

무진동 조이스틱을 이용한 전동 휠체어 제어에 관한 연구

홍준표, 권오상, *이응혁, **김병수, 홍승홍

인하대학교 전자공학과, *건양대학교 정보전자공학부, **한국원자력연구소 로봇개발팀

A Study on the Controlling of Motorized Wheelchair using Non-vibration Joystick

J. P. Hong, O. S. Kwon, E. H. Lee, B. S. Kim, S. H. Hong

Dept. of Electronic Eng., Inha Univ.

Dept. of Information and Electronic Eng., Konyang Univ.

Robot Team, Korea Atomic Energy Research Institute

E-Mail : g9611110@inhavision.inha.ac.kr

Abstract

General joystick using spring only has a vibration when operator drops the joystick. If it is used as input of motorized wheelchair, its system have a serious problem which operator fall into dangerous situation.

Therefore, In this paper proposed non-vibration joystick which control a motorized wheelchair. Non-vibration joystick was designed which return to origin point when operator drops joystick by mistake. Reflected force of non-vibration joystick is defined as addition displacement and variation rate. And each parameter has elasticity of spring and viscosity of DC servo motor.

Through simulation for virtual environment, we found two coefficient to return origin point smoothly when a disabled person drops the joystick.

In case of larger elastic coefficient of spring than viscous coefficient, we confirmed the result has the equal vibration of general joystick (under-damping). In opposite case, joystick returned to origin point with excessive force.

As a application of non-vibration joystick, we experimented wall-following controlling. In this trial, we corroborated that joystick follows smoothly around the corridors.

서 론

장애인들의 이동을 위한 전동 휠체어의 직접적인 구동은 일반적으로 매뉴얼 스위치, 조이스틱, 장애자의 잔존 생체 신호 등을 이용하여 직접 제어하는 방법 등이 고려되어 왔다. 그 중 조이스틱은 이동체의 위치를 제어하기 위해 많이 사용되는 입력 장치 중 하나이다.

그런데 일반적인 조이스틱을 장애인을 위한 전동 휠체어의 입력 장치로 사용할 때에는 조작자의 안정성에 대해 위험성을 내재하게 된다. 예를 들어 조작자가 전동 휠체어를 제어하는 도중 조이스틱을 놓치는 경우, 휠체어는 조이스틱 내부에 있는 스프링의 탄성에 의해 진동을 하게 된다. 이러한 진동은 이동체인 전동 휠체어의 진동으로 이어지며, 이로 인해 조작자의 안전에 위협을 줄 수 있는 요소가 될 수 있다. 특히 전동 휠체어를 제어하는 조작자가 일반인이 아닌 장애인이라는 점을 감안한다면 미숙한 조종의 빈도는 더욱 높아질 수 있다. 따라서 조작자인 장애인은 이러한 환경적 위험 요소에 그대로 노출이 되도록 입력 장치에 대한 보완 기술이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 전동 휠체어의 조작자가 조이스틱을 놓치거나 급격한 조작 행위에 대해 진동을 막아 줄 수 있는 무진동 조이스틱을 제안하고 가상 복도 주행의 실험을 통해 이의 유용성을 확인하였다.

무진동 조이스틱 제어기의 설계

본 논문에서 제안한 무진동 조이스틱의 목표는 조작자가 실수로 조이스틱을 놓치거나 급격한 조작에 대해 조이스틱의 진동을 억제하는 것이다. 무진동 조이스틱은 내부에 스프링만으로 이루어진 일반적인 조이스틱 제어기와는 다른 제어기를 갖도록 설계해야 한다. 따라서 무진동 조이스틱 내부에는 무진동 조이스틱 제어기로 구성하였다.

