

## 바퀴구동 로봇을 이용한 농업용 자동 호스 릴 장치 개발

김경철<sup>1</sup>, 고민혁<sup>1</sup>, 유범상<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 대학원 기계시스템공학과, <sup>2</sup>전북대학교 기계시스템공학부 & 지능형로봇연구소

### Development of Agriculture Auto Hose Reel by using Wheeled Mobile Robot

Kyoung-Chul Kim<sup>1</sup>, Min-Hyuc Ko<sup>1</sup> and Beom-Sahng Ryuh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate school, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Division of mechanical System Engineering & Intelligence Robot Center,  
Chonbuk National University

**요약** 본 논문은 바퀴구동 로봇을 이용한 농업용 자동 호스 릴 장치 개발에 대한 연구이다. 다양한 농작업 중에서 방제는 농작물의 생육과 직결되는 중요한 작업이다. 이에 본 연구에서는 공급 호스에 대한 자동화를 위하여 바퀴 구동 로봇을 이용하여 구동이 가능하고 장력 검출을 통하여 공급 호스가 자동으로 풀리고 감길 수 있는 시스템을 개발하였다. 바퀴 구동 로봇에 대한 조향 성능에 대한 기구학적인 해석을 통하여 협소한 농장에서도 원활한 동작이 가능한 형태를 고안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 이를 검증하였다. 자동 호스 공급 장치의 정밀도를 높이기 위하여 호스에 걸리는 장력을 검출하는 방식과 호스의 정렬을 위한 기구를 고안하였다. 개발되어진 시스템에 대한 성능평가와 농장에서의 평가를 실시하였다. 개발되어진 시스템은 최고 주행 속도 2.5%, 주행 정밀도  $\pm 0.18^\circ$  그리고 주행 안전 속도 2%를 갖는다. 개발되어진 시스템은 농업 인구의 고령화 및 인력 부족에 도움이 될 것으로 판단되어진다.

**Abstract** This paper is a study for developing an agriculture automatic hose reel of mobile robot. One of the important works in farming is pesticide spraying because it is related to the growth of crops. Therefore, we develop an automatic reel hose and mobile robot. Conducting kinematic analysis of steering performance, the mobile robot is designed to move smoothly even in a small space, and that is verified by simulation. To increase supplying accuracy of the automatic hose reel, the mobile robot use detecting tension mechanism on a hose and a device for the hose deployment. We conduct performance and on-farm evaluation. This system has been maximum speed of 2.5%, driving accuracy of  $\pm 0.18^\circ$  and driving safety speed of 2%. The system would solve an aging population and shortage of workforce in agriculture.

**Key Words** : Agriculture Robot, Automatic hose reel device, Mobile Robot, Tension Detection System

### 1. 서론

세계적으로 다양한 농업 응용기술을 사용하는 방법들은 경쟁적으로 발전하고 있으며, 정밀 농업의 중요성이 부각되어지고 있다[1]. 특히 로봇을 이용한 농업 응용기술은 농작업의 다양성에 많은 영향을 미칠 것이다[2].

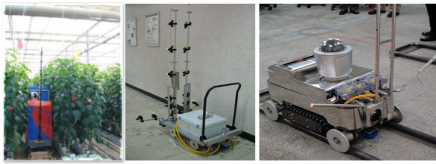
다양한 농작업 중에 방제 작업은 농작물의 생육 과정에 중요한 부분을 차지한다. Fig. 1은 본 연구진에 의해 기 개발된 다양한 형태의 방제 작업 로봇들이다. 시설 농장에서 반자동 형태로 작업자의 지시에 의하여 작동하는 방제 시스템, 방제와 농작물 생육 정보를 측정하는 로봇 그리고 대형 온실에서 방제 작업이 가능한 로봇 등이 있다[3,4].

본 논문은 2013년 정부의 재원으로 전라북도 테크노파크의 '신성장산업 연구개발' 사업과 전북대학교 산학협력선도대학육성사업단의 지원으로 수행된 연구임

\*Corresponding Author : Beom-Sahng Ryuh(Chonbuk national Univ.)

