

발전 설비 감시 점검용 로봇 시스템을 위한 실내 위치 인식 시스템 설계

論 文
57-12-28

Indoor Localization System for Field Robot System of Power Plant Facilities Surveillance

鄭昌基[†] · 李在慶^{*} · 朴俊永^{*} · 趙炳學^{*}
(Chang-Ki Jeong · Jae-Kyung Lee · Joon-Young Park · Byung-Hak Cho)

Abstract - As power plant facilities are being deteriorated, their safety is getting more important, and more routine surveillance is being required. For this purpose, this paper presents an indoor localization system for field robot system which performs the surveillance of power plant facilities instead of human workers from the viewpoint of the workers' safety and work efficiency.

Key Words : Field robot system, Robot, robot system, Field robot, Inspection robot

1. 서 론

발전설비용 로봇은 크게 인간이 작업하기가 어렵고 시간과 비용이 많이 소요되는 극한 작업용 로봇기술 분야와, 별도의 조작 없이도 스스로 주변 상황을 인지하여 대처하는 지능을 부여한 발전설비 감시점검용 지능형 로봇기술 분야로 나누어져 진행되고 있다. 극한작업용 로봇 기술을 정의하면 사람의 접근이 불가능하거나 작업이 매우 어려운 환경 하에서 사람과 같은 고도의 작업을 수행하는 로봇 기술로서, 그 적용 분야로는 발전 설비, 심해, 우주 등이 해당된다. 즉, 극한작업용 로봇은 이러한 특수 환경에서 인간을 대신하여 작업을 수행하는 로봇을 말하며, 발전설비용 극한작업 로봇 기술은 그 적용 범위를 발전소 내부의 특수한 검사나 정비 및 수리에 사용되는 로봇으로 한정하는 기술을 뜻한다. 화력발전설비 감시점검용 지능형 로봇 기술은 발전 설비의 원격 순시 및 감시 점검을 자동으로 수행하는 지능형 로봇 기술이다. 이러한 목적을 위한 초기의 원격제어용 이동로봇은 단순히 작업자가 원격지에서 조절할 수 있도록 구성 및 프로그래밍 된 로봇이었다. 이 분야의 로봇으로는, PSE&G에서 그림 1과 같이 수중 청소 로봇 SuperScavenger XT1000을 개발하여 Bergen 발전소(600MW)의 Basin의 슬러지 제거에 적용한 바 있고[1], 일본 도시바는 Laser Doppler Vibrometer, Machzender interferometer, 카메라 등을 장착한 이동 로봇 TOSRIS를 개발하였다[2]. 발전설비 감시점검용 지능형 로봇 기술은 발전설비가 노후화되어감에 따라 안정성 및 작업 효율 관점에서 그 필요성이 점차 증대되고 있다. 이에 해외에서는 발전설비 원격 감시점검용 이동로봇이

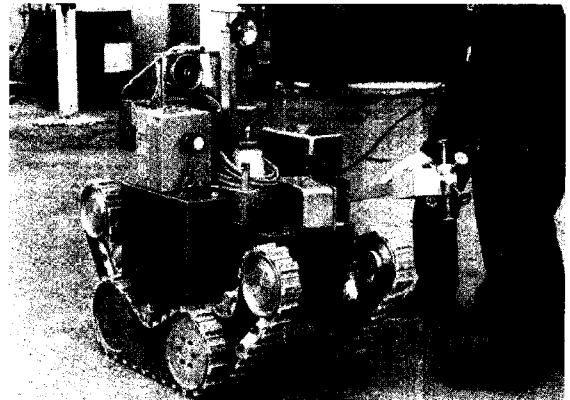


그림 1 PSE&G사의 SURBOT-T
Fig. 1 SURBOT-T of PSE&G Corp.

