

보행 장애인의 승차감 개선을 위한 휠체어용 능동형 서스펜션 시스템 개발

허영준¹ · 전금상¹ · 이상훈¹ · 최성대^{2*} · 장익규^{1*}

¹구미전자정보기술원 ICT융합연구본부 디지털헬스케어연구센터

²금오공과대학교 기계시스템공학과

Development of Active Suspension System for Wheelchairs to Improve Riding Comfort of Gait Disorders

Yeong Jun Heo¹, Geum Sang Jeon¹, Sang Hun Lee¹, Seong Dae Choi^{2*} and Ik Gyu Jang^{1*}

¹Gumi Electronics & Information Technology Research Institute,

ICT Convergence Research Division Health Care Research Center

²Kumoh National Institute of Technology, Department of Mechanical System Engineering

(Manuscript received 15 July 2020 ; revised 6 October 2020 ; accepted 23 October 2020)

Abstract: As the number of people with gait disorders increases, the demand for using wheelchairs increases and the area of a ctivity for people with disabilities expands, thereby they increasing the demand for riding comfortability in various driving environments. Therefore, this study is to develop an entry-level active suspension system that apply to wheelchairs and to evaluate its usability. The suspension applied in this paper consists of a coil spring, a shock absorber, a control module to control the strength of the shock absorber, and a road surface condition monitoring system. A wheelchair occupant secures the riding comfort by adjusting the coil strength of the shock absorber in 12 steps according to various road conditions. Therefore, the mechanical properties were evaluated through the structural analysis of the suspension system, and the tendency toward the magnitude of the road surface vibration attenuated according to the rigidity of the suspension through the vibration test was attempted. In conclusion, as a result of structural analysis of the suspension system, stress in a range lower than the yield strength of the material was generated, and the vibration test showed the effect of attenuating the vibration generated from the road surface when the stiffness of the suspension was adjusted.

Key words: Wheelchair, Shock absorber, Suspension system, Vibration test

서론

장애인에게 있어 이동권은 이동편의증진법 제3조에 제시된 바와 같이 인간으로써의 존엄과 가치 및 행복을 추구할 권

Corresponding Author : Ik Gyu Jang
350-27, Gumi-daero, Gumi-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea

Tel: +82 10-3385-2176

E-mail: eqjang@geri.re.kr

Corresponding Author: Seong Dae Choi

61, Daehak-ro, Gumi-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea

Tel: +82 10-8812-8130

E-mail: sdchoi@kumoh.ac.kr

본 연구는 산업핵심기술개발사업의 과제(Project number: 10084565)의 지원을 받아 수행하였음.

리를 보장받기 위하여 사람들이 이용하는 모든 교통수단, 여객시설 및 도로를 차별없이 안전하고 편리하게 이용하여 이동할 수 있는 권리를 가진다고 되어 있다.

이에 따라 이동 보조수단의 도움을 받아야하는 보행장애인의 수가 2001년에 74만명에서 2018년에는 150만명으로 증가하고 있으며[1] 특히, 주요 이동 수단인 휠체어의 양적인 수요가 증가하였다[2]. 또한 장애인들의 활동영역이 확대됨에 따라 경사로, 요철, 도로 턱 등 다양한 환경에서의 주행품질에 대한 질적인 수요가 증가하고 있다[3]. 주행품질 향상을 위한 중요 요소 중 고성능 서스펜션 기술 개발은 탑승객의 피로도를 감소시키고 주행 만족도를 향상시키기 위한 연구로 진행되어왔으며[5] 이러한 연구는 주로 자동차, 오토바이, 자전거

등의 교통수단에 한정되었으며, 휠체어의 경우 탑승자와의 상호작용이 크에도 불구하고 고성능의 서스펜션 기술이 적용되지 않았었다[6]. 따라서, 최근 보행장애인 수의 증가로 인한 휠체어 시장의 성장과 함께 주행품질 향상을 요구하는 보행장애인의 요구에 따른 고성능 서스펜션 개발에 대한 연구가 증가하고 있다[7].

서스펜션 시스템은 고정형과 능동형으로 나뉘며 휠체어에 적용되고 있는 고정형 서스펜션 시스템은 아크로뱃 휠(Softwheel, Acrobat wheel, Israel)방식, 루프휠(Jelly Products, Loop wheel, British)방식[8], 코일스프링 서스펜션 방식이 있다. 고정형 서스펜션은 강성이 정해져 있기 때문에 각기 다른 노면을 주행함에 따라 발생하는 진동의 크기가 다름에도 불구하고 서스펜션 그대로의 강성으로 수동적인 주행을 할 수밖에 없다는 단점이 있다[9]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 자동차 등에는 노면의 상태에 따라 서스펜션의 강성을 조절하여 승차감을 확보하기 위해 에어 서스펜션, 슬레노이드/벨브 타입 서스펜션, 자기장 서스펜션 등 능동형 서스펜션이 적용되고 있다[10].

