

전동화 수동 휠체어의 실용화 모델 INMEL-VII의 개발

°김 양 영, 김 주 명, 양 경 모, 정 동 명, *홍 승 홍
원광대학교 전자공학과, *인하대학교 전자공학과

Development of Motorized Wheelchair INMEL-VII
for Model of Practical Use

°Y. Y. Kim, J. M. Kim, K. M. Yang, D. M. Jeong, *S. H. Hong

Department of Electronic Eng., WONKWANG UNIV. *Department of Electronic Eng., INHA UNIV.

Abstract

We developed electric wheelchair INMEL-VI which is motorized wheelchair for practical use. The field test results of long time show some problems to disabled in daily use. INMEL-VII is designed to solve the problems of INMEL-VI and to adjust condition by the Korean Industrial Standards about the motorized wheelchair.

Especially, it is improved to have durability, driving safety, and convenience of manipulating. In the driving field test in indoors and outdoors, it has been estimated to have a high practical use for powered walking aids to disable's daily life.

1. 서 론

전동화 수동 휠체어의 실용화를 위하여 그동안 실내용과 실외용, 차량 탑재용 등의 목적과 동력전달 방식, 구동 방식, 안전성과 제어의 편리성 등의 개선을 계속하여 INMEL-VI를 개발하였다.^[1,2,3,4,5] 그러나 보다 구체적인 장애자의 요구를 만족시키기 위하여 구동모들의 부착 방식과 동력전달 방식 및 제어보드를 재설계하여 실용화를 목표로한 INMEL-VII를 개발하였다.

체인 전동방식인 INMEL-VI를 생활환경이 다른 몇명의 장애자에게 2년간의 기간을 단독으로 사용하게하여 실용상의 문제점을 조사하고 구체적인 요구사항을 만족시킬 수 있도록 개선하였다. INMEL-VI에서는 수동 휠체어를 전동화시키는 방법으로 사용한 체인 전동(傳動)방식이 워엄감속기의 감속비를 제한하는 관계로 구동 모터의 워엄감속비가 낮아서 역회전이 되는 특성 때문에 외부에서 파부하가 모터에 부가되면 주행신호가 없어도 다소 회전하는 특성이 있었다.

이러한 원인으로 INMEL-VI에서는 평지주행에서 방향

회전과 높은 기동성을 위해서 회전시에 좌우 바퀴를 역회전시키는 원점회전모드와 회전방향측의 모터를 발전제동시키는 방법으로 방향전환시에 회전성능을 높이고 있다. 그러나 이러한 회전특성이 오르막길이나 내리막길에서는 주행하지 않는 측의 모터가 추종주행 하는 관계로 안정감있는 주행이 되지 못하였다.

이에따라 본 연구에서는 INMEL-VII의 성능을 내구성과 주행의 안전성, 조작의 편리성 그리고 한국공업규격의 표준에 맞도록 개선하여 실용화에 중점을 두었다.

2. 기계적 구성

초기 전동 휠체어에 채용한 구동방식은 수동 휠체어의 전동화라는 특수성을 고려하여 사진 1과 같이 직류모터(12V, 40W, 분리형)에 의한 체인 전동방식으로 설계되었으며 모터에서부터 바퀴까지 최종 감속비율이 75:1로써 등판능력 약 12°를 유지하는 성능이었으나 체인전동에 의한 감속비율이 3:1이므로 실제 워엄감속기의 감속비율은 25:1로써 큰 피치와 작은 마찰저항의 영향으로 등판 정지시에 바퀴에 밀림 현상이 일어나 전동차 의자에 대한 한국공업규격(KS P6114-1991)의 시험조건과 규격이 부합되지 못하였다.^[6]

