

휠체어 전동주행 보조기기용 커넥터의 구조안정성 해석

Structural Stability Analysis of Connectors for an Electric Handbike

서한울¹, 김대동¹, 고철웅², 이준흠³, 배태수^{1,✉}
Han Wool Seo¹, Dae Dong Kim¹, Cheol Woong Ko², Joon Hmm Lee³, and Tae Soo Bae^{1,✉}

¹ 중원대학교 의료공학과 (Department of Biomedical Engineering, Jung Won University)

² 한국생산기술연구원 의료복지그룹 (Biomedical and Welfare Technology R&BD Group, Korea Institute of Industrial Technology)

³ 오엑스코리아 (OX Korea Inc.)

✉ Corresponding author: bmebae@gmail.com, Tel: +82-43-830-8610

Manuscript received: 2015.1.24. / Revised: 2015.4.15. / Accepted: 2015.4.21.

Electric handbike can be easily detachable to various sizes of manual wheelchair and the elderly and people with disabilities can use them easily. Therefore, connectors used for coupling between the handbike and manual wheelchair must secure structural stability for occupant safety. However, related research is rare. The aim of this study is to find the connector with highly structural stability by comparing static and dynamic mechanical characteristics among three typical connectors(a snatch lock, a slide latch, and a fastener) by computational simulations. To perform static and dynamic simulation, we referred to durability test based on Korean Standards and then calculated mechanical stresses in connectors. The results showed that the snatch lock addressed the lowest von-mises stress under the same mechanical condition. Therefore when using the combination of a handbike and a wheelchair, we concluded that the snatch lock is considered as the structurally stable connector to structural stability and usability.

KEYWORDS: Multibody flexible body dynamics (유연 다물체 동역학), Electric handbike (전동주행 보조기기), Durability testing (내구시험), Connector (커넥터), Finite element analysis (유한 요소 해석)

1. 서론

평균 수명 연장에 기인한 인구구조의 고령화 현상이 빠르게 진행됨에 따라 근골격계가 약화된 고령자 인구가 증가하고 있으며 더불어 교통사고, 산업재해 등으로 인한 장애인 인구도 많아져 휠체어 사용자도 점차 증가하고 있다. 또한 급격한 고령화로 인한 사회적 변화에 대응하기 위해 고령자들의 삶의 질 향상을 위한 다양한 재활복지정책에

대한 관심 역시 높아지고 있다. 무엇보다 휠체어 사용자의 외부활동이 빈번해 지고, 일상생활 활동 보조나 자립생활 등 장애인과 고령자의 사회적 참여를 적극적으로 유도하기 위한 정책시행에 보조를 맞춰 이동권과 접근권에 대한 니즈(Needs)가 사회적으로 크게 대두되고 있는 실정이다.¹

고령자나 장애인의 사회적 참여를 적극적으로 유도하기 위해서는 가장 중요한 것이 일상이 편안하고, 이동에 제약을 받지 않고 자유로울 수 있어

야 한다. 이에 사회 활동에 기본이 되는 보행 능력을 보조하는 휠체어의 개발은 고령자와 장애인에게 가장 필요한 기술이라고 할 수 있다. 현재 대부분 고령자와 장애인들은 동력이 없는 수동휠체어를 주로 사용하고 있으며 이러한 보조기는 많은 거리를 이동하는 데에 제약이 있고, 경사로 같은 공간에서는 근력이 약한 고령자나 장애인들에게 충분한 편의성을 제공하지 못하고 있으며 기능적으로도 고령자의 욕구 사항을 충분히 만족시키지 못하고 있다.²

또한 오랜 기간 동안 상지(upper extremity)를 이용하여 수동휠체어를 추진할 경우 통증을 유발하고 근골격계 질환을 초래할 수 있다.³ 하지만 수동휠체어 사용자의 근력부담을 줄여줄 수 있는 전동휠체어의 경우 부피가 크고 중량이 무거워 휴대성이 떨어지고, 비용 또한 상당하다는 문제점이 있다. 비용적 부담을 덜고자 정부에서 혜택을 받으려 하지만 그 기준이 엄격해 상반신 근력조건이 양호한 장애인의 경우 혜택 받기가 쉽지 않아 다수의 수동휠체어 사용자가 전동 휠체어로의 사용 전환에 어려움을 겪고있다.⁴

