

# RFID 를 이용한 RCP 자율 네비게이션 시스템 구현을 위한 연구

## A Study on the Implementation of RFID-Based Autonomous Navigation System for Robotic Cellular Phone (RCP)

최재일, 최정욱, 오동익, 김승우\*  
(Jae-il Choe, Jung-wook Choi, Dong-ik Oh, and Seung-woo Kim)

**Abstract :** Industrial and economical importance of CP(Cellular Phone) is growing rapidly. Combined with IT technology, CP is one of the most attractive technologies of today. However, unless we find a new breakthrough in the technology, its growth may slow down soon. RT(Robot Technology) is considered one of the most promising next generation technologies. Unlike the industrial robot of the past, today's robots require advanced features, such as soft computing, human-friendly interface, interaction technique, speech recognition, object recognition, among many others. In this paper, we present a new technological concept named RCP (Robotic Cellular Phone) which integrates RT and CP in the vision of opening a combined advancement of CP, IT, and RT. RCP consists of 3 sub-modules. They are  $RCP^{Mobility}$  (RCP Mobility System),  $RCP^{Interaction}$ , and  $RCP^{Integration}$ . The main focus of this paper is on  $RCP^{Mobility}$  which combines an autonomous navigation system of the RT mobility with CP. Through  $RCP^{Mobility}$ , we are able to provide CP with robotic functions such as auto-charging and real-world robotic entertainment. Ultimately, CP may become a robotic pet to the human beings.  $RCP^{Mobility}$  consists of various controllers. Two of the main controllers are trajectory controller and self-localization controller. While the former is responsible for the wheel-based navigation of RCP, the latter provides localization information of the moving RCP. With the coordinates acquired from RFID-based self-localization controller, trajectory controller refines RCP's movement to achieve better navigation. In this paper, a prototype of  $RCP^{Mobility}$  is presented. We describe overall structure of the system and provide experimental results on the RCP navigation.

**Keywords :** RCP mobility system, autonomous navigation system, RFID-based self-localization controller, trajectory controller

### I. 서론

CP(Cellular Phone) 기술은 국내외에서 IT(Information Technology) 분야의 핵심기술로 자리 잡고 있으며, 산업 및 경제적 중요성도 매우 높다. 그러나 아직은 기존의 CP에 단순한 IT기술이 접목된 수준이고, 이러한 단순한 IT기술의 접목만으로는 더 이상 CP기술의 발전을 기대하기는 어렵다. 따라서, 세계 시장에서 우위를 점하기 위해서는 새로운 개념의 CP 산업기술과 구현기술을 확보해야만 한다.

IT분야의 발전과 함께 RT(Robot Technology)분야도 21세기 유망 첨단기술로 손꼽히고 있다. 그 동안 주류를 이루던 산업용 로봇과는 달리 오늘날의 로봇에는 소프트웨어, 인간친화 인터페이스, 상호작용기술, 음성 인식, 물체 인식, 사용자 의도 파악 등 갖가지 최첨단 기술들이 요구된다. 이를 응용한 개인용 로봇, 복지 및 서비스 로봇 등이 이미 각광을 받고 있으며, 특히 개인용 로봇 중 오락용, 교육용 로봇들로 대표되는 엔터테인먼트 로봇 분야가 국내·외에서 활발히 연구되고 있다.

일본의 미쯔비시 연구소의 향후 로봇기술 보고서에서는 IT와 RT의 접목기술이 2015년에는 현 IT시장의 5배 시장을 형성할 것으로 판단하고 있다. 또한, IEEE의 최근 보고서에 따르면, 10년 이내에 1인이 1개인로봇을 보유할 것으로 내다보고 있다. 따라서, 현재의 1인 1CP시대에서 1인 1로봇시대로 넘어가는 징검다리 역할을 셀폰로봇 RCP(Robotic Cellular

Phone)가 하게 될 것이다.

본 논문에서는 IT와 RT의 접목으로 향후 시너지 효과를 크게 얻을 수 있는 새로운 기술 개념인 셀폰로봇 RCP의 개발을 위한 기반연구에 대해 다룬다. RCP란 기존의 휴대전화 단말기에 개인용 로봇(personal robot)을 결합한 것으로 로봇의 개인 서비스 기능과 엔터테인먼트 기능을 갖춘 새로운 기술이다. 특히 개인용 로봇 기능을 발신자 또는 통신내용에 따라 커스토마이징 할 수 있으므로 이에 따른 산업·기술적 파급효과는 매우 크다.

RCP에 사용되는 개인용 로봇기술의 특성은 인간과 동일한 공간에서 동작하므로 산업용 로봇과는 여러모로 다르다. 산업용 로봇의 기능은 단순하고 반복적인 작업에만 국한되며, 인간과 무관하게 미리 프로그램 된 일만을 제약되고 잘 정돈된 환경에서 수행하면 된다. 그러나 개인용 로봇은 정형화되지 않은 사무실이나 가정에서, 인간과 근접한 위치에서 접촉하고 동작하는 경우가 많다. 또한 로봇이 담당하는 업무도 단순 반복적 작업이 아니라 인간을 지원하거나 보조하는 일이 대부분이다. 이와 같은 기술적 난제를 고려할 때, 개인용 로봇을 구현하기 위해서는 인간친화성 소재의 개발에서부터 인간과 비슷한 지능구현 및 감정표현에 이르기까지 다양한 요소 기술들이 필요하다. 따라서, RCP 연구는 이미 개발된 CP기술 인프라를 최대한 활용하면서 RCP의 로봇기능을 개발하고 통신망과 적극적으로 연동시킨다.

RCP는  $RCP^{Mobility}$ ,  $RCP^{Interaction}$ ,  $RCP^{Integration}$ 의 세가지 세부 기술로 구성된다.  $RCP^{Mobility}$ 는 CP와 로봇의 인간친화형 자율이동기술의 결합이며,  $RCP^{Interaction}$ 은 로봇의 감성모델링 및 사용자의 감성을 유발할 수 있는 감성표현 기술과의 결합이다. 그리고,  $RCP^{Integration}$ 은 시스템 통합 및 통신연동기술이 결합된

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 12. 15., 채택확정 : 2006. 2. 25.  
최재일 : 순천향대학교 정보제어공학과(robotics\_lab@sch.ac.kr)  
최정욱 : 순천향대학교 전산학과(zzazza@sch.ac.kr)  
오동익, 김승우 : 순천향대학교 정보기술공학부  
(dohdoh@sch.ac.kr/seungwo@sch.ac.kr)

각종 응용서비스 프로그램을 개발하는 것을 의미한다. 본 연구팀에서는 세부 기술들의 지능화 및 소형화를 통하여 셀폰로봇 RCP의 프로토타입을 개발하고, 이를 통한 실험적 결과들을 최근 여러 논문을 통하여 제시하였다[1-3].

본 논문은 RCP의 세 가지의 세부기술 중에서 CP에 로봇의 자율이동기술을 접목하는 RCP<sup>Mobility</sup> 기술개발에 초점을 맞추고 있다. RCP<sup>Mobility</sup>의 핵심은 로봇의 대중적인 기술인 자율이동기술을 CP에 적용함으로써, CP에 인간친화형 모션자동화와 정밀한 네비게이션 기능을 부여하는 것이다. 이를 통해 자동충전 및 실세계 오락기능 등의 획기적인 응용시스템의 개발이 가능해진다. 따라서 CP를 단순 통신기기에서 미래 기술인 동료로봇(companion robot)으로 발전시킬 수 있다.

RCP의 자율적인 네비게이션은 로봇 바퀴의 속도 및 위치를 측정하는 마이크로 센서를 통해 제어됨과 동시에, 외부 센싱 기능을 통하여 파악된 절대위치를 위치 보정 정보로 사용한다. 이에 따라 RCP는 기존의 주행용 로봇보다 정확한 네비게이션을 할 수 있게 된다.

