

힘 반향 조이스틱을 이용한 재활보조용 이동 로봇의 제어 기법

이응혁·권오상*·김병수**·민홍기***·장원석·홍승홍*

= Abstract =

The Control Method of Rehabilitation Assistance Mobile Robot Using Force-Reflection Joystick

Eung Hyuk Lee, Oh Sang Kwon*, Byung Soo Kim**, Hong Ki Min***,
Won Seok Chang, Seung Hong Hong*

When the disabled is operating a rehabilitation assisting system with a joystick by himself, unlike in the case of a normal person, tremor with joystick control or instant miscontrol can often occur. If these misoperations should be directly relayed to the system, shaking or malfunction of the mobile rehabilitation assisting system might be the result. The safety of the disabled is of prime concern. To solve this problem, that is, to prevent the miscontrol of the disabled operator and avoid crashes into his or her surroundings, we propose the force-reflection locomotion algorithm with the joystick. This method uses ultrasonic sensors to measure the distance between the object and mobile robot. Based on the reception of sensory data, the necessary torque is applied via the joystick to the attached motor.

To confirm the effectiveness of the proposed method, the subjects on the reflected force by the dynamic characteristics of the joystick and the reflected force by the distance information are tested. Even though there are some differences in human dexterity, we confirmed the fact that the information from the obstacles was relayed to the operator via the joystick and resulted in an improved operational performance and safety level with regard to those obstacles.

Key words : Rehabilitation assistance mobile Robot, Force-reflection joystick

서 론

지난 수년간 복지사회구현의 일환으로 장애인의 생활의 편리증진과 실내 생활을 돕기 위해 다양한 기능을 갖는 재활보조 시스템의 개발이 미국, 일본, 유럽공동체에서 추진되어 왔다. 이들 시스템을 하드웨어 구성을 기준으로 분류하면 제한된 작업환경내에서 사용자의 실내 생활과 식사 등을 지원하는 Keele대학의 HANDY I, Stanford

대학의 DeVAR, 유럽공동체의 RAID, 일본의 MARS 등의 워크스테이션 기반 시스템(workstation-based systems), 휠체어에 로봇 팔을 장착하여 사용자가 직접 작업을 지시하는 형태의 MANUS, INVENTAID와 같은 휠체어 기반 시스템(wheelchair-based systems)과 침대에 국한된 생활을 하는 사용자를 위해 개발된 WALKY와 같은 이동 로봇 시스템(mobile robots systems) 등으로 구분된다[1-4]. 이러한 재활보조용 이동 시스템의 구

건양대학교 정보전자공학부

Dept. of Information & Electronic Eng., Konyang University

*인하대학교 전자공학과

*Dept. of Electronic Eng., Inha University

**한국원자력연구소 원자력로봇 LAB

**Nuclear Robotics LAB., Korea Atomic Energy Research Institute

***인천대학교 정보통신공학과

***Dept. of Information & Telecommunication Eng., University of Incheon

※본 연구는 1997년도 보건복지부 보건의료기술개발 연구비 지원에 의해 수행되었음.(과제번호 : HMP-96-E-2-1004)

통신저자 : 이응혁, (320-711) 충남 논산시 내동 산 30 건양대학교 정보전자공학부, Tel. (0461)30-5186, Fax. (0461)34-1977

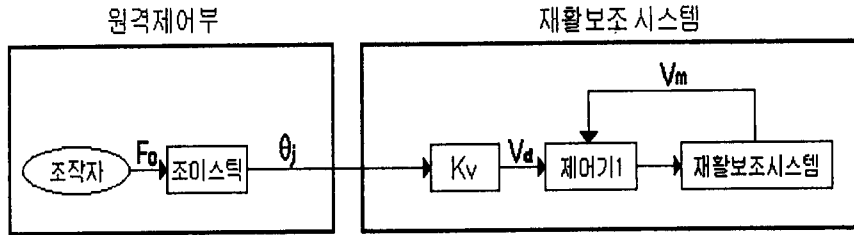


그림 1. 기존의 이동형 재활보조 시스템의 제어블럭선도
 Fig. 1. Control block diagram of general mobile rehabilitation assisting system

동은 일반적으로 매뉴얼 스위치, 조이스틱, 장애인의 잔존 생체 신호등을 이용하여 원격으로 직접 제어하는 방법과 초음파 센서, 영상 센서, 레이저 등의 주변환경 인식용 시각센서를 활용하여 장애물 회피, 충돌회피 등을 행하는 자율주행 방법등이 사용되고 있다[5-9].

여기서 사용자에게 의한 직접 제어 방법은 대부분의 시스템에서 매뉴얼 스위치나 조이스틱의 조작에 의해 원격 또는 직접적으로 수행되고 있으나, 장애인이 이 방법을 사용하여 재활보조용 이동 로봇트를 조작할 경우, 정상인과 달리 조이스틱 제어가 떨림이나 순간적인 오조작(예를들면 조이스틱을 손에서 놓치는 경우)이 자주 발생하게 되고, 이러한 오조작이 그대로 전달될 경우 이동 로봇트의 진동이나 오동작을 초래하여 특히 장애인의 안전성 측면에서 심각한 문제로 대두된다. 이를 해결하기 위한 시도로 Detriche, Grey 등은 조이스틱의 출력 값을 그대로 이동 로봇트의 제어입력으로 사용하지 않고 장애인들의 장애정도도 고려한 저주파 필터나 신호평균 기법을 거쳐 로봇트의 방향 및 속도의 제어입력으로 사용하는 방법을 고안하였다[10]. 또한 조이스틱의 유동성과 장애인의 조작 미숙 등을 고려하여 조이스틱의 불감대(dead-zone)를 중립위치에 설정하고, 이 범위 내에서의 진동을 장애인의 장애정도에 따른 적응필터로 개발하여 이동 로봇트를 제어하는 입력으로 사용하는 방법을 고안하였다[11-12]. 그러나 이러한 방법들은 각각의 장애인에 대해 별도로 조이스틱 데이터를 받아 뉴럴이나 퍼지등의 복잡한 해석과정을 거쳐거나, 데이터 분석을 통한 적응 필터를 설계하는 등의 복잡한 전처리 과정을 거쳐야 하고, 또한 개인별로 이득 조절과정을 거쳐야 한다는 문제점을 내포하고 있다.