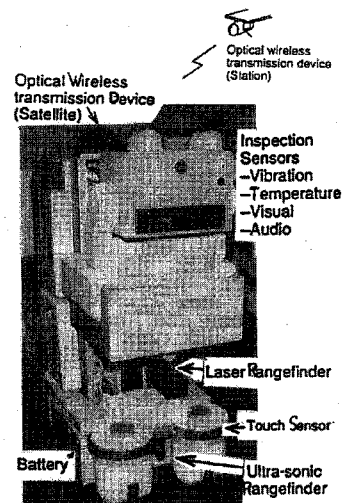


그림 2 EnviroSight사의 ROVER
Fig. 2 ROVER of EnviroSight

[†] 교신저자, 正會員 : 韓電電力研究員 水火力發電研究所
責任研究員

E-mail : jck@kepri.re.kr

^{*} 正會員 : 韓電電力研究員 戰略技術研究所

接受日字 : 2008年 8月 13日

最終完了 : 2008年 9月 30日

연구 개발되고 있으나, 아직까지는 원자력발전소에만 적용되고 있는 실정이다[3]. 전력연구원에서는 현장 적용성과 구축된 인프라의 추후 활용성을 고려하여 I&C 시스템 연구 및 시험 설비 인프라 구축을 위한 필드로봇 시스템으로 발전설비의 감시·점검용 로봇 시스템을 구축하기로 결정하였다. 그리고 이러한 발전설비의 감시·점검용 로봇 시스템은 지정된 위치에 따라서 미리 선별된 작업을 수행하는 위치 기반의 서비스를 수행한다. 이러한 위치기반 서비스의 대표적 예는 광대역 위치서비스인 GPS(Global Positioning System) 서비스와 근거리 통신망인 Zigbee, RFID(Radio Frequency Identification) 등이 있다. 광대역 위치 서비스인 GPS의 경우 실외에서의 사용은 적합하나, 위치 추정을 위한 오차가 큰 편이며 위성신호의 수신이 어려운 실내에서는 사용이 어려운 문제점을 가지고 있다[4][5].

실내에서 사용 가능한 무선위치 서비스는 먼저 적외선을 이용한 액티브 배치(Active Badge) 시스템, 무선 네트워크를 이용한 무선 네트워크를 이용한 RADAR 시스템, 초음파를 이용한 Active Bat, Cricket 시스템, RFID를 이용한 전파 인식 시스템이 있다[6].

적외선을 이용한 액티브 배치시스템은 적외선의 파장을 이용한 시스템으로 가시거리 내에서만 동작하며, 신호의 도달거리가 짧고, 빛에 대한 간섭을 많이 받는 문제점이 있어서 조명의 변화 및 적외선 파장이 많이 나오는 곳에서는 적합하지 않다. 또한 RADAR 시스템은 2.4GHz 대역의 무선통신망을 사용하는데, 우선 정확도에 있어서 신뢰도가 낮고, 로봇이 적용될 발전소의 경우 대부분 구조물이 철골로 이루어져 있어서 전파의 도달거리가 짧아 많은 수의 기지국을 설치하여야 한다는 단점이 있다. 초음파센서를 사용한 시스템의 경우에도 시스템의 정확도에 비하여 그 비용이 높아 발전소에서 사용하기에는 적합하지 않다. 또한 발전소 내부에서 위치 인식을 하기에는 초음파 센서를 사용하기 어려운 점이 많다. RFID는 라디오 주파수를 이용하여 움직이는 물체와 인식기 사이의 데이터 통신을 하는 ADC(Automatic Data Collection) technology로써 빠르고, 신뢰성 있고, 노출되어 있지 않아 이동 중에 있어도 통신이 가능하다. 또한 인식을 위해 직접 조준할 필요가 없으며, Tag의 데이터 변경 및 추가가 자유롭고 일시에 다량의 Tag 판독이 가능하며, 냉온, 습기, 먼지, 열 등의 열악한 판독 환경에서도 판독율이 높다[7].