본 논문에서는 자기위치추정기의 외부 센싱 기능을 위해 기존의 레이저나 초음파 센서들이 가지고 있는 직시(line-of-sight) 문제를 해결할 수 있도록 RFID (Radio Frequency Identification) 센싱 방식을 사용한다[4]. 또한, 이를 통해 RCP가 손쉽게 자신의 위치를 추정할 수 있는 새로운 방식의 자기위치추정(self-localization) 기법을 제안하고 이를 구현한다. 구체적으로는, 초소형 RFID 리더와 바퀴기반의 네비게이션 모듈을 탑재한 RCP 프로토타입을 개발하고, RFID 태그들이 효과적으로 배치된 실내 실험 환경을 구축하여 네비게이션 실험 결과를 제시한다.

**II. RCP의 자율 네비게이션 시스템**

그림 1은 자율 네비게이션 시스템의 제어 블록도이다. RCP의 자율 네비게이션 시스템은 추적제어기(trjectory controller)와 자기위치추정기(self-localization controller)로 크게 나눌 수 있다.

추적제어기 내부의 경로제어기(path controller)는 CP 배터리에 마이크로 DC 모터로 구동되는 바퀴를 장착하고, 속도 및 위치 센서에 의한 궤환 데이터를 이용하여 네비게이션을 제어한다. 자기위치추정기는 RCP의 절대위치를 파악하는 역할을 담당하며, 이렇게 추정된 절대위치는 RCP의 위치추적 정보로 사용된다.

로봇의 위치추정(localization)에 RFID 기술을 적용하려는 시도가 이미 여러 번 있었으나 각각의 문제점들이 있었다[5, 6]. 따라서, 본 논문에서는 RFID를 이용하여 RCP가 자신의 절대 위치를 알아내는 새로운 방법을 이용한다. 이 방법은 안테나를 내장한 소형의 RFID 리더기를 RCP에 장착하고, 절대위치 정보를 포함하는 다수의 RFID 태그를 플로어에 내장시켜 이동 중 읽어 들이는 태그의 정보에 따라 위치를 파악할 수 있게 하는 방법이다. 이 경우 안테나와 인식된 태그 사이의 거리를 파악할 필요가 없이 절대 위치의 파악이 가능해 로봇 네비게이션에서 활용할 수준의 오차율을 보장 받을 수 있게 된다.

이 방식은 본 논문에서 최초로 제안하는 것은 아니며, 이미 navigeta 프로젝트[7]를 통해 RFID 태그를 배치한 플로어에서 RFID 리더를 장착한 신발을 신은 사람을 위한 네비게

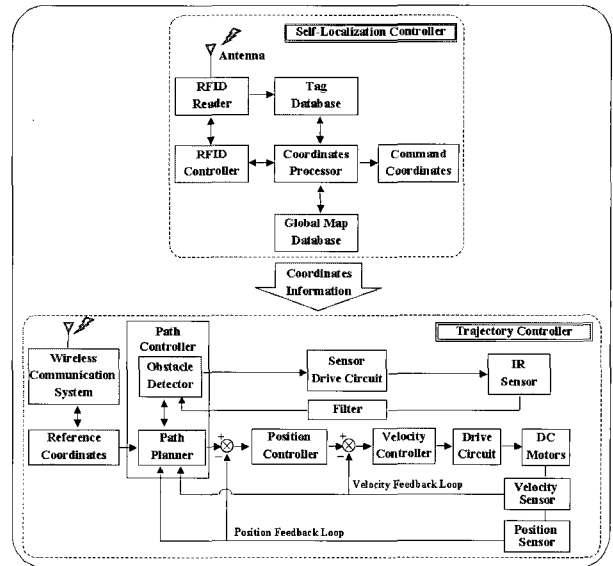


그림 1. RCP 자율 네비게이션 시스템의 제어블록도.  
Fig. 1. Diagram for the RCP navigation control.

이션 방식이 개발된 바 있다. 또한 smart vacuum cleaner project[8]에서는 레고로봇을 활용해 제작한 로봇이 청소가 이루어지지 않은 마루부위를 찾아내게 하기 위해 RFID 태그가 설치된 마루를 활용한다. 하지만 이들 논문에서는 어떤 형태와 밀도로 태그를 플로어에 배치시키는 것이 네비게이션의 효율성 확보를 위해 적절인지에 대한 근거를 제시하지 못하고 있다. 본 논문에서는 RCP의 네비게이션 방식을 구현할 뿐만 아니라, 효과적인 네비게이션을 위한 태그 밀도 및 배치방식에 대한 실제적 근거를 시뮬레이션과 실험을 통해 제시한다.

그림 1에서 볼 수 있듯이, 자기위치추정기 블록에서는 RCP에 내장된 RFID 리더를 통해 태그를 검출하고 검출된 태그의 정보를 좌표 연산기에 전달한다. 이렇게 검출된 태그의 좌표정보와 내장된 모터의 엔코더를 비롯한 모든 센서로부터 얻은 정보를 통하여 생성한 글로벌 맵(global map) 데이터베이스와 비교하여 현재 위치를 정확히 산출한다. 이는 내장된 센서를 통한 dead-reckoning 방식만으로는 지형의 굴곡, 먼지 및 장애물에 의한 바퀴의 미끄러짐 등과 같은 다양한 환경변수의 영향으로 현재좌표 계산에 커다란 오차를 수반하기 때문이다. 그러나 RCP의 자율 네비게이션 시스템은 최소한의 RFID 태그만을 사용하더라도 잘못된 현재좌표의 계산결과를 보정하는 것이 가능하다. 이렇게 산출된 절대좌표는 추적제어기 블록의 입력으로 전달된다. 이때 경로계획기(path planner)에서는 현재 좌표를 기준으로 RCP가 이동할 목표좌표와 최단거리의 이동경로를 결정하여 위치제어기에 전달한다. 위치제어기에서는 이를 바탕으로 이동속도를 계산하여 속도제어기에 전달하고, 속도제어기에서는 기준 속도에 따라 모터를 제어한다. 경로제어기에서는 궤환된 속도와 위치신호, 그리고, 외부센서의 데이터를 바탕으로 장애물이 없는 최적의 경로를 계산하여 이를 다시 위치제어기에 전달함으로써 RCP의 경로오차를 보정함과 동시에 새로운 최적경로를 다시 생성한다.

1. 주행용 추적제어기(trjectory controller)의 개발

추적제어기는 RCP 배터리에 소형 바퀴와 DC모터를 장착하는 휠베이스 이동시스템으로 설계한다. 그림 2는 본 논문에서 구현한 추적제어기의 제어 순서도이다. 추적제어기에서는 무선통신 시스템, 자기위치추정기, 어플리케이션 타겟 혹은 외부의 센서로부터 얻은 현재좌표에 따라 이동할 위치 및 속도를 계산하여 제어기에 전달한다. 제어루프를 통하여 기준속도와 위치가 일치하는지를 확인하며, 이동거리 및 현재좌표와 비교하는 방법으로 경로오차를 실시간으로 보정해 나간다.

RCP는 전형적인 논홀로노믹(nonholonomic) 이동로봇 시스템이다. 이동로봇은 기구학적으로 논홀로노믹 구속조건(constraints)들을 가지고 있기 때문에 이를 고려하여 궤적제어기를 구성해야 한다. 이동로봇의 기구학적 구속조건은 양 바퀴의 축을 기준으로 직각으로 미끄러짐 없이 구르며(pure rolling) 이동해야 한다는 것이다. 이와 같은 구속조건을 수식으로 표현하면 다음과 같다[9-10].