본 논문에서는 휠체어를 사용하는 장애인들에게 경제적인 부담이 되지 않도록 하기 위해 단순화, 집약화한 기구부를 설계 개발하고, 이를 기반으로 모터, 타이밍 벨트, 속업 쇼버를 대량 양산되고 있는 상용품으로 구성하였으며 가성비가 뛰어난 부품회로를 사용한 자작 PCB로 제어부를 구성하여 향후 보급형의 상용화가 가능하도록 하였고, 휠체어의 주행품질 향상에도 크게 기여할 수 있었다. 그림 1은 탑승자가 노면의 상태를 모니터링하고 컨트롤러를 조작하여 서스펜션의 강성을 제어하는 과정을 나타내었다.

II. 연구 방법

1. 기구부 구성

본 논문에 적용되는 서스펜션은 코일 스프링(Coil Spring)과 속업쇼버(Shock Absorber)가 복합적으로 노면의 진동을 감쇠 시키는 방식으로써 탑승자가 노면의 상태에 따라 컨트롤러

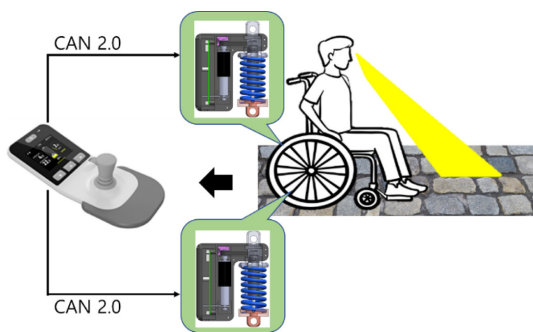


그림 1. 능동형 서스펜션 시스템 모식도
Fig. 1. Schematic diagram of active suspension system

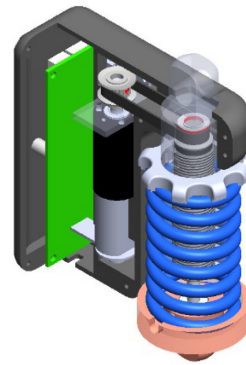


그림 2. 서스펜션 시스템의 하우징 내부
Fig. 2. Inside the housing of the suspension system

러의 버튼을 조작하여 모터를 제어하게 된다. 모터의 회전력은 타이밍 벨트(Timing belt)를 통해 12단계의 강성을 조절할 수 있는 속업쇼버의 다이얼로 전달되고 다이얼을 회전시켜 서스펜션 시스템의 강성을 조절하여 험로에서의 승차감을 확보하는 원리이다. 그림 2는 하우징(Housing)을 제작하여 내부에 PCB(Printed Circuit Board), 모터(Motor), 풀리(Pulley), 타이밍 벨트, 속업쇼버, 속업쇼버 케이스, 코일 스프링을 배치한 서스펜션 시스템의 하우징 내부 모델링을 나타낸다.

(1) 동력전달방식 및 부품 제작

동력전달장치의 종류로는 타이밍 벨트, 기어, 체인 등 여러 방식이 있지만 모터에서 발생하는 회전력을 속업쇼버로 전달할 때 동력을 전달하고자 하는 모터와 속업쇼버 사이의 거리를 고려, 모터의 회전력이 하우징에 의해 손실되지 않기 위해 동력전달방식을 타이밍 벨트로 구현하였다[11].

하우징은 폴리젯방식의 3D 프린터(Stratasys, Connex 500, USA)를 이용하여 모터의 회전력과 진동, 스프링이 압축될 때 받는 힘 등을 고려하여 적합한 강도의 광경화성 수지(Stratasys, Veroblack, USA)를 재료로 적층 시켜 제작하였고 [12] 풀리와 속업쇼버의 케이스는 고정밀머시닝센터(Hermle, c22u, Deutschland)를 사용하였고 알루미늄 재료를 가공하여 부품을 경량화 하였으며 [13] 스프링은 황 탄성계수와 인장강도를 고려하여 경강선 재료를 가공하여 제작하였다[14].

(2) 모터 선정

속업쇼버의 강성 조절 다이얼을 회전시키는데 필요한 토크를 측정해본 결과 필요 토크는 3 kgf-cm로써 해당 토크 이상의 힘을 가지며 서스펜션 시스템의 크기를 소형화하기 위한 치수에 적합한 모터를 선정하였다. 모터의 정격 회전수는 7,200 rpm, 정격 토크는 22gf-cm이며 모터에 결합된 감속기의 감속비 1:393을 적용하여 정격 회전수 18 rpm, 정격 토크는 4,200 gf-cm인 감속기-모터(IG-22CGM 02TYPE, D&J

WITH, Korea)를 선정하였다.