휠체어를 타는 고령자 및 장애인들의 보다 자유롭고 능동적인 이동성 확보를 위해 기존의 수동휠체어에 탈부착 형식으로 결합 가능한 휴대용 전동주행 보조기기의 개발이 검토되고 있으며, 유사한 기능의 전동주행 보조기기 제품에 대한 연구는 진행되었으나 아직 상용화로 이루어지지 않은 상태이다.⁵ 전동주행 보조기기는 수동과 전동 휠체어의 장점은 살리고 단점은 보완한 것으로, 가볍고 휴대성이 뛰어난 수동 휠체어에 탈부착이 간편한 전동주행 보조기기를 결합함으로써 한층 자유로워진 이동성과 사용 편의성을 부여하는 것을 목적으로 하였다. 전동주행 보조기기는 다양한 크기의 수동 휠체어에 탈부착이 가능하면서, 고령자와 장애인이 이용하기에도 무리가 없도록 간단한 상지 조작만으로도 쉽게 탈부착이 가능해야 한다. 이때, 전동주행 보조기기와 수동 휠체어 간의 결합에 사용되는 커넥터는 휠체어 자체의 자중 및 탑승자의 하중에 따른 구조적 안전성이 확보되어야 하지만, 현재 이에 대한 구조적 안전성에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 유한요소해석과 동역학 기반의 전산해석을 통하여 휠체어와 전동주행 보조기기 결합 부분의 커넥터 종류에 따른 구조적 안전성을 비교하고자 하였다.

2. 커넥터의 개요

2.1 커넥터의 구조 및 모델링

휠체어와 전동주행 보조기기를 결합하는데 있어 가장 중요한 요소 중에 하나가 연결 부위인 커넥터 부분이다. 커넥터 선정 시 가장 중요하게 생각되는 요소는 쉽고 간단한 탈부착이 가능한 형태를 기본으로 두 개의 파트가 쌍으로 결합하는 형태이며, 쉽게 풀리지 않으며 결합 방식이 단순하고 고정력이 강해야 한다. 기본적으로 이 세가지 조건을 만족하는 커넥터인 스내치락(Snatch Lock), 슬라이드 래치(Slide Latch), 화스너(Fastener)를 선정하였다. 세 커넥터는 모두 스테인레스 재질로 내식성이 뛰어나고 소형이면서도 강력하게 고정하며 조작성이 간단하여 탈착이 쉬운 장점들이 있다.

전체 모델은 구조설계 프로그램(Solidworks 2011, Dassault Systems, USA)을 이용하여 3차원으로 모델링 하였으며, 커넥터는 상용모델 Takigen(Japan)을 사용하여 실제와 똑같이 모델링을 구현하도록 하였다. Fig. 1은 상용모델 Takigen 제품의 커넥터를 휠체어와 전동주행 보조기기에 장착한 모습이다.

구조 안정성 해석을 위해 휠체어와 전동주행 보조기기 결합 모델을 유한요소 모델로 구성하였으며, 기본 모델의 elements 수는 161,672개로 구성되었다. 동적 해석에 사용되는 모델의 경우 기존의 KS 규격에서 제시한 내구성 시험 기기인 Drum test와 동일한 조건으로 구현하도록 하였다.⁶

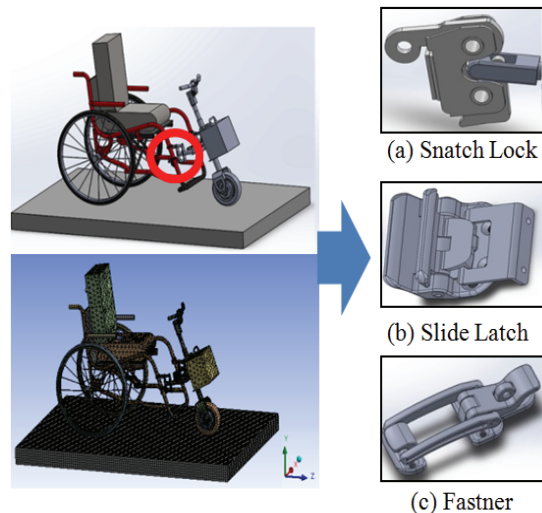


Fig. 1 Modeling of Handbike (left) and structure of the connectors (right)

내구성 시험을 위해 기계적으로 문제 발생 가능성이 높은 부위인 커넥터와 휠체어 프레임에 유한요소모델(finite element model)로 구현하였으며, Snatch lock 모델은 총 Node 12544 개, elements 25877개로 이루어져 있고, Slide latch 46607개, Fastener는 23677개로 구성되어있다. 또한 수동 휠체어 프레임은 총 Node 629 개, elements 385 개로 이루어져 있으며, 다른 구조물들은 강체(rigid body)로 가정하여 모델링 하였다 (Fig. 1).

