

취약계층을 위한 개인 이동체 개발 연구

A Study on the Development of Personal Mobility for the Vulnerable Group

한광호¹ · 이철희^{1,2*}

Kwang Ho Han and Chul-Hee Lee

Received: 23 Aug. 2021, Revised: 03 Sep. 2021, Accepted: 16 Oct. 2021

Key Words : Vulnerable Group(취약계층), Personal Mobility(개인 이동체), Structural Stability(구조 안정성), Dynamic Stability(동적 안정성)

Abstract: A personal mobility withstanding function for the disabled and vulnerable groups with difficulties in mobility was developed and structural and dynamics analysis was conducted. Personal mobility devices are a very helpful means of transportation for the disabled and vulnerable groups. In addition, the standing function allows individuals to perform a difficult task in while seated and offers a medical advantage to the user. In this study, a personal mobility device was designed and developed to help vulnerable groups and disabled people overcome limited mobility, and communicate with the general people at eye level through standing functions. Through structural and dynamic analysis, the structural safety, optimal speed during rotation, and lateral acceleration of the personal mobility device was analyzed. The analysis results are expected to contribute to the improvement of the users' convenience and stability of personal mobility.

기호 설명

a : acceleration

a_n : lateral acceleration

F : friction force

f_s : maximum static friction force

I_G : mass moment of inertia

N : normal force

P : motor power

r : radius of the wheel

r_r : radius of rotation

T : motor torque

w : number of revolution

w_r : angular velocity

α : angular acceleration

μ_s : coefficient of static friction

1. 서론

고령화가 계속해서 진행됨에 따라 전체 인구 중 노인의 비중과 장애에 취약한 초고령자의 수가 증가하고 있다. 현재 전 세계적으로 60세 이상인 인구가 약 9억 1천만 명이 있고 이는 세계 인구의 12.3%를 차지한다. 2030년에는 14억명 또는 세계 인구의 16.5%로 증가할 것이며, 2050년에는 21억명 또는 21.5%로 증가할 것이다.¹⁾ 노인이나 장애인과 같은 취약계층은 일반 사람들에 비해서 스스로 움직이거나 작업을 하기에는 불편하기 때문에 실내 및 실외 활동에 어려움이 많고 크고 작은 사고의 위험에 노출되어 있다. 그렇기 때문에 선진국에서는 다양한 분

* Corresponding author: chulhee@inha.ac.kr

1 Department of Construction Machinery Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

2 Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

Copyright © 2021, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

야에서 취약계층을 위하여 보조공학 기술을 적용한 프로젝트를 진행해오고 있으며, 특히 Personal Mobility에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이러한 Personal Mobility는 일반 사용자가 이용하기도 하지만, 취약계층인 거동이 불편한 노인이나 장애인들이 제한된 이동성을 극복할 수 있는 매우 적합한 이동 수단이다. 증가된 이동성 기능은 취약계층의 전반적인 삶의 질 향상과 밀접하며, 단순한 이동 수단 뿐만 아니라 작업활동이나 사용자의 건강에도 영향을 미친다.²⁾ 다양한 Personal Mobility 중에서 기립형 휠체어는 항상 앉아 있는 환자를 기립시킴으로써, 혈액순환을 돕고 소화기능 활성화 등의 의학적 장점과 기립된 상태에서 정상인과 눈높이를 맞춰 의사소통을 할 수 있는 효과를 가진다.³⁾ 또한, 스탠딩 기능을 통해 앉은 상태에서 하기 힘든 작업을 수행할 수 있는 장점이 있다. 스탠딩 휠체어는 취약계층이 수동으로 조작하기엔 적합하지 않아 액추에이터를 사용한 파워 스탠딩 휠체어를 중점으로 연구를 하고자 한다. 이와 관련된 선행 연구로는 운동학 및 운동역학을 바탕으로 휠체어의 구동과 스탠딩 기능을 설계하고 제작한 연구가 있으며, 다양한 자세가 가능한 휠체어용 의자기구를 설계하고 기구학적 해석을 수행한 연구가 있다.⁴⁻⁵⁾

본 연구에서는 전동휠체어에 스탠딩 기능을 추가하여 거동이 불편한 취약계층을 위한 Personal Mobility를 개발하고 해석적 연구를 수행하였다. 기존의 수동 및 전동휠체어를 바탕으로 Personal Mobility를 설계하였고, 기구학적 구조 설계를 통해 스탠딩 기능을 구현하여 기존의 앉아있는 상태에서 불가능한 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 또한, 구동부는 후륜구동으로 좌, 우에 각각 모터를 장착하였으며, 기본적인 주행뿐만 아니라 제자리 회전까지 가능하게 하였다. 구조해석과 동역학 해석을 통해 Personal Mobility의 구조적 안전성과 회전 시 최적의 속도를 분석하였다.