(3) 속업쇼버 선정

무게는 차체 33 kg, 탑승자 중량 75 kg으로 총 무게 108 kg, 설치되는 속업쇼버의 개수는 2개, 시간당 충돌횟수(Cycle/hour)는 60 Cycle/hr로 설정하였고 식 (1), (2), (3), (4)를 통해 총 에너지(E_T), 시간당 총 에너지($E_T C$), 운동에너지(E_k), 일 에너지(E_w)를 계산하여 충돌속도에 따라 12단계 범위로 완충력을 미세 조정할 수 있는 모델(KMA20-16B, KOBA, Korea)을 선정하였다. 해당 속업쇼버의 스트로크(Stroke)는 16 mm, 유효 하중은 4.5-1230 kg, 무게는 145 g이다.

$$E_T = E_k + E_w = 34.93 \text{ Nm} \tag{1}$$

$$E_T C = E_T \times C = 2095.63 \text{ Nm/hr} \tag{2}$$

$$E_k = W \times g \times (H \div N) = 26.46 \text{ Nm} \tag{3}$$

$$E_w = W \times g \times (S \div N) = 8.47 \text{ Nm} \tag{4}$$

(4) 스프링 제작

스프링은 인장강도 110를 갖는 경강선으로 제작하였으며 스프링 설계의 고려사항으로는 유효권수 3이상, 스프링 지수(Dm/d) 4~10 사이, 종횡비 0.8~4사이, 하중 변위의 20%~80% 사이에서 스프링 사양을 정하였으며 표 1에 선정(d), 중심경(Dm), 자유장(L), 총 권수(Nt), 유효권수(Ne) 등 스프링의 사양에 대한 정보와 그림 3에 스프링의 치수에 대한 정보를 나타내었고, 식 (5), (6)은 스프링 상수와 스프링 최대

표 1. 제작된 스프링의 사양
Table 1. Dimension of spring

d (mm)	Dm (mm)	L (mm)	Nt	Ne
7	40	80	7	5

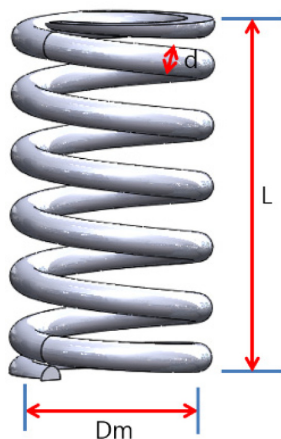


그림 3. 스프링 치수 정보
Fig. 3. Spring dimension information

압축 높이를 나타낸다.

$$K = \frac{G \times d^4}{S \times (OD - d)^3 \times N_e} = 4.72 \text{ kg/mm} \tag{5}$$

$$L_{min} = d \times N_t = 42.00 \text{ mm} \tag{6}$$

2. 구조해석

서스펜션에 하중이 가해질 때 응력과 변형률을 알아보기 위해 3D 설계 소프트웨어, 솔리드웍스(Dassault Systems, Solidworks 2017, France)를 통해 구조해석을 수행하였다. 서스펜션을 구성하는 부품의 재질은 Al6061, 스프링의 재질은 경강선 HSW를 적용하였으며 해석에 적용한 재료의 기계적 물성치는 표 2와 같다[15]. 그림 4는 구조해석을 위해 작성한 메시의 형태와 서스펜션에 대한 경계조건을 나타내며 휠체어의 바퀴와 연결되는 하단부에서 Z축 방향으로 108 kg에 해당하는 하중을 추가하였다.

3. 제어부

서스펜션 시스템은 각 휠체어 바퀴에 설치하였으며 각 서스펜션 모듈의 제어를 위하여 사용된 통신 방식은 CAN 2.0을 적용하였다.

표 2. 재료의 기계적 물성치
Table 2. Mechanical properties of materials

Materials	Al 6061	HSW
Density [Kg/m ³]	2700	7800
Yield strength [Mpa]	55	793
Tensile strength [Mpa]	124	1373
Poisson's ratio	0.33	0.29
Elastic modulus [Mpa]	69000	200000