Tel: +82-63-270-2480 email: ryuhbs@jbnu.ac.kr

Received November 26, 2013 Revised December 27, 2013 Accepted March 6, 2014



[Fig. 1] Pesticide spray robot developed by the authors

방제 시스템은 분무 노즐, 호스 그리고 펌프로 구성되어 있다. 노즐과 펌프의 기술은 비약적인 발전을 이루고 있으나, 공급 호스에 대한 자동화 부분은 아직은 미흡한 실정이다[11]. 최근 농약 공급 호스의 자동화에 대하여 국내외적으로 많은 연구가 시도되고 있으나 아직은 정밀한 제어가 미흡하고 인력에 의하여 움직이는 정도이다. 또한 Fig. 2와 같이 대부분의 호스 공급 장치는 고정되어 사용하거나, 인력에 의하여 이동하는 형태이다.

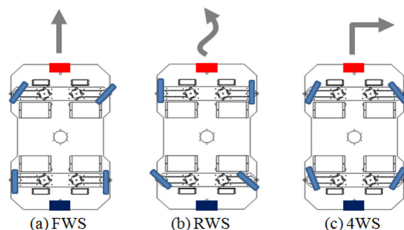


[Fig. 2] Example of hose reel device

본 논문은 로봇을 통한 농업자동화를 위하여 바퀴 구동 형태의 로봇을 이용하여 이동이 가능한 자동 호스 릴 장치 개발에 대하여 발표하고자 한다. 이를 위하여 구동 로봇의 조향 성능에 대한 기구학적 해석과 시뮬레이션을 통하여 로봇을 설계하였다. 그리고 장력 검출 방식을 통한 호스 릴 장치의 자동 권선 시스템과 호스의 정렬을 위한 기구를 고안 하였다.

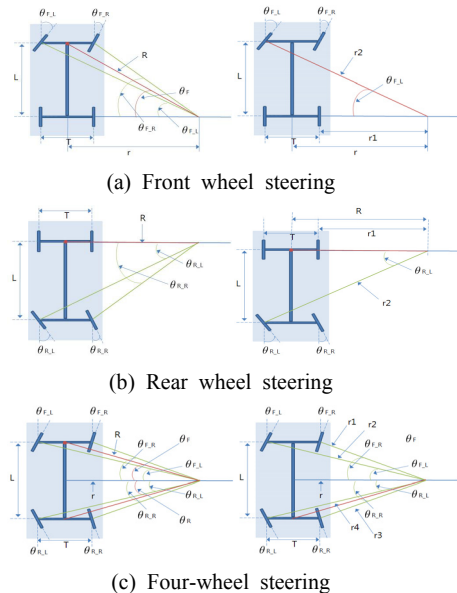
## 2. 바퀴구동 로봇의 기구학적 해석

바퀴 구동 로봇은 다양한 형태의 조향 방법을 갖고 있다. 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 가장 일반적인 전륜, 후륜, 사륜 조향 방법에 대하여 수학적 모델링을 실시하여 이중 농장 환경에 가장 적합하고 제작 단가가 가장 저렴한 시스템을 적용하고자 한다.



[Fig. 3] Example of steering a general method

바퀴 구동 로봇의 조향 방법에 따른 주행 능력은 회전 반경과 바퀴 조향각의 관계 및 이탈 궤적에 대한 수학적 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다. Fig.4와 같이 도식화 후 수학적 모델링을 도출하였다.[5]



[Fig. 4] Relation between the radius of rotation and steering angle & Breakaway trace

수학적 모델링을 기반으로 사용소프트웨어인 RecurDyn 과 Matlab simulink를 사용하여 결과를 도출하였다. Table 1은 시뮬레이션 결과이다.

[Table 1] Result of simulation

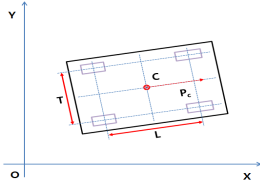
	R(mm)	F_R(°)	F_L(°)	R_R(°)	R_L(°)	E_t(mm)
Front Wheel	1000	0.7973	0.4831	0	0	670
	2000	0.3322	0.2555	0	0	602.2
Rear Wheel	1000	0	0	-0.66	-0.4235	651.36
	2000	0	0	-0.3174	-0.2465	599.8
Four Wheel	1000	0.39	0.2288	-0.39	-0.2288	506.7
	2000	0.165	0.1263	-0.165	-0.1263	527.14

R(Turning) / F\_R (Front right steering wheel) / F\_L (Front Left steering wheel) / F\_R (Rar right steering wheel) / F\_R (Rear left steering wheel) / E\_t (Escape trajectory)

조향 방법에 따른 결과 사륜 조향 시스템의 조향 성능이 가장 우수하였으며, 로봇이 주행하는 공간과 비교하여도 가장 우수하였다.