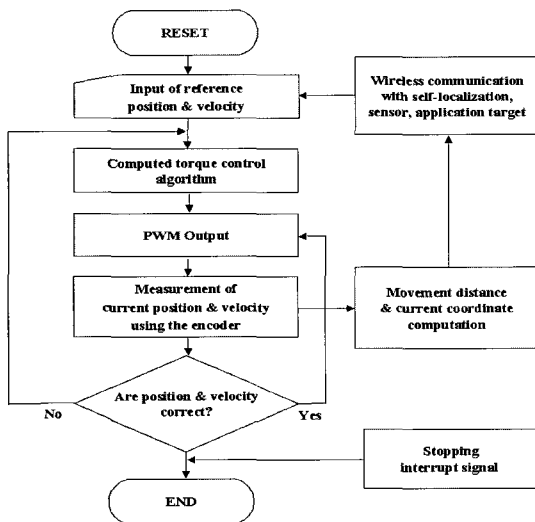


그림 2. 추적제어기의 제어순서도.  
Fig. 2. Logical flowchart for trajectory controller.

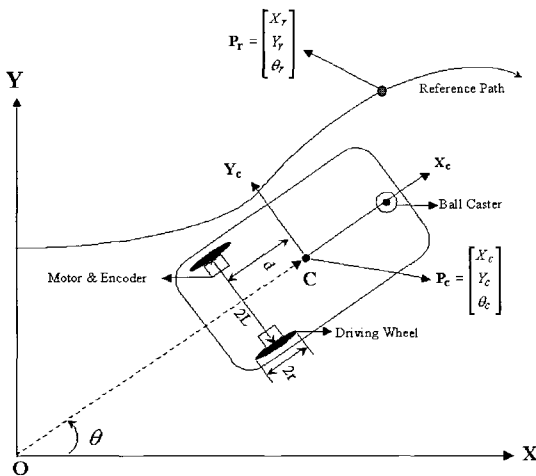


그림 3. 논홀로노믹 RCP 자율 네비게이션 시스템.  
Fig. 3. A nonholonomic RCP platform.

$$\dot{Y}_c \cos \theta - \dot{X}_c \sin \theta - d\dot{\theta} = 0 \tag{1}$$

RCP의 휠베이스 네비게이션(wheel-based navigation) 기술을 위해서는 RCP의 이동에 관련된 기구학적 해석이 필요하다. 기구학적 모델은 그림 3으로부터 얻을 수 있으며, 양 바퀴와 지면과의 접촉점 속도는 논슬리핑(nonslipping) 조건에서 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} V_R &= r\omega_R, \quad V_L = r\omega_L \\ \omega &= \frac{V_R - V_L}{L} = r \frac{\omega_R - \omega_L}{L} \\ v &= \frac{V_R + V_L}{2} = r \frac{\omega_R + \omega_L}{2} \end{aligned} \tag{2}$$

여기서,  $\omega_R, \omega_L$  은 바퀴의 각속도,  $v$  는 중심의 선속도, 그리고  $\omega$  는 각속도이다.

따라서,  $[\dot{X}_c \ \dot{Y}_c \ \dot{\theta}]^T$  와  $[v \ \omega]^T$  의 관계는 (3)과 같은 기구학 식에 의해 표현 가능하다[11].

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_c \\ \dot{Y}_c \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -d \sin \theta \\ \sin \theta & d \cos \theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \tag{3}$$

그림 3과 같이 RCP의 기준위치  $P_r = [X_r \ Y_r \ \theta_r]^T$  와 현재 위치  $P_c = [X_c \ Y_c \ \theta_c]^T$  를 이용하여 RCP의 위치 오차  $P_e$ 를 구하면 (4)와 같다[11].

$$P_e = \begin{bmatrix} X_e \\ Y_e \\ \theta_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [P_r - P_c] = T_c [P_r - P_c] \tag{4}$$

논홀로노믹 문제는 이동로봇의 동역학을 무시하고 단지 조향 시스템으로 간주함으로써 단순화되어진다. 또한, 제어 입력들을 계산하기 위해서 이 문제는 완전속도추정(perfect velocity tracking)으로 가정 되어진다[11]. 이 문제의 접근을 위해서는 다음의 3가지 전제조건이 필요하다. 첫째, 주행 중에 멈추지 않고 완벽하게 속도를 추종해야 하며, 둘째, 외란이 무시되어야 하고, 마지막으로 동역학에 대한 완벽한 이해가 필요하다[12]. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 논홀로노믹 기구학 제어기와 이동로봇의 동역학을 융합하는 작업이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 PID를 이용한 CT (Computed Torque) 제어방법을 사용하였다.

RCP와 같은 양바퀴 구동형 이동로봇 시스템의 동역학은  $n$ 차원 공간영역에서 라그랑지 방정식을 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다[13-15].

$$M(q)\ddot{q} + V_m(q, \dot{q})\dot{q} + F(\dot{q}) + G(q) + \tau_d = B(q)\tau - A^T(q)\lambda \tag{5}$$

여기서,  $M(q)$ 는 대칭이고 양의 한정인 관성모멘트 행렬이고,  $V_m(q, \dot{q})$ 는 코리올리(Coriolis)와 구심력 행렬,  $F(\dot{q})$ 는 표면 마찰력,  $G(q)$ 는 중력성분에 대한 행렬,  $\tau_d$ 는 모델링 되지 않은 동역학을 포함한 비선형 성분들을 나타낸다. 그리고,  $B(q)$ 는 입력변환 행렬,  $\tau$ 는 입력 행렬,  $A^T(q)$ 는 구속조건들

과 관련된 행렬이고,  $\lambda$  는 이동로봇의 구속력을 나타내는 행렬이다.

이러한 경우에 있어 이동로봇의 경로가 평면상에 존재하기 때문에 통상  $G(q)=0$  으로 가정한다. 따라서, 동역학 방정식의 파라미터들은 (6)과 같이 표현되어진다.

$$M(q) = \begin{bmatrix} m & 0 & md\sin\theta \\ 0 & m & -md\cos\theta \\ md\sin\theta & -md\cos\theta & I \end{bmatrix},$$

$$V_m(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & md\dot{\theta}\cos\theta \\ 0 & 0 & -md\dot{\theta}\sin\theta \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B(q) = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\theta \\ \sin\theta & \sin\theta \\ L & -L \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_r \\ \tau_l \end{bmatrix}, A^T(q) = \begin{bmatrix} -\sin\theta \\ \cos\theta \\ -d \end{bmatrix},$$

$$\lambda = -m(\dot{X}_c \cos\theta + \dot{Y}_c \sin\theta)\dot{\theta}$$

이제 RCP의 추적제어를 위하여 CT 제어기 구조에 대해 논할 수 있다. (5)는 다음과 같이 단순화될 수 있다.

$$M\ddot{q} + h = \tau \quad (7)$$

여기서,  $\tau$ 는 양 바퀴의 토크에 관련된 입력 행렬이고,  $M = M(q)$ 는 관성모멘트 행렬, 그리고  $h = h(q, \dot{q})$ 는 구심력, 코리올리, 표면 마찰력 등을 포함한 비선형 성분들이다.

명백하게 말해서 좋은 궤적 제어 성능을 위해서는 더욱 복잡한 성분들이 포함되어야 한다. 그러나, CT 제어방법은 (7)의 동역학 식과 같은 단순화된 구조를 사용한 제어 토크  $\tau$ 로 정의되어 진다.

$$\tau = Mu + h \quad (8)$$

따라서, (7)에 (8)을 대입하면, 이 문제는  $\ddot{q} = u$  인 간단한 시스템으로 단순화할 수 있다. 여기서 관성모멘트 행렬  $M$ 은 양의 한정이므로 반전될 수 없다. RCP 제어 시스템은 단순한 PID 방법을 사용하여 제어되는 식으로 표현할 수 있다.

$$u = \ddot{q}_d - K_D \dot{P}_e - K_P P_e - K_I \int_0^t P_e dT \quad (9)$$

여기서,  $\dot{q}_d$ 는 RCP가 원하는 궤적으로 이동하기 위한 속도 행렬이다.  $P_e = P_r - P_c$ 은 위치 오차이고,  $K_p, K_i, K_d$ 는 양의 한정인 PID 제어기의 계수들이다. (8)의 토크 행렬  $\tau$ 는 제어 입력  $u$ 가 주어지면 귀납 알고리즘(recursive algorithms)들에 의해 계산되어질 수 있다.