무진동 조이스틱에 부착된 액츄에이터는 직류 서보 모터이므로 무진동 조이스틱 제어기의 설계는 직류 서보 모터의 토크 제어기 설계 문제로 귀착되며, 토크 제어기의 특성이 조작자가 느끼는 힘의 감도(force sensitivity)에 직접적인 영향을 끼치게 된다. <그림. 1>에서는 조이스틱 부착형 토크 제어기의 구성도를 보여주고 있다. 여기서 τ_d 는 스프링의 탄성을 방해하는 토크의 명령 값이고, τ_m 은 실제 직류 모터에 걸리는 토크 값

이다.

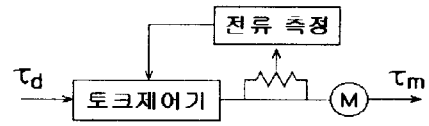


그림 1. 무진동 조이스틱 토크 제어기의 구성

모터는 PMI사의 74W급 직류 모터(6M4H)를 사용하였고, 감속기는 5:1로 하여 힘 제어의 범위가 크고 역구동성이 우수하도록 설계하였다. 또한 힘 제어를 위해 직류 모터가 1회전당 512펄스가 출력되는 광전 방식의 엔코더가 부착된 무진동 조이스틱, 토크 제어용 서보 앰프(PMI사 KXA), 서보 앰프에 구동 명령을 주기 위한 D/A 변환기 등의 모듈을 사용하여 구성하였다.

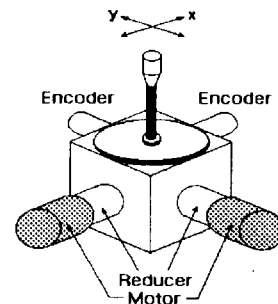


그림 2. 2-축 무진동 조이스틱의 구조

여기서 직류 모터와 서보 앰프는 토크 제어가 가능하도록 구성하였고, 전동 휠체어의 속도 명령을 주는 조이스틱의 회전 변위를 측정하기 위하여 조이스틱 축에 광전식 엔코더를 장착하여 이 값을 신호 해독기를 통해 컴퓨터로 입력하도록 하였다.

무진동 조이스틱의 제어기에서는 조작자의 조이스틱에 스프링의 탄성을 억제하는 힘을 생성해 낸다. 이때 반향되는 힘은 K_{ca} 의 탄성을 갖는 스프링과 K_b 의 점성을 갖는 댐퍼로 나타낼 수 있으며 다음과 식으로 정의하였다.

$$F_{rd} = K_{ca}\theta_j + K_b\dot{\theta}_j, \quad \theta_j \in R^n \quad (\text{식.1})$$

여기서 θ_j 는 속도 지령 값이 "0"인 조이스틱의 원점으로부터 조이스틱이 움직인 변위를 나타내고, $\hat{\theta}_j$ 는 조이스틱의 변화율을 나타낸다. 또한 K_{ca} 와 K_b 는 각각 θ_j 와 $\hat{\theta}_j$ 에 대한 계수(coefficient)들로 음의 값이다. θ_j 는 n차원 벡터로 조이스틱 기구부의 자유도(축의 수)와 같다. 일반적인 구조의 전동 휠체어는 2차원의 X-Y평면 공간에서 움직이므로 2-자유도를 갖는 조이스틱으로 충분히 제어가 가능하다. 따라서 이 경우 θ_j 및 $\hat{\theta}_j$ 는 2차원 벡터이고, F_{ra} 또한 2차원 벡터이다. 만약 θ_j 와 K_{ca} 가 크다면 F_{ra} 값이 증가하게 되어 조작자에게 큰 저항을 느끼게 해준다. θ_j 는 전동 휠체어의 속도 입력이므로 주행 속도가 클수록 이에 비례하는 큰 힘이 조작자에게 반향되는 것이다. 그리고 $\hat{\theta}_j$ 와 K_b 는 조이스틱이 서서히 가속 혹은 감속하도록 하는 역할을 하게 된다. θ_j 와 $\hat{\theta}_j$ 의 계수인 K_{ca} 와 K_b 는 프로그램으로 변경 가능하도록 하였으며, 실험을 통하여 진동 없이 조이스틱의 원점으로 서서히 복귀할 수 있도록 하였다.

