 줄 수 있는 시스템과 건물 내 여러 공간 각각의 지점에서 밖으로 탈출하기 위한 최적의 경로를 찾아내는 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 빌딩에 화재가 발생했다고 가정하고 이에 따른 피난시간을 단축할 수 있는 알고리즘을 만들고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 이동 로봇의 경로 탐색에 사용되는 퍼텐셜 필드 방식을 이용하여 화재 상황에서 대피자를 로봇에 비유고, 퍼텐셜 필드 방식으로 최적의 대피 경로를 탐색하는 방식을 제안한다.

건물의 화재시 최적의 대피 경로 탐색 알고리즘을 설명하기 위해 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 구성을 소개하고 III장에서는 퍼텐셜 필드에 대해 설명한다. IV장에서는 제안한 대피 경로 탐색 방식을 시뮬레이션 환경에서 검토하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 구성

퍼텐셜 필드를 이용한 화재 응급 대피 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 건물 내에 설치된 화재 감지 센서와 복합 감지 센서로부터 상황 정보를 습득하여 무선으로 서버에 전송하면 퍼텐셜 필드 방식으로 최적의 대피 경로를 탐색하여 유도등을 대피 방향으로 동작시킨다.

화재 감지 및 대피 가이드 시스템은 크게 무선 통신 모듈, 공기질 모니터링 센서(온도, 습도, CO2), 무선 화재 감지기, 무선 유도등, USN/Bluetooth 변환 모듈,



그림 1. 제안한 시스템  
Fig. 1. Proposed system.



그림 2. 무선 통신 모듈  
Fig. 2. Wireless communication module.

USN 게이트웨이, 원격 서버 등으로 구성되어 있다. 각각의 하드웨어적인 기능을 살펴보면 다음과 같다.

논문에서 사용한 무선 통신 모듈은 TI의 MSP430 MCU와 2.4GHz 대역의 CC2420 RF Transceiver를 사용하였으며, 송신 RF Power 개선을 위해 External Power Amplifier와 수신 Sensitivity 개선을 위해 External Low Noise Amplifier를 적용하였다. Dipole 안테나를 적용하였고 RF 출력은 10dBm, RF 통신 범위는 실외 400~500M의 성능을 확보하고 있다[4]. 그림 2는 본 논문에서 사용한 무선 통신 모듈이다.

무선 화재 감지기는, 광전식 2중 보통 연기 감지기 사용으로 화재시 발생하는 연기를 효과적으로 측정 가능하며, 축적식(공칭축적시간 10초) 방식으로 오동작을 줄여 신뢰성을 높인 모듈이다. 특히 감광율 15% 농도의 연기에 의한 산란광을 검출하여 화재를 감지하여 전류소비가 적은 특징이 있다. 그림 3은 본 논문에서 사용한 무선 화재 감지기이다.

공기질 모니터링 센서는, 온도, 습도, CO2를 측정할 수 있는 모듈이다. 무선 통신 모듈과의 연결을 통해 침



그림 3. 화재 감지 센서 모듈  
Fig. 3. Fire detection sensor module.



그림 4. 복합 감지 센서 모듈  
Fig. 4. Multi-function sensor module.



그림 5. 무선 유도등  
Fig. 5. Wireless guiding light.

단주택 건물 내 주변 환경을 감지하여 센싱한 데이터를 서버로 전송하는 역할을 수행한다. 필요에 따라 총회발성유기화합물 (TVOC, Total Volatile Organic Compounds) 센서 탑재가 가능한 확장형 구조이며, 저전압 상태에서도 센서 정보의 신뢰성을 높이기 위해 Booster 회로를 채택하여 센서에 안정적인 전원을 공급하도록 설계되어 있다. 그림 4는 본 논문에서 사용한 공기질 모니터링 센서이다.

무선 유도등은 바닥 내장형으로 바닥에 설치가 가능

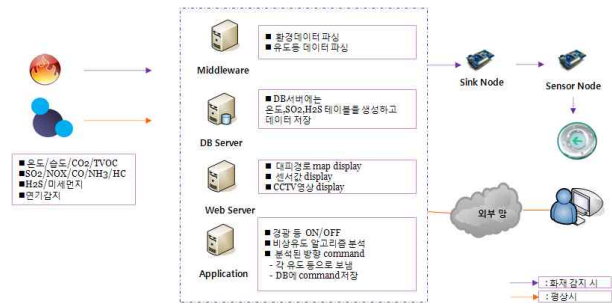


그림 6. 서버 구성  
Fig. 6. Server configurations.