본 논문의 목적은 발전설비 내에서 발전설비 감시·점검용 로봇이 일정한 작업을 꼭 필요한 위치에서 수행하기 위한 시스템을 구축하는 것이다. 이러한 시스템을 구축하기 위하여 로봇은 실시간으로 발전설비 내에서 RFID의 정보를 수집하여 위치정보를 획득하고 그에 상응하는 작업을 수행하도록 하는 시스템을 구성하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본문에서는 현재 개발중인 로봇에 대하여 설명하고, 발전설비 내에 설치된 RFID 시스템에 대하여 설명한다. 결론에서는 본 시스템의 성능에 대하여 논하고 결론을 맺는다.

2. 본 론

2.1 발전설비 감시·점검용 로봇 시스템 작업환경 분석

그림 3은 발전설비 내에서 로봇이 작업을 수행할 작업환경의 예로 보령화력발전소 내의 터빈제어실을 보여준다. 발전설비 감시·점검 로봇의 이동환경은 그림 3과 같이 낮은 바닥에서도 이동이 가능하여야 하며, 슬릿 형태의 바닥에서도 이동이 가능하여야 한다.

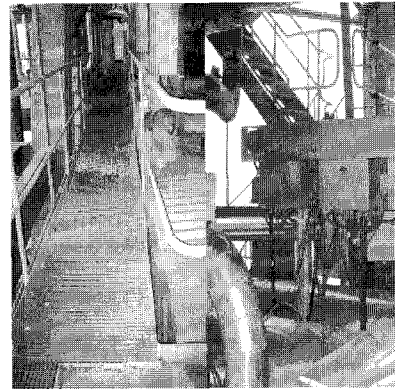


그림 3 보령화력발전소 터빈실
Fig. 3 Turbine room of Boryeong power site

각 이동 통로에는 계단과 같은 많은 장애물이 존재하고 있다. 로봇이 운용되는 환경은 고압 증기, 재열증기관, 냉온수관과 같이 철골 파이프로 인하여 전파의 가시거리가 짧고, 많은 온수 파이프 및 열원으로 인하여 적외선 센서의 사용이 어렵다. 또한 터빈 발전실 내부에는 소음이 항상 존재한다.

2.2 발전설비 감시·점검용 필드로봇 시스템 기구부

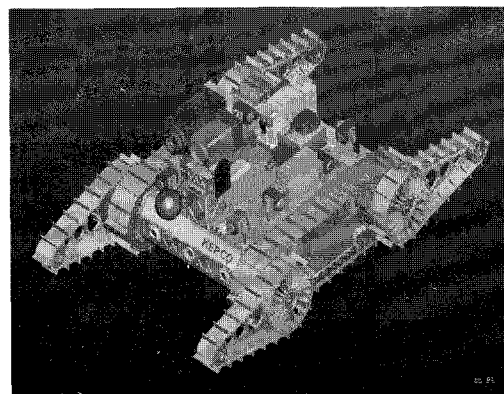


그림 4 발전설비 감시·점검용 필드로봇 기구부
Fig. 4 Mobile platform of the field robot system

감시·점검 로봇의 베이스 유닛(Base Unit)은 정해진 위치에 고정된 Fixed Base형, 일본 동경전력의 이동로봇[8]과 같이 정해진 레일을 따라 이동하는 Fixed Track형, 작업 환경 내에서 자유롭게 이동 가능한 Free Motion형으로 구분할 수 있다. 이 중에서 Fixed Base형과 Fixed Track형은 로봇의 운용이 매우 용이하다는 장점이 있지만 주어진 작업 영

역 이외의 영역은 감시 대상에서 제외되기 때문에, 발전설비의 감시·점검용 로봇으로 Free Motion형 이동로봇을 선택하였다.

표 1 로봇 기구부의 기본 Spec.

Table 1 Specifications for mobile platform of the field robot

메커니즘	더블 트랙 + 보조 트랙
이동 속도	최대 1.5m/s
등판 높이	최대 높이 300mm 장애물
등판 각	40도
P a y l o a d	10Kg
무게	40Kg 이내

표 1은 발전설비 내의 작업 및 작업환경을 고려한 로봇 기구부의 기본 Spec.을 보여준다. 이 외에 로봇 기구부가 가져야 하는 기능상의 특성은 다음과 같다.