2. 모델링

2.1 Personal mobility 설계

Personal mobility는 기존 수동 및 전동 휠체어와 전동식휠체어 및 의료용 스쿠터의 국제규격인 EN-12184에 근거한 국내 기준규격⁶⁾을 참고하였고, 수동 휠체어(미키코리아메디칼社 SMARTwin) 프레임의 높이, 폭, 길이를 실측하여 사용하였다. 앞바퀴

는 캐스터 방식을 사용하고, 뒷바퀴는 좌, 우 각각 모터를 장착하여 구동하여 직진, 회전, 제자리 회전을 가능하게 하였다. 또한, 액추에이터를 사용하여 시트의 높이를 상, 하로 조절하여 손이 닿지 않는 위치에 있는 작업물에 도달할 수 있도록 도움을 줄 수 있다. 시트의 높이가 변화함에 따라 기구학적 구조 설계로 등받이 및 발판의 각도가 조절되어 사용자의 편의성을 높였다. Personal mobility의 CAD 모델링을 Fig. 1에, 시제품을 Fig. 2에, 제품 치수는 Table. 1에 나타내었다.

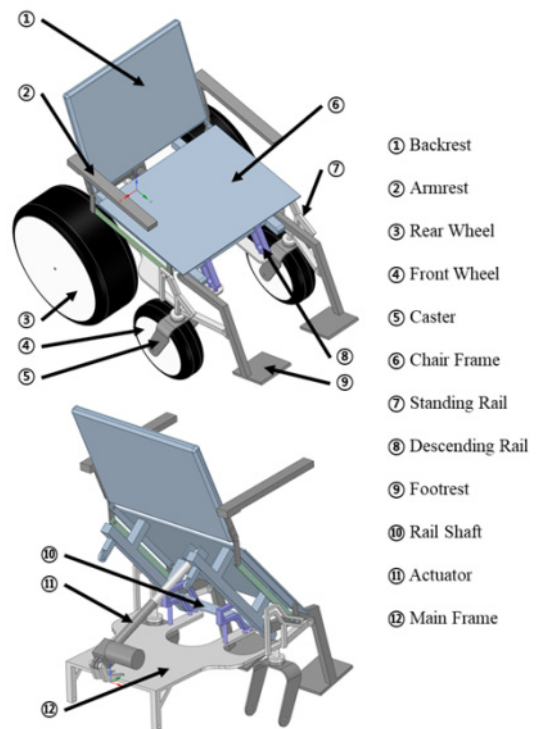


Fig. 1 CAD Modeling of personal mobility

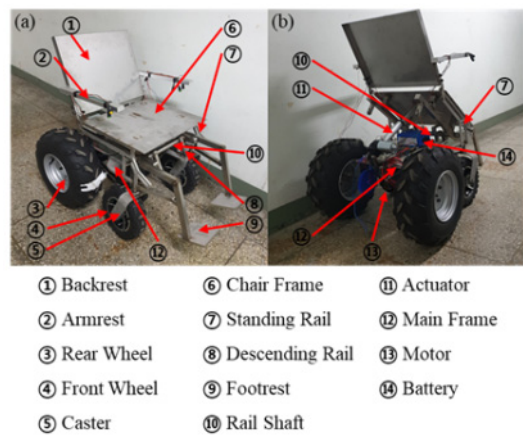


Fig. 2 Prototype of personal mobility (a) Seating mode (b) Standing mode

Table 1 Specification of personal mobility

Length	1074.16mm
Height	933.84 ~ 1127.55mm
Width	735.60mm
Seat height	546.55mm
Front Wheel	282.10mm(Diameter)
Rear Wheel	457.20mm(Diameter)
Weight	109.7kg
Battery	25.2V, 21Ah
Motor	24V, 500W BLDC
Actuator	24V, 4000N, Stroke 150mm(8mm/s)

