

## 모노스키 유압 완충장치 특성에 따른 탑승 안락감 평가

조현석<sup>\*,\*\*†</sup>, 박진국<sup>\*</sup>, 김규석<sup>\*</sup>, 문무성<sup>\*</sup>, 김창부<sup>\*\*</sup>

\* 재활공학연구소, \*\* 인하대학교

### Comfort Analysis of Mono-ski with Hydraulic Absorber

Hyeon-Seok Cho<sup>\*,\*\*†</sup>, Jin-Kook Park<sup>\*</sup>, Gyoo-Seok Kim<sup>\*</sup>, Mu-Sung Mun<sup>\*</sup> and Chang-Boo Kim<sup>\*\*</sup>

\* Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center, \*\* Inha Univ.

(Received February 16, 2015 ; Revised March 31 2015 ; Accepted April 10, 2015)

**Key Words:** Mono-ski(모노스키), Multi-body Dynamics(다물체 동역학), Disabled(장애인), Vibration(진동), Vibration Dose Value

**초록:** 하반신 마비환자가 스키를 탈 수 있도록 고안된 모노스키는 스키 플레이트 위에 좌석이 설치된 형태의 썰매이다. 스키를 탈 때 설면으로부터 전달되는 충격은 정상인의 경우 다리관절의 거동에 의하여 흡수되지만 모노스키의 경우에는 좌석에 탑승한 인체에 그대로 전달된다. 상용화된 대부분의 모노스키에는 이를 보완하기 위하여 스키 마운트와 시트 간에 링크 메커니즘과 충격완충장치가 설치되어 있다. 본 연구에서는 유압 실린더가 장착된 모노스키의 주행 시물레이션을 수행하고 불규칙한 표면 주행 중 발생하는 진동 충격 가속도를 분석하여 탑승자의 안락감을 평가할 수 있는 모델을 개발하였다. 안락감 평가방법은 국제 규격인 BS6841 을 사용하였다. 개발 모델을 이용하여 유압 완충장치의 노즐조절에 따른 안락감을 평가하였다.

**Abstract:** The mono-ski for the paraplegia designed to skiing is formed as seat bucket on the sled. The impact force transferred by snow surface during skiing is absorbed by the leg joints of normal human, but it is transferred to the human body on the seat when using mono-ski. Most of commercially available mono-ski have absorbing device and link mechanism between seat and ski mount in order to complement it. In this study we developed the comfort evaluation model that could provide skiing simulation of mono-ski with hydraulic damper and analyzed vibrational acceleration occurred during skiing uneven surface. The evaluation method used in this study is the international standard BS6841. We evaluated comfort performance of mono-ski in accordance with nozzle adjustment of hydraulic damper.

### 1. 서 론

눈썰매의 진화된 형태인 모노스키는 기존의 스키나 스노우보드를 탈 수 없는 장애인들이 앉아서 타도록 고안된 장비이다. ‘모노스키’는 일반인이 사용 가능한 스키플레이트가 1 개인 외발 스키를 지칭할 때도 사용되나 앉아서 타는 장애인용 스키를 지칭하는데 주로 사용된다. 앉아서 타는 구조의 스키는 ‘sit-ski’로 통칭되며 스키 플레이트의 개수가 1 개 혹은 2 개인 모델이 존재한다. 이중 스키플레이트가 1 개인 모델이 모노스키이다. 스키 플레이트가 2 개인 모델은 1 개인 경우보다 안정성은 좀 더 높지만 조작성이 떨어짐에 따라 사용자들은 모노스키를 더 선호한다. 특히 거의 대부분의 장애인 스키 선수들은 스키 플레이트가 1 개인 모노스키를 사용한다.

최초의 sit-ski 는 1967 년 독일에서 Josef Shrall 에 의하여 고안되었다.<sup>(1)</sup> 이 모델은 두 개의 스키 플레이트와 브레이크 등으로 구성되었다. 1980 년대부터 sit-ski 에 대한 연구가 활발히 이루어졌으며 최초의 모노스키는 1980 년대 초에 오스트리아의 Horst Morokuti 등에 의하여 개발되었다. 현재 경기용으로 사용되