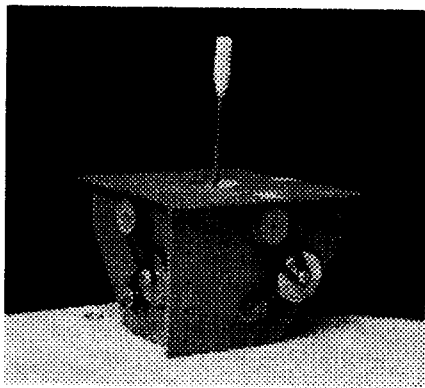


그림 3. 무진동 조이스틱의 외관

<그림. 3>에서는 제작된 무진동 조이스틱의 외관을 보여주고 있다.

실험 (1) - F_{ra} 힘 반향 실험

본 실험은 조작자의 조이스틱에 가해지는 힘을 분석하기 위한 것으로 조작자가 조이스틱을 놓칠 경우 식 (1)에서 K_{ca} 와 K_b 값의 변화에 따른 움직임을 분석하였다.

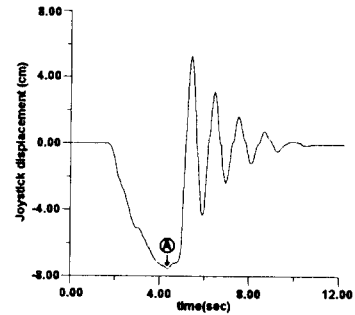


그림 4. $K_b=0$ 일 경우 K_{ca} 에 의한 조이스틱의 진동

위 그림에서는 일반적인 조이스틱, 즉 $K_b=0$ 이고 K_{ca} 값만으로 조이스틱을 제어할 때, 손에서 놓친 경우에 대한 그래프를 보이고 있다. 여기서 K_{ca} 값만을 가지고 조이스틱을 제어할 경우에는 진동이 발생한다는 사실을 확인할 수 있다. 그러므로 K_{ca} 값만을 가지고 조이스틱을 제어할 경우에는 진동이 발생하는 것을 막을 수 없고, 진동은 K_{ca} 와 K_b 의 변화에 따라 다르게 나타나므로 이 두 값들을 적절히 선정함으로써 전동 휠체어를 일정한 시간 내에 유연하게 정지시킬 수 있게 된다.

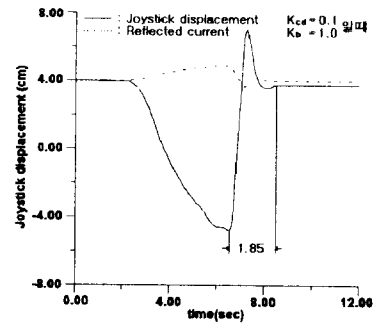


그림 5. $K_{ca}=0.1, K_b=1.0$ 일 경우

<그림. 5>에서는 $K_{cd}=0.1, K_b=1.0$ 인 경우에 대한 실험 결과를 보이고 있다. 여기서 실선은 조이스틱이 움직인 변위를, 점선은 조이스틱에 가해 주는 반향 전류를 나타낸다. 이 경우 조이스틱의 변위를 살펴보면 원점으로 복귀에 진동이 있음을 확인할 수 있다. 이 경우는 감쇠 부족 (under-damping) 현상이 일어난 예이다.

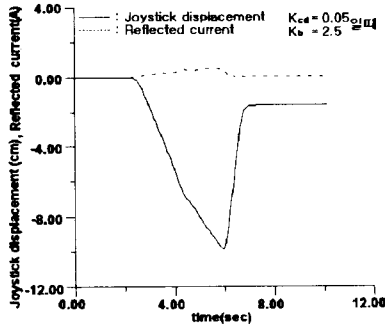


그림 6. $K_{cd}=0.05, K_b=2.5$ 일 경우

<그림. 6>에서는 $K_{cd}=0.05, K_b=2.5$ 인 경우에 대한 실험의 예를 보이고 있다. 이 경우에는 조이스틱에 가해 주는 반향 힘이 너무 커서 조작자가 느끼기에 무리한 힘으로 원점 복귀가 됨을 확인할 수 있었다.