전동주행 보조기기에는 Carbon steels의 물성 값을 사용하였고, 휠체어와의 결합부의 사용되는 커넥터의 경우 Stainless steels 재질의 물성 값을 설정하였으며, 휠체어의 프레임은 Aluminum의 물성 값을 사용하였다.

3. 구조 안정성 해석조건

3.1 정적 해석조건

해석적 평가를 위한 구속조건은 실제와 동일한 조건을 모사하기 위하여 바닥 위에 전동주행 보조기기와 결합된 휠체어를 올리고 그 위에 인체 모형을 올린 형태로 하였다. Fixed Support를 바닥면에 적용하여 구속시켜 주었으며, 부품 간에 연결상태

Table 1 Load conditions of Dummy model⁷

Composition	Load conditions of dummy model			
	100 Kg	75 Kg	50 Kg	25 Kg
Body (waist)	61	46	28	13.5
Upper extremity	31	22	16	10.5
Lower extremity	7	7	7	
Total, Kg	100	75	50	25

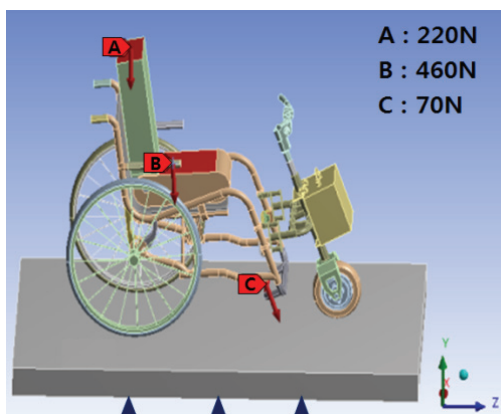


Fig. 2 Load and boundary conditions of Handbike

또는 접촉 상체에 따라 각각의 고정된 부품들은 Contact 조건을 Bonded로 하여 접촉면과 미끄러짐 또한 제한해 주었다. 두 파트가 결합하는 커넥터의 경우에는 약간의 움직임이 있기 때문에 No Separation으로 적용하여 접촉면이 떨어지지 않고 미끄러짐은 가능하도록 설정해 주었다. 하중 조건은 KS P ISO 7176-11 휠체어 드럼 test 시험용 인체 모형에 제시되어 있는 조건으로 아래 Table 1에 나와있는 75kg의 사람을 기준으로 상체에 220N, 동체에 460N, 하체에 70N의 하중을 가해주었다.⁷

Fig. 2는 휠체어와 전동주행 보조기기를 결합한 모델에 구속조건과 하중조건을 나타낸 그림이다.

정적 해석 수행에는 유한요소해석 프로그램 (ANSYS 12.0, Ansys Inc., USA)을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

3.2 동적 해석조건

동적 해석을 위해 기존의 전동휠체어 관련 KS 규격내 내구 시험 법을 토대로 Drum의 회전속도를 1m/s조건으로 설정하였고, 인체 더미 모형을 사용하여 휠체어 좌석 상단부에 고정하였다. 인체 모형의 경우 가능한 좌석의 뒤쪽에 두고 양 측면에서 같은 거리에 위치해야 하며, 휠체어에 확실하게 고정되어야 한다. 실제 75kg의 사람을 기준으로 시험 할 휠체어에 앉아 있을 때와 인체모형의 무게 중심이 같은 곳에 오도록 되어야 한다.^{5,6} 하중 조건은 정적 해석 조건에서와 마찬가지로

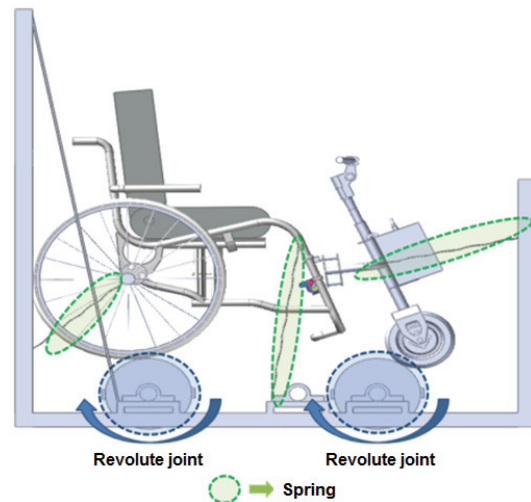


Fig. 3 Boundary conditions of dynamic analysis of Handbike

KS규격에 따라 Table 1과 같이 설정해주었다.