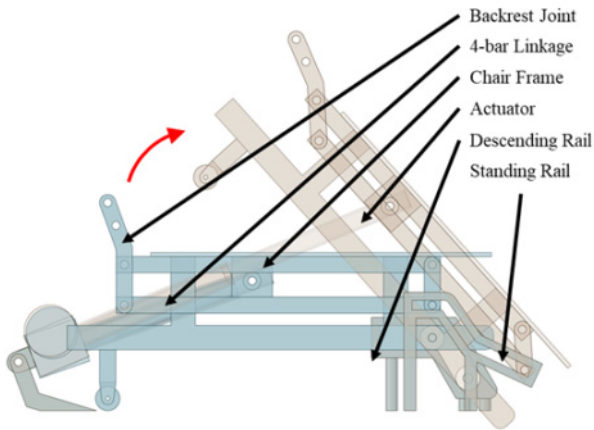


Fig. 3 Standing function using 4-bar linkage mechanism

스탠딩 기능을 구현하기 위한 기구학적 구조는 Descending Rail과 Standing Rail, 4절링크로 구성되며 Fig. 3에 나타내었다. 액추에이터가 Chair Frame의 밑바닥에 연결되어 Chair Frame을 밀어 올리는 구조이다. 액추에이터의 길이가 늘어나면서 Chair Frame이 Descending Rail과 Standing Rail을 따라 이동하며 시트의 높이가 낮아진다. Rail Shaft가 Descending Rail의 최저점까지 이동하면 Chair Frame의 앞부분 높이가 고정되고, 4절링크가 Standing Rail을 따라 계속 움직이며 Chair Frame의 뒷부분 높이가 증가하게 된다. 또한, 4절링크에 연결된 등받이는 시트와의 각도가 커지며 스탠딩 기능을 구현할 수 있다.

2.2 구동성 검증

Personal Mobility의 구동성 검증은 참고문헌을 참조하여 수행하였다.⁷⁾ 미끄럼이 발생하지 않는다고 가정할 때의 마찰력과 최대 정지 마찰력을 비교하여

모터의 구동성을 검토한다. Personal Mobility 구동에서 주행 속도를 5km/h로 설정하고, 구동 바퀴는 지름 18in(457.2mm)를 사용하였다. 모터는 24V, 2,500RPM, 감속비 40:1, 정격 500W BLDC 모터를 검토하였다. 감속비를 적용하면 회전수가 62.5RPM이며, 속도로 환산할 경우 5.4km/h로 목표 주행 속도를 만족한다. 가속도는 등가속도로 2초만에 최대속도에 도달한다고 가정하여 0.75m/s²으로 계산하였다. 구동 바퀴에 대한 운동역학적 관계를 나타내는 자유물체도(Fig. 4)를 통해 마찰력을 구하고 이를 최대 정지 마찰력과 비교할 것이다.

모터에서 출력되는 토크는 일률로부터 식 (1)을 통해 76.4Nm를 얻는다. 또한, 구동 바퀴에 대한 운동방정식은 식 (2)로 나타나며, 각가속도는 식 (3)으로 도출된다.

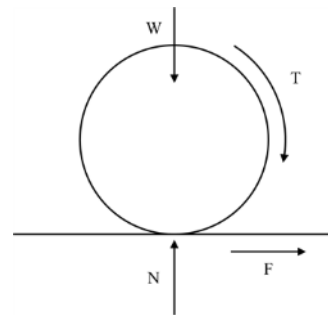


Fig. 4 Free body diagram of wheel

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{500 W}{62.5 RPM} = \frac{500 W}{6.54 rad/s} \quad (1)$$

$$T - Fr = I_G \alpha \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{a}{r} = \frac{0.75 m/s^2}{0.2286 m} = 3.28 rad/s^2 \quad (3)$$

Personal Mobility의 질량관성 모멘트는 CAD 소프트웨어에서 SUS304의 밀도를 적용하여 9.867kgm²임을 얻었다. 각 결과값들을 식 (2)에 대입하면 마찰력은 192.63N으로 계산된다. 이 마찰력이 식 (4)와 같이 최대 정지 마찰력보다 작음을 만족하는지 검토해야 한다.

$$F \leq f_s = \mu_s N \quad (4)$$

한편 폴리우레탄 타이어와 지면의 정지 마찰계수는 0.43 이상으로 나타나며 가장 미끄러울 경우로 가정하여 정지 마찰계수는 0.43으로 사용한다.⁸⁾ 수직항

력은 Personal Mobility의 중량(109.7 kg)과 사용자의 중량을 더해서 계산할 수 있다. 사용자의 중량이 가벼울수록 더 잘 미끄러지므로 성인 체중 통계에서 가장 낮은 몸무게인 42.6kg으로 하여 총 중량은 152.3kg으로 설정하였다.⁹⁾ 이 중량이 구동 바퀴 좌, 우에 각각 적용되므로 구동 바퀴 1개에 가해지는 중량은 76.15kg이며, 이 때 수직항력은 747.03N이다. 정지 마찰 계수와 수직항력을 사용하여 구한 최대 정지 마찰력은 321.22N이므로 식 (4)를 만족하며 미끄럼이 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