- 로봇은 트랙을 이용하여 지면의 특성에 구애받지 않고 자유롭게 이동 가능해야 한다.
- Wire-frame이 내장된 벨트를 사용하여 강성이 강한 대신에, 가볍게 제작되어 벨트 자체의 장력과 마찰력에 의한 전달 효율 저하를 최소화하여야 한다.
- 외부 이물질의 유입에도 트랙 구동력이 유지될 수 있도록 트랙의 내부 치차 형상을 디자인해야 한다.
- 부드러운 단면을 갖는 자연 조형물 이외에도, 직각의 단면을 갖는 인공 조형물도 구동이 가능해야 한다.
- 보조 트랙 전면부의 각을 조정하여 험지의 형상에 맞도록 변형함으로써 험지 상에서 주행이 가능해야 한다.

(주)유진로봇의 ROBHAZ는 상기 나열된 기구부 사양을 모두 만족하므로 발전설비 감시·점검용 로봇의 이동로봇의 기구부로는 ROBHAZ를 채택하였다[9].

2.3 발전설비 감시·점검용 필드로봇 제어시스템

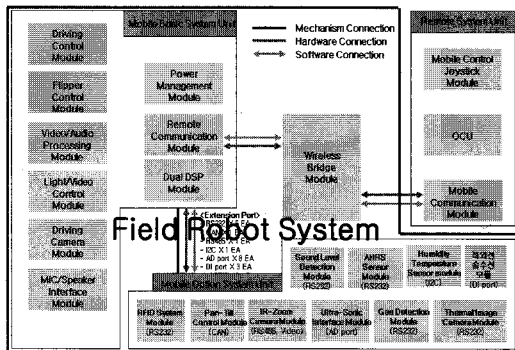


그림 5 발전설비 감시·점검용 필드로봇 제어부
Fig. 5 Control system of the field robot system

안정적인 전기공급과 효과적인 정비를 위해서 화력/원자력 발전소와 송변전 설비에 로봇의 적용이 요구되고 있으며, 국내에서도 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다. 로봇 기술은 크게 로봇 구동부를 포함하는 로봇 기구부 설계 제작

기술과 로봇 기구부의 제어를 담당하는 제어 시스템 설계 제작 기술로 나눌 수 있으며, 발전설비용 로봇 개발을 위해서는 소형 경량의 제어 시스템 개발이 요구되어진다.

그림 5는 전체 로봇 제어기의 구조를 보여준다. 로봇 제어 시스템은 크게 중앙 처리장치, 모터 구동부, 통신부, 센서 정보 처리부로 나누어지며, 중앙 처리장치는 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 전체 시스템을 운용하도록 하였다. 또한 추가의 DSP가 항상 대기 상태로 있어서, 작업 중 응급상황 발생 시 프로세스를 바로 전환 할 수 있는 구조로 설계하였다. 모터 구동부는 BLDC와 DC 모터를 구동하기 위한 부분으로 DSP와 CAN(Controller Area Network)을 이용하여 통신하며 DSP로부터 이동 거리 및 속도를 전송 받아 모터를 구동하는 역할을 수행한다. 통신부는 외부 사용자 시스템과 통신하는 부분을 담당하며 내부에서 제어기와 각 모듈간 통신망을 담당한다. 센서 정보 처리부는 로봇의 각 부분에 흩어져 있는 센서로부터 정보를 입력 받아 중앙 DSP 부분으로 정보를 이송하는 역할을 수행한다.

2.4 발전설비 감시·점검용 필드로봇 센서시스템



그림 6 발전설비 감시·점검용 필드로봇 센서부
Fig. 6 Sensor system of the field robot system

발전설비 감시·점검용 필드로봇에는 주변 환경의 영상을 획득하기 위한 적외선 카메라와 환경의 온도 정보를 얻기 위한 열화상 카메라 장착되어 있다. 또한, 로봇 주변부의 온도와 습도를 측정하기 위한 온습도센서와 설비 내부의 긴급상황 여부를 파악하기 위한 소음 및 가스 측정 모듈, 장애물 감지를 위한 초음파 센서, 로봇의 위치를 획득하기 위한 지자기 센서가 장착되어 있다.