2. 자기위치추정기(self-localization controller)의 개발

RCP의 자율적 네비게이션을 위해서는 로봇의 이동을 제어하기 위한 추적제어기가 필수적이다. 추적제어기는 로봇의 현재위치를 궤환 받아 휠베이스 네비게이션에서 생기는 주행경로오차를 보정하면서 이동할 수 있도록 한다. 따라서, 자율적 네비게이션의 핵심이 되는 사항 중 하나는 RCP가 자신의 절대위치를 이동 중에 파악할 수 있도록 하는 것이다.

자기위치추정기를 구현하기 위해 본 논문에서는 RFID 시스템을 활용하였다. RFID는 다른 센서들과는 달리 직시문제

를 갖지 않는다. 또한, 사물의 ID를 손쉽게 파악할 수 있게 한다는 장점으로 인해 위치추적을 포함한 USN(Ubiquitous Sensor Network) 분야에서 활용도가 점점 높아지고 있는 기술이다. 본 절에서는 RFID 기반의 자기위치추정기에 대해 설명하고 네비게이션 성능을 높일 수 있는 태그배치방식을 제안하고자 한다.

RCP가 실내에서 자신의 절대 위치를 용이하게 추정할 수 있게 하기 위해 본 논문에서는 안테나가 내장된 소형 RFID 리더를 장착한다. 네비게이션이 이루어질 플로어에는 태그들을 배치하고, 태그가 배치된 절대위치 정보를 태그 ID와 연동하여 백엔드(back end) DB에 저장한다. RCP는 이동 중 태그를 검출하게 되고 이 태그의 ID가 백엔드 DB에서 위치정보로 변환되어 추적제어기로 피드백 된다. 그림 4는 본 논문에서 사용하는 자기위치추정모듈의 구성 및 논리적 흐름을 나타내고 있다.

RCP의 네비게이션을 위한 플로어에 RFID 태그를 배치하는 방법은 다양할 수 있다. 일단 플로어를 구성하는 타일에서의 태그배치방식이 결정되면 이 타일들을 연결해 RCP의 네비게이션을 위한 전체적인 플로어를 구성할 수 있다. 가장 용이하게 생각할 수 있는 태그배치방식은 그림 5(a)의 방식으로 하나의 타일에 4개의 태그를 정사각형으로 붙이는 방식이다.

또 다른 방식은 [7]에서 제안한 그림 5(b)의 방식이다. 그림

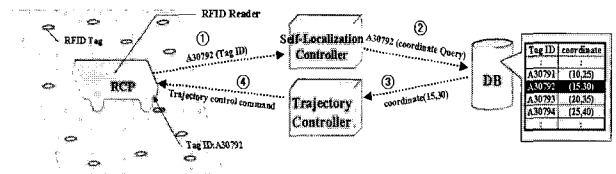
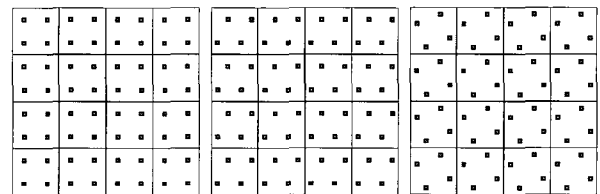


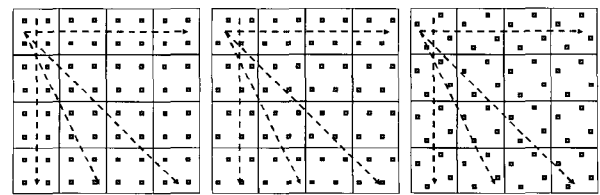
그림 4. 자기위치추정기의 동작 흐름도.  
Fig. 4. Structure of self-localization controller.



(a) 정사각형 (b) 평행사변형 (c) 회전정사각형

그림 5. 다양한 태그배치 방식.

Fig. 5. Various tag arrangement types.



(a) 미인식 (b) 미인식 (c) 인식

그림 6. 태그 미인식의 가능성.

Fig. 6. Possible misses of tag detection.

5(a)의 방식으로는 네비게이션 도중 수직이나 수평으로 움직이는 물체를 잘 인식할 수 없을 것이라는 추정에 기반하고 있다. 하지만 그림 6(a)와 그림 6(b)에서 보는 것과 같이 이러한 인식부재의 가능성은 두 가지 방식에 공히 존재한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 미 인식 가능성이 적은 새로운 방식인 회전정사각형 태그배치방식(그림 5(c))을 제안한다. 이 경우 그림 6(c)에서와 같이 어느 방향으로의 직선 이동이던지 이동물체가 미인식되는 경우가 훨씬 줄어들 것으로 기대된다.

RFID 태그를 플로어에 부착하여 RCP의 절대위치 정보를 습득하게 하는 방식에서는, 가능한 한 많은 태그를 플로어에 장착하면 효과적일 것이다. 왜냐하면 태그가 많을수록 이동 중 더 많은 태그 인식이 가능하고, 이는 현재위치를 더 자주 파악 할 수 있음을 의미하기 때문이다. 이렇게 되면, 휠베이스 네비게이션으로 인해 발생하는 오차를 RCP가 더 빠르게 보정 할 수 있다. 그러나 태그 가격이 아직도 50센트 대에 머무르고 있는 현실을 생각할 때, 이러한 방법을 적용하기에는 플로어의 제작비용이 너무 높다. 따라서 태그 밀도 (granularity)와 네비게이션 성능간의 상관관계를 규명하여 최소한의 태그를 가지고 목표하는 성능을 얻어내는 것이 필요하다.

동일한 개수의 태그를 사용한다고 해도 태그의 플로어 배치방식에 따라 네비게이션 성능에 영향을 미칠 가능성이 있다. 그 근거로 그림 7-8을 살펴보면 임의의 점  $(\alpha, \beta)$  에서 만날 수 있는 주변 4개 태그까지의 거리를 합치게 될 때 플로어의 배치 방식에 따라 그 값이 다름을 알 수 있다. 따라서 태그 배치 방식과 태그 밀도가 네비게이션에 어떠한 영향을 미치는 것인지를 파악하는 것이 의미가 있다. 이를 위해 본 논문에서는 플로어에 배치된 태그 정보에 따라 로봇이 네비게이션하는 시뮬레이션 프로그램을 구현하고, 이에 필요한 네비게이션 오차를 정의하여, 어떠한 플로어 배치 및 밀도가 더 좋은 네비게이션 성능을 가져오는지 비교분석 하였다.

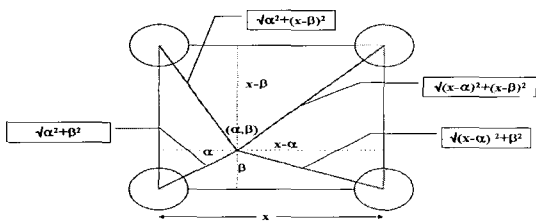


그림 7. 정사각형 태그 배치.  
Fig. 7. Square tag arrangements.