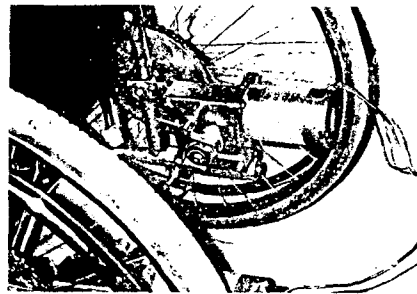


사진 1. 실용화 모델 INMEL-VI

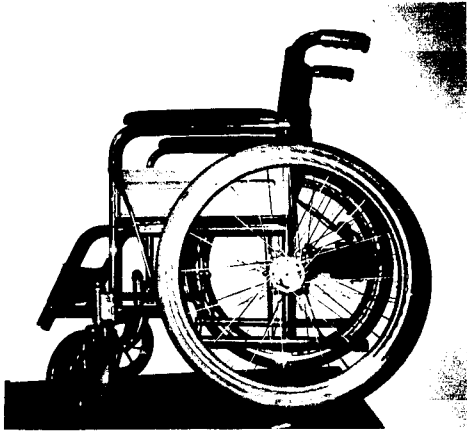


사진 2. 동축 직결 방식으로 개선된 모델

이에 따라 60W 모터에 40:1의 감속기를 모터에 일체화하여 이 감속기 출력을 체인으로 바퀴에 전동(傳動)시키지 않고 사진 2와 같이 휠체어의 바퀴에 직결함으로써 그동안 다소 문제가 되었던 요소들을 개선하였다.

이 결과 구동축인 스프라켓과 바퀴의 스프라켓이 완전한 동일 평면상에 일치하지 않았을 때 일어나는 소음과 체인의 이탈, 전동여유에 의한 추중성의 저하, 내리막길에서의 밀림현상 등의 단점이 제거되었다.^[7]

또한 클러치는 INMEL-VI에서 감속기의 출력과 체인 스프라켓 사이를 단속하는 구조로 휠체어의 제동레버와 연동시켜서 중립 및 제동위치로 하면 클러치가 연결되어 전동모드가 되고 전진위치에서는 클러치가 분리되어 수동모드가 되도록 하였으나 그 사용 빈도가 많지 않고 구조를 단순화 하는 것이 유리하다는 의견에 따라 바퀴의 구동축과 바퀴를 단속하는 커플링 방식의 구조로 사진 3과 같이 개선하였다.^[8]

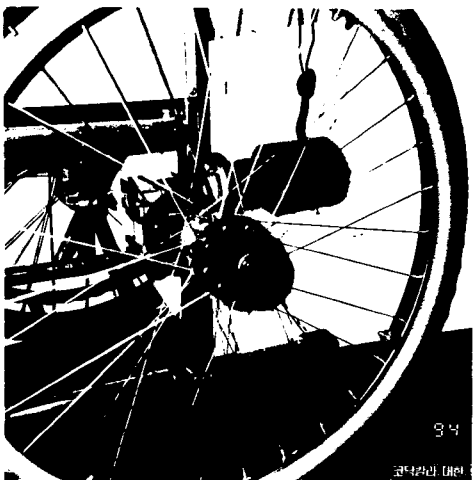


사진 3. 1차 개선된 클러치의 구조

그러나 이러한 구조도 현장실험 결과에서는 기존 프레임의 바퀴체결용 샤프트의 직경이 작은 원인으로 감속기 출력축의 크기가 제한되고 지지거리가 멀어서 동일하중에 따른 토오크가 상대적으로 증가됨으로 내구력에 한계를 나타내었다. 또한 클러치는 간단한 구조로 확실하게 동력을 차단하는 구조이나 장애자가 좌석에 앉은 자세에서의 조작이 불편하다는 문제점이 나타났으며 주행능력의 증가로 둔턱이나 오르막길에서 후면으로 전복되는 사례가 있어서 무게중심에 따른 후면 안전성의 보완이 지적되었다.

이에 따라 기계적 구성 즉 구동모듈의 부착 방식과 위치, 구동축의 크기, 클러치의 구조 등을 개선하여 2차 모델인 INMEL-VII을 설계, 제작하였다. 재설계된 모델은 사진 4에서의 같이 모터에 감속기와 바퀴축이 일체화된 모듈의 부착을 기존의 프레임 축의 위치에 설치하지 않고 후방으로 94mm를 이동시켜 부착시키는 구조로 개선하여 강도를 증가시키고 심한 오르막 경사주행과 둔턱 통과시에 무게중심이 뒤로 이동하여 후방으로 전복되는 사례에 대한 안전성을 크게 증가시켰다. 개선된 두 모델의 구성을 그림 1에 비교 도시하였다.