하며 4방향 선택 표시 및 전체 표시 가능하고, LED를 사용하여 전력 소모를 줄였으며 하얀색 바탕에 녹색 LED로 제작하여 화재시 시인성이 좋도록 설계되었다. 서버로부터 대피 경로 방향을 수신 받아 유도등의 LED로 방향을 표시할 수 있다. 그림 5는 본 논문에서 사용한 무선 유도등이다.

서버는 그림 6과 같이 센서 데이터 수집을 하는 미들웨어 부분과 DB 서버, Web 서버로 구성되며 센서 노드 제어와 비상유도 알고리즘을 분석하는 애플리케이션으로 구성된다.

### III. 퍼텐셜 필드

본 논문에서는 제안하는 화재 대피 알고리즘은 퍼텐셜 필드에 기초하고 있어 먼저 퍼텐셜 필드에 대한 설명을 하고자 한다.

이동 로봇에 대한 기술이 발전하면서 장애물을 피해 안전하게 원하는 목적지까지 움직일 수 있도록 하는 이동 동로 계획에 대한 관심이 높아지고 있다. 장애물 회피 방식에 따른 이동 경로 계획은 roadmap, skeleton, cell decomposition, potential field, vector field 등으로 분류되며 주위환경에 따라 다양하게 이용되고 있다. 특히, 퍼텐셜 필드(potential field) 방식은 이동 로봇의 출발지와 목적지 사이에 장애물이 존재하는 경우 퍼텐셜 장벽을 형성하여 로봇의 충돌을 예방한다. 퍼텐셜 필드는 초기에 실시간 장애물 회피 접근방식으로 개발되었으나, 로봇이 장애물에 대한 사전 정보를 갖고 있지 않다면 실행할 수 없었다. 그러나 퍼텐셜 필드는 그래프 검색 기술과 통합되어 이동 로봇의 전역적인 이동 경로 계획에 이용되고 있다<sup>[5-6]</sup>.

퍼텐셜 필드에서 로봇은 목적지 지형과 장애물(C-obstacles)에 의해 만들어진 인위적인 퍼텐셜

(potential)의 영향 하에 움직이는 지형 공간에 존재하는 입자로 표현된다.

일반적으로 목적지에서는 로봇을 목적지로 당기기 위해 인력 퍼텐셜(attractive potential)이 발생되고, 장애물에서는 로봇을 밀기 위해 척력 퍼텐셜(repulsive potential)이 발생한다. 전체 퍼텐셜의 음(negated)의 기울기는 로봇에 적용된 인위적인 힘으로 처리되고, 이 힘의 방향은 로봇이 움직여야 할 최적의 방향으로 여겨진다[7~9].

인력 퍼텐셜은 로봇과 목적지 사이의 유클리드 거리(Euclidean distance)에 대하여 포물선 함수 관계를 갖는 것으로 정의하며, 식(1)과 같다.

$$U_{att}(q) = \frac{1}{2} \xi \rho_{goal}^2(q) \quad (1)$$

여기서,  $U_{att}(q)$ 는 인력 퍼텐셜,  $\xi$ 는 양의 가중치 인자,  $\rho_{goal}(q)$ 는 유클리드 거리  $\| \mathbf{q} - \mathbf{q}_{goal} \|$  이고,  $\mathbf{q}$ 는 로봇의 위치,  $\mathbf{q}_{goal}$  목적지를 의미한다. 인력에 대한 인위적인 힘은 인력 퍼텐셜을 미분하여 구하고, 목적지에 대하여 수렴하며 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{att}(q) &= -\nabla U_{att}(q) \\ &= -\xi \rho_{goal}(q) \nabla \rho_{goal}(q) \\ &= -\xi (\mathbf{q} - \mathbf{q}_{goal}) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $\nabla \mathbf{U}$ 는 기울기(gradient) 벡터로 식(3)과 같다.

$$\nabla \mathbf{U} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} \\ \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} \end{bmatrix} \text{ or } \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} \\ \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} \\ \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (3)$$