† Corresponding Author, hscho@korec.re.kr

는 장비들도 기본적인 구조는 이들이 개발한 모델을 따르고 있다. 기술의 발전은 시트의 경량화 및 신체 맞춤 기술, 링크 메커니즘의 최적화, 충격흡수장치의 개선 등에서 이루어져 왔다. Loskowski 등<sup>(2)</sup>은 안락감을 향상시키기 위한 시트 프레임을 개발하였다. 시트 프레임은 폴리머 복합소재를 이용하여 경량화되었으며, 이 복합소재 시트 프레임은 엉덩이와 허벅지 상단을 감싸는 형태를 가진다. 시트 프레임 안쪽에 폼 재질의 완충소재를 넣어 인체에 전달되는 충격 완화 및 안락감을 향상시킨다. 링크 메커니즘은 단축식 또는 4-bar 형태가 주로 사용되고 있으며 유압식 또는 공압식 충격완충장치와 결합되어 상하 거동이 가능하도록 구성된다. Hancock 등<sup>(3)</sup>은 복합소재 빔의 탄성력을 이용한 충격흡수 장치를 고안하였다. 현재 상용화된 제품들은 대부분 충격흡수장치로 유압식 또는 공압식 실린더를 사용하고 있다. Cabacece 등<sup>(4)</sup>은 4-bar, 6-bar, 8-bar 등 링크 구조에 따른 기구학적 거동특성을 분석하여 기구 메커니즘의 최적화 방안을 제시하였으며, 고저차가 일정한 높이로 반복되는 설면 패턴에 대한 주행 시뮬레이션을 수행하여 제시된 링크 메커니즘들의 탑승 안락감을 평가하였다. Langelier 등<sup>(5)</sup>은 탑승자 무게중심의 전후 방향 위치가 활강 성능에 영향을 준다는 것을 증명하기 위하여 사람을 탑승시킨 모노스키에 대한 무게 중심 및 관성모멘트 측정 장치를 고안하고 실험을 통하여 탑승자 위치에 따른 영향력을 분석하였다. 조 등<sup>(6)</sup>은 다양한 링크 메커니즘에 대하여 활강 및 리프트 탑승 시 모노스키의 거동 특성을 분석하여 링크 메커니즘의 설계 방향성을 제시하였다.

본 연구에서는 모노스키의 활강 성능 및 탑승자의 안전성을 향상시키기 위하여 충격완충장치의 효율적인 설계를 돕기 위한 평가방법을 제시하고자 하였다. 스키 선수들이 활강 시 속도는 100km/h 이상으로 빠르기 때문에 설면으로부터 전달되는 충격은 주기적인 진동 충격의 형태를 가진다. 이러한 외력 조건에 대한 평가방법으로 자동차 등 산업계에서 주로 사용되는 전신평진동에 따른 안락감 평가 방법이 있다. 다물체 동역학 시뮬레이션을 통하여 모노스키의 불규칙한 설면 활강을 모사하였으며 충격완충장치의 설계에 따른 안락감 평가를 통하여 충격완충장치의 설계 기준을 제시하였다.

## 2. 시뮬레이션 모델 개발

모노스키의 활강 시뮬레이션은 다물체 동역학 해석 S/W 인 RecurDyn™을 사용하여 수행하였다. 본 연구에서 사용된 모노스키는 관련된 연구에서 개발된 모델을 대상으로 하였으며 Fig. 1에 나타내었다. 대상 모델은 탑승자의 착석을 위한 시트부 및 다리받침, 스키 플레이트와의 연결을 위한 스키마운트, 4-bar 형태의 링크 메커니즘과 유압식 충격흡수장치로 구성된다. Fig. 2에는 개발된 모노스키의 구조 및 작동모습을 나타내었다. 활강 시에는 연결링크를 고정하여 충격흡수장치의 반응에 따라서 상하거동이 발생하며 리프트 탑승 시에는 연결링크를 해제하여 시트부를 수직 상승시킬 수 있다. 스키 플레이트를 제외한 부품들은 모두 강체로 모델링하였으며 스키 플레이트는 설면과 접촉하므로 설면의 형태에 따라 변형 가



Fig. 1 Developed proto-type model of mono-ski

능하도록 모델링하였다. 유한요소로 모델링할 경우 해석 시간 등이 많이 소요되고 본 연구의 관점은 충격흡수장치의 거동특성이므로 스키 플레이트를 다관절 강체로 구성하였다.(Fig. 3) 총 9 개의 강체와 8 개의 관절 및 각 관절에 회전 스프링을 부착하여 스키 플레이트의 굽힘 강성을 모사하였다. 강성 획득에 사용된 스키 플레이트와 바인더는 시중에 판매되는 Redster doubledeck SL 과 Atomic NeoX12 모델이다. 실측을 통하여 캠버 높이를 고려하였으며 굽힘 강성은 플레이트의 굽힘하중 시험을 통하여 얻었으며 Table 1 에 나타내었다.