2.5 실내 위치인식 시스템

실내 위치 인식 시스템은 로봇이 발전설비 순시 중 발전설비 내에서 로봇의 위치를 인식하고, 현 위치에서 로봇이 수행하여야 하는 감시 업무를 전달한다.

발전설비 내부의 위치인식시스템은 로봇이 미리 설치된 순시루틴 안내선을 따라가면서 지자기 센서로부터 로봇의 이동 속도 및 위치에 관한 정보를 수신하고, 특정위치에서 RFID Tags의 정보가 수신되었을 때 로봇의 위치를 보정한다. 실내 위치인식 시스템은 RFID Tags, RFID 수신유닛, 지자기 센서, 순시루틴 안내선과 순시루틴 검출부분으로 이루어진다.

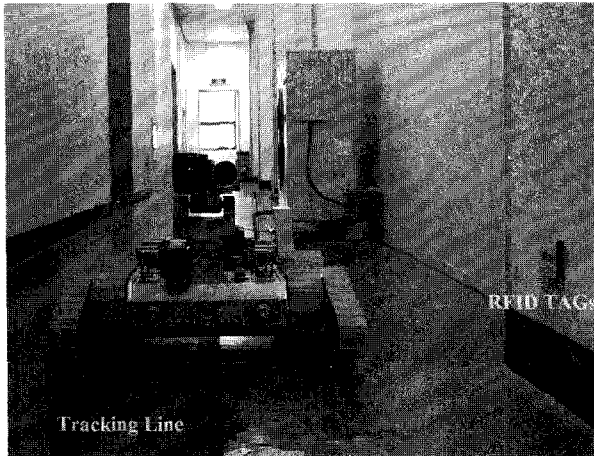


그림 7 발전설비 감시·점검용 필드로봇 위치인식실험
 Fig. 7 Experiment of localization of the field robot system

그림 7은 발전설비 감시·점검용 필드로봇 시스템을 이용하여 필드로봇의 실내 위치인식실험을 수행하는 것을 보여준다. 로봇의 중앙부 하단에는 로봇이 발전설비를 순시할 때 순시루틴을 제공하는 안내선이 장착되어 있다.

필드로봇 시스템은 로봇의 하단부에 장착된 3개의 적외선 검출 센서를 이용하여 순시루틴 안내선을 검출하고 발전설비의 안전성을 검사할 때 순시루틴 안내선을 따라서 이동하게 된다. 이때 로봇은 모터의 엔코더로부터 위치 신호를 수신하여 로봇의 대략적 위치를 감지하고, 로봇에 장착된 지자기 센서로부터 로봇이 움직이는 방향 및 속도를 감지하여 로봇의 위치를 보정한다.

RFID Tags는 발전설비 내부의 작업공간을 격자형으로 나눈 후 각 구획 별로 순시루틴 안내선을 따라서 설치되어 있다. 로봇은 순시루틴 안내선을 따라서 이동하면서 RFID Reader에서 RFID를 검출하기 위하여 전파를 송신하며 이 전파를 수신한 가장 인접한 RFID로부터 현재 구역에서 수행하여야 하는 작업의 정보 및 현재 구역의 위치정보를 받게 된다.

로봇이 움직이는 중 엔코더와 지자기 센서를 이용하여 로봇의 위치를 추정하는 것은 시간이 지남에 따라 에러가 누적되어 로봇의 정확한 위치가 이동되는 문제점을 가지므로 로봇은 각 작업공간에서 RFID의 정보를 수신하여 RFID 격자내에서 로봇의 위치를 보정하게 된다.

그림 8은 발전설비 감시·점검용 필드로봇 시스템의 조종 화면을 보여준다. 화면에는 현재 위치에서의 수신한 영상 화면을 보여주며, 그 우측에 RFID와 지자기센서를 이용하여 로봇의 위치를 추정한 지도를 보여준다.