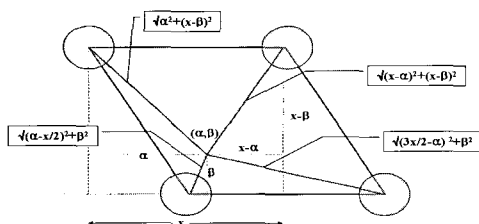


그림 8. 평행사변형 태그 배치.  
Fig. 8. Parallelogram tag arrangements.

RCP는 태그를 인식할 때마다, 인식된 태그 정보에 따라 현재 위치를 파악한 후, 새로운 경로를 계산하고 자신의 자세를 보정하여 네비게이션을 지속한다. 장애물이나 주어진 경로를 고려하지 않은 상태에서 RCP의 움직임을 고려하는 것이므로, 네비게이션의 가장 중요한 평가 기준은 주어진 두 점(출발점, 도착점)을 RCP가 이동하는 시간이다. 따라서 시뮬레이션에서는 출발지에서 목적지까지 이동하는데 소요되는 시간을 순차적으로 거쳐가는 태그간의 직선 움직임과, 태그를 검출했을 경우에 새로운 직선 움직임을 준비하기 위해 필요로 하는 자세보정 시간의 총계를 산출하였다. 이를 식으로 나타내면 (10)과 같다.

$$T_c(\chi_0, \chi_n) = \sum_{i=0}^{n-1} \{tm(\chi_i, \chi_{i+1}) + tr(\chi_i, \chi_n)\} \quad (10)$$

여기서,

$T_e(\chi_s, \chi_d)$ : e 플로어 배치형식에서 출발점  $\chi_s$  부터 도착점  $\chi_d$  까지 네비게이션하는데 걸리는 시간

$tm(\chi_a, \chi_b)$ : 특정점  $\chi_a$  부터 특정점  $\chi_b$  까지의 직선 이동 시간

$tr(\chi_a, \chi_b)$ : 특정점  $\chi_a$  부터 특정점  $\chi_b$  로의 방향(자세) 보정시간

$\chi_s$  or  $\chi_0$ : 출발위치

$\chi_d$  or  $\chi_n$ : 도착위치

$\chi_1 \dots \chi_{n-1}$ : 이동 중 RCP가 검출하는 태그들의 위치

특정 네비게이션의 오차는 (10)을 통해 구해진 RCP 네비게이션 이동시간과 출발 - 도착점간 직선 이동시간의 차이로 정의 할 수 있다. 즉, e 플로어 배치형식에서 어떤 네비게이션의 오차  $E_e(\chi_s, \chi_d)$ 는 (11)로 정의 될 수 있다.

$$E_e(\chi_s, \chi_d) = T_e(\chi_s, \chi_d) - tm(\chi_s, \chi_d) \quad (11)$$

또한 e 플로어 배치 형식에서 어떤 네비게이션의 오차를 출발 - 도착점간 이동시간에 대한 비율로 나타내는  $RE_e(\chi_s, \chi_d)$ 는 (12)로 정의 될 수 있다. 이 식은 각각의 태그배열 방식의 성능을 비교하는데 사용될 수 있다.

$$RE_e(\chi_s, \chi_d) = E_e(\chi_s, \chi_d) / tm(\chi_s, \chi_d) \quad (12)$$

### III. 실험 및 결과

#### 1. RCP 자율 네비게이션 시스템의 개발

RCP가 효과적으로 이동할 수 있게 하기 위해서는 적합한 모터를 선정하는 일이 선행되어야만 한다. RCP는 후대에 편리하게 설계되어야 하기 때문에 크기와 무게에 제한을 받는다. 따라서 모터의 선정 기준 또한 매우 까다롭고 중요하다. 모터의 선정기준은 토크, 소비 전력, 회전 속도, 크기 등이며 RCP 모터는 이 모든 조건을 만족해야만 한다. RCP의 휠베이스 네비게이션을 위하여 선정된 모터의 정격은  $R_v = 11.5\Omega$ ,  $L_a = 47\mu H$ ,  $K_t = 1.70mNm/A$ ,  $J = 0.03gcm^2$ ,  $S_{max} = 15700 RPM$ ,  $P_o = 0.17W$  이다.

그림 9는 개발된 RCP의 프로토타입으로 2개의 DC모터를 구동하기 위한 모터드라이버 IC와 지자기 센서, 그래픽 LCD

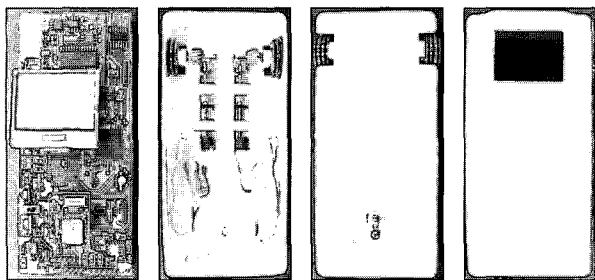
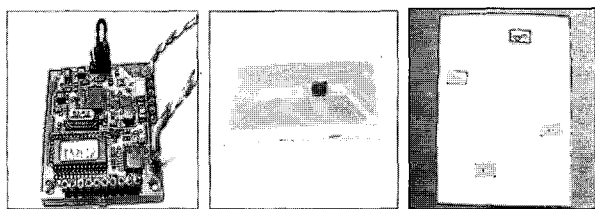


그림 9. RCP 네비게이션 시스템 시작품.  
Fig. 9. Wheel-based navigation system of RCP.



(a) RFID 리더 (b) RFID 태그 (c) 플로어 타일

그림 10. 자기위치 추정을 위한 RFID 장치요소들.  
Fig. 10. Components of the RFID self-localization controller.

및 블루투스 무선통신모듈 등을 사용하였다.

동작 전원으로는 CP에 사용되는 3.7V Li-Ion 배터리를 사용하였고, CPU로는 AVR 마이크로 컨트롤러를 사용하였다. 또한, 2개의 DC모터 제어를 위해 필요한 엔코더 펄스 4채널 회로 및 업-다운 카운터와 LCD를 포함한 외부 I/O 제어를 위한 어드레스 디코더, 모터의 정·역 구동 모드, 브레이킹 모드, 아이들 모드(idle mode)를 위한 제어 회로 등의 대부분의 회로는 EPLD(Electrically Programmable Logic Device)에 구현하였다. RCP의 외형 및 기계적인 동작을 위한 기구부는 가볍고, 마찰을 최대한 줄일 수 있는 구조로 설계하였으며 RP(Rapid Prototyping) 머신과 2D 조각기를 이용하여 제작하였다.

자기위치추정기의 개발을 위해 사용된 RFID 장치 요소들의 실제 모습은 그림 10과 같다. 리더는 RF 안테나를 내장한 리더(dimension: 0.038m×0.04m, 인식거리: 0.1m)를 사용하였고, 태그는 13.56MHz passive RFID 태그(dimension: 0.014m×0.031m)를, 플로어 타일은 포맥스(foamax) 재질의 타일(dimension: 0.2m×0.2m×0.005m)을 자체 제작하였다.

1.1 태그배치방식에 대한 시뮬레이션 결과 및 분석

태그배치 시뮬레이션 프로그램에서는 네비게이션에서 발생할 수 있는 여러 가지 파라미터(태그배치방식, 태그밀도, 이동속도, 회전속도, 이동오차각도 등)를 정의해 줄 수 있다. 시뮬레이션을 위해 사용되는 주요 파라미터는 다음과 같다.

- 태그배치방식  
정사각형, 평행사변형, 회전정사각형을 지정할 수 있다.
- 태그밀도  
한개 타일에 4개의 태그를 기본으로 하되, 타일의 크기(태그의 간격)를 조정함으로써 전체 플로어의 태그밀도를 조절한다.
- 태그 및 리더의 인식범위  
태그의 인식 범위(tag dimension) 및 리더의 인식 범위(reader

표 1. 고정 값을 갖는 파라미터 목록.