또한 휠체어 바퀴의 Rubber 부분과 드럼 면 사이의 마찰계수는 Rubber와 Concrete(Dry)의 마찰계수인 0.5를 설정하여contact조건을 설정 하였으며, 전동주행 보조기기를 결합한 휠체어가 전복이 되지 않도록 Spring Force를 사용하였으며, Spring Coefficient와 Damping Coefficient는 각각 100, 1로 설정을 하여 휠체어와 프레임 부분을 고정해 주었다. 휠체어는 위아래 방향으로 자유롭게 움직일 수 있도록 설정하였으나, 앞뒤 방향으로 움직임을 제한하였다.

Fig. 3 동적 해석을 하기 위한 전동 주행 휠체어의 구속조건을 나타낸 것이다. 전동주행 보조기기의 구동 바퀴를 전방 드럼에 휠체어의 뒷바퀴는 후방 드럼 위에 올라가도록 하였다.

동적 해석에는 유연다물체 동역학(Multi Flexible Body Dynamics) 해석이 가능한 동역학 해석 프로그램인(Recurdyn V8R2, Functionbay, Korea)을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

4. 구조 안정성 해석 결과

4.1 정적 안정성 해석결과

해석을 통해 최대 등가응력(Von-Mises stress)을 확인한 결과 휠체어와 전동주행 보조기기의 결합

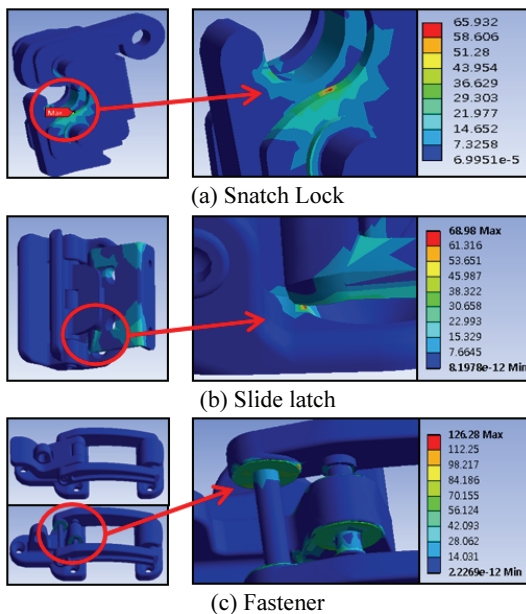


Fig. 4 Von-Mises stresses at each connector

부인 커넥터가 쌍으로 연결되는 부분에서 최대 응력이 발생하는 것을 볼 수 있었다 (Fig. 4).

각각 세가지 커넥터의 응력 값을 살펴보면 화스너(fastener) 126.3MPa, 슬라이드 래치(slide latch) 68.9MPa, 스내치락(snatch lock) 65.9Mpa의 최대응력을 보이는 것으로 나타났다. Fig. 5을 보면 슬라이드 래치(slide latch)와 스내치락(snatch lock)은 비슷한 값을 보이지만, 화스너(fastener)에서는 비교적 높은 응력 값을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 세가지 형태의 커넥터들에 대한 최대 등가응력 모