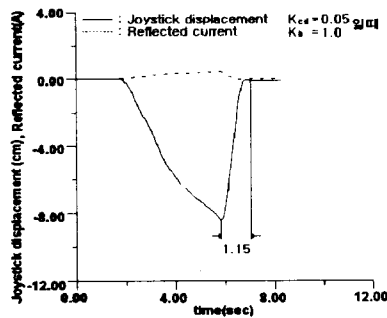


그림 7. $K_{cd}=0.05, K_b=1.0$ 일 경우

<그림. 7>에서는 $K_{cd}=0.05, K_b=1.0$ 인 경우의 예를 보이고 있다. 이 경우 조이스틱을 놓치는 경우에 대해 진동 없이 부드럽게 원점으로 복귀함을 알 수 있었다. 이 경우, 원점으로 복귀하기까지의 시간은 1.15ms가 소요되었다. 이상의 실험에서 무진동 조이스틱의 샘플링 주기는

50ms이다.

실험 (2) - 가상의 복도 주행

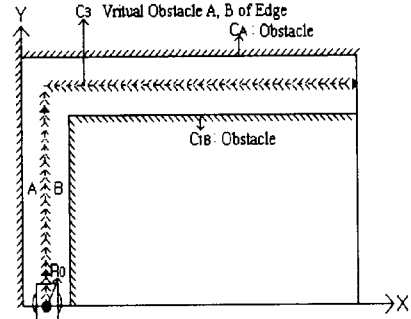


그림 8. 복도 주행 환경

<그림. 8>과 같이 전동 휠체어의 양쪽에 벽면이 있는 실내 복도의 가상 환경을 설정하여 실험을 행하였다. 그림에서 'A'와 'B'는 전동 휠체어 주위에 작용하는 가상의 장애물이고 휠체어는 하나의 점으로 나타내었다. 전동 휠체어 주위에는 초음파 센서가 부착되어 있다고 가정하였다. 이 실험에서의 주행 결과는 다음과 같다.

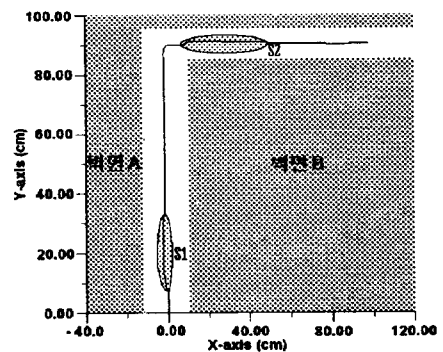


그림 9. 가상 복도에 대한 주행 결과

<그림. 9>를 보면 전동 휠체어는 가상의 복도에 대해 벽면 "A"를 원활히 추종하고 있음을 알 수 있다. 이 때 실의 조이스틱으로부터 느껴지는 감은 아주 매끈한 면을 움직이는 것과 같다.

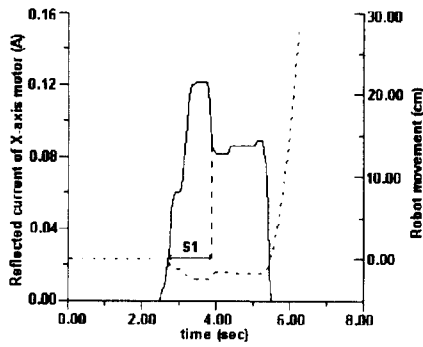


그림 10. X축으로 반향된 힘 (복도 주행)