3. 구조 안정성 시뮬레이션

3.1 구조 안정성 시뮬레이션 조건

Personal mobility를 설계한 후 사용자가 탑승하였을 때 정적상태에서 구조적 안정성을 검토하고자 구조해석을 수행하였다. 구조해석에 크게 중요하지 않은 파트는 모델링에서 제외하였고, Main Frame, Chair Frame, Rail Shaft, Caster, Footrest 등으로 구성하였다. 또한, 본 연구에서 설계한 Personal mobility는 스탠딩 기능을 포함하고 있어서 Fig. 5와 같이 Seating Mode와 Standing Mode로 각각 구조해석을 수행하였다. Standing Mode는 액추에이터의 길이가 증가하여 사용자가 기립된 상태일 때 해석을 수행하였다.

Table 2 Property of materials

	SUS304	Aluminum Alloy
Density	8000(kg/m^3)	2705(kg/m^3)
Young's Modulus	195GPa	68.9GPa
Poisson's Ratio	0.29	0.33
Yield Strength	205MPa	75.8MPa

본 연구에서 설계한 Personal mobility의 재료는 Table 2에 나타난 SUS304와 Aluminum Alloy의 물성값을 사용하였다. Aluminum Alloy는 SUS304보다 밀도가 약 2.8배 낮지만 그만큼 변형이 잘되며, 자중의 변화에 구조적 안정성이 어떻게 변하는지 확인하고자 하였다. SUS304와 Aluminum Alloy의 물성을 적용하였을 때 Personal mobility의 무게는 각각 109.7kg, 38.1kg이다.

경계 조건은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 Fixed support는 각 바퀴의 회전축에 적용하여 구속하였고

각각의 연결된 파트는 Bonded로 접촉면과 미끄러짐을 제한하였다. 하중 조건은 중력 조건과 Fig. 7에 나타난 바와 같이 100kg의 사용자가 탑승한다고 가정하여 Backrest(610N), Seat(310N), Footrest(80N)에 하중을 설정하였다.¹⁰⁾ Standing mode일 때는 Footrest에 하중이 집중되므로 Backrest(80N), Seat(310N), Footrest(610N)으로 하중을 설정하였다.

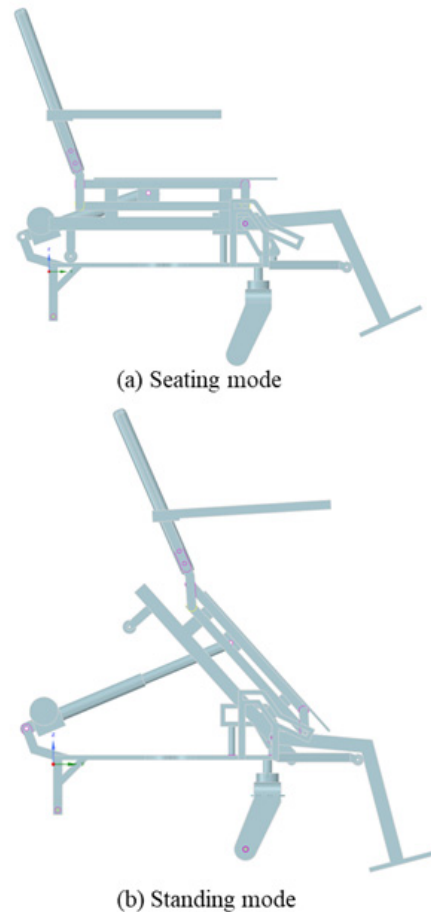


Fig. 5 Side view of each mode

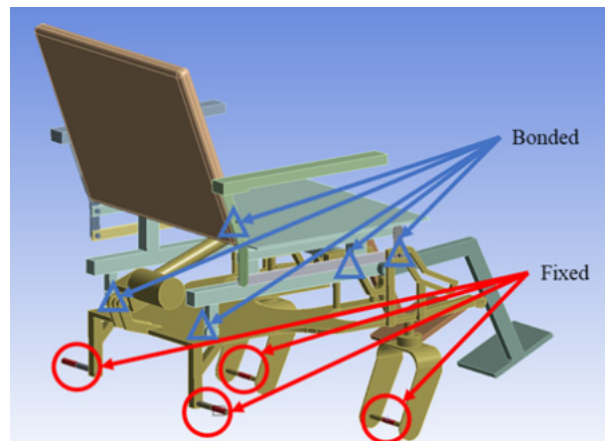


Fig. 6 Boundary condition(Bonded, Fixed)