이와 같이 모터의 출력 증가와 모터 직결에 따른 기계적인 여유마진, 감속기의 백래쉬(backlash)제거, 그리고 PWM방식의 모터제어에 의해서 발생하는 스위칭 소음을 제거하기 위하여 제어기의 H/W와 S/W부분도 개선되었다.

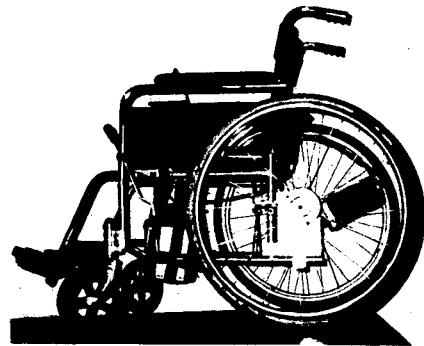


사진 4. 개선된 INMEL-VII의 구성

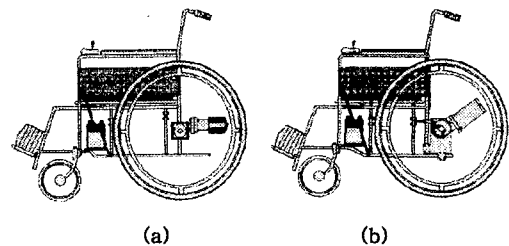


그림 1. INMEL-VII의 개선된 모델의 비교

3. INMEL-VII의 H/W 개선

2개의 60W의 모터는 주행시 4-6A가 필요하며 부하에 따라 기동전류 8-10A 이상을 요구됨으로 전력소자로서는 기 사용한 V_{DS} 250V, I_D 30A, $r_{DS(ON)}$ 0.085 Ω 인 IRF 250 전력소자가 다스의 열을 발생함으로 V_{DS} 100V, I_D 40A, $r_{DS(ON)}$ 0.055 Ω 인 IRF 150으로 대치하여 이를 병렬로 구성한 현재의 회로는 1.5배 정도의 전류 능력으로 향상되었으며 과도전류와 열발생으로 인한 온도상승 문제등을 해소하였다. 완성된 INMEL-VII의 제어보드를 INMEL-VI의 제어에 사용된 보드와 비교하여 사진 5에 나타내고 있다.

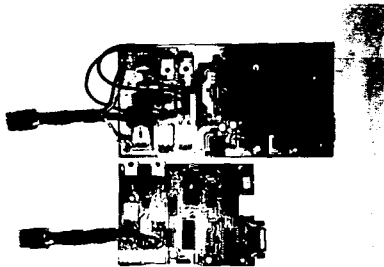


사진 5. 시스템 제어보드

(위: INMEL-VII, 아래: INMEL-VI)

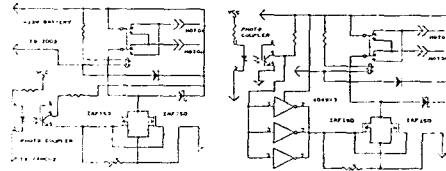
기존의 제어기로 개선된 모터를 제어 할 경우 20A 퓨즈가 용융된 것은 전류가 증가한 관계도 있지만 전력 소자의 스위칭 소음을 줄이기 위해 모터 양단에 연결한 TRN이 2kHz의 CR정수로 매칭된 용량을 교체하지 않고 사용함으로써 스위칭 주파수를 5kHz이상으로 높히는 경우 오히려 써지 전류를 흡수하는 현상을 나타냄으로 이를 제거하였다.