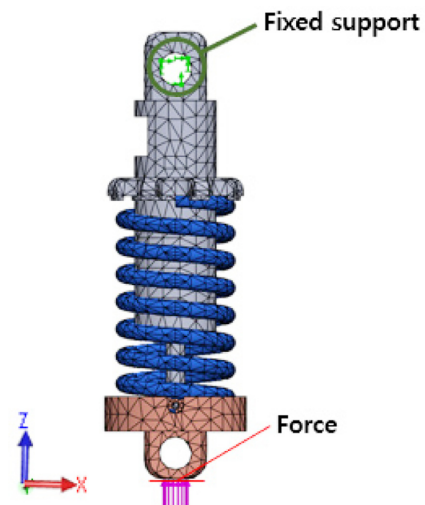


그림 4. 서스펜션 구조해석의 경계조건
Fig. 4. Boundary condition for suspension analysis

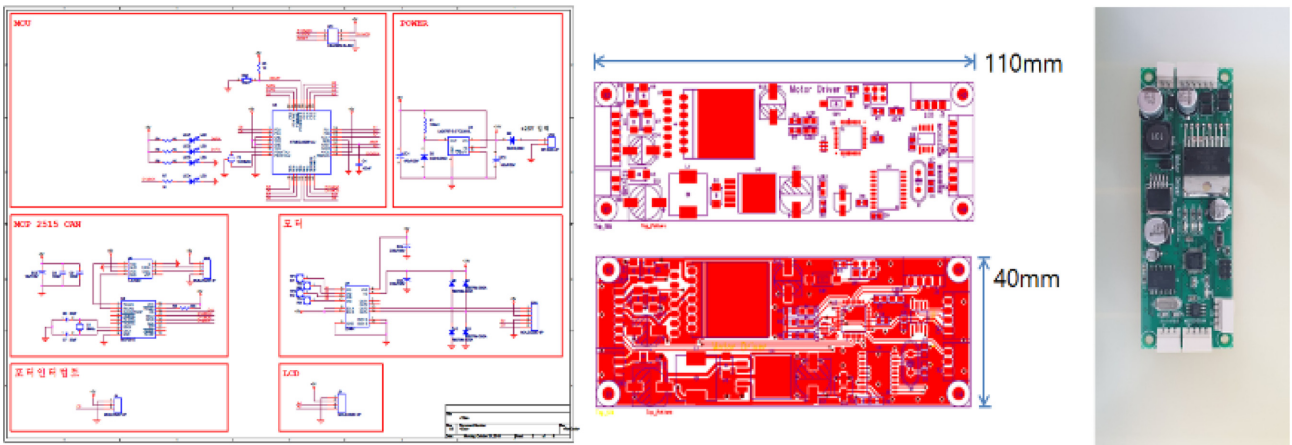


그림 5. 모터 컨트롤러 회로 설계 및 PCB 제작
 Fig. 5. Motor controller circuit design and PCB production

본 논문에서는 서스펜션 강성 조절에 적용되는 핵심부품인 속업쇼버의 다이얼 조절을 위한 모터 컨트롤러를 직접 개발하였다. 제어기는 8비트 마이크로프로세서(ATmel, ATMEGA328P, USA), Full Bridge IC(STMicroelectronics, L298N, Swiss)를 모터 드라이버로 사용하고, 전원은 24VDC, 5VDC(스위칭 레귤레이터 IC, LM2576, TI, USA)로 사용하였다. 모듈간 통신을 위해 CAN Controller IC(MICROCHIP, MCP2515, USA)를 포함한 회로를 그림 5와 같이 설계하고 아트워크 및 PCB를 제작하였다. PCB 보드의 크기를 최소화하여(110 mm × 40 mm) 서스펜션 기구부에 포함시키고 통신선(CAN 통신)과 전원만 외부 연결하여 제작하였다. 전동 휠체어에서는 자동차 등 이동기기에서 사용하는 CAN(Control Area Network) 통신을 범용으로 사용하고 있고 실시간성, 안정성, 부품가격, 기능대비 부피가 소형 등의 장점을 가지고 있다.

4. 진동시험 방법

휠체어가 주행하는 노면에 따라 서스펜션의 강성에 대한 감쇠력의 경향성을 비교하고자 그림 6과 같이 휠체어에 3축 가속도 센서(DM-8501, Arduino, Italy)를 부착하여 진동시

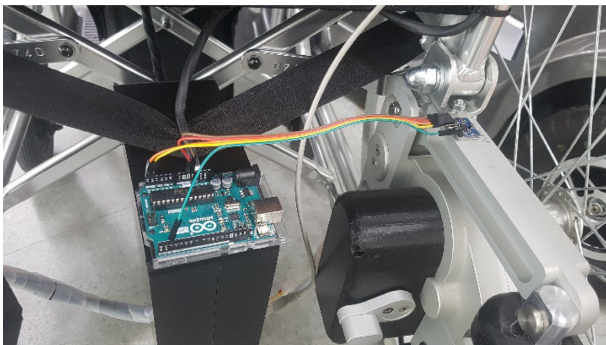


그림 6. 휠체어에 설치한 3축 가속도 센서
 Fig. 6. 3-axis acceleration sensor installed in a wheelchair

험을 수행하였다. 속업쇼버의 강성조절 다이얼은 1, 6, 12로 설정하여 50초 동안 자갈이 깔려 있는 노면, 보도블록, 포장도로 등 3가지 노면에서 직선으로 주행하였다.