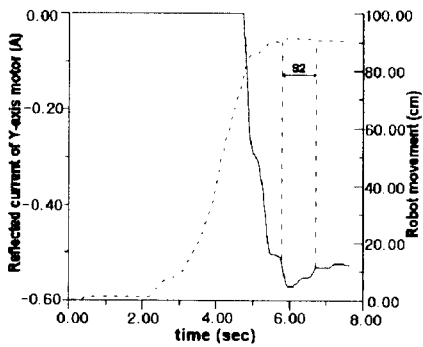


그림 11. Y축으로 반향된 힘 (복도 주행)

<그림. 10-11>은 각각 전동 휠체어를 X축과 Y축으로 움직이는 조이스틱의 축에 가해 주는 힘(실선)과 휠체어의 움직임(점선)을 나타낸 것이다. <그림. 10>의 반향 힘을 살펴보면 S1영역에서는 조작자가 벽면을 따라 추종하기 위하여 조이스틱을 벽면을 향해 조작하여 이 과정에서 반향되는 힘이 나타나 있고, X축에 대해 힘을 받지 않는 부분, 즉 S2영역 바로 직전까지만 힘을 반향하고 있음을 알 수 있다. 또한 <그림. 11>을 보면, S1 영역 직전까지는 조이스틱의 움직임이 없어 반향되는 힘은 없고, 벽면의 모서리를 만나기 직전까지 힘을 느끼지 못하다가 벽면에 대한 최대의 힘이 반향되고, 다음에 X축 방향으로 로봇이 진행하게 되고, S2영역에서는 벽면을 따라 주행하기 위하여 조이스틱을 벽면으로 조작하는 과정에서의 반향되는 힘이 실선으로 나타나 있다. 또한 <그림. 9>의 모서리에 대해서는 <그림. 10-11>에서 X, Y축 방향 모두 힘이 반향되고 있음을 알 수 있다. 이러한 힘의 변화는 조작

자에게 전달되어 경로를 재조정하여 매끈한 경로로 주행할 수 있게 하는 것이다.

결론

본 논문에서는 전동 휠체어를 원활히 주행할 수 있도록 도와주는 입력 장치로 무진동 조이스틱을 제안하였다. 설계한 조이스틱 시스템에서는 반향되는 힘을 F_{ra} 로 정의하였고, 조작자의 조이스틱에 가해 주는 힘, 즉 조이스틱을 밀고 당기는 힘의 계수들을 측정하여 보았다. 스프링의 탄성 계수 K_{ca} 와 댐퍼의 점성 계수 K_b 를 조절해 가며 실험을 행한 결과, 제작한 조이스틱에 맞는 유연한 원점 복귀 변수들의 값은 각각 $K_{cd}=0.05$, $K_b=1.0$ 이었다. 이 경우에 대한 원점 복귀 시간은 1.15ms가 소요되었다. 또한 가상 복도 환경을 구성하여 실험을 행한 결과, 무진동 조이스틱을 사용하여 복도에서의 부드러운 주행이 가능함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 홍승홍 외, "지체부자유자를 위한 다기능 전동 휠체어의 연구 개발", 과학기술처, 1차년도 보고서, 1990.
- [2] 홍승홍 외, "지체부자유자를 위한 다기능 전동 휠체어의 연구 개발", 과학기술처, 2차년도 보고서, 1992.
- [3] CPRD, "Rehabilitation Engineering, A Plan for Continued Progress", NAS, April, 1971.
- [4] Widman LM, Cooper RA, Robertson RN, Ster JF and Grey T, "Evaluation of an Isometric Joystick for Power Wheelchair Control", Proc. 16th Ann RESNA Conf., Las Vegas, NV, pp.364-366, 1993.
- [5] Bell DA, Levine SP, Koren Y and J. Borenstein J, "Shared Control of the NAVCHAIR Obstacle Avoiding Wheelchair", Proc., 16th Ann RESNA Conf., Las Vegas, NV, pp.370-372