Table 1. Parameters list of fixed value.

파라미터	고정 값
플로어크기	800cm X 800cm
RCP 직선움직임속도	2cm/sec
RCP 회전속도	0.5cm/sec
최소이동거리(출발, 도착점)	300cm
이동오차각도	$\pi/36$ rad

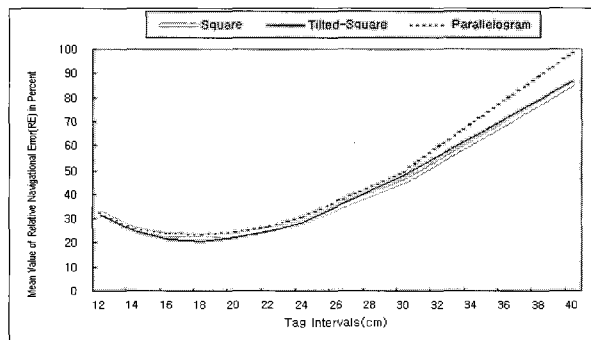


그림 11. 태그 인식범위가 6×6cm인 경우 비율오차.

Fig. 11. Navigational error of 6×6cm tag dimensions.

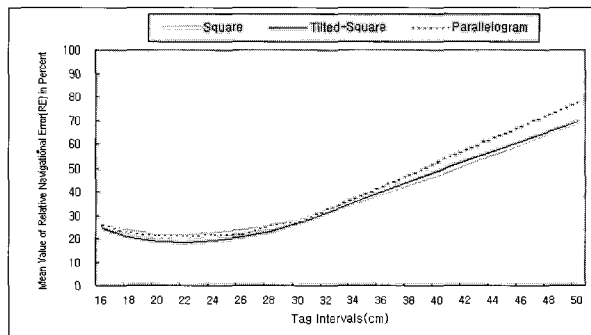


그림 12. 태그 인식범위가 8×8cm인 경우 비율오차.

Fig. 12. Navigational error of 8×8cm tag dimensions.

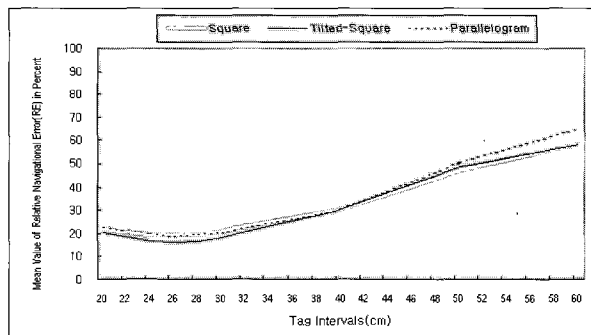


그림 13. 태그 인식범위가 10×10cm인 경우 비율오차.

Fig. 13. Navigational error of 10×10cm tag dimensions.

dimension)를 설정할 수 있다. 실제 구현에 사용될 태그 및 리더기의 크기와 사양이 제 각각일 수 있기 때문에 이 파라미터가 필요하다.

• 기타 파라미터

RCP 이동속도, 회전(방향전환)속도, 이동오차각도 등을 설정해 줄 수 있다.

본 논문에서는 정의된 오차를 바탕으로, 플로어의 배치방식 및 태그 밀도를 변화시키면서, 어떤 태그배치방식과 밀도가 상대적으로 작은 네비게이션 오차를 발생시키는지 분석하였다. 데이터의 신뢰도를 향상시키기 위하여 랜덤으로 생성된 다수의 출발, 도착점 쌍에서 네비게이션을 실시하였고, 각각의 출발, 도착점 쌍마다 세 가지의 다른 태그배치방식을 적용하여 주행거리에 따른 비율오차를 누적한 후, 이의 평균값을 사용하여 태그배치방식의 성능을 비교하였다. 여러 가지 변수들 중, 실제적인 RCP 주행 환경을 반영해야 하는 파라미터는 고정된 값을 제공하여 시뮬레이션을 진행하였다. 이들 고정 값의 목록은 표 1과 같다. 시뮬레이션에서는 10,000 개의 출발, 도착점을 사용하였는데, 그 이상의 경우에 있어서도 결과의 의미상 차이가 나타나지 않았다.

그림 11~13은 태그의 밀도(간격)를 변화시키면서 가장 효율적인 밀도가 어디서 존재하는지를 파악한 결과이다. 태그의 밀도 및 태그의 인식범위에 대한 변화를 제공하고 이를 세 가지 태그 배치방식에 비추어 결과를 확보하였다.

시뮬레이션의 결과 세 경우 모두에 있어 상대적 에러가 최소화되는 최적의 태그간격이 존재함을 파악할 수 있었고 이 결과를 요약하면 표 2와 같다.

태그간격을 태그 크기의 대략 3배 떨어지도록 배치할 때, 즉 태그인식 범위와 태그 밀도와의 상관관계가 대략 1:3의 비율일 때에 모든 배치방식에서 최소의 네비게이션 오차를 내는 것으로 판단되며 이러한 현상은 다른 인식범위에서도 관찰되었다.

최적의 에러를 나타내는 태그밀도에서 세 가지 태그 배치 방식 중, 어떤 배치방식이 가장 효율적일 것인가에 대한 분석은 표 2의 비율오차평균과 이들의 차이를 비율화한 상대적효율성(편차)을 구하면 알 수 있다. 모든 경우에 회전정사각형이 10% 이상의 상대적 유효효율을 나타내고 있고, 정사각형과 평행사변형의 경우는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 기존의 논문에서 제안하였던 정사각형이나 평행사변형 배치방식보다, 본 논문에서 제시하는 회전정사각형 방식의 효율이 높음이 증명되었다.

표 2. 인식범위별 최적 태그간격 배치방식의 성능.

Table 2. Relative efficiency by tag arrangements.

태그 인식범위	태그 간격	플로어 배치방식	비율오차 평균	상대적 효율성
6×6cm	18cm	회전정사각형	20.59%	12.03%
		정사각형	22.94%	1.98%
		평행사변형	23.40%	0%
8×8cm	22cm	회전정사각형	18.24%	13.55%
		정사각형	20.86%	1.11%
		평행사변형	21.09%	0%
10×10cm	26cm	회전정사각형	16.10%	15.26%
		정사각형	19.00%	0%
		평행사변형	18.57%	2.25%

2. 자율 네비게이션 실험 결과

휠 베이스 네비게이션 시스템의 핵심은 RCP가 자신의 위치를 인식하고 목표점에 정확하게 도달하는 것이다. 이를 위해서는 DC모터의 정확한 속도제어와 위치제어가 이루어져야 한다. 또한, 직외선 센서를 이용하여 장애물의 유무를 파악하고 장애물과의 거리를 측정함으로써 이를 회피하여 주행할 수 있는 기능이 있어야만 한다. 따라서, 본 논문에서는 PID를 이용한 CT(Computed Torque) 제어를 통하여 RCP의 속도/위치제어 및 궤적제어(trjectory control)를 구현하였고, H-Bridge 구조의 모터 드라이버를 사용하여 정·역회전이 가능하도록 하였다.

RCP는 여러 센서의 구동 및 신호처리, 두 개의 DC모터 위치 및 속도제어, 데이터 통신 등을 수행해야 하고 수집된 정보를 바탕으로 매 샘플링 타임마다 기구학을 계산해야 하는 등 많은 일들을 동시에 처리한다. 따라서 이를 보다 효율적으로 분산처리하기 위하여 RTOS(Real Time Operating System)인  $\mu\text{C/OS-II}$ 를 사용하였다.