따라서 본 논문에서는 복잡하고 구조화되어 있지 않은 실내에서 장애인의 활동범위를 넓히고, 사용의 편리성을 증진시키고, 또한 장애인의 실수나 조작의 미숙으로 인한 장애물과의 충돌을 방지하기 위하여 초음파 센서를 사용하여 물체와 이동 로봇트의 접근 정도를 측정하고 이에 따라 이동 로봇트가 물체에 접근하는 것을 방해할 수 있도록 모터부착형 조이스틱에 토오크를 걸어주는 원격제어용의 조이스틱을 사용한 힘 반향 주행 기법을 제안하였

다. 또한 제안된 주행방식의 유용성을 검토하기 위하여 반향되는 힘을 조이스틱의 동적 특성에 의해 조작자에게 반향되는 힘과 장애물과의 거리 정보에 의해 조작자에게 반향되는 힘으로 정의하였으며, 이에 대해 힘 반향 실험을 수행하였다.

힘 반향 조이스틱을 사용한 주행 기법

조이스틱을 사용한 힘 반향 방식은 원격으로 조이스틱을 취급하는 사람에게 힘을 느끼게 함으로써, 단순히 영상을 통한 시각적인 정보에만 의존하여 조이스틱을 조작하는 사람보다 전동 구동의 이동 로봇트를 더욱 원활하고 안전하게 조작함을 목적으로 한다. 여기서 조이스틱을 통하여 사람이 느끼는 힘을 반향된 힘(reflected force)이라 하며, 반향된 힘은 적용방식에 따라 적절한 정보를 포함하게 된다. 본 논문에서 제안하는 힘 반향 제어 알고리즘은 첫째, 조이스틱의 취급 자체가 부자유스러운 장애인을 위해 조이스틱의 급격한 운동 및 떨림 방지와 둘째, 재활보조용 이동 로봇트 주위의 장애물에 대한 접근 정보를 제공받아 장애물 주위에서 원활한 주행이 이루어지도록 하는 것을 목적으로 한다.

1. 일반적인 조이스틱 제어기

그림 1은 힘 반향이 되지 않는 일반적인 조이스틱을 사용하여 재활보조용 이동 로봇트를 제어하는 경우의 제어 시스템 블록도이다. 그림에서 F_o 는 조작자가 조이스틱에 가하는 힘을 나타내고 θ_j 는 조이스틱의 변위를 나타낸다. 조이스틱의 변위는 K_v 를 통하여 재활보조 시스템을 제어하는 "제어기1"에 속도 명령으로 입력되고, V_m 은 실제 재활보조용 이동 로봇트의 속도값으로 "제어기1"에 계환된다. 그림에서와 같이 재활보조용 이동 로봇트는 조이스틱의 속도 명령을 일반적으로 추종하게 되므로 로봇트의 주행 성능은 조이스틱을 취급하는 조작자의 기술과 숙련도에 의해 좌우될 수 밖에 없다. 즉 원활한 주행을 위해서 조작자는 전동으로 구동되는 이동 로봇트의 동특성에 대한 경험을 축적하여야 하며 정숙한 주행을 위하여

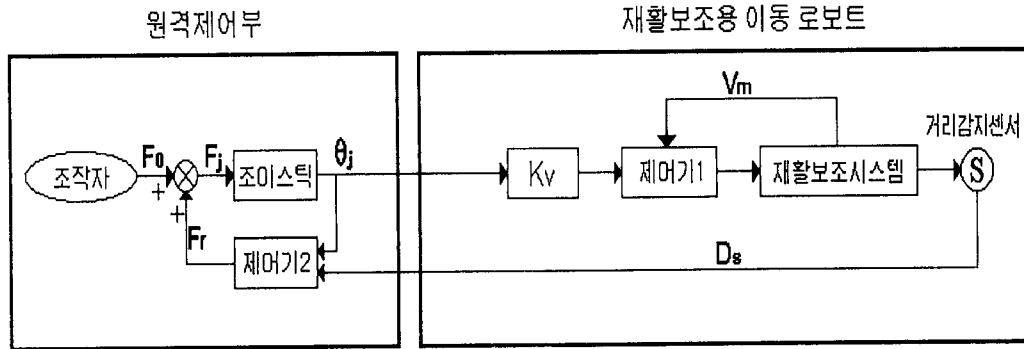


그림 2. 힘 반향 조이스틱 구동 재활보조용 이동 로봇의 제어 블록선도
 Fig. 2. Control block diagram of rehabilitation assistance mobile robot driven by force reflection joystick

조이스틱의 세심한 조작이 요구된다. 그러나 이와 같은 능력이 부족한 장애인의 경우 조이스틱의 과도한 운동이나 진동 등이 재활보조용 이동 로봇에 그대로 전달되기 때문에 이를 조작하는 작업자에게 보다 세심한 주의를 필요로 한다. 특히 재활보조용 이동 로봇을 특정 물체로 접근시키고 장애물을 피해가면서 주행시키는 경우 조이스틱의 과도한 조작과 진동으로 인해 장애물 및 특정 대상 물체와 이동 로봇간에 충돌을 야기시켜 중대한 시스템의 오류로 작용한다.

2. 힘 반향 조이스틱 제어기

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 조이스틱의 위치와 속도 정보 및 장애물과 이동 로봇간의 거리 정보를 조작자에게 힘에 대한 정보로 전달하는 방법을 제안하였다. 제안된 시스템에서는 장애물과 이동 로봇간의 거리 정보는 로봇에 부착된 초음파 센서에 의해 주행중 실시간으로 획득되고, 획득된 거리정보는 장애물의 특성을 반영하는 힘의 정보로 변환된 다음 특정 기구학을 갖는 조이스틱을 매개로 하여 조작자에게 전달되도록 하였다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 힘 반향 조이스틱을 포함한 진동으로 구동되는 재활보조용 이동 로봇의 전체 제어 계통도이다. 그림에서 재활보조용 이동 로봇은 조이스틱의 원점으로부터의 변위량을 속도에 대한 입력 명령으로 한다. 즉 조이스틱의 변화량이 클수록 입력되는 속도명령치는 증가하게 된다. 실제 이동 로봇을 구동하는 “제어기1”은 이동 로봇의 속도를 제한하여 속도제어를 수행한다. 조이스틱의 운동은 조이스틱에 가해지는 (1) 조작자의 힘(\$F_0\$), (2) “제어기2”에 의한 힘(\$F_r\$)에 의해 결정된다. 즉 조이스틱에 가해지는 힘(\$F_j\$)는 식 (1)과 같으며, 조이스틱 기구부의 다이내믹스에 의해 운동하게 된다.

$$F_j = F_0 + F_r \quad (1)$$

“제어기2”에 의해 생성되는 힘 \$F_r\$은 조이스틱을 통하여 조작자에게 반향되는 것으로 식 (2)와 같이 두 개의 힘 성분으로 구성된다.

$$F_r = F_{rd} + F_{rs} \quad (2)$$

식 (2)에서 \$F_{rd}\$는 조이스틱의 동적 특성에 의해 반향되는 힘으로 조이스틱의 과도한 운동을 방지하고 아울러 취급 도중에 조이스틱을 놓치게 될 경우 주행중인 이동 로봇을 서서히 정지시키는 역할을 하며 \$F_{rs}\$는 센서로부터 감지된 장애물의 회피와 벽면의 추종경로에 대한 정보를 힘으로 반향하는 역할을 한다.