다음은 바퀴 구동 로봇의 이동 경로에 대한 추적 능력에 대한 해석을 실시하였다. 바퀴 구동 로봇의 이동 공간은 Fig. 5와 같이 2차원 평면 공간에서의 움직임을 갖는

대[6,7].



[Fig. 5] Illustrate the mobile robot

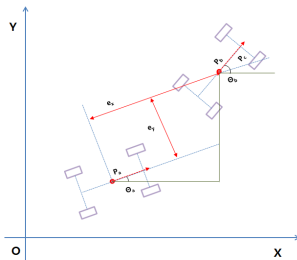
$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

로봇의 움직임은 시간에 대한 선형 속도와 회전 속도를 갖는다. 속도에 대한 기구학은 수식2와 3으로 정의된 대[6].

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \dot{P} = Jq = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} q \quad (2)$$

$$q = \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} \quad (3)$$

로봇이 시간에 따라 이동하게 되면 Fig. 6과 같이 두 개의 자세를 갖는다.



[Fig. 6] Error posture

이동 전 자세에 대한 정보는  $P_a = [x_a \ y_a \ \theta_a]^T$  이고 이동 후 자세에 대한 정보는  $P_b = [x_b \ y_b \ \theta_b]^T$  이다. 이동 전/후 자세에 대한 관계는 수식4를 통하여 정의할 수 있다[7].

$$e_p = \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & \sin\theta_c & 0 \\ -\sin\theta_c & \cos\theta_c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_b - x_a \\ y_b - y_a \\ \theta_b - \theta_a \end{bmatrix} \quad (4)$$

속도에 대한 제어 인자를 도출하기 위하여 수식 4와

수식 3을 통하여 수식5를 도출하였고, 이를 이용하여 수식 6을 도출하였다.

$$\dot{x}_b = v\cos\theta_b, \dot{y}_b = v\sin\theta_b, v = \frac{\dot{x}_b}{\cos\theta_b} = \frac{\dot{y}_b}{\sin\theta_b} \quad (5)$$

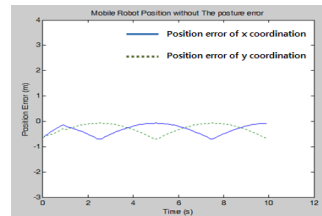
$$\dot{x}_b\sin\theta_b = \dot{y}_b\cos\theta_b$$

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_x \\ \dot{e}_y \\ \dot{e}_\theta \end{bmatrix} = \dot{e}_p = f(t, e_p) = \begin{bmatrix} w_a e_y - v_a + v_b \cos e_\theta \\ -w_c e_x + v_b \sin e_\theta \\ w_b - w_a \end{bmatrix} \quad (6)$$

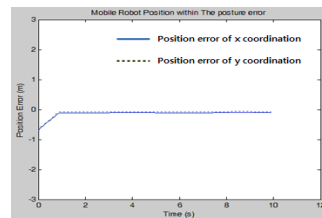
목표 속도에 대하여 “control rule (5)”를 통하여 수식 7과 같이 정의할 수 있다[8].

$$\begin{bmatrix} v_a \\ w_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 e_x + v_b \cos e_\theta \\ w_b + K_2 v_b e_y + K_3 v_b \sin e_\theta \end{bmatrix} \quad (7)$$

$K_1, K_2, K_3$ 는 제어 변수들이다. 회전 반경 1m에 대하여 속도에 따른 위치 오차 보정 전/후에 대한 비교를 위하여 Matlab을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 로봇 이동시 가속 구간을 1초로 설정하였기 때문에 제어 변수  $K_1$ 은 1로 설정하였다[9]. 10초 동안 로봇이 반경 1m 구간을 이동한다고 가정하였다. Fig. 7은 위치 오차 보정 전에 대한 결과 이고 Fig. 8은 위치 오차 보정 후 결과이다.