척력 퍼텐셜은 장애물 주위에 로봇이 진행할 수 없도록 퍼텐셜 장벽을 만드는 것이며, 일반적으로 로봇이 장애물로부터 충분히 떨어져 있을 경우 영향을 주지 않는다. 식(4)는 척력 퍼텐셜을 나타내는 식이다.

$$U_{rep}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left( \frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 & \text{if } \rho(q) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{if } \rho(q) > \rho_0 \end{cases} \quad (4)$$

여기서,  $\eta$ 는 양의 가중치 인자,  $\rho(q)$ 는 장애물 지역으로부터 로봇의 위치  $q$ 까지 최소거리,  $\rho_0$ 는 장애물 영

향의 거리로 양의 상수이다. 척력 퍼텐셜 함수는 양수이거나 제로이며 로봇의 위치  $q$ 가 객체에 가까워지면 무한대로 접근한다. 척력 퍼텐셜로부터 인위적인 힘은 식(5)와 같다.

$$\mathbf{F}_{rep}(q) = -\nabla U_{rep}(q) = \begin{cases} \eta \left( \frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^2(q)} \nabla \rho(q) \\ 0 \end{cases} \quad (5)$$

장애물을 회피하면서 목적지까지 도착하게끔 로봇을 이끄는 힘은 앞에서 유도한 인력과 척력에 대한 인위적인 힘의 합으로 구성되고 식 (6)로 표현된다.

$$\mathbf{F}(q) = \mathbf{F}_{att}(q) + \mathbf{F}_{rep}(q) \quad (6)$$

본 논문에서는 화재라는 특수한 상황에서 대피자를 로봇에 비유하고, 화재가 발생한 위치를 장애물로 비유하여 퍼텐셜 필드 방식으로 최적의 대피 경로를 탐색하는 방식을 제안한다. 한정된 공간에서 센서를 통해 화재가 발생한 위치를 확인할 수 있어서 전역적인 탐색이 가능해진다.

#### IV. 실험 및 검토

화재 감지 센서가 설치된 위치를 장애물 위치로 하고, 화재 감지 센서가 연기나 불꽃, 또는 온도의 급격한 상승을 감지하면 해당 화재 감지 센서 위치에 장애물을 생성하여 대피 경로 탐색을 시작한다.

식(6)에서  $\mathbf{F}_{att}(q)$ 는 현재 대피자의 위치  $q$ 에서 목적지(출구) 사이의 인력 퍼텐셜을 의미하고,  $\mathbf{F}_{rep}(q)$ 는 사람의 위치  $q$ 에서 화재 발생 위치 사이의 척력 퍼텐셜을 의미한다. 척력 퍼텐셜  $\mathbf{F}_{rep}(q)$ 는  $\rho_0$ 를 필요로 하는데, 이것은 척력 퍼텐셜이 미치는 범위로 화재의 범위(크기)를 대입한다. 화재의 범위는 센서가 측정할 온도나 연기의 정도로 결정한다.

대상 건물의 크기는 40m x 40m이고, 식(1)에서 여러번의 반복 시뮬레이션을 통해 인력에 대한 가중치  $\xi$ 는 15, 척력 퍼텐셜에 대한 인위적인 힘의 가중치  $\eta$ 는 0.01로 선택하였고, 화재 영향의 거리  $\rho_0$ 는 5[m]로 정하였다.

그림 7은 화재가 한 곳에서 발생한 경우 3차원으로 나타난 퍼텐셜 필드 이동 경로 계획에 의해 추적된 이

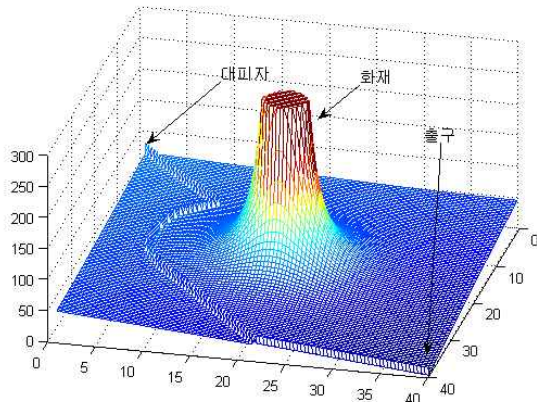


그림 7. 퍼텐셜 필드 추적 경로  
Fig. 7. Potential field trajectory.