\$F_{rd}\$는 다시 식 (3)과 같이 두 개의 힘으로 구성된다.

$$F_{rd} = K_{cd}\theta_j + K_s\dot{\theta}_j, \theta_j \in \mathbb{R}^n \quad (3)$$

식 (3)에서 \$\theta_j\$는 이동 로봇의 속도지령 값이 “0”인 조이스틱의 원점으로부터 조이스틱이 움직인 변위를 나타내고, \$\dot{\theta}_j\$는 조이스틱의 변화율을 나타낸다. 또한 \$K_{cd}\$와 \$K_s\$는 각각 \$\theta_j\$와 \$\dot{\theta}_j\$에 대한 계수(coefficient)들로 음의 값이다. \$\theta_j\$는 n차원 벡터로 조이스틱 기구부의 자유도(축수)와 같다. 일반적인 구조의 재활보조용 이동 로봇은 2차원의 X-Y평면 공간에서 움직이므로 2 자유도를 갖는 조이스틱으로 충분히 제어가 가능하다. 따라서 이 경우 \$\theta_j\$ 및 \$\dot{\theta}_j\$는 2차원 벡터이고 \$F_{rd}\$ 또한 2차원 벡터이다.

\$F_{rd}\$ 힘을 기계적인 측면에서 분석해 보면 그림 3에 나타낸 것과 같이 조이스틱의 원점과 조이스틱 사이에 탄성 계수 \$K_{cd}\$값을 가진 스프링과 점성(viscosity)이 \$K_s\$인 댐퍼가 부착된 메카니즘으로 설명할 수 있다. \$\theta_j\$와 \$K_{cd}\$가 크면 \$F_{rd}\$가 증가하게 되어 조작자에게 큰 힘이 반향된다. \$\dot{\theta}_j\$는 이동 로봇의 속도입력이므로 주행 속도가 클수록 이에 비례하는 큰 힘이 조작자에게 반향된다. \$\dot{\theta}_j\$와 \$K_s\$는 이동 로봇이 서서히 가속 또는 감속하도록 하는 역할을

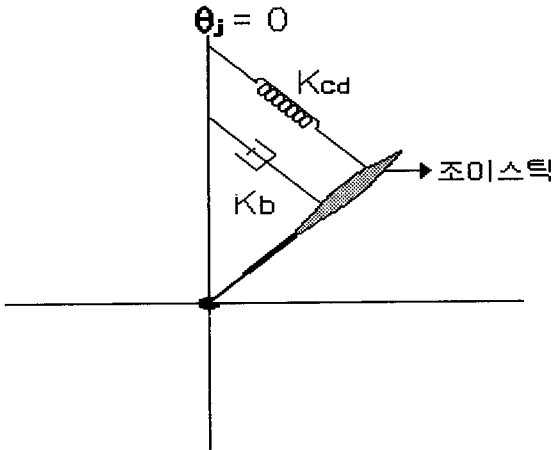


그림 3. F_{rs} 힘이 반향된 조이스틱의 등가 시스템
Fig. 3. Equivalent system of joystick reflected force F_{rs} .

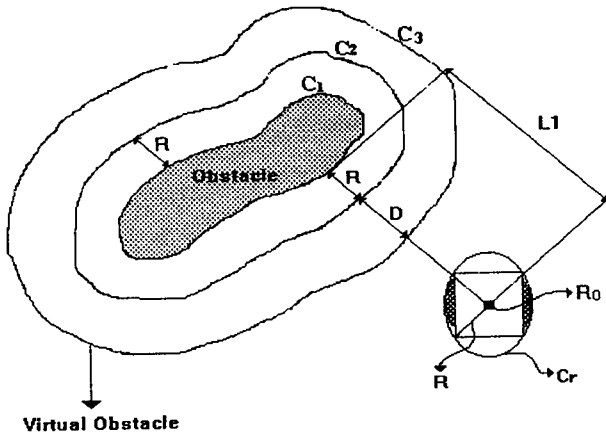


그림 4. 가상 장애물의 정의
Fig. 4. Definition of virtual obstacle

하게 된다. 조이스틱을 조작자가 놓칠 경우 일반적인 조이스틱은 기계적으로 부착된 스프링에 의해 매우 빠른 속도로 원점으로 복귀하게 되며 이 때 진동을 수반하게 된다. 이는 이동 로봇의 급격한 운동과 진동을 초래하여 장애 인이나 노약자의 안전을 위협하게 된다. 한편 힘 반향 조이스틱의 경우는 적절한 K_{cd} 와 K_b 값을 선택함으로써 조이스틱을 놓칠 경우 원점으로 서서히 복귀하게 되어 궁극적으로 재활보조용 이동 로봇을 안전하게 정지시키게 된다.

3. 가상 장애물에 의해 반향되는 힘

조이스틱에 반향되는 힘중에서 F_{rs} 는 초음파 센서로부터 획득된 장애물에 대한 거리 정보로부터 생성되는 성분이다. F_{rs} 를 적절히 생성함으로써 장애물과 이동 로봇 간의 거리에 대한 정보를 조작자에게 반향시켜 장애물의 회피와 안전성 있는 주행을 유도할 수 있다. 그림 4는 본문에서 제시하는 장애물에 대한 F_{rs} 의 생성 방법을 나

타낸다. 그림에서 C_1 은 이동 로봇의 중심 R_0 를 원점으로 하고 이를 포함하는 최소 반경 R 의 원으로 간주한다. 실제 장애물은 C_1 으로 표시된 폐곡선이다. 이동 로봇을 점으로 간주하면 장애물은 C_2 의 원으로 된다. C_2 곡선 내부에 이동 로봇의 중심이 위치하면 장애물과의 충돌이 발생한 것이므로 충돌이 발생하지 않기 위해서는 식 (4)로 표현되는 조건을 만족해야 한다.

$$L_1 > R \quad (4)$$

여기서, L_1 은 R_0 로부터 장애물 사이의 최소 거리이다.