스키 플레이트의 동적인 감쇄 계수를 구하기 위하여 외팔보 진동실험을 수행하였으며 초기변위, 정지 시간을 측정하여 진동주기를 획득하였다. 획득된 감쇄 계수는 0.4이다. 모노스키에 탑승시킬 인체더미는 머리, 몸통, 대퇴, 하퇴로 구분된 4개의 강체를 부싱으로 연결하고 부싱의 강성을 조절하여 과도한 외력 발생 시에 강체 간에 상대거동이 일어날 수 있도록 하였다. 상대거동은 시상면을 관통하는 수직축 방향에 대한 회전 자유도만 허용하고 있다. 인체더미의 중량은 약 90kg이다. 활강 시물레이션을 위해 구성한 모노스키 모델을 Fig. 4에 나타내었다.

Table 1 Put table title put table title Put table title

Spring Element	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
Stiffness (FL/R)	400	500	2000	2500	1900	800	750	800

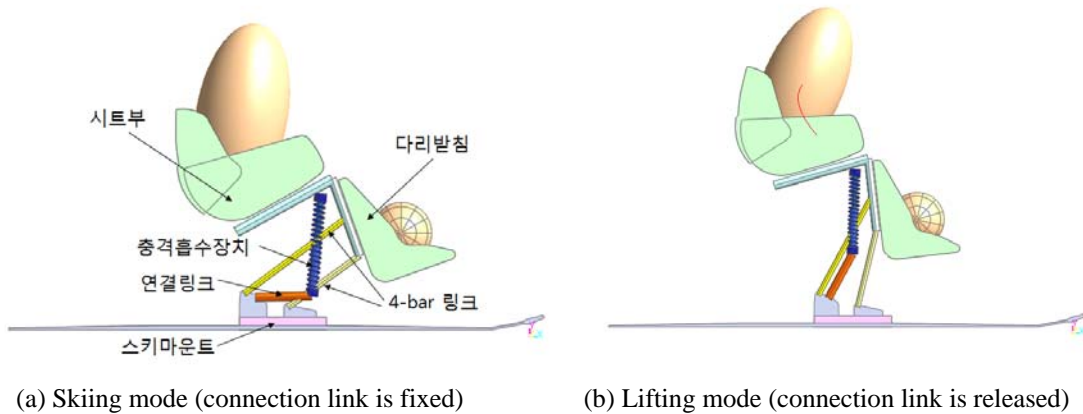


Fig. 2 Developed proto-type model of mono-ski

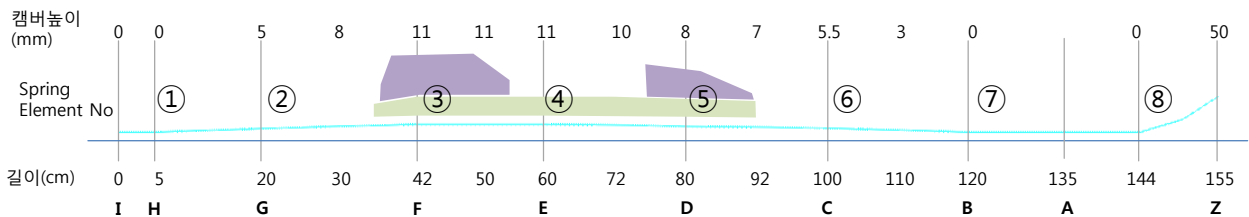


Fig. 3 Multi-body ski plate

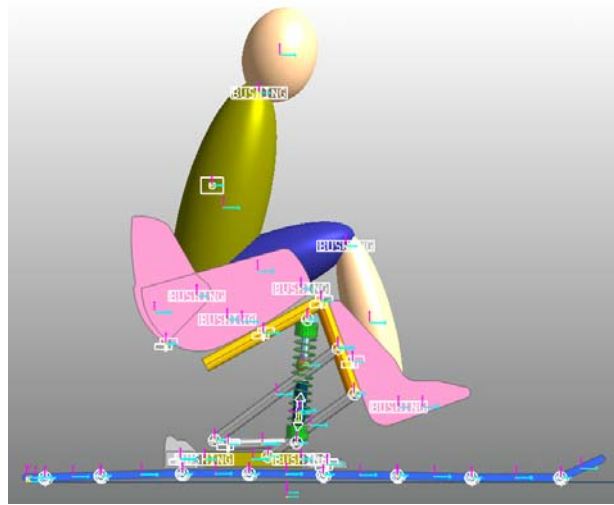


Fig. 4 Mono-ski simulation model for dynamic skiing

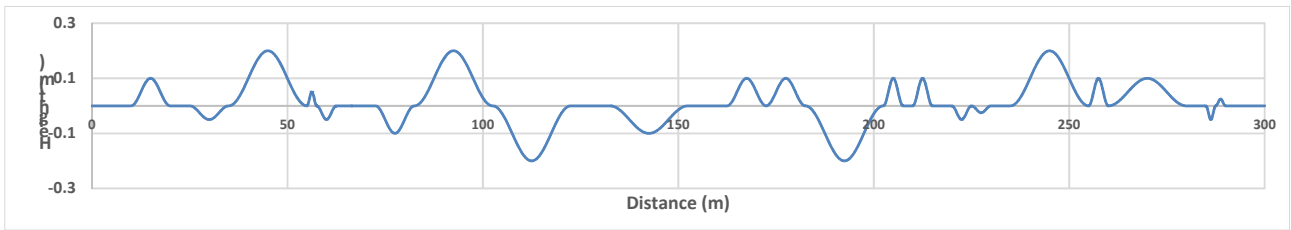


Fig. 5 Irregular snow surface profile for skiing simulation

스키 활강을 실제와 같은 조건으로 시뮬레이션 상에서 구현하는 것은 매우 어렵다. 활강은 입체적인 궤적을 따라 진행되며 반복되는 턴 동작과 스테빌라이저(스키 폴대의 역할을 하는 모노스키용 기구)를 이용한 감속 및 균형 유지 동작 등으로 이루어진다. 시뮬레이션에서는 탑승자의 신체 거동 및 스테빌라이저를 이용한 능동제어를 구현하기가 매우 어렵기 때문에 본 연구에서는 직선 주행만을 수행하도록 하였다. 