III. 연구 결과

1. 구조해석 결과

그림 7은 서스펜션 구조해석의 응력과 변형률에 대한 결과를 나타낸다. 응력이 집중되는 포인트의 응력 값을 표시하였으며 험로에서 하중을 받을 때 스프링의 인장-압축에 의해서 진동이 감쇠 되므로 스프링에서 많은 응력과 변형이 일어났고 스프링이 압축되었을 때 스프링을 지지하는 부품에서 응력집중과 변형이 발생하였다. 스프링이 압축되었을 때 스프링의 안쪽에서 $1.078 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 로 가장 큰 응력이 발생하였으며 스프링을 지지하는 상부 부품에서 $4.009 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ 하부 부품에서는 $2.418 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ 의 응력이 발생하였다. 변형률은 스프링 안쪽에서 3.758×10^{-4} , 상부 부품에서 3.630×10^{-4} , 하부 부품에서는 2.198×10^{-4} 로 나타났다.

2. 진동시험 결과

그림 8은 3D 프린터와 5축 CNC 가공으로 제작하여 조립한 서스펜션 시스템을 나타내며, 승차감 향상 여부를 알아보기 위해 포장도로, 보도블록, 자갈이 깔려 있는 노면 등 3가지 노면에서 속업쇼버의 완충 저항력이 가장 낮은 1, 중간단계인 6, 완충 저항력이 가장 큰 12의 세단계로 다이얼을 조정하여 강성에 변화를 주고 휠체어에 부착된 진동센서를 통해 발생하는 진폭의 크기를 알아보고자 진동시험을 수행하였으며 해당 다이얼에 대한 감쇠계수비를 식(7), (8)에 나타내었다.

식에서 감쇠계수비는 속업쇼버의 감쇠력에 비례하고 속업

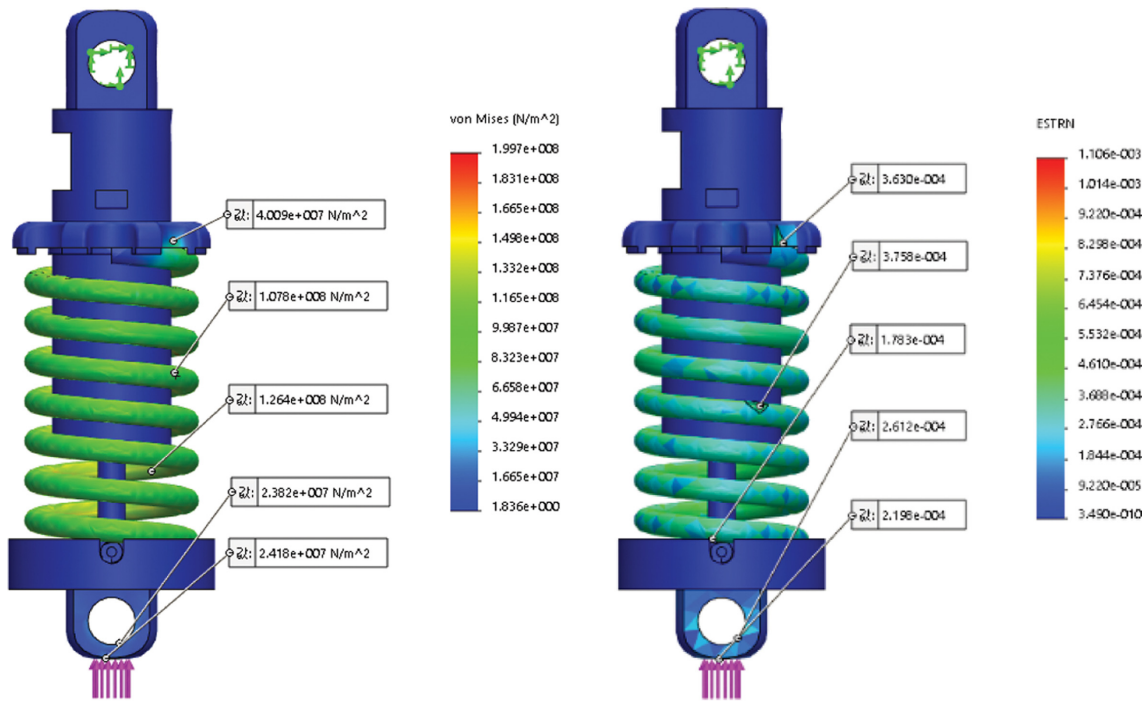


그림 7. 서스펜션 구조해석 결과
Fig. 7. Suspension analysis result



그림 8. 서스펜션 시스템 제작
Fig. 8. Suspension system production

쇼버의 감쇠력은 피스톤의 속도에 비례하게 되는데 속업쇼버의 사양에서 강성 조절 다이얼이 1일 때 피스톤의 속도는 4.8 m/s, 6일 때 2 m/s, 12일 때 0.3 m/s 이다.