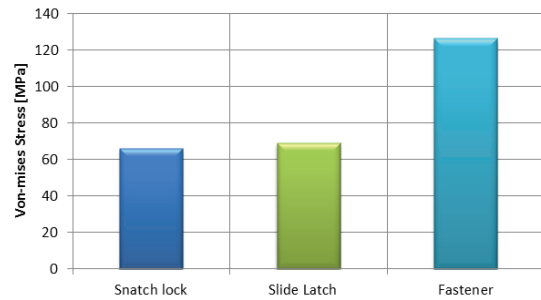


Fig. 5 Maximal von-mises stress around connectors

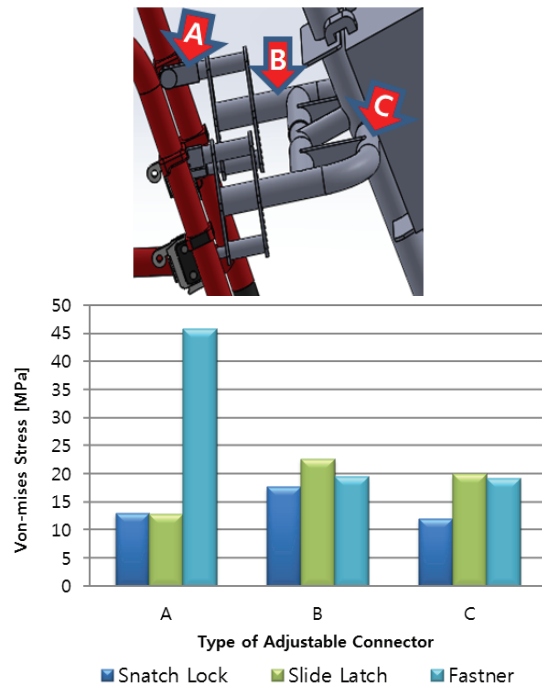


Fig. 6 Maximal von-mises stress around wheelchair and handbike frame attaching snatch lock, slide latch and fastener

두 커넥터 재료인 Stainless steels 재료의 항복강도인 552MPa 보다 낮은 응력이 발생하여 정적 해석에서 구조적으로 안정함을 확인하였다.

최대 응력은 휠체어와 전동주행 보조기기를 결합하는 커넥터 부분에서 발생하였지만, 연결하는 커넥터 타입에 따라 각각의 프레임에 발생하는 응력과 위쪽 걸쇠에 발생하는 응력에도 차이를 보였다.

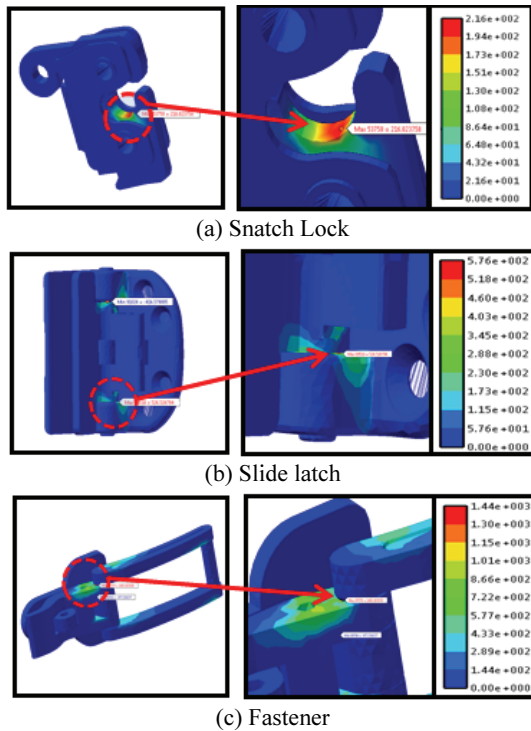


Fig. 7 Distributions of von-mises stress in attaching snatch lock, slide latch and fastener

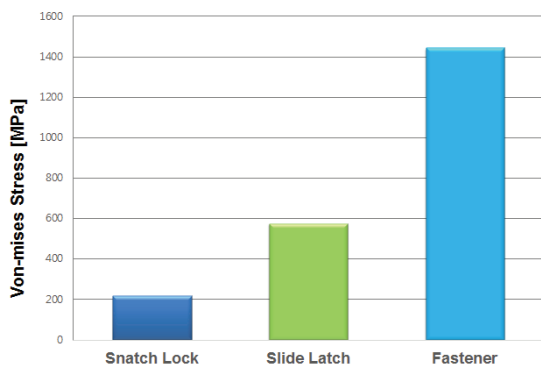


Fig. 8 Distributions of von-mises stress in attaching snatch lock, slide latch and fastener

응력해석결과를 보면 B, C부분에 해당하는 프레임 부분의 응력의 경우 세가지 커넥터 모두 Carbon steels 재료의 항복 강도인 240MPa보다 낮은 값을 보이는 것을 확인할 수 있다. (Fig. 6) A부분인 결합 부 윗쪽 걸쇠 부분의 경우 스내치락(snatch lock)과 슬라이드 래치(slide latch)에서 각각 13.07MPa, 12.8MPa의 최대 응력 값을 보였고, 화스너(fastener)에서는 45.58MPa로 다른 커넥터 들에 비해 다소 높은 응력 값을 보였지만, 재료의 항복 강도보다는 낮은 값을 보여 구조적 안정함을 확인하였다. 항복강도인 240MPa의 40%에 해당하는 피로강도를 고려하여도 세 커넥터 모두 정적 구조 안정성을 확인할 수 있다.