이제 C_2 외부에 C_3 의 새로운 폐곡선을 만들고 이를 가상적인 장애물(virtual obstacle)로 정의한다. 가상적인 장애물 C_3 는 장애물의 특성을 반영하는 탄성(stiffness)을 갖는 곡면으로 생각한다. 즉 이동 로봇의 중심인 R_0 가 C_3 외부로부터 C_3 내부로 진행할 때 그림 5와 같이 탄성을 갖는 C_3 는 변형이 생기고 복원하려는 성질로 인하여 R_0 는 C_3 외부로 밀려나는 방향으로 힘을 받게 된다. 이러한 가상 환경의 변형으로 인하여 발생하는 힘 F_{rs} 는 식 (5)로 표현된다.

$$F_{rs} = K_{cs3} \Delta D \quad (5)$$

식에서 K_{cs3} 은 가상 장애물 C_3 의 탄성계수이고 ΔD 는 크기가 ΔD 이고 R_0 로부터 가장 가까운 가상 장애물의 표면으로 향하는 방향벡터이다. C_2 와 가상 장애물 C_3 사이의 거리 D 는 장애물의 종류와 특성을 결정하는 중요한 요소이다. D 의 값이 클수록 이동 로봇은 장애물로부터 멀리 떨어져서 주행하게 되고 D 의 값이 작으면 반대의 경우가 발생하게 된다.

힘 반향 조이스틱 제어기 설계

힘 제어 조이스틱은 그림 2에 설명한 바와 같이 조이스틱 자체의 역학적 특성을 고려하고, 재활보조용 이동 로봇에 부착된 초음파 센서로부터 측정되는 장애물과의 거리정보를 조작자에게 전달해 주는 매체로 개발하였다.

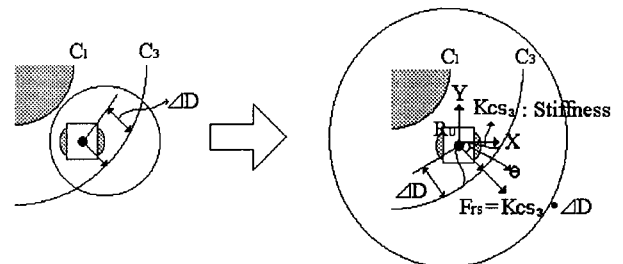


그림 5. 가상 장애물에 의한 반향 힘
Fig. 5. Reflected force by virtual obstacle

이응혁 외 : 힘 반향 조이스틱을 이용한 재활보조용 이동 로봇의 제어 기법

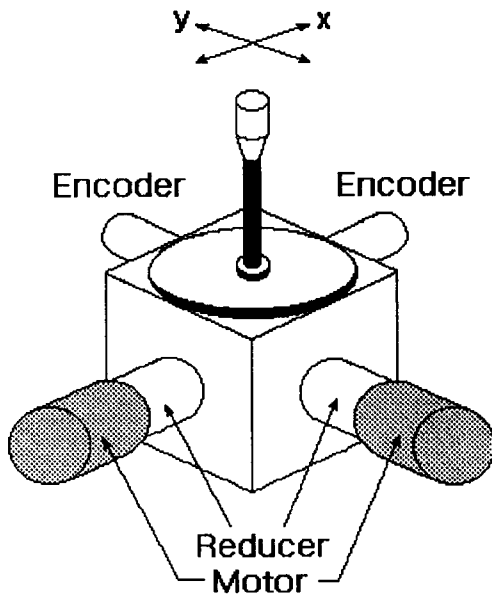


그림 6. 2 축 힘 반향 조이스틱의 구조
Fig. 6. The structure of 2 axis force reflected joystick

속 재활보조용 이동 로봇과 장애물과의 거리가 가까워지면 벌어지는 방향으로 조이스틱에 부착된 모터에 토크를 걸어서 조작자가 힘을 느낄 수 있도록 설계하였다. 설계된 힘 반향 조이스틱의 구조는 그림 6에 나타낸 바와 같이 일반 조이스틱에 직류 서보 모터와 이의 움직임을 검출하기 위해 엔코더를 결합시켰다. 여기서 모터는 PMI사의 74W급 직류모터(6M4H)를 사용하였고, 감속기는 5:1로하여 힘제어의 범위가 크고 역구동성이 우수하도록 설계하였다.

이러한 구조를 갖는 힘 반향 조이스틱의 제어는 조이스틱으로부터 이동 로봇의 속도명령을 해석하여 이동 로봇 제어부로 전달하고, 이동 로봇과 장애물간의 거리 데이터를 받아서 조이스틱의 모터를 제어하도록 고안하였으며, 시스템의 구성은 그림 7에 보여주는 것처럼 직류 모터와 1 회전당 512펄스가 출력되는 광전 방식의 엔코더가 부착된 힘제어 조이스틱, 토크 제어용 서보 앰프 (PMI사 KXA), 서보 앰프에 구동 명령을 주기 위한 D/A 변환기, 에코더의 펄스를 해독하기 위한 엔코더 인터페이스 보드, 68030 프로세서 보드, LAN 통신 보드 및 워크스테이션으로 구성하였다.

여기서 직류모터와 서보 앰프는 그림 6에 설명한 바와 같이 토크 제어가 가능하도록 구성하였고, 이동 로봇의 속도 명령을 주는 조이스틱의 회전변위를 측정하기 위하여 조이스틱 축에 광전식 엔코더를 장착하여 이 값을 엔코더 신호 해독기를 통해 컴퓨터로 입력하도록 하였다. 사진 1에 실제 설계·제작된 조이스틱과 조이스틱 제어를 위한 시스템의 외관을 나타내었다.

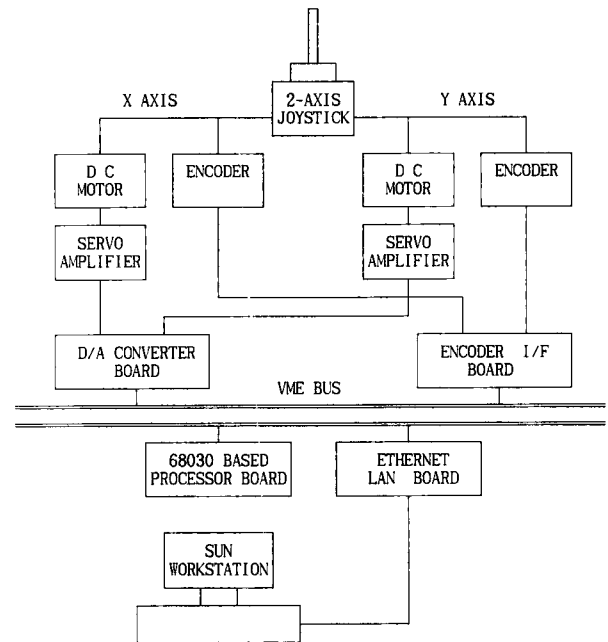


그림 7. 힘 반향 조이스틱의 제어기 구성
Fig. 7. Configuration for controller force reflected joystick