스위칭 소음은 PWM 방식을 사용하는한 불가피한 것이므로 효율이 낮은 직류 전압, 전류의 연속제어를 사용하지 않고 오히려 스위칭 주파수를 가청 주파수 이상으로 높여서 사용자로부터 소음을 감지하지 못하도록하는 방법을 사용하였다. 그러나 소자의 주파수 특성상 이론상의 가청주파수를 상회하기는 어려웠으며 실제로는 4kHz 이상에서는 약하게 감지되므로 스위칭 주파수는 5-6kHz로 설정하였다.

주파수 상승에 따른 문제는 전력 MOSFET 게이트의 용량성으로 인하여 소자 자체보다는 신호와 전력전원을 절연시키기 위한 포토커플러와 전류증폭 소자로 구성되는 드라이브 회로의 개선이 요구되었다. 소자의 주파수 추종성을 향상시키기 위한 방법은 그림 2에 도시한 회로에서와 같이 MOSFET 게이트를 빠르게 충전전하를 공급하기 위해서는 ON 상태에서 큰 전류로 스위칭하고 OFF 상태에서 빠르게 방전을 시켜야 하므로 1차 설계 (a)의

2.7 k Ω 게이트 저항만으로는 방전시간이 부족하므로 이를 단속시키기 위하여 저항치를 낮추면 되나 이는 On 상태의 게이트 전류를 바이패스 시켜서 전압감소를 초래한다. 따라서 드라이브 소자 자체에서 OFF 상태에서 고속으로 방전이 가능한 상보형 NOT 게이트 4049 3개를 병렬(b)로 구성하여 스위칭에 의한 소음 문제를 해결하였다.

또한 메인 스위치를 사용자의 편리와 누설전류의 절감을 위하여 조이스틱에 설치하였으나 사용전선의 용량이 구조상 제한을 받아 개선된 모델의 전류상승분을 담당할 수가 없어 주전원 스위치는 제어기에 설치하고 바이어스와 신호전원만 조이스틱에서 절환하도록 일부 변경하였다.



(a) (b)

그림 2. 개선된 드라이브 회로의 비교

4. INMEL-VII의 S/W 개선

INMEL-VI의 40W 모터는 낮은 구동 출력으로 인하여 낮은 듀티비의 저속모드에서 PWM 제어방식의 충분한 장점을 살릴 수 없는 관계로 조이스틱의 변위와는 별개의 비선형 제어동작으로 가속루틴을 설치하였으나 60W 고회력 모터는 고속 스위칭의 짧은 신호에도 구동력을 발생함으로 프로그램의 내용을 수정하여 가속도를 낮게 유지시키고 있다.

배터리 전압 9 Volt 이하 방지를 위한 정지과 표시부분은 전원전압을 두개의 저항으로 4.5 Volt 전압분배하여 A/D IN7으로 읽은 후 3.3 Volt에서 정지하여 대기하게 하였으나 현장실험에서는 제어상태가 S/W에 의해서만 동작하지 않고 제어기 전체적인 전압강하와 바이어스 포인트, 게이트 전류, 포토 커플러의 캐소드 전류, A/D 컨버터의 기준전압 등이 복합적으로 작용하여 언산치와 일치하지 않으므로 실험치에 의해서 설정하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

실용화를 위하여 개발된 전동화 휠체어 INMEL-VII의 성능을 평가하기 위하여 실내주행과 실외주행, 경사로주행을 각각 실시하였다.

실내주행 실험은 연구실과 복도에서 실시하였으며 제어 추종성이 우수하고 소프트 스타트와 소프트 스톱이 원활하며 체인에 의한 기계적 마진 등이 제거되어 출발시에 나타나는 충격현상이 발생하지 않았다. 문제가 되었