$$\zeta = \frac{c}{c^*} = C/2 \sqrt{\frac{W}{9.8k}} \times 100(\%) \quad (7)$$

$$C = \frac{c^*}{v_p} \quad (8)$$

ζ: 감쇠계수비

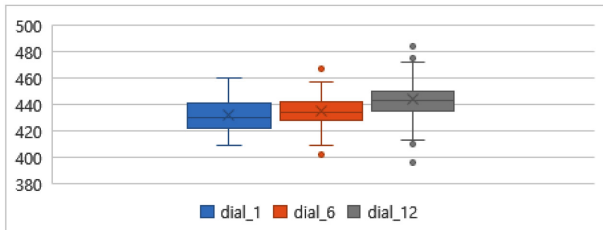
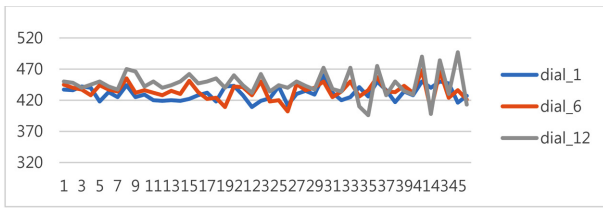
W: 룬 하중

- K: 스프링 정수
- C*: 속업쇼버 감쇠력
- Cc: 임계 감쇠계수
- Vp: 피스톤 속도

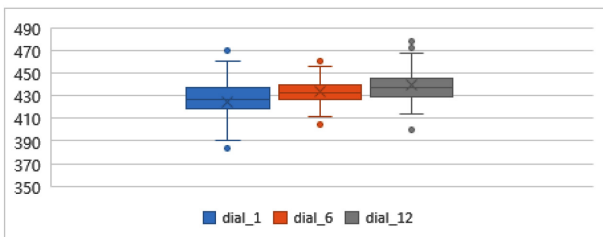
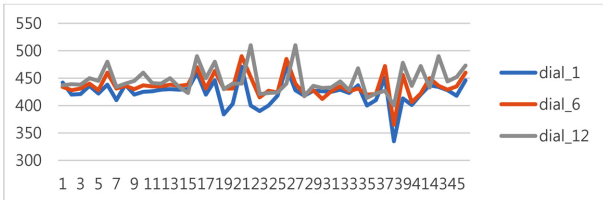
그림 9는 각 노면에서 다이얼에 따른 진폭을 나타낸 꺾은선 그래프와 데이터의 통계량을 알아보기 위한 Box plot 그래프이며 꺾은선 그래프에서 x축은 시간, y축은 진동 센서의 변위를 나타내고 Box plot 그래프에서 y축은 진동 센서의 위치를 나타낸다. 시험 시간은 1초에서부터 50초까지 각 노면에서 세 번씩 측정하여 평균값을 나타냈으며 시험 시작 후 raw data에서 1~2초, 48~50초를 제외한 값으로 그래프를 나타내었다.

표 3에 Box plot 그래프에서 나타난 데이터를 정리하였으며 여기서 Min과 Max는 최소값과 최대값을 나타내고 제 1사분위수 Q1, 제3사분위수 Q3과 평균값 Mean, 중앙값 Median, 표준편차 SD를 표시하였다.

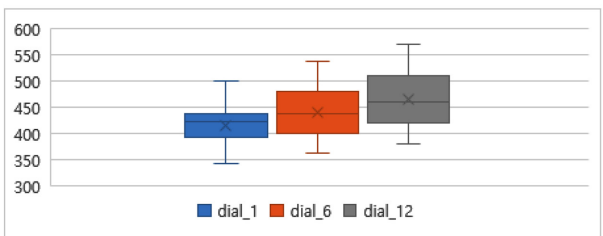
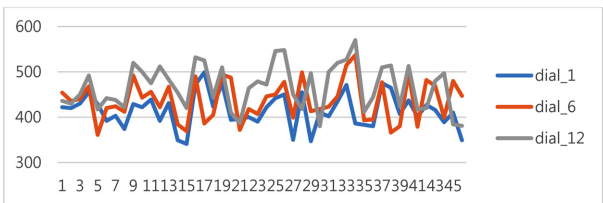
포장도로에서 다이얼을 1로 조정했을 때 Q1의 값은 421.5, Q3의 값은 441.25로 나타났고 최소값은 409와 최대값 460로 나타났으며 평균은 431.54 그리고 표준편차는 11.89로 나타났다. 다이얼을 6으로 했을 때 Q1의 값은 427.5, Q3의 값은 442.25로 나타났고 최소값 409와 최대값은 413을 나타냈으며 평균은 434.66 그리고 표준편차는 13.55로 나타났으며 다이얼을 12로 했을 때 Q1의 값은 435, Q3의 값은