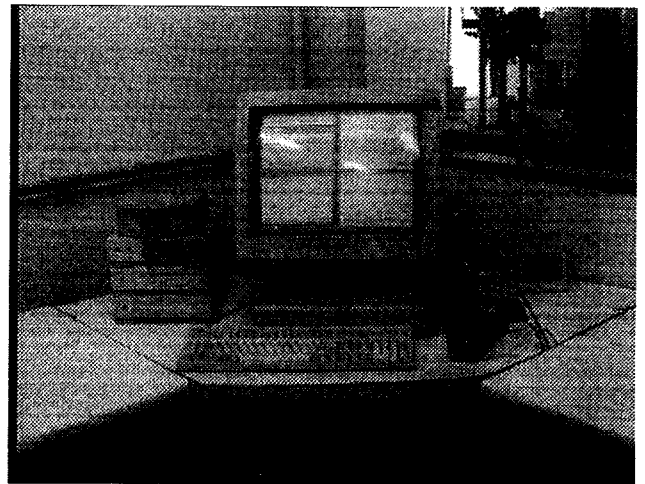


사진 1. 힘 반향 조이스틱 제어기 외관
Photo 1. Appearance of force reflection joystick controller

실험 결과 및 고찰

이동형의 재활보조용 이동 로봇을 집중력이 부족하고 조이스틱의 조작이 능숙하지 못한 장애인이 수동으로 원격에서 제어할 경우, 일반적인 조이스틱을 사용할 때의 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서 제안한 조이스틱의 힘 반향 방식에 대한 시뮬레이션과 실험을 수행하였

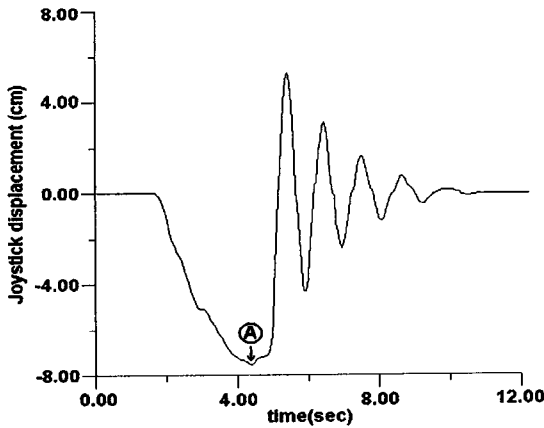


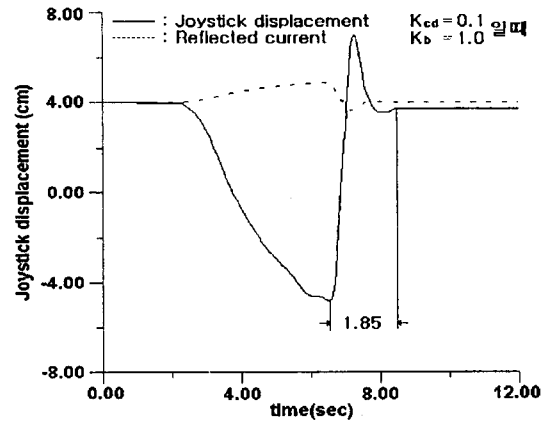
그림 8. $K_b=0$ 일 경우 K_{cd} 에 의한 힘 반향 실험 결과
Fig. 8. Experimental result of force reflection by K_{cd} when $K_b=0$

다. 본 시뮬레이션과 실험은 제안하는 힘 반향 방식의 유효성을 입증하기 위한 것으로 크게 두 가지의 상황을 설정하고 수행하였다. 첫 번째는 재활보조용 이동 로봇의 주행이 완만하게 이루어지며, 주행 속도가 빨라질수록 속도에 비례하는 힘을 반향시켜 경각심을 조작자에게 알려 주기 위함이다. 아울러 조작의 미숙으로 조이스틱을 놓칠 경우 재활보조용 이동 로봇을 안전하게 정지시키기 위함이다. 두 번째의 실험은 복도 등의 구조적인 환경에서 주행 경로를 특정 거리를 두고 매끈하게 주행 가능하도록 힘을 반향시키는 상황이다. 힘 반향 조이스틱과 힘 반향 제어를 수행하는 조이스틱의 제어기, 거리감지 센서를 부착한 재활보조용 이동 로봇으로 구성되는 전체 시스템 중에서 거리감지 센서를 부착한 이동 로봇은 X-Y 좌표계 시스템에서 모의로 구현하였다. 모의로 구현된 재활보조용 이동 로봇의 다이내믹스는 무시하여 조이스틱의 제어 입력(속도)을 완벽히 추종한다고 가정하였다. 실제 실험에 사용된 조이스틱은 서로 독립적인 2개의 축을 갖는 2 자유도의 기구부로 각 축은 각각 모의 환경에서 주행하는 재활보조용 이동 로봇을 2 차원 평면 공간에서 X 축과 Y 축으로 각각 주행시킨다.

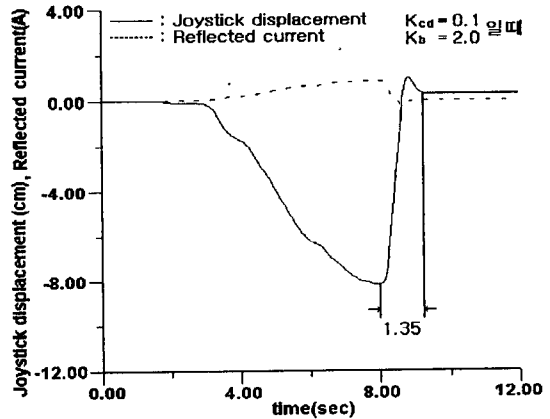
1. F_{cd} 힘 반향 실험

본 실험은 식 (2)에 의하여 반향되는 힘 중에서 F_{cd} 에 의한 효과를 분석하기 위한 것으로 이동 로봇이 일정 속도로 주행 중에 조작자가 조이스틱을 놓칠 경우에 식 (3)에서 K_{cd} 와 K_b 값의 변화에 따른 조이스틱의 움직임을 분석하였다.