그림 9는 장애물이 존재하는 곳의 위치를 인식하기 위한 실험이다. 필드로봇은 운영중 다른 층에 위치한 발전설비에 접근하기 위하여 장애물이나 계단을 인지하고, 장애물이나 계단을 넘어가는 작업을 수행 할 필요가 있다. 로봇이 순시루틴 안내선을 따라서 이동중 계단이 존재하는 곳의 위치를 RFID를 사용하여 인지하게 되면, 로봇은 계단을 올라갈 일련의 준비를 하고 계단을 오르게 된다. 계단을 다 오르고 난 후 로봇은 다시 순시루틴 안내선을 찾아 발전설비를 감시하는 일련의 작업을 수행하게 된다.

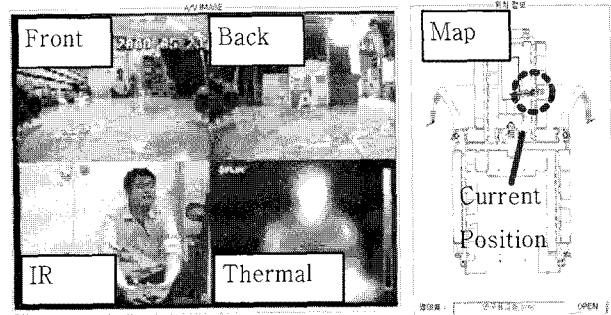


그림 8 발전설비 감시·점검용 필드로봇 위치인식화면
 Fig. 8 Localization screen of the field robot system

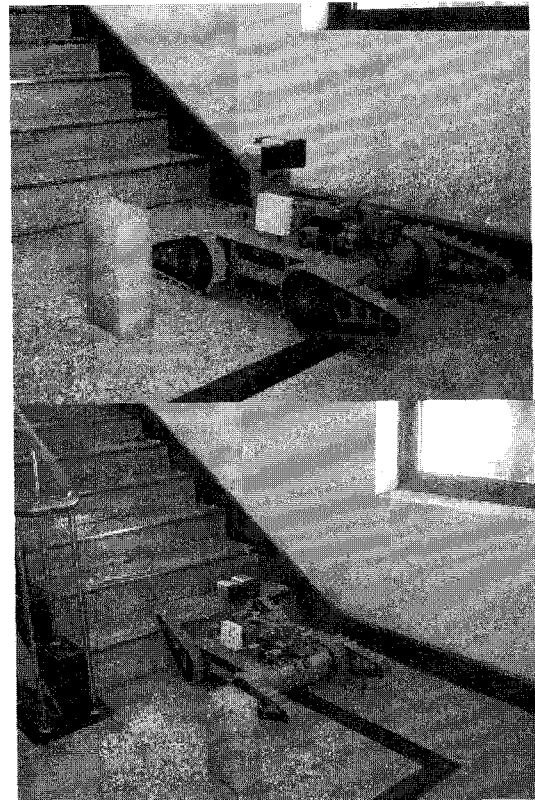


그림 9 발전설비 감시·점검용 필드로봇 장애물 인식실험
 Fig. 9 Obstacle detection experiment of the field robot

3. 결 론

본 로봇은 국내외에서 우수성을 인정받은 (주)유진로봇의 필드로봇 ROBHAZ를 기반으로 열영상 카메라 등의 최신 센서 및 장비를 이용하여 필드로봇 시스템을 구축하고 RFID를 이용하여 실내 위치 인식 시스템을 개발하였다.

전체 필드로봇 시스템은 이동로봇(Mobile Base Unit), 로봇 제어시스템과 Local Control Station으로 이루어진다. 또한, 필드로봇 시스템에는 주변 환경 정보를 감지하는 카메라와 각종 센서들이 이동로봇에 장착되어 온도도 및 가스, 열화상 정보를 획득한다.