전동화 수동 휠체어의 실용화 모델 INMEL-VII의 개발



사진 6. INMEL-VII의 실외 주행실험

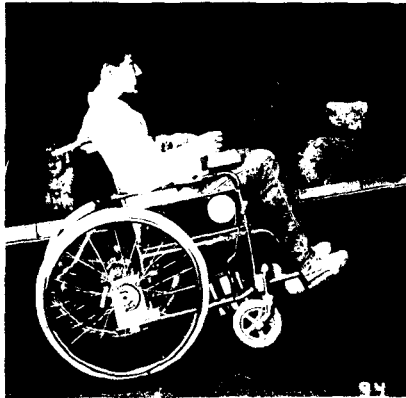


사진 7. INMEL-VII의 경사로 주행실험

던 스위칭 소음은 거의 억제되어 실내공간에서도 아무런 장애원인이 없음을 확인 하였다. 실외주행 실험은 사진 6과 같이 아스팔트길에서 실시하였으며 최고속도 4.5km/h, 연속 주행거리 18-20km, 1회 충전으로 평균 3.5시간 주행이 가능하였다. 등판 능력을 실험하기 위하여 실시한 경사로주행실험은 문제가 되었던 등판 정지시에 바퀴의 역회전 현상이 제거되어서 한국 공업 표준에 부합되었음을 알 수 있었다. 또 오르막길 경사주행과 둔턱 통과시에 무게 중심이 뒤로 이동하여 후방으로 전복되는 문제가 개선되었음을 알 수 있었다. 사진 7과 사진 8은 등판능력 약 15° 성능과 향상된 후방 안전성을 나타내고 있다.

6. 결 론

전동화 수동 휠체어의 실용화 모델을 목적으로 한 INMEL-VII은 내구성과 운전의 편리성, 주행의 안전성을 확보함은 물론이고 문제가 되어왔던 점들을 개선하여 한국 공업 규격의 표준에 부합하도록 개발되었다.

실험결과에서 고찰한 INMEL-VII의 성능은 전용의 전동 휠체어와 비교할 때 거의 유사한 성능이며 오히려 분해

와 접힘기능, 중량, 가격, 주행 편리성 등에서 유리한 조건을 가지고 있으므로 실용화를 통하여 보행장애자가 실내 및 실외에서 보행보조기구로써 사용이 가능한 것으로 평가되고 있다.

이와 같은 INMEL-VII의 실용화 모델 개발은 현실적으로 보행 부자유자에게 사회활동 참여의 기회를 증가시키고 일상 생활의 질을 향상시킬 것으로 기대한다.

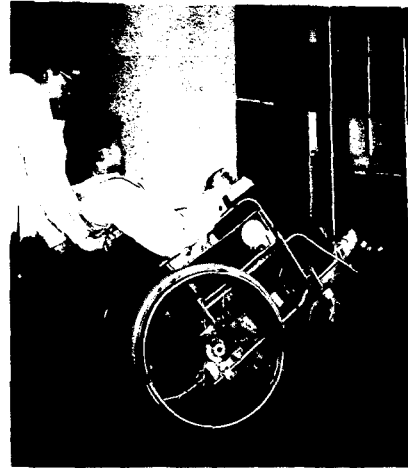


사진 8. INMEL-VII의 후방 안전성 실험

참 고 문 헌

1. 정 동명 "身體 障礙者用 電動 휠체어에 관한 연구" 대한전자 공학회 학술대회 논문집, Vol.9, pp.43, 1986
2. 정 동명, 홍 승홍, "응답형 音聲制御 전동 휠체어 (INMEL-1)의 設計", 대한 의용생체공학회지, Vol.8, No.2, pp.231-239, 1987
3. 권 장우, 김 지순, 정 동명, 홍 승홍, "차량 탑재용 전동휠체어 (INMEL-V)의 設計", 대한의용생체공학회 춘계 학술대회 논문집, 1990, pp.63-65
4. 이규성, "특수 휠체어", 季刊再活, 한국장애인재활협회, Vol.28, 秋季 pp.31-55, 1988
5. 정 동명, 홍 승홍, "車輛 搭載用 電動 휠체어 (INMEL-V)의 設計", 대한 의용생체공학회지, Vol.11, No.1, pp.105-111, 1990
6. 한국 공업 규격, 전동 의자차, KS P6144-1991
7. 인하대학교, "간이형 전동 휠체어의 국산화 연구개발(중간 보고서), pp.41-61, 만도기계(주), 1993
8. 인하대학교, "간이형 전동 휠체어의 국산화 연구개발(최종 보고서), pp.44-55, 만도기계(주), 1993