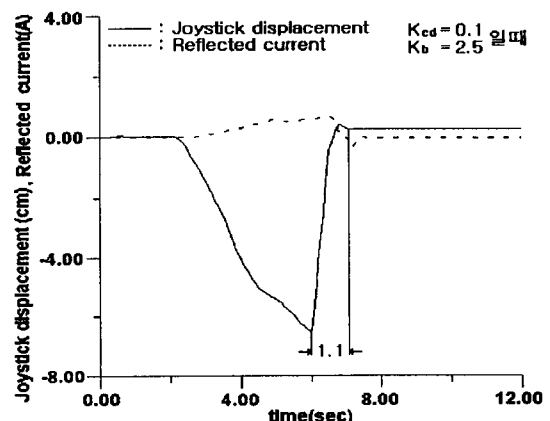
그림 8은 K_b 가 "0"인 경우 K_{cd} 값만으로 제어를 하였을 경우, 조이스틱의 운동을 나타낸다. 그림에서 A 지점은 조이스틱을 임의로 놓은 곳이다. 여기서 K_{cd} 값만을 가지



(a) $K_b=1.0$ 일 때



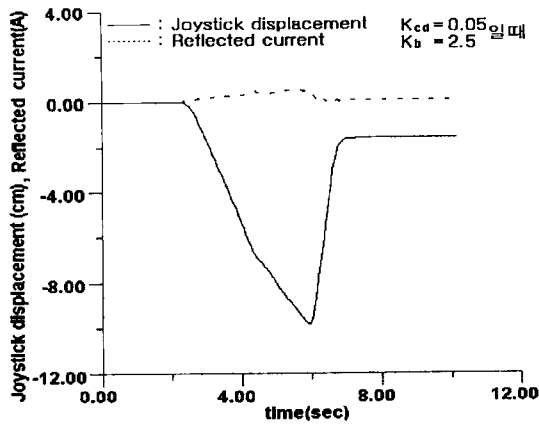
(b) $K_b=2.0$ 일 때



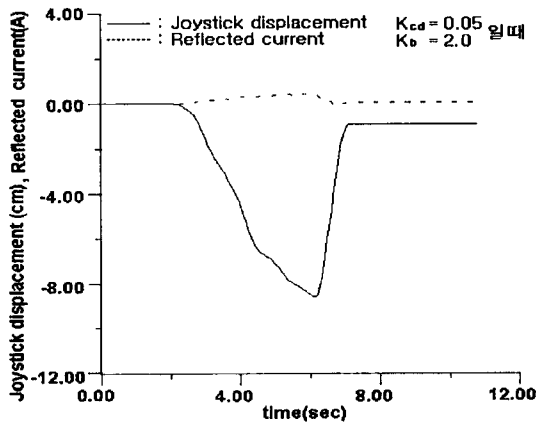
(c) $K_b=2.5$ 일 때

그림 9. $K_{cd}=0.1$ 일 때, K_b 변화에 따른 조이스틱 움직임
Fig. 9. Joystick movement by change of K_b when $K_{cd}=0.1$

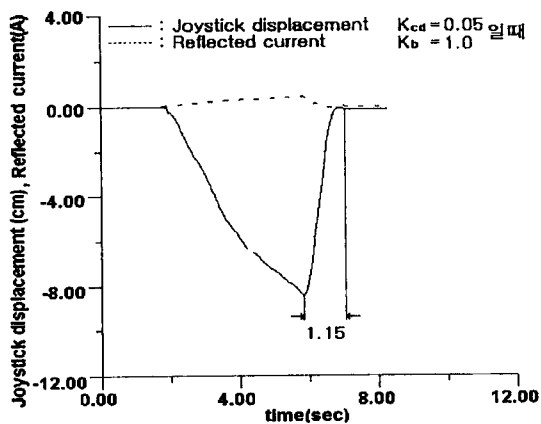
고 조이스틱을 제어할 경우에는 진동이 발생하고, 이 진



(a) $K_b = 2.5$ 일 때



(b) $K_b = 2.0$ 일 때



(c) $K_b = 1.0$ 일 때

그림 10. $K_{cd} = 0.05$ 일 때, K_b 변화에 따른 조이스틱 움직임
Fig. 10. Joystick movement by change of K_b when $K_{cd} = 0.05$

동은 재활보조용 이동 로봇트를 제어하는 측면에서 보면 궁극적으로 로봇트의 진동을 유발시키는 결과를 초래하므로 바람직하지 못하다. 그러므로 K_{cd} 값을 가지고 조이스틱을 제어할 경우에는 진동이 발생하는 것을 막을 수 없고, 진동은 K_{cd} 와 K_b 의 변화에 따라 다르게 나타나므로, 이들 값을 적절하게 선정함으로써 이동 로봇트를 일정한 시간 내에 유연하게 정지시킬 수 있게 된다.

그림 9는 K_{cd} 값이 0.1인 경우 K_b 값의 변화에 대한 조이스틱의 움직임을 나타낸 것으로, K_b 값이 2.5인 경우 거의 진동없이 복귀됨을 알 수 있다. 이 경우 1.1초 후에 정지 상태에 머물게 된다. 즉 재활보조용 이동 로봇트의 제어기가 조이스틱의 입력을 충실히 수행할 경우 1.1초 동안 이동 로봇트는 감속하여 정지하게 됨을 의미한다. K_b 값이 2.5보다 작으면 감쇠부족(under-damping) 현상이 일어나고 이 경우는 진동이 발생함을 알 수 있다.

그림 10은 K_{cd} 값이 0.05인 경우 K_b 값의 변화에 대한 조이스틱의 움직임을 나타낸 것으로 그림 10의 경우보다 정지시간이 증가함을 알 수 있다. 또한 K_b 값이 큰 경우에는 정상상태 오차가 발생함을 알 수 있으며, K_b 값이 1.0인 경우 원활한 조이스틱의 움직임을 보여주고 있다.

그리고, 그림 10에서 조이스틱이 장애인의 손에서 떨어지는 시점부터 재활보조 시스템이 안정성을 유지하며 정지할 때까지 시간의 t_s 은 약 1.15 sec 이다. 이상의 실험에서 샘플링 주기는 50ms로 하였다.