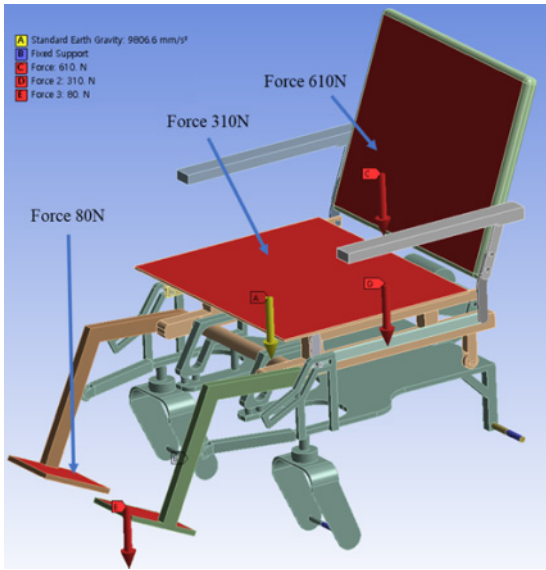


Fig. 7 Boundary condition(Force)

3.2 SUS304 재료의 해석 결과

SUS304의 물성을 적용하여 Fig. 8는 Seating Mode, Fig. 9은 Standing Mode에서의 응력값을 나타내었다. 최대 등가응력(Von-Mises stress)을 확인한 결과 Seating Mode은 등받이 연결부에서, Standing mode는 Main Frame과 Footrest의 연결부에서 최대

응력이 발생하였고, 그 값은 144.58MPa, 190.69MPa이다. 이는 SUS304의 항복강도인 205MPa보다 낮으며 안전계수 1.42, 1.08을 만족한다. 또한, 최대 응력값이 발생한 부분을 제외한 나머지 부분은 102.5MPa 이하의 응력값을 나타내어 안전계수 2이상임을 확인할 수 있다. Table 3에 각 Mode에서 변형량과 응력값을 요약하였다.

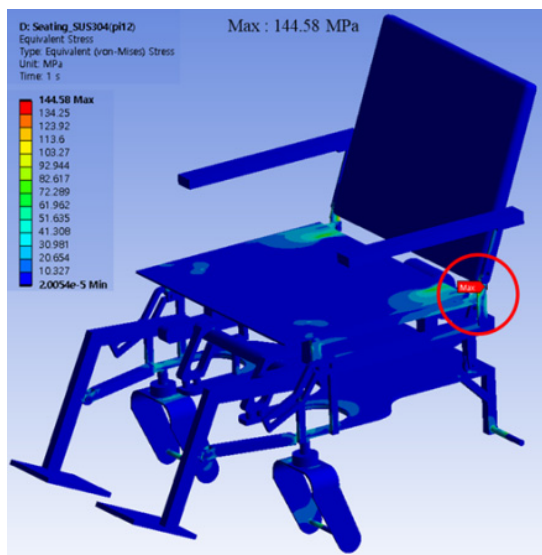


Fig. 8 Structural analysis result(Seating mode - SUS304)

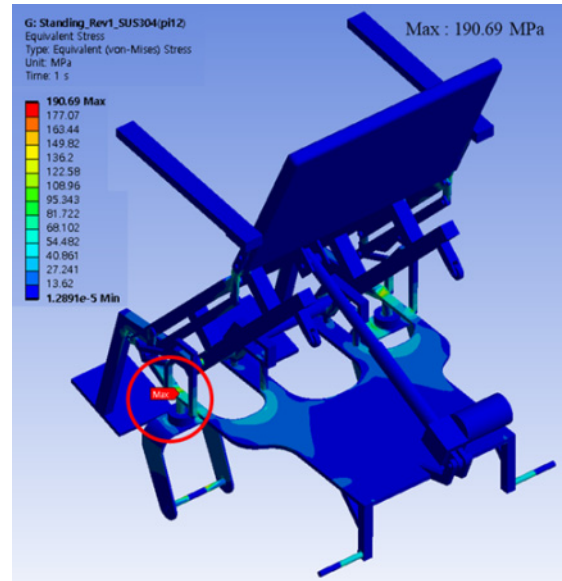


Fig. 9 Structural analysis result(Standing mode - SUS304)

Table 3 Deformation and stress(SUS304)

	Seating mode	Standing mode
Deformation	1.1611mm	2.7957mm
Stress	144.58MPa	190.69MPa
Safety Factor	1.42	1.08

3.3 Aluminum Alloy 재료의 해석 결과

Aluminum Alloy의 물성을 적용하였을 때 최대 등가응력(Von-Mises Stress)은 각 Mode에서 Main Frame과 Footrest의 연결부에서 최대 응력이 발생하였고, 그 값은 126.34MPa, 169.11MPa이다. Aluminum Alloy의 항복강도는 75.8MPa이고 각 모드에서의 안전계수는 0.60, 0.45이다. 각 모드에서 안전계수가 1보다 낮아 Aluminum Alloy는 본 연구에서 개발하고자 하는 Personal mobility에 적합하지 않다. Table 4에 Aluminum Alloy일 때 각 Mode에서 변형량과 응력값을 요약하였다.