(a) 포장 도로
(a) Street



(b) 보도블록
(b) Sidewalk



(c) 자갈 노면
(c) Gravel

그림 9. 진동시험 결과 그래프

Fig. 9. Graph of vibration test results

442.25로 나타났고 최소값은 413 최대값은 472로 나타났으며 평균은 443.4 그리고 표준편차는 17.46으로 나타났다.

표 3. Box plot 그래프 데이터

Table 3. Box plot graph data

(a) 포장 도로 (a) Street			
	Dial_1	Dial_6	Dial_12
Count	46	46	46
Min	409	409	413
Q1	421.5	427.5	435
Median	429.5	434	442.5
Q3	441.25	442.25	450
Max	460	457	472
Mean	431.54	434.66	443.4
SD	11.89	13.55	17.46
(b) 보도블록 (b) Sidewalk			
	Dial_1	Dial_6	Dial_12
Count	46	46	46
Min	390	412	414
Q1	418	426.75	429.5
Median	426.5	432.5	437.5
Q3	437	440	445
Max	460	456	468
Mean	424.64	434.14	439.44
SD	21.97	13.20	16.97
(c) 자갈 노면 (c) Gravel			
	Dial_1	Dial_6	Dial_12
Count	46	46	46
Min	341	361	380
Q1	391.5	399	420
Median	421	438	459
Q3	437.5	478.5	510
Max	499	537	570
Mean	414.96	438.26	464.32
SD	36.95	46.04	49.25

보도블록에서 다이얼을 1로 했을 때 Q1의 값은 418, Q3의 값은 437로 나타났고 최소값은 390과 최대값 460으로 나타났으며 평균은 424.64 그리고 표준편차는 21.97로 나타났다. 다이얼을 6으로 했을 때 Q1의 값은 426.75, Q3의 값은 440으로 나타났고 최소값 412와 최대값은 456을 나타냈으며 평균은 434.14 그리고 표준편차는 13.20으로 나타났으며 다이얼을 12로 했을 때 Q1의 값은 429.5, Q3의 값은 445로 나타났고 최소값은 414 최대값은 468로 나타났으며 평균은 439.44 그리고 표준편차는 16.97로 나타났다.

자갈이 깔린 노면에서는 다이얼을 1로 했을 때 Q1의 값은 391.5, Q3의 값은 437.5로 나타났고 최소값은 341과 최대값 499로 나타났으며 평균은 414.96 그리고 표준편차는 36.96으로 나타났다. 다이얼을 6으로 했을 때 Q1의 값은 399, Q3의 값은 478.5로 나타났고 최소값 361과 최대값은 537을 나타냈으며 평균은 438.26 그리고 표준편차는 46.04로 나타났으며 다이얼을 12로 했을 때 Q1의 값은 420, Q3의 값은 510으로 나타났고 최소값은 380 최대값은 570으로 나타났으며 평균은 464.32 그리고 표준편차는 49.25로 나타났다.

진동의 진폭은 모든 노면에서 완충 저항력이 낮을수록 완충 저항력이 클 때의 진폭보다 낮게 나타나는 경향성을 보이므로 속업쇼버의 다이얼에 따라 휠체어가 노면을 이동할 때 생기는 진동의 감쇠력이 달라지고 이는 탑승자의 승차감과 직결된다.

IV. 고찰 및 결론

이 논문에서는 사용자가 속업쇼버의 강성을 제어하여 힘로 주행시 휠체어의 승차감을 확보하고자 보급형 능동형 서스펜션 시스템을 개발하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 휠체어 주행 시 서스펜션에 하중이 가해질 때 제작된 부품이 받는 응력과 변형률을 알아보기 위해 구조해석을 수행했으며 해석결과 스프링의 경우 최대로 압축되었을 때 안쪽 부분에서 발생하는 최대 응력과 스프링의 재료인 HSW의 항복강도와 비교해봤을 때 재료의 항복강도보다 낮은 응력이 발생하였다. 또한 스프링이 압축될 때 스프링을 지지하는 상부 부품과 하부 부품에서도 응력이 발생하였는데 하부 부품에서 발생된 응력보다 상부 부품에서 발생된 응력이 크므로 상부 부품에서 발생한 응력값과 Al 6061재료의 항복강도를 비교해봤을 때 항복강도보다 낮은 응력이 발생하였다. 구조해석 결과 하중이 가해졌을 때 서스펜션을 구성하는 스프링과 하네스에서 재료의 물성치인 항복강도 보다 낮은 응력의 분포를 나타냈다. 즉 구조해석을 통해 휠체어 주행 시 서스펜션에 가해지는 응력보다 서스펜션 시스템을 구성하는 부품들의 항복강도가 높으므로 서스펜션 시스템은 노면에서 전달되는 힘에 의해 손상되지 않는다고 고찰 하였다.