2. 원형 장애물 회피 실험

본 실험은 장애물이 없는 지역을 주행하다가 장애물이 돌출적으로 감지 되었을 때 장애물을 회피하는 상황을 설정한 것이다. 그림 11과 같이 주행하고 있는 장치의 전면부에 원형의 장애물이 감지되는 경우 장애물을 우회하여 장애물을 피하는 과정에 대해 실험을 수행하였다. 실제

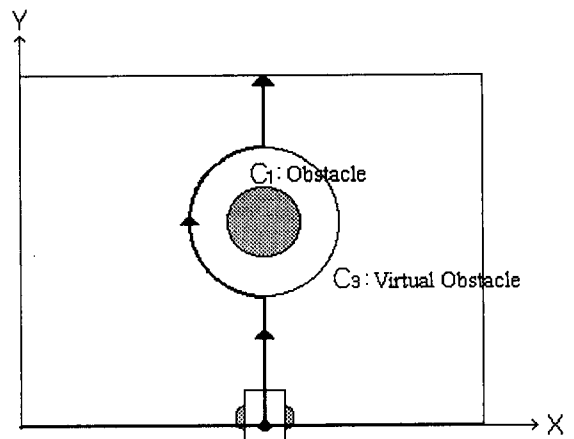


그림 11. 원형 장애물 회피 환경
Fig. 11. Environment of avoiding the circular obstacle

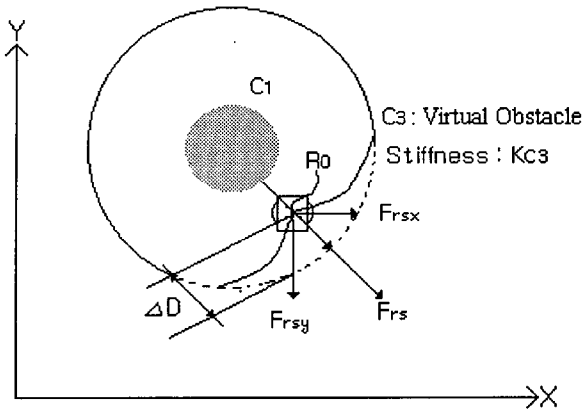


그림 12. 원형 장애물에 의한 반향 힘
Fig. 12. Reflection force by circular obstacle

장애물의 반경을 20cm로 하고, 가상 장애물의 반경이 30 cm 인 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 가상 장애물을 침범할 때의 반향 힘 F_{rs} 는 그림 12의 원리를 적용하고, 식 (7)의 관계식을 이용하여 구하였다.

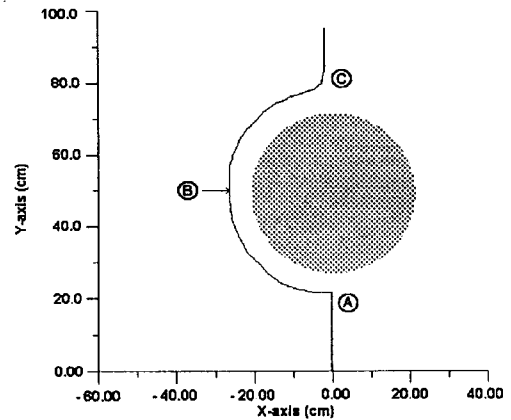
그림 12에서 거리감지 센서의 지향 방향으로 크기가 $K_{cs} \cdot \Delta D$ 인 힘 벡터 F_{rs} 는 다음 식으로 구해진다.

$$F_{rs} = [F_{rsx} \ F_{rsy}] \\ = [K_{cs} \ \Delta D \cos(\text{angle}) \ K_{cs} \ \Delta D \sin(\text{angle})] \quad (7)$$

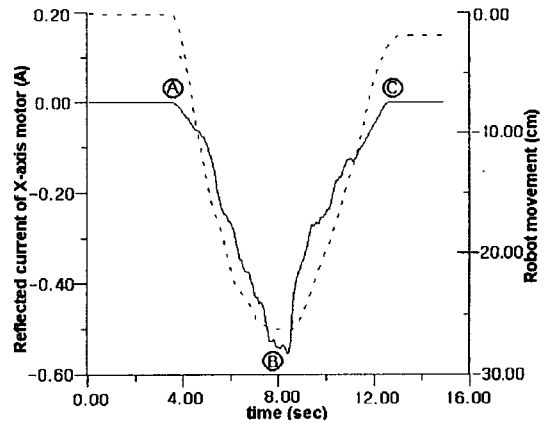
F_{rsx} 는 힘 반향 조이스틱의 X축으로 반향되고, F_{rsy} 는 힘반향 조이스틱의 Y축으로 반향된다.

그림 13(a)는 장애물의 반경이 30cm인 경우의 힘 반향 조이스틱의 제어에 의한 재활보조용 이동 로봇의 주행도이다. 이 경우 또한 실제 장애물 외부의 가상 장애물을 원활하게 추종하고 있음을 알 수 있다. 이때의 가상 장애물에 의해 발생된 힘(실선)과 로봇의 움직임(실선)을 X 축과 Y 축에 대해 각각 그림 13의 (b), (c)에 나타내었다.

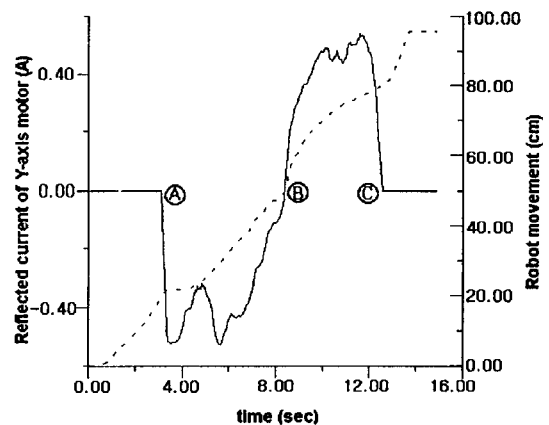
그림 13(b)는 원형 장애물을 피해 가는 과정에서 조이스틱의 X축 변위에 따른 반향 힘과 로봇의 변위를 나타낸다. 또한 ㉠에서 ㉢지점까지는 조이스틱의 변위가 X축의 좌측(-방향)으로 발생하고 로봇의 움직임이 원형 장애물과의 충돌을 발생하지 않고 힘을 반향 하면서 안정적으로 주행하고 있음을 알 수 있다. 그림 13(c)는 원형 장애물을 피해 가는 과정에서 조이스틱의 Y축 변위에 따른 반향 힘과 로봇의 변위를 나타낸다. 여기서 ㉠지점에 로봇이 도달하였을 때, 최대의 힘이 반향되고 있음을 알 수 있고, ㉠에서 ㉢지점까지는 원형 장애물에 접근 후에 조작자가 힘을 느끼면서 장애물과의 충돌을 회피하고 있는 과정을 나타내고, 여기서 발생하는 진동은 로봇의 움직임이 장애물과의 근접함에 따른 힘의 반향을 의



(a) 주행 결과



(b) X 축으로 반향된 힘



(c) Y 축으로 반향된 힘

그림 13. 원형 장애물 회피 실험

Fig. 13. Experiment for avoiding the circular obstacle

미한다. 또한 ㉢지점에서 Y축으로 반향되는 힘은 "0"임

을 알 수 있으며, ㉑에서 ㉒지점까지는 ㉑에서 ㉒지점까지의 반대 상황으로 힘을 발생하고, ㉒지점에서는 장애물과의 충돌 회피과정이 끝나 반향되는 힘이 "0"이 됨을 알 수 있다.