Table 4 Deformation and stress(Aluminum Alloy)

	Seating mode	Standing mode
Deformation	2.9858mm	7.0278mm
Stress	126.34MPa	169.11MPa
Safety Factor	0.60	0.45

4. 동적 거동 시뮬레이션 및 실험

4.1 동적 거동 시뮬레이션 조건

개발한 Personal mobility에서 적절한 회전 반경을 분석하기 위해 다물체 동역학 해석 소프트웨어를 사용하였다. 기존 모델링 파트에서 지면에 해당하는 얇고 큰 Plate를 추가하였고 그 위에 4개의 바퀴가 접촉하도록 하였다.

속도에 따른 회전 반경을 분석하기 위해 4개의 바퀴 축을 Revolute Joint로 설정하고, 구동 바퀴 축에는 Motion Function을 설정하였다. 또한, 바퀴부를 제외한 나머지는 Fixed 조건을 설정하여 주행만 가능하도록 하였고, Fig. 10에 동적 거동을 분석하기 위한 모델링을 도시하였다.

수행한 동역학 해석에는 최대 100kg의 사용자가 앉아 있는 하중 조건을 설정하고 SUS304의 물성을 적용하였다.

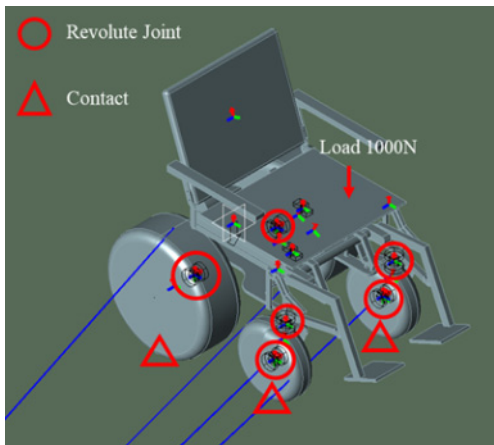


Fig. 10 Modeling to analyze the dynamic behavior

4.2 동적 거동 시뮬레이션

각 바퀴의 Revolute Joint에 Motion Function을 속도로 설정하였다. 소프트웨어에서는 rad/s를 사용하여 단위 환산을 하였다. 구동 바퀴의 둘레인 1436mm를 이용하여 식 (5)를 이용하여 rad/s를 RPM으로 변환하고 식 (6)을 이용하여 km/h로 변환하였다.

$$RPM = \frac{rad/s}{2\pi rad/rev} \times 60sec/min \quad (5)$$

$$km/h = RPM \times Circumference(m) \times 0.06 \quad (6)$$

rad/s와 RPM, km/h의 관계를 Table 5에 정리하였다. 속도의 단위를 km/h로 해야 하지만 해석의 편의를

위해 rad/s로 분석하였다. 6rad/s가 약 5km/h이므로 직진할 때의 구동 바퀴 속도를 6rad/s를 기준으로 하였다.

Table 5 Relationship between rad/s and RPM, km/h

rad/s	RPM	km/h
4.0	38.197	3.291
4.5	42.972	3.702
5.0	47.746	4.114
5.5	52.521	4.525
6.0	57.296	4.937

먼저 회전 반경을 분석하는데 회전방향은 무관하므로 우회전의 동적 거동을 분석하였다. 각 바퀴가 2초 동안 6rad/s까지 가속을 하여 직진주행을 한 후 우측 바퀴가 1초 동안 감속하도록 하였다. 그 후 Personal mobility의 x, y축 좌표값을 구해 궤적을 구하고, 각 축의 최댓값, 최솟값을 통해 회전 반경을 구하였다. Fig. 11은 각 바퀴의 속도에 따른 Personal mobility의 궤적과 회전 반경을 도시하였다.