필드로봇 시스템은 발전설비 내부에서 작동하는 동안 감시작업을 수행하기 위하여 로봇의 현재 위치를 확인하는 것

이 필요하다. 필드로봇 시스템은 기본적으로 순시 안내선을 따라서 운용되며, 운용중 엔코더와 자자기센서를 이용하여 로봇의 위치를 추정한다. 감시 업무를 수행 할 때에는 순시 안내선을 따라서 격자형으로 분포된 RFID를 이용하여 정확한 위치를 파악한다.

이동로봇은 무선 LAN 중계기를 이용하여 로봇의 운용범위를 확장하였고, 로봇에 장착된 카메라와 센서를 이용하여 주변 환경의 영상, 열, 소음, 온·습도, 가스 검출을 수행한다. 개발된 로봇 시스템은 발전 설비의 안전성 제고 및 국내 발전설비 관리 기술의 고도화에 기여할 것으로 기대되며, 구축된 시험설비는 추후 지능형 로봇을 이용한 원격 순시 및 감시·점검 기술 개발에 활용될 수 있다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발사업에 의하여 개발 중인 "I&C 시스템 연구 및 시험 설비 인프라 구축"과제의 관한 기술개발결과임을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

[1] H. T. Roman, "Robotic Applications in PSE&G's Nuclear and Fossil Power Plants," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 8, No. 3, pp. 584~592, 1993.

[2] K. Satoh, H. Hozumi, S. Okada, T. Itoh, S. Kanemoto, and H. Okano, "Autonomous Mobile Patrol System for Nuclear Power Plants - Field Test Report of Vehicle Navigation and Sensor Positioning," Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 2, pp. 743~750, 1996.

[3] A. Ghosh, S. Devadas, K. Keutzer and J. White, "Estimation of Average Switching Activity in Combinational and Sequential Circuits," ACM/IEEE Design Automation Conf., pp. 253-259, 1992.

[4] F.N. Najm, "A Survey of Power Estimation Techniques in VLSI Circuits," IEEE Trans. on VLSI Systems, pp. 446-455, Dec. 1994.

[5] J. Monteiro, S. Devadas, and B. Lin, "A Methodology for Efficient Estimation of Switching Activity in Sequential Logic Circuits," ACM/IEEE Design Automation Conf., pp. 12-17, 1994.

[6] R. Burch, F. N. Najm, P. Yang, and T. N. Trick, "A Monte Carlo Approach for Power Estimation," IEEE Trans. on VLSI systems, vol. 1, No. 1, pp.63-71, March 1993.

[7] A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 3rd Edition, New York: McGraw-Hill, 1991.

[8] S. Yamamoto, "Development of Inspection Robot for Nuclear Power Plant," Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1559~1566, 1992.

[9] <http://www.robhaz.com/>

저 자 소 개



정 창 기 (鄭 昌 基)

1956년 8월 15일생. 1998년 대전산업대학원 전기공학과 석사 1991~현재 한전 전력연구원 재직
Tel : 042-865-5411
Fax : 042-865-5304
E-mail : jck@kepri.re.kr



이 재 경 (李 在 慶)

1978년 1월 21일생. 2004년 경북대학교 전자전기공학과 졸업. 2006년 KAIST 전자전산학과 졸업(석사). 2006년~현재 한전 전력연구원 재직
Tel : 042-865-7688
Fax : 042-865-7804
E-mail : jklee78@gmail.com



박 준 영 (朴 竣 永)

1971년 10월 29일생. 1995년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업. 1997년 KAIST 기계공학과 공학석사. 2004년 동대학원 공학박사. 2004년~현재 한전전력연구원 재직
Tel : 042-865-7687
E-mail : asura@kepri.re.kr



조 병 학 (趙 炳 學)

1956년 8월 27일생. 1982년 한양대 전기공학과 졸업. 1986년 KAIST 원자력공학과 공학석사 1996년 동대학원 공학박사. 1991년~현재 한전전력연구원 재직
Tel : 042-865-7680
E-mail : chobh@kepri.re.kr