2. 속업쇼버의 강성조절 다이얼을 조절하여 각기 다른 노면에서의 진동시험을 진행하였으며 그 결과 각각의 노면에서 강성 조절 다이얼의 단계를 다르게 했을 때 나타나는 진폭의 크기가 달랐으며 이는 탑승자가 노면의 상태를 모니터링 하고 컨트롤러의 조작을 통해 능동적으로 서스펜션의 감쇠력을 조절할 수 있음을 나타낸다. 즉 충격에 취약한 장애인들이 전동 휠체어 탑승 시 충격으로 인한 신체 손상 및 이에 대한 두려움을 경감하고 승차감이 향상된 안전한 이동기기 이용이 가능하다는 결론을 내릴 수 있다.

References

- [1] Lim G, Kim YJ, Kim YO, Yang SY. A Study on the Wheelchair Storage System Mounted on the Trunk of the Sedan Passenger Car. The Korea Society for Fluid Power and Construction Equipment. 2019;16(3):8-15.
- [2] Kim JY, Kim JB, Hwang SB, Jang WH. The Usability Study on Korea Express Bus with Wheelchair Access. Journal of The Korea Academia Industrial cooperation Society. 2019; 20(7):571-7.
- [3] Jung JA, Hwang HC, Lee WY, Lee EH. A Study on the Direct Drive Calibration Techniques of Power Assist Modules to Assist the Lift of Manual Wheelchairs Stairs. Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers. 2019; 56(12):134-41.
- [4] Kim BS, Jeong YJ, Son BR. Study of Electric Car Manufacturing Using Self Made Technology. Journal of The Korean Society of Automotive Engineers. 2019;2019(11): 1384-8.
- [5] Han SW, Jo JM, Yang JG, Song YH, Heo GS. Development of Unified Chassis Control System for Vehicle Stability with Active Suspension and Torque Vectoring. Journal of The Korean Society of Automotive Engineers. 2019;2019(5):387-9.
- [6] Jang SH, Jang IK. Semi-Active Control of Wheelchair Suspension for the Ride Comfort Improvement. Journal of Institute of Control, Robotics and Systems. 2019;2019(5):460-1.
- [7] Jung JS, Ahn YH, Hwang IH, Yuk SW, Chin DH, Choi JG. Test Method of Safety in Wheel Position for Wheelchair. Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. 2011;2011(11):94.
- [8] CATENARO, EDOARDO. Modeling and experimental analysis of a bicycle equipped with an in-wheel suspension system. (Master's degree, ING-Faculty of Industrial and Information Engineering, 2018).
- [9] Kim KC, Han JH, Lee YK, Soh MW, Park KH, Seo IS. Development of Active Suspension Control Logic for Improving Ride Comfort using State Constraint SMC. Journal of The Korean Society of Automotive Engineers. 2018;2018(6):425.
- [10] Jeong JH, Seo IS, Lee SH, Lee JW. A Study On The Active Suspension Control For Improving Vehicle Handling Performance. Journal of The Korean Society of Automotive Engineers. 2018;2018(6):404.
- [11] Kwon HD, Jang KI, Hong SJ, Seo IJ, Yang KJ. The study of Timing Belt Tracking & Pulley Flange Design for reducing belt wear. Journal of The Korean Society of Automotive Engineers. 2019;2019(5):124-7.
- [12] Kim HJ. Experimental Study on Production Characteristics of Straight Bevel Gear using a Polyjet Method 3D Printer. Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. 2015;14(6):63-8.
- [13] Choi GH, Lee IH, Oh JS. A study on the design of light weight impact beam using aluminum material. Journal of Korean Society of Automotive Engineers. 2014;2014(5):14.
- [14] Yoon YG, Yu YC, Choi IH. Effects of Heat-Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Cu-1.9% Be-0.2% Co Alloy. Journal of Metals and Materials. 1971;1971(1):1-10.
- [15] Jee DH, Kang KJ. A Systematic Approach for Material Selection of Parts. Journal of The Korean Society of Automotive Engineers. 1996;1996(6):353-9.