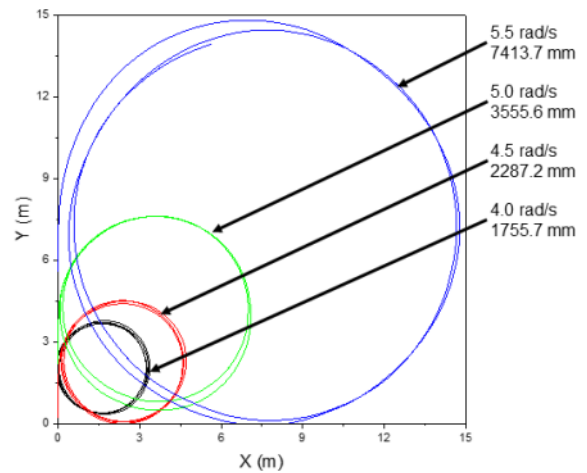


Fig. 11 Trajectory and radius of rotation according to wheel speed

또한, 각 바퀴의 속도에 따른 Personal mobility의 속도와 횡가속도를 구하였다. 횡가속도는 회전할 때 사용자가 느끼는 가속도 값으로 중력가속도의 배수로 표현하며, 식 (7)을 이용하여 회전 반경과 각속도로 계산할 수 있다.

$$a_n = r_r \cdot \omega_r^2 \quad (7)$$

좌측 바퀴는 6rad/s로 고정하고 우측 바퀴를 4.0rad/s에서 5.5rad/s로 0.5rad/s씩 증가하도록 하였다. Personal mobility의 횡가속도는 Fig. 13에 실선으로 나타내었고, Table 6에 각 속도에 따른 회전 반경, 속도, 횡가속도를 요약하여 나타내었다. 전동식휠체어 및 의료용 스쿠터의 국제규격인 EN-12184에 근거한 국내 기준규격에 따르면 Class C 전동 휠체어의 최대 회전 반경은 2,300mm이므로⁶⁾ 우측 바퀴의 속도는 4.5rad/s이하여야 한다. 또한, British Railways의 연구에 따르면 궤도 곡률로 인한 횡가속도가 승객에게 미치는 영향을 분석하였을 때 서있는 승객의 경우 횡가속도 값이 0.1g(0.981m/s²)이하일 때 불편함을 느끼지 않는다고 정의했다.¹¹⁾ 따라서 회전 반경을 만족하면서 횡가속도 값이 작은 4.5rad/s의 바퀴 속도가 적절하고, 이때 Personal mobility의 속도는 4.22km/h이다.

Table 6 Radius of rotation, speed, lateral acceleration according to each wheel speed

Right Wheel Speed (rad/s)	Radius of rotation (mm)	Speed (km/h)	Lateral acceleration (m/s ²)
4.0	1755.7	4.01	0.085g
4.5	2287.2	4.22	0.070g
5.0	3555.6	4.42	0.054g
5.5	7413.7	4.62	0.046g

4.2 동적 거동 실험

시뮬레이션을 통한 동적 거동을 분석한 결과를 검증하기 위해 실험을 수행하였다. 실험은 평평한 바닥에서 좌측바퀴를 6.0rad/s, 우측바퀴를 4.0rad/s에서 5.5rad/s로 0.5rad/s씩 증가시키며 수행하였고, Fig. 12에 나타낸 바와 같이 가속도 센서를 Personal mobility의 Seat아래에 좌측방향으로 부착하였다.

우측바퀴 각각의 속도에 따라 횡가속도를 측정한 결과를 시뮬레이션 결과와 비교하여 Fig. 13에 나타내었다. 실선은 시뮬레이션 결과이고 점선은 실험 결과이며, 검은색 점선은 Personal mobility가 제자리 회전할 때의 횡가속도, 즉 가장 횡가속도 값이 큰 경우를 실험한 값이다. 검은색 1점 쇄선은 EN-12184에서 최고 주행 속도(15km/h)와 최대 회전 반경(2,300mm)으로 구한 최고 횡가속도 값인 7.548m/s²을 나타낸다.

시뮬레이션과 실험을 비교하였을 때 바퀴의 속도

차 조건에 따른 횡가속도 값은 유사하게 나타나 시뮬레이션이 타당함을 확인했으며, 검은색 점선인 제자리 회전의 경우에는 약 0.1g로 탑승자가 불편함을 느낄 수 있는 것으로¹¹⁾ 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 거동이 불편한 취약계층 및 장애인을 위한 Personal mobility를 개발하고 해석적 연구를 통해 구조적 안정성과 동적 거동을 분석하였다. 스텐딩 기능을 구현하기 위해 액추에이터를 사용한 기구학적 구조를 적용하여 설계하였고, 모델링을 바탕으로 구동에 필요한 모터 선정을 검토하였다. 개발한