[Fig. 7] Robot position without the posture error



[Fig. 8] Robot position within the posture error

위치 오차에 대한 보정 전/후에 대한 결과를 통하여 로봇이 일정한 회전 반경을 갖고 움직일 때 보정이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 이는 로봇이 정해진 경로를 이동할 때 경로를 이탈하지 않고 이동하기 위해서는 구동 바퀴에 대한 회전각도 보정이 필요하다는 것을 알 수

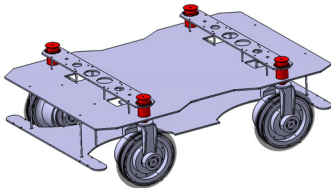
있었다.

### 3. 시스템 구성 및 설계

본 시스템은 바퀴 구동 로봇과 자동 호스 릴장치로 구성되어 있다. 바퀴 구동 로봇이 작업자가 원하는 위치까지 이동하여 자동 호스 릴 장치를 이용하여 작업을 실시하는데 이때 호스 릴은 자동으로 호스가 감기고 풀리며 자동으로 정렬되어 진다.

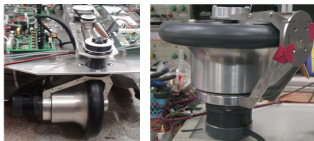
#### 3.1 바퀴구동 로봇

바퀴 구동 로봇은 Fig. 9와 같이 농장의 환경과 2장의 기구학적 해석을 기반으로 설계하였다.



[Fig. 9] Modeling of Mobile robot

Fig. 10과 같이 사륜 조향을 위하여 각 구동 바퀴에 조향 기구를 제작하여 조향 축이 조향 모터, 풀리와 벨트를 이용하여 동력이 전달되도록 하였다.

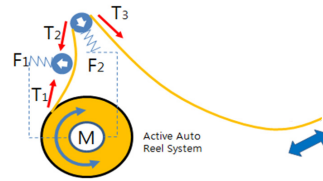


[Fig. 10] Steering mechanism & Driving wheel

구동 모터는 로봇의 무게를 고려하여 150W BLDC를 사용하였으며 감속비는 15:1 이다. 조향 모터는 5상 스텝 모터를 사용하였다.

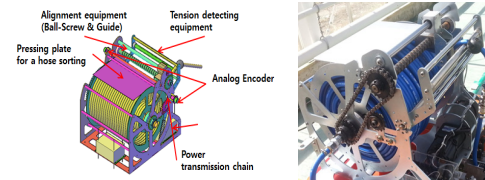
#### 3.2 자동 호스 릴 장치

자동 호스 릴 장치는 호스를 감고 푸는 작업을 자동으로 수행하는 장치이다. 기존의 장치들은 단순한 정렬에 초점이 맞추어져 있으며 호스의 정렬에도 문제점을 갖고 있었다. 이를 개선하기 위하여 호스의 장력을 검출하여 호스 릴 장치의 감고 푸는 작업에 능동성을 부여하였다. Fig. 11은 장력 검출에 대한 개념을 나타내고 있다.



[Fig. 11] Conceptual diagram of the hose reel

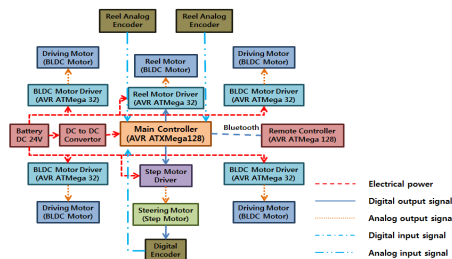
$T_3$ 의 장력이  $T_1$ 보다 클 경우는 호스가 풀리는 경우로 모터를 정 회전 시켜 호스가 풀리도록 하였으며, 이때 두 개의 아날로그 엔코더의 값을 계속적으로 비교하여 비교 값에 따라 모터의 속도를 조절하였다. 이와 반대로  $T_2$ 의 장력이  $T_3$ 보다 클 경우는 호스가 감기는 경우로 모터를 역 회전 시켜 호스가 풀리도록 하였으며 동일하게 엔코더의 비교 값에 따라 모터의 속도를 조절하였다. Fig. 12는 자동 호스 릴 장치의 구성도와 실제 제작되어진 모습이다. 호스의 장력을 검출하기 위하여 호스 장력 검출 기구와 두 개의 아날로그 엔코더를 장착하였다. 호스 가이드와 Ball-screw는 호스의 정렬을 위하여 구성하였으며, 누름판은 호스의 이탈을 방지하기 위해 고안하였다.