4.2 동적 안정성 해석결과

동역학 해석을 통해 각각의 커넥터에 걸리는 등가응력(Von-Mises stress)을 확인한 결과 마찬가지로 휠체어와 전동주행 보조기기의 결합부인 커넥터가 쌍으로 연결되는 부분에서 최대 응력이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 스내치락(snatch lock)에서는 최대 von-mises stress 가 216 MPa 로 이는 재료의 항복강도인 552MPa 보다 낮은 수치이나, 화스너(fastener)와 슬라이드 래치(slide latch)의 경우 각각 1443Mpa, 575Mpa 의 값으로 커넥터 재료의 항복강도 (552MPa)보다 다소 높은 응력이 발생하였다.

스내치락(snatch lock)의 경우에는 구간 결과 값에서 항복강도 대비 2 배 낮은 응력을 보이기 때문에 동적 구조 안정성을 확인할 수 있다.

Fig. 7 은 각각의 커넥터에 발생하는 최대 응력을 나타낸다.

5. 결론

본 연구에서는 기본 수동 휠체어에 전동 보행 보조기를 결합 시 커넥터에 따른 구조 안정성에 대하여 평가하였다. 커넥터의 종류는 스내치락(snatch lock)과 슬라이드 래치(slide latch), 화스너(fastener) 세가지를 선정하여 비교하였다. 평가 방법으로는 휠체어 자체의 자중 및 탑승자의 하중에 대한 안정성을 검토하였고, 국가기술 표준원 KS 규격에 따라 내구시험 및 동적 안정성을 확인 후 세 커넥터에 따른 응력 값의 비교를 통해서 얻었다.

정적 해석 시 휠체어 전동주행 보조기기를 커넥터에 발생하는 응력은 재료의 항복 강도에 비해

낮은 값을 보이므로 구조적으로 안전함을 확인 할 수 있었다. 하지만 동적 해석 시 스내치락의 경우 재료의 항복강도 대비 2배 낮은 응력 값을 보여 안정성을 확인할 수 있었지만, 슬라이드 래치와 화스너의 경우 재료의 항복 강도를 초과하는 값을 나타내어 장시간 사용에 따른 기계적 피로도 축적 시 파손의 위험이 있음을 확인 할 수 있었다.

위의 결과를 고려해보면 휠체어와 전동기의 결합 부에 스내치락을 사용할 경우 결합 부와 프레임 모두 최소한의 응력을 보이므로 구조적인 측면에서 가장 효과적인 모델이라고 판단된다.

현재 전동주행 보조기기와 결합한 형태의 휠체어를 대상으로 KS 규격대로 제작된 내구성 시험기 상에서 실제 실험을 통하여 동작분석을 실시하였으며, 각 부위에 부착된 marker들의 공간좌표의 궤적 등을 이용하여 전산해석 결과와 비교를 통해 신뢰성을 입증하는 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 2014년도 중소기업 창업성장 기술개발사업의 재원으로 중소기업청의 지원을 받아 수행된 연구사업임 (과제번호: S2145061).

REFERENCES

1. Kim, K. M., "A Study on the Kinematic and Dynamic Analysis of a Self-Driving Automobile's the Welfare Vehicle for the Handicapped," M.Sc. Thesis, School of Mechanical Engineering, Daegu University, 2004.
2. Lee, M. H., "A Study on the Electricity Walking Assistance Worker Development for the Aged Improvement of the Operational Safety," M.Sc. Thesis, School of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University, 2013.
3. Kong, J. Y. and Son, B. C., "A Study on the Influence of Wheelchair Propulsion on the Wrist Joint Musculoskeletal Injuries," Proc. of Ergonomics Society of Korea Autumn Conference, pp. 192-198, 2006.
4. Byun, Y.-C., "Measures for the Improvements of Benefits for Assistive Devices," Korea Health and Welfare Forum, Vol. 84, pp. 102-109, 2003.
5. Park, S. H., Kim, K. S., Cho, H. S., Kim, Y. C., Heo, Y., et al., "Development of the Power-Assistive

Device to Improve the Movability of the Manual Wheelchair," Proc. of KSPE Spring Conference 2010.

6. KS P ISO 7176-8, "Wheelchairs - Part 8: Requirements and Test Methods for Static, Impact and Fatigue Strengths," 2007.
7. KS P ISO 7176-11, "Wheelchairs - Part 11: Test Dummies," 2008.