Fig. 12 Accelerometer mounting location

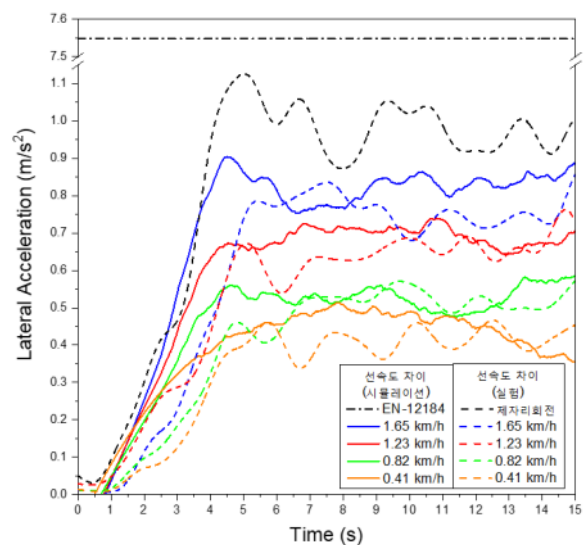


Fig. 13 Comparison of simulation results and experimental results(Lateral acceleration)

Personal mobility에는 2,500RPM, 감속비 40:1, 500W BLDC 모터를 사용하면 미끄러짐 없이 주행 가능함을 확인하였다.

Personal mobility의 구조적 안정성을 검토하기 위한 구조 해석은 SUS304의 재료를 사용하여야 하며, 이때의 최대 등가응력(Von-Mises stress)은 Seating mode에서 106.35MPa, Standing mode에서 161.27MPa 이고 안전계수는 각각 1.93, 1.27이다.

다물체 동역학 해석은 적절한 회전 반경을 결정하기 위해 수행되었으며, 각 구동 바퀴의 속도를 변경하여 최적의 속도를 도출하였다. 횡가속도가 0.1g 미만이고 회전 반경이 2,300mm이내일 때 최적의 바퀴 속도는 좌측 6rad/s, 우측 4.5rad/s이며, 이때 회전 반경, 주행 속도, 횡가속도는 2287.2mm, 4.22km/h, 0.070g이다. 실험을 통해 시뮬레이션 결과가 타당한지 비교/검증하였고 유사한 결과가 나옴을 확인하였다. 이러한 분석 결과를 토대로 Personal mobility 사용자의 편의성과 안전성을 높이는데 기여할 것으로 사료되며, 향후 지속적인 연구를 수행할 계획이다.

후 기

이 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ015312022021)의 지원을 받아 연구되었음

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) J. Scobie, Global AgeWatch Index 2015 Insight report, Published by HelpAge International, pp.5-6, 2015.
- 2) J. H. Kim and O. S. Kweon, "The Effect of User Interface of Power Wheelchair for People with Spinal Cord Injuries on Usability", Design Works, Vol.1, No.1, pp.12-22, 2018.
- 3) C. Y. Song, H. J. Yoo and C. B. Lee, "Development of Standing and Gait Assistive Wheelchair," Journal of Manufacturing Engineering & Technology, Vol.22, No.3_1spc, pp.587-592, 2013.
- 4) J. H. Jo and Y. C. Song, "The Study on Designing and Making Power Standing Wheelchair," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.25, No.10, pp.92-98, 2008.
- 5) J. H. Bae et al., "Design and Control of Seat Mechanism for Multi-postures Controllable Wheelchair," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.27, No.5, pp.102-111, 2010.
- 6) 48. Electric wheelchair and medical scooter, Attached Table 2., Medical Device Standards, Medical Device Policy Division, Ministry of Food and Drug Safety.
- 7) C. Y. Song, H. J. Yoon and C. B. Lee, "Development of Standing and Gait Assistive Wheelchair," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol.22, No.3-1, pp.587-592, 2013.
- 8) J. Gordon et al., "Tests of Two New Polyurethane Foam Wheelchair Tires," Journal of Rehabilitation Research, Vol.26, No.1, pp.33-46, 1989.
- 9) Weight Percentile Standard(Women), National Health Measurement Statistics, Statistics Korea, 2017.
- 10) KS P ISO 7176-11, "Wheelchairs - Part 11: Test dummies", 2012.
- 11) J. P. Powell and R. Palacín, "Passenger Stability Within Moving Railway Vehicles: Limits on Maximum Longitudinal Acceleration", Urban Rail Transit, Vol.1, No. 2, pp.95-103, 2015.
- 12) L. C. A. Silva et al., "Measurement of Wheelchair Contact Force with a Low Cost Bench Test", Medical Engineering & Physics, Vol.38, No.2, pp.163-170, 2016.
- 13) S. Desai et al., "Design and Prototype Development of a Reconfigurable Wheelchair with Stand-Sit-Sleep Configurations", Proceedings of the ASME 2018 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Vol.3, 2018.