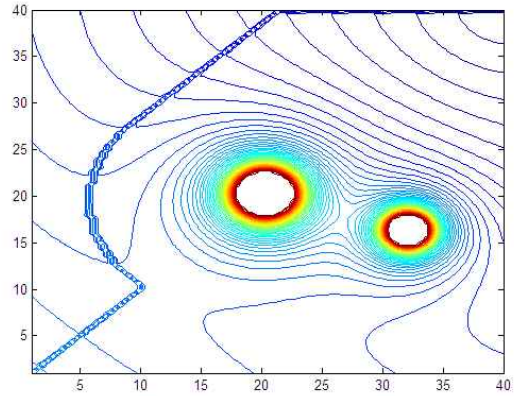


그림 10. 퍼텐셜 필드의 등고선  
Fig. 10. Contour of potential field.

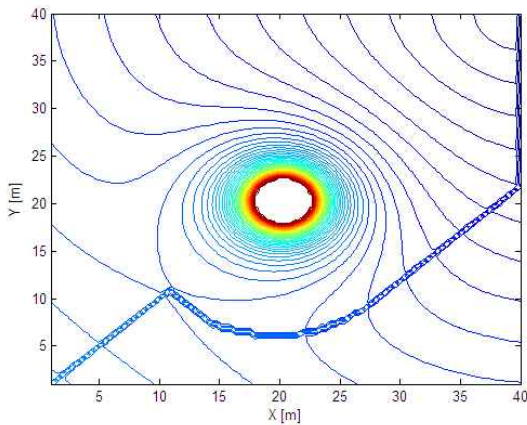


그림 8. 퍼텐셜 필드의 등고선  
Fig. 8. Contour of potential field.

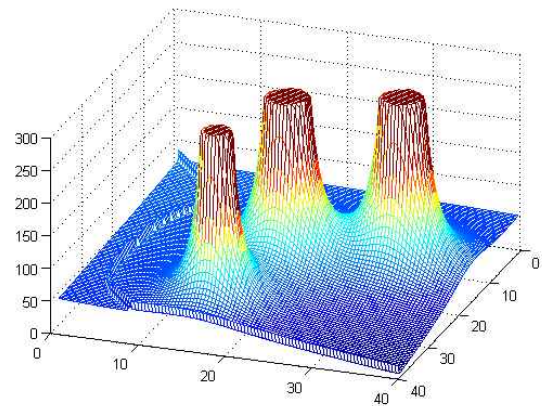


그림 11. 퍼텐셜 필드 추적 경로  
Fig. 11. Potential field trajectory.

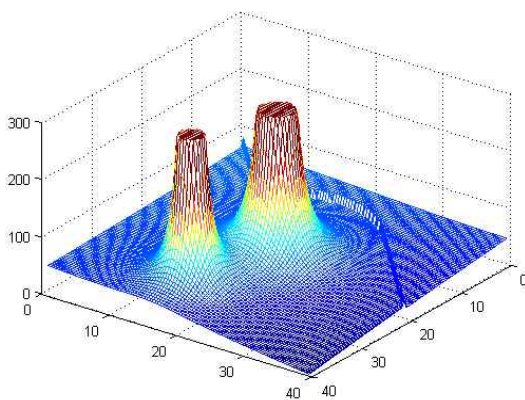


그림 9. 퍼텐셜 필드 추적 경로  
Fig. 9. Potential field trajectory.

동 경로이며, 그림 8은 바닥에 투영한 2차원 등고선 경로를 나타낸 그림이다. 대피자의 위치는 (0,0)이고, 출구는 (40,40)에 위치한다.

그림 9와 그림 10은 화재가 두 곳에서 발생한 경우의

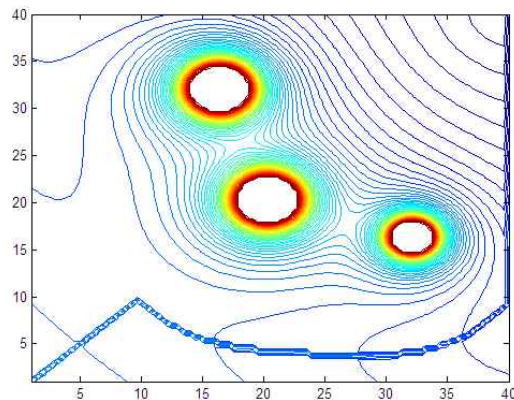


그림 12. 퍼텐셜 필드 추적 경로의 등고선  
Fig. 12. Contour of potential field.