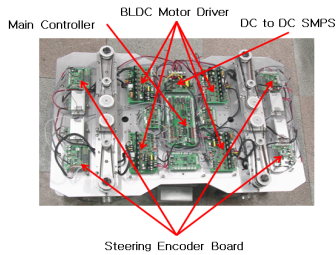
[Fig. 12] Configuration of the hose reel

#### 3.3 제어 시스템

제어시스템은 사륜 구동, 사륜 조향을 위하여 4개의 BLDC 와 4개의 Step Motor를 제어 할 수 있도록 하였다. 그리고 각 모터들은 피드백을 위하여 엔코더를 장착하였다. 구동 모터는 ATmega16을 이용하여 드라이버를 제작하였으며, Step Motor는 Autonics社의 MD5-HF28 드라이버를 사용하였다. Fig. 13은 주행 제어 시스템의 구성안이고 Fig. 14는 실제 장착한 사진이다.



[Fig. 13] Block diagram of the mobile robot's controller

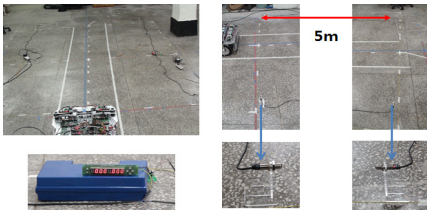


[Fig. 14] Main controller & control boards

### 4. 성능평가

성능 평가는 로봇에 대한 평가와 호스 릴 장치에 대한 평가를 실시하였다. 우선 로봇에 대한 주행평가는 로봇의 최고 주행속도, 조향 반복 정밀도, 직선 주행 정밀도, 안정속도를 측정하였다[10].

로봇의 최고 주행속도는 타코메타를 이용하여 주행 바퀴의 최대 회전 속도를 측정하고 Fig. 15와 같이 5m 구간에 대하여 측정 하였다.



[Fig. 15] Test of mobile robot's speed

로봇의 조향 반복 정밀도와 직선 주행 정밀도는 Fig. 16과 같이 로봇의 주행 경로에 대한 바퀴의 회전 조향 각도를 반복 측정하였다.



[Fig. 16] Test of driving accuracy

로봇의 안정 속도는 곡선 주행시 경로 이탈 없이 주행 가능한 속도를 측정하기 위하여 0.4%부터 0.2%씩 속도를 증가 시키면서 곡선 경로에 주행 성공 여부를 측정하였다. Table 2는 평가 결과이다.

[Table 2] Result of test

Max. Speed	Number of measurements		40 times								
	Average maximum Speed		2.511 ㎞/h								
Driving Accuracy	Number of measurements		40 times								
	Average driving accuracy		±0.18°								
Driving Safe speed	Number of measurements					Speed by 40 times					
	Speed	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
	Success	40	40	40	40	40	40	40	40	38	8

성능 평가 결과 구동 로봇의 주행 능력을 최고 속도 2.5㎞/h, 주행 정밀도 ±0.18° 그리고 주행 안전 속도 2%로 측정되었다. 사람의 걷는 속도를 시속 4km라 가정하였을 때, 이를 환산하면 약 1.11%로 로봇이 사람과 같이 작업할 경우 충분히 사람보다 빠르게 동작할 수 있으며, 차후 자율 주행 시스템이 결합되었을 때 정밀도에서도 문제가 없을 것이다.

### 5. 결론

본 논문은 농업 분야에 대한 자동화를 위해 바퀴구동 로봇을 이용하여 이동이 가능하고 방제 작업이 가능한 자동 호스 릴 장치 개발에 대하여 정리 하였다. 이를 위하여 바퀴 구동 로봇에 대한 조향 성능 향상을 위하여 로봇의 회전 반경과 바퀴의 조향각도에 대한 기구학적인 해석을 수행하였다. 그리고 실제 로봇 주행에 있어서 주행 오차가 발생하는 원인에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이를 기반으로 사륜 구동, 사륜 조향이 가능한 바퀴구동 로봇을 제작하였다.