결 론

장애인이 재활보조용 이동 로봇을 제어할 때 조이스틱의 취급이 능숙하지 못하고, 집중력 부족으로 조이스틱을 놓치거나 원하지 않는 방향으로 이동하는 경우가 자주 발생된다. 이러한 경우 조이스틱 명령이 그대로 전달되면 재활보조용 이동 로봇은 장애물과의 충돌을 일으키게 된다. 본 논문에서는 이러한 상황을 방지할 수 있도록 장애물과의 거리 정보를 힘으로 반향하는 힘 반향 조이스틱을 제작하고, 이에 적합한 힘 반향 주행방식을 제안하였다. 제안된 주행방식의 유용성을 검토하기 위해서 조이스틱의 동적 특성에 의해 반향되는 힘(F_{rd})과 장애물과의 거리 정보에 의해 반향되는 힘(F_{rs})을 정의하고 이에 대해 힘 반향 실험을 수행하였다. 첫 번째로 장애인이 조이스틱을 놓치는 경우 재활보조용 이동 로봇의 안정성을 유지할 수 있는 F_{rd} 를 얻기 위한 실험결과 최적의 힘반향 계인 K_{rd} , K_{rs} 는 각각 0.05, 1.0임을 알 수 있었다. 여기서 조이스틱이 장애인의 손에서 떨어지는 시점부터 재활보조용 이동 로봇이 안정성을 유지하며 정지할 때까지 시간은 1.15 초로 추정되었다. 두 번째로 장애물 근처를 이동할 때 오동작을 방지하기 위한 F_{rs} 힘 반향 실험결과 조작자의 숙련도에 따라 차이는 있으나 장애물 정보를 조이스틱을 통하여 조작자에게 전달함으로써 조작성능 및 장애물에 대한 충돌 안전성이 향상됨을 알 수 있었다. 따라서 제안된 힘 반향 제어 기법은 조작자로 하여금 장애물과의 거리가 가까와짐에 따라 점진적으로 큰 힘을 느낄 수 있도록 하고, 오조작을 방해하는 방향으로 힘을 조작자에게 반향시키므로써 기존의 일반 조이스틱을 사용할 경우보다 장애물과의 충돌 가능성이 줄어들고, 조작성능이 향상됨을 실험을 통하여 확인할 수 있었으며, 제안된 힘 반향 기법은 장애인의 조작의 떨림이나 순간적인 오조작으로 인한 조작의 실수를 방지할 수 있으리라 기대된다. 그러나 본 연구에서 설계·제작한 힘 반향 조이스틱과 제어기는 VME 시스템을 기반으로 제작되어 제조 단가가 고가인 관계로 실제 장애인을 위한 사용자 인터페이스 장치로 사용하기에는 문제점을 내포하고 있으므로 향후 실용화를 위해 모터는 실험 결과를 토대로 1/3 정도로 줄이고, 힘 반향 조이스틱 제어기는 저가로 구현에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. R. L. Madarasz, "The Design of an Autonomous Vehicle for the Disabled", IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. RA-2, no. 3., pp.117-126, 1986.
2. Mike Topping, "Early Experience in the Use of the 'HANDY 1' Robotic Aid to Eating", ROBOTICA, vol. 11, no. 10, pp.525-527, 1993
3. Hakan Neveryd, Gunnar Bolmsjo, "Path Planning Methods for the Ultrasonic Navigation Mobile Robot, WALKY", ECART3 Proceedings, pp. 179-181, 1995
4. H.H. Kwee, M.M.M. Thonissen, G.B. Cremers, J. J. Duimel, R. Westgeest, "Configuring the Manus System", RESNA '92, International, pp.584-587, 1992
5. Bell DA, Levine SP, Koren Y and J. Borenstien J, "Shared Control of the NAVCHAIR Obstacle Avoiding Wheelchair", Proc. 16th Ann. RESNA Conf., Las Vegas, NV, pp.370-372., 1995
6. Amori RD, "Vocomotion -An Intelligent Voice-control System for Powered Wheelchair", Proc. RESNA International '92, pp.421-423, 1992.
7. 鄭東明, 趙種萬, 張元碩, 洪勝弘, "應答形音聲制御システムを用いた車椅子の設計", 第29回日本ME學會雜誌, Japan Soc. ME & BE, pp654, 1988
8. R. Gelin, JM. Detriche, JP. Lambert, P.Malblanc, "The Sprint of Coach", IEEE International Conf. on Systems Man and Cybernetics, pp.547-552, 1994
9. 최인구, 이용혁, 한영환, 장영진, 홍승홍, "전동휠체어의 벽면추종 기법에 관한 연구", 의공학회지, 제 15권 2호, pp209-215, 1994.6
10. H.F.M.V. der Loos, D.S. Lee, L.J. Leifer, "Safety Considerations for the Rehabilitative and Human-service Robot Systems", RESNA '92 International, pp.322-324, 1992
11. 齊藤之男, 米本春雄, "介助用 ロボットにおける安全性に関する研究", 第5回 人と福祉を支える技術フォーラム 96論文集, pp.72-74, 1996
12. Rory A. Cooper, "Intelligent Control of Power Wheelchairs", IEEE Engineering in Medicine and Biology, pp.423-430, July/August, 1995

= 국문초록 =

장애자나 노약자가 이동형의 재활보조 시스템을 조이스틱을 이용하여 직접 조작할 경우, 정상인과 달리 조이스틱 제어가 떨림이나 순간적인 오조작(예를들면 조이스틱을 손에서 놓치는 경우)이 자주 발생하게 된다. 이러한 오조작이 그대로 전달될 경우 이동형 재활 보조시스템의 진동이나 오동작을 초래하고, 특히 장애자나 노약자의 안전성의 측면에서 문제로 대두된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 장애자의 오조작 및 주위 환경과의 충돌을 방지하기 위하여 초음파 센서를 사용하여 물체와 이동 로봇의 접근 정도를 측정하고 이에 따라 이동 로봇이 물체에 접근하는 것을 방해할 수 있도록 모터부착형 조이스틱에 토크를 걸어주는 조이스틱을 사용한 힘 반향 주행 기법을 제안하였다.

제안된 힘 반향 기법의 유효성을 입증하기 위하여 원통형의 전방 장애물과 복도의 벽면을 가상으로 만들고 이를 따라 조이스틱을 조작하여 주행실험을 하였으며, 그 결과 조작자의 숙련도의 차이는 있었으나 장애물 정보를 조이스틱을 통하여 조작자에게 전달됨을 확인함으로써 조작성과 장애물에 대한 안전성이 향상됨을 알 수 있었다.