결과로 화재의 영향이 미치는 범위  $\rho_0$ 를 5m와 3m로 설정한 경우이다.

그림 11과 그림 12은 화재가 세 곳에서 발생했을 경우의 대피 경로를 나타낸다. 이때 추가로 발생한 화재

의 범위는 5m이다.

그림 10과 그림 12에서 대피 경로의 변화는 화재 화재상황에서 화재와 최대한 멀리 떨어져 대비할 수 있는 안전한 경로가 탐색됨을 의미한다.

## V. 결 론

본 논문에서는 화재라는 특수한 상황에서 대피자를 로봇에 비유하여 포텐셜 필드 방식으로 최적의 대피 경로를 탐색하는 방식을 제안하고자 하였다. 장애물은 화재가 발생된 위치를 나타내게 되며, 건물 내의 한정된 공간에서 센서를 통해 화재가 발생한 위치를 확인할 수 있어서 전역적인 탐색이 가능하게 된다. 즉, 화재 감지 센서가 설치된 위치를 장애물 위치로 하고, 화재 감지 센서가 연기나 불꽃, 또는 온도의 급격한 상승을 감지하면 해당 화재 감지 센서 위치에 장애물을 생성하여 대피 경로 탐색을 시작하게 된다.

제안한 퍼텐셜 필드를 이용한 화재 대피 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 화재의 발생 지점의 변화, 화재 발생 건수, 화재의 크기(온도, 시야 확보 정도) 등의 변화를 반영하여 상황에 맞는 최적의 대피 경로를 제시해주는 기능 테스트를 수행하였다.

향후 건물 내에 설치된 화재 감지 센서와 복합 감지 센서로부터 상황 정보를 습득하여 무선으로 서버에 전송하면 퍼텐셜 필드 방식으로 최적의 대피 경로를 탐색하여 유도등을 대피 방향으로 동작시키며 스마트 폰과 같은 모바일 단말에 무선을 이용하여 대피 경로 정보를 거주자들에게 표시해 줄 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김영현, 임동진, “화재 대피 시뮬레이션 소프트웨어 개발에 관한 연구,” 2002년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 201-205쪽, 2002년
- [2] 최원령, 이경희, “건물화재시 재실자의 피난형태 예측 모델에 관한 연구,” 대한건축학회 논문집 제 4권 제4호, 177-184쪽, 1988년
- [3] 이재홍, 문승진, “화재 발생시 대피정보 시스템 제안,” 한국인터넷정보학회 2010년도 학술대회 논문집, 323-326쪽, 2010년
- [4] 맥스포, <http://www.maxfor.co.kr/>
- [5] 이종호, 김동원, “퍼지시스템과 포텐셜 필드를 이용한 다중 이동로봇의 충돌회피 최적경로 연구,” 전자공학회논문지, 제47권 IE편, 제2호, 66-72쪽,

2010년 6월

- [6] 남현성, 이지홍, 유준, “전위장을 이용한 로봇 경로 계획의 구조적 Local Minimum 을 극복하는 경로 계획 방법,” 전자공학회논문지, 제33권 제9호, 1355-1365쪽, 1996년 9월
- [7] R. C. Arkin. Behavior-Based Robotics. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1998.
- [8] R. R. Murphy, Introduction to AI Robotics, MIT Press, 2000.
- [9] Y. K. Hwang, N. Ahuja, “A potential field approach to path planning,” IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 8 , No. 1, pp. 23-32, 1992.

## — 저 자 소 개 —



이 민 구(정회원)

2000년 서강대학교 전자공학과  
학사 졸업.

2004년 서강대학교 전자공학과  
석사 졸업.

2001년~현재 전자부품연구원  
선임연구원 재직

<주관심분야 : 차량-IT, Green IT, 무선 센서 네  
트워크, 임베디드 시스템>



정 경 권(정회원)

1998년 동국대학교 전자공학과  
학사 졸업.

2000년 동국대학교 전자공학과  
석사 졸업.

2003년 동국대학교 전자공학과  
박사 졸업.

2009년~현재 전자부품연구원 위촉연구원 재직  
<주관심분야 : 차량-IT, 무선 센서 네트워크, 임  
베디드 시스템>

이 원 석(평생회원)

대한전자공학회 논문지

제 48권 IE편 제1호 참조