제작되어진 바퀴 구동 로봇을 기반으로 자동 호스 릴 장치를 개발하였다. 자동 호스 릴 장치는 장력 검출 방식을 이용하여 호스 릴의 감고 푸는 작업이 가능하도록 하였으며, 정렬 기구와 누름판을 이용하여 호스가 감길 때 정렬이 잘되도록 하였다.

개발 되어진 로봇과 자동 권선 장치는 성능 평가결과 만족할만한 결과를 얻었다.

본 연구를 통하여 농촌 인구 감소에 따른 농촌 자동화를 위하여 로봇을 사용한 기술이 점차적으로 발전 될 것으로 판단되어진다. 추후 등판성능과 노면이 고르지 못한 상태에 대한 연구를 통하여 시스템을 발전시킬 계획이다.

### References

[1] A. Suprem, N. P. mahalik, and kiseon Kim “A review on application of technology systems” standards and



interfaces for agriculture and food sector, *Computer Standards & Interfaces* 35, Elsevier, pp355-364, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csi.2012.09.002>

[2] A. Mandow, A., J. M. Gomez-de-Gabriel, J.L. Martinez, V. F. Munoz, A. Ollero, A. Garcia-Cerezo, "Autonomous mobile robot aurora for greenhouse operation," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, Vol. 4, No. 4, pp. 18-28, 1996.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/100.556479>

[3] K. C. Kim, B. S. Ryuh, C. W. Yang, Kyogun Chang, "Development of semi-autonomous pesticide spray robot for glass house rose farming" *Journal of KSPE*, Vol. 27, No. 9, pp. 34-42, 2010.

[4] K. C. Kim, B. S. Ryuh, "Development of agriculture robot for unmanned management in controlled agriculture" *Journal of ICROS*, Vol. 17, No. 5, pp. 444-450, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2011.17.5.444>

[5] K. C. Kim, C. W. Yang, K. J. Kim, B. S. Ryuh, "Development of four-wheel independent steering driving platform for agricultural robot" *Journal of KSPE*, Vol. 28, No. 8, pp. 942-950, 2011.

[6] M. H. Sanhoury, H. M. Amin, and A. R. Husain, "Trajectory tracking of steering system mobile robot" 4<sup>th</sup> International Conference on Mechatronics, IEEE, pp.1-5 May, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICOM.2011.5937124>

[7] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot" *Proceedings of Robotics and Automation, IEEE International Conference, Cincinnati*, vol. 1, pp. 384-389, 1990  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.1990.126006>

[8] Divya Aneesh, "Tracking Controller of Mobile Robot" 2012 International Conference on Computing, ICCEET, pp.343-349, 2012.

[9] Zhong-Ping Jiang and Henk Nijeijs, "Tracking Control of Mobile Robots : A Case Study in Backstepping", *Automatica*, Vol. 33, No. 7, pp1393-1399, 1997  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0005-1098\(97\)00055-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0005-1098(97)00055-1)

[10] Johann Borenstein and Liqiang Feng, "Measurement and Correction of Systematic Odometry Errors in Mobile Robots", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 12, No. 6, pp. 869-880, Dec, 1996  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/70.544770>

[11] Lee D. H, Park W. K. "Retrospection on Agricultural Mechanization Researches", *KSAM* Vol. 24, No. 5, pp.453-462, 1999

---

**김 경 철(Kyoung-chul Kim)**

[정회원]



- 2007년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 2007년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 정밀기계공학과 박사과정

<관심분야>

로보틱스, 모바일 로봇, 자동화 시스템,

---

**고 민 혁(Min-Hyuc Ko)**

[정회원]



- 1997년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 정밀기계공학과 박사과정

<관심분야>

로보틱스, 로봇 구동플랫폼, 비전 시스템

---

**유 범 상(Beom-Sahng Ryuh)**

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1989년 5월 : Univ. of Purdue 기계공학 (공학박사)
- 1993년 9월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 교수

<관심분야>

로보틱스, 농업용로봇, 자동차생산자동화, 공장자동화