RCP의 네비게이션을 위해 사용된 기계적 파라미터들은  $m = 0.156\text{kg}$ ,  $m = 0.0423\text{m}$ ,  $r = 0.019\text{m}$ ,  $L = 0.0285\text{m}$ ,  $I = 0.052\text{kgm}^2$ 이며, 이를 (6)에 대입하면 (13)에서 보여지듯이 CT 제어 알고리즘을 위한 동역학 식이 완성되어진다.

$$M(q) = \begin{bmatrix} 0.156 & 0 & 0.0066 \cdot \sin\theta \\ 0 & 0.156 & -0.0066 \cdot \cos\theta \\ 0.0066 \cdot \sin\theta & -0.0066 \cdot \cos\theta & 0.052 \end{bmatrix},$$

$$V_m(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0066 \cdot \dot{\theta} \cos\theta \\ 0 & 0 & -0.0066 \cdot \dot{\theta} \sin\theta \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B(q) = \frac{1}{0.019} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\theta \\ \sin\theta & \sin\theta \\ 0.0285 & -0.0285 \end{bmatrix}, \tag{13}$$

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_r \\ \tau_l \end{bmatrix}, \quad \Lambda^T(q) = \begin{bmatrix} -\sin\theta \\ \cos\theta \\ -0.0423 \end{bmatrix},$$

$$\lambda = -0.156 (\dot{P}_x \cos\theta + \dot{P}_y \sin\theta)\dot{\theta}$$

본 논문에서는 단순화된 PID 제어기의 게인으로 오른쪽 바퀴의 제어게인을  $K_P = 15.3$ ,  $K_I = 0.2$ ,  $K_D = 3.2$ , 왼쪽 바퀴는  $K_P = 14.6$ ,  $K_I = 0.25$ ,  $K_D = 3.9$ 로 설정하였다. 설정된 PID 제어기와 (13)의 동역학 방정식을 이용하여 (9)의 제어입력  $u$ 를 결정할 수 있으며, 이렇게 결정된 제어입력을 사용하여 RCP의 네비게이션에 필요한 토크  $\tau$ 를 계산하였다.

그림 14는 RCP의 전/후진 시의 속도제어 결과이고, 그림 15는 좌/우 회전 시의 속도제어 결과이다. RCP에는  $\pm 2500\text{RPM}$ 의 기준속도가 입력되었고, 그래프들을 통해 기준속도를 완벽히 추종하며 주행하는 것을 확인할 수 있다. RCP에 이동속도와 좌표를 입력하면 속도프로파일을 생성하는 제어기에 전달되어 최적의 속도 프로파일이 생성된다. 이와 동시에 가속도 제어에서는 바퀴의 슬립이 발생하지 않는 범위에서 최대 가속도를 산출하여 네비게이션을 실시한다.

그림 16은 기준속도와 좌표를 통해 산출된 RCP의 네비게

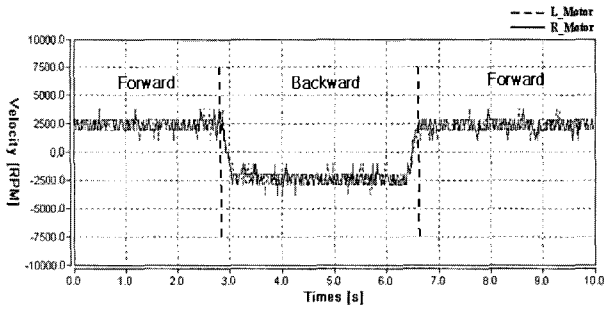


그림 14. RCP의 속도제어 결과(전/후진).  
Fig. 14. Results of velocity control (forward and backward).

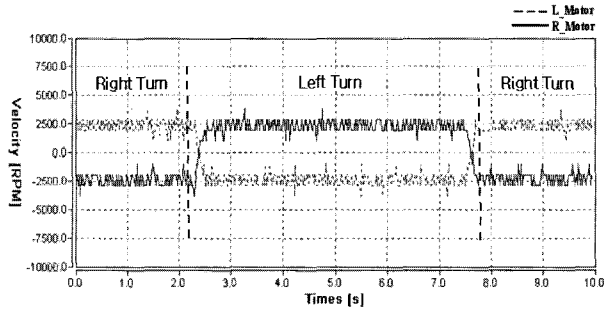


그림 15. RCP의 속도제어 결과(좌/우회전).  
Fig. 15. Results of velocity control (left and right).

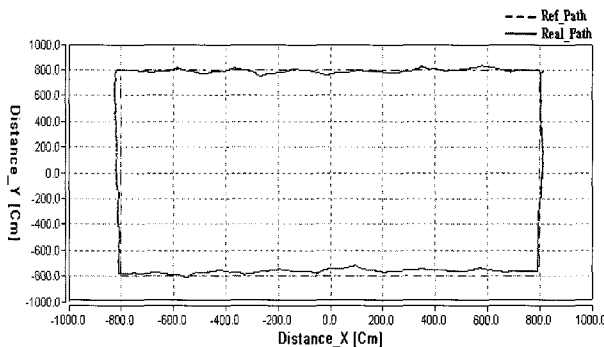


그림 16. RCP의 자율 네비게이션 결과.  
Fig. 16. Results of navigation.

이선 경로를 주행한 결과이다. 그림 16에서 볼 수 있듯이 주행 중 평균 0.025m 내외의 최대 위치오차를 보였으나, RCP의 네비게이션 실험에서는 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

그림 17은 RCP의 자동충전(auto charging)을 위한 네비게이션 실험 결과이다. 실험환경인 실내는 본 논문에서 제시한 회전정사각형 RFID 태그 배치방식으로 설계하였고, 태그의 밀도는 실제 태그의 인식범위가 4×2.5cm 이므로 10cm의 간격으로 제작하여 태그인식범위와 태그밀도간의 상관관계가 대략 1:3의 비율을 유지하도록 하였으며, 주행하는 RCP에는 소형 RFID 리더를 장착하였다.

RCP는 벽과 장애물이 존재하는 거실(living room)을 지나 충전기(charger)가 놓여있는 침실-bedroom)까지 주행하여 자동충전을 수행한다. RCP는 바닥면에 부착된 RFID 태그들을 인식하여 자세 및 경로를 보정하고, 적외선 센서를 통해 장애물을 회피하며 출발점에서 도착점까지 주행한다.

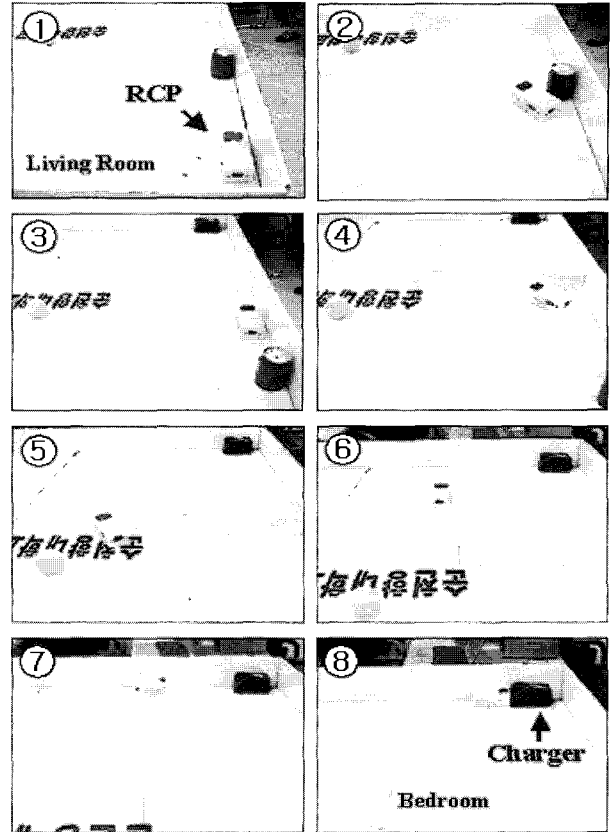


그림 17. RFID in-door 환경에서 RCP의 자율 네비게이션 실험 결과(auto charging).  
Fig. 17. Navigation for RCP auto-charging in the RFID in-door floor environment.

자기위치추정기에서 생성된 현재좌표를 바탕으로 최적의 경로를 실시간으로 생성한 후 추적제어기에서는 생성된 경로를 추종하도록 제어된다. RCP는 RFID 태그와 함께 6조의 적외선 센서를 사용하여 장애물 및 벽과의 거리를 검출하고 회피하는 동작을 수행하며, 바닥면의 태그가 검출되지 않는 구간에서는 dead-reckoning 방법을 이용하여 목표위치를 향하여 주행한다. 태그가 인식되었을 때 RCP는 경로와 자세를 보정하면서 목표 위치인 배터리 충전기까지 순조롭게 네비게이션하는 실험 결과를 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 연구팀은 최근 2년 동안 21세기의 유망한 첨단기술인 IT와 RT의 접목으로 시너지 효과를 크게 얻을 수 있는 새로운 기술 개념인 개인로봇형 휴대전화단말기 RCP (Robotic Cellular Phone)의 세부 기술들에 대한 연구와 실험 결과들을 논문으로 발표하여 왔다. 본 논문에서는 RCP의 세 가지 세부기술(RCP<sup>Mobility</sup>, RCP<sup>Interaction</sup>, RCP<sup>Integration</sup>)중에서 CP에 로봇의 자율이동기술을 접목하는 RCP<sup>Mobility</sup>에 초점을 두었다. 특히, CP에 로봇의 자율적인 네비게이션 기능을 부여함으로써 새로운 개념의 응용 서비스가 가능한 RCP를 개발하였다.

본 논문에서는 RCP의 자율 네비게이션 시스템을 로봇속도 및 위치 피드백 제어를 통하여 원하는 경로를 정확하게 찾을 수 있게 하는 추적제어기와 로봇 자신의 절대 위치를 알아내



는 자기위치추정기로 나누어 개발하였다. 추적제어기는 셀폰 배터리에 마이크로 DC모터로 구동되는 바퀴를 장착하고 있고, 속도 및 위치 마이크로센서에 의하여 케환된 데이터를 이용하여 자동제어 될 수 있도록 설계하였다. 자기위치추정기는 외부 센싱 기능을 이용하여 이동 중에 있는 RCP의 절대위치를 파악하는 역할을 담당하게 하였고, 이렇게 추정된 절대위치를 추적제어기에 제공하여 RCP가 정확한 경로로 목표지점까지 네비게이션 할 수 있게 하였다. 자기위치추정기를 구현하기 위해서는 USN 분야에서 활용도가 크게 높아지고 있는 RFID 기술을 사용하였는데, 이를 통해 일반적인 센서들이 가지는 직시(line-of-sight) 문제를 해결하고, 현재 위치를 태그 ID를 통해 실시간으로 파악할 수 있게 하여, 효율적인 네비게이션이 이루어지도록 하였다. 또한 효율적인 태그 장착 플로어의 제작 기준을 마련하여 이를 필요로 하는 여러 USN 응용을 위해서도 유용하게 활용될 수 있게 하였다.

**참고문헌**

[1] S. W. Kim and J. I. Choe, "A study on the new technological concept of Robotic Cellular Phone(RCP)," *International Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 16, no. 12, pp. 995-1005, Dec. 2005.

[2] J. I. Choe and S. W. Kim, "A study on infra-technology of robotic cellular phone," *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3571-3576, Sept. 2004.

[3] S. W. Kim and J. I. Choe, "A study on infra-technology of RCP interaction system," *Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 1121-1125, Aug. 2004.

[4] K. Finkenzeller, "Radio-frequency identification fundamentals and applications," *RFID Handbook*, Wiley, New York, 2000.

[5] G. Kantor and S. Singh, "Preliminary results in range-only localization and mapping," *Proceedings of the IEEE Conference*

*on Robotics and Automation*, pp. 1818-1823, May. 2002.

[6] D. Hahnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, and M. Philipose, "Mapping and localization with RFID technology," *Intel Research Institute*, Seattle, WA, Tech. Rep. IRS-TR-03-014, Dec. 2003.

[7] I. Siio, "User position detection using RFID tags" *Technical Report Proceedings of Japanese Information Processing Society*, 00-HI-88, pp. 45-50, 2000.

[8] S. Domnitcheva, "Smart vacuum cleaner-an autonomous location-aware cleaning device" *In Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Ubiquitous Computing*, Sep. 2004.

[9] J. Barraquand and J-C. Latombe, "Nonholonomic multibody mobile robots: controllability and motion planning in the presence of obstacles," *In Proceeding of the IEEE International Conference of Robot and Automation*, pp. 2328-2335, 1991.

[10] R. Fierro and F. L. Lewis, "Control of a nonholonomic mobile robot using neural networks," *IEEE Trans. On Neural Networks*, vol. 9, no. 4., pp. 589-600, July. 1998.

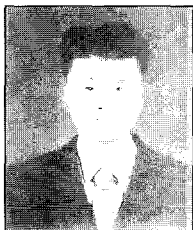
[11] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki and T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot," *In Proceeding of the IEEE International Conference of Robot and Automation*, pp. 384-389, 1990.

[12] C. Samson, "Velocity and torque feedback control of a nonholonomic cart," *In Lecture Notes in Control and Information Science*, C. Canudas de Wit, Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 125-151, 1991.

[13] F. L. Lewis, C. T. Abdallah, and D. M. Dawson, "Control of robot manipulators," *New York: MacMillan*, 1993.

[14] N. Sarkar, X. Yun, and V. Kumar, "Control of mechanical systems with rolling constraints: application to dynamic control of mobile robots," *Int. J. Robot. Res.*, vol. 13, no. 1, pp. 55-69, 1994.

[15] W. E. Dixon, D. M. Dawson, E. Zergeroglu, and A. Behal, "Nonlinear control of wheeled mobile robots," *Springer*, 2001.



**최재일**

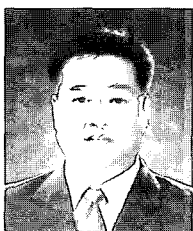
2002년 순천향대 제어계측공학과 졸업. 2004년 동 대학원 석사. 2004년~현재 동 대학원 정보제어공학과 박사과정 재학 중. 관심분야는 이동로봇의 절대위치 제어, 2족 보행로봇의 자세 제어, 임베디드 시스템 개발 및 응용, 유비쿼터스

서비스 로봇, 엔터테인먼트 로봇.



**최정욱**

2003년 순천향대 컴퓨터공학부 졸업. 2005년 동 대학원 전산학과 석사. 2005년~현재 동 대학원 전산학과 박사과정 재학 중. 관심분야는 RFID, 유비쿼터스 시스템, 임베디드 시스템, 운영체제.



**오동익**

1985년 뉴욕시립대 전산학과 졸업. 1989년 플로리다 주립대 전산학과 석사. 1997년 플로리다 주립대 전산학과 박사. 1997년~현재 순천향대 정보기술공학부 부교수. 관심분야는 RFID, 유비쿼터스 시스템, 임베디드 시스템, 운영체제, 실

시간 시스템, 프로그래밍언어 등.



**김승우**

1987년 연세대 전자공학과 졸업. 1989년 동 대학원 석사. 1989~1990년 삼성종합기술원 선임연구원. 1994년 동 대학원 전자공학과 박사. 1994~현재 순천향대 정보기술공학부 정교수. 1998~1999년 미국 Case Western Reserve Univ. 교환교수.

2003년 일본 나고야대학 로봇연구소 방문교수. 관심분야는 로봇제어, 퍼지제어시스템, SFPS Tech., 유비쿼터스 서비스로봇, 엔터테인먼트 로봇.