활강 중 설면으로부터 전달되는 충격을 발생시키기 위하여 수직으로 고저차가 있는 설면 프로파일을 구성하였다. 이 프로파일은 다양한 진폭과 주기를 가지는 sinusoidal curve로 구성하였다. 설면 프로파일의 전체길이는 300m이며 Fig. 5에 나타내었다. 설면은 강체로 모델링하였으며 스키 플레이트와 접촉 모델 파라미터를 다음과 같이 설정하였다. 접촉 강성 10 kN/m, 감쇄 계수 5kNs/m, 동적 마찰계수 0.07, 정적 마찰계수 0.1이다. 이 파라미터들은 실제 눈의 접촉 특성과는 관계가 없으며 다만 눈이 약간의 충격을 흡수할 것이라는 가정 하에 활강 시뮬레이션 테스트를 통하여 강체간의 충돌에 따라서 접촉하중이 급격하게 큰 값을 가지지 않도록 조정된 값이다.

모노스키의 충격완충을 위한 유압 댐퍼는 스프링과 유압 실린더로 구성된다. 유압 실린더는 노즐의 크기 조절을 통하여 감쇄 량의 조절이 가능하도록 설계하였다. 노즐 크기는 조정 기구의 각도에 따라서 변화된다. 조정 기구의 각도 범위는 0° ~ 360° 이며 각도가 클수록 노즐의 크기가 커지도록 설계하였다. 유압 댐퍼의 역학적 특성을 시뮬레이션에 구현하기 위하여 속도, 노즐 크기, 거동 방향에 따른 하중 시험을 수행하였다. RecurDYN에서 제공하는 스프링 요소는 스프링 계수와 감쇄 계수를 가진다. 사용된 유압 실린더는 속도에 따른 비선형적 하중 특성을 가지므로 감쇄 계수를 상수가 아닌 실험으로부터 획득한 데이터를 이용한 관계식으로 처리하였다. Fig. 6에 보이는 하중 시험을 통하여 다양한 속도로 변위 제어 구동을 하였을 때 발생하는 하중을 측정하였다. 측정된 결과를 Fig. 7에 그래프로 나타내었다. 실험 결과를 분석하여 속도에 따른 감쇄 계수를 산출하였다. 속도에 따른 감쇄 계수는 거동방향에 따라 다르게 나타났기 때문에 압축방향 감쇄 계수와 인장방향 감쇄 계수를 구분하여 정의하였다. 획득된 감쇄

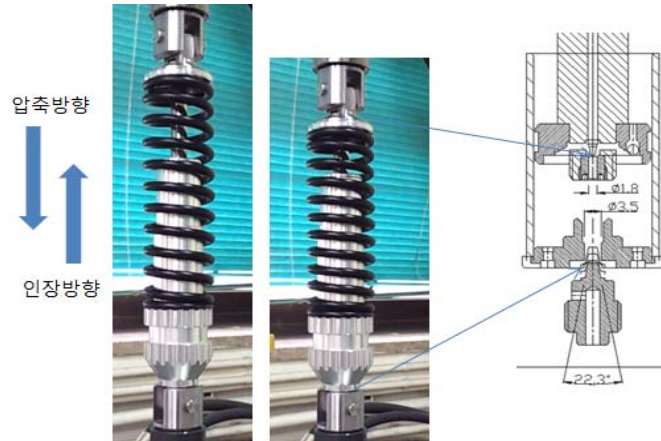


Fig. 6 Hydraulic damper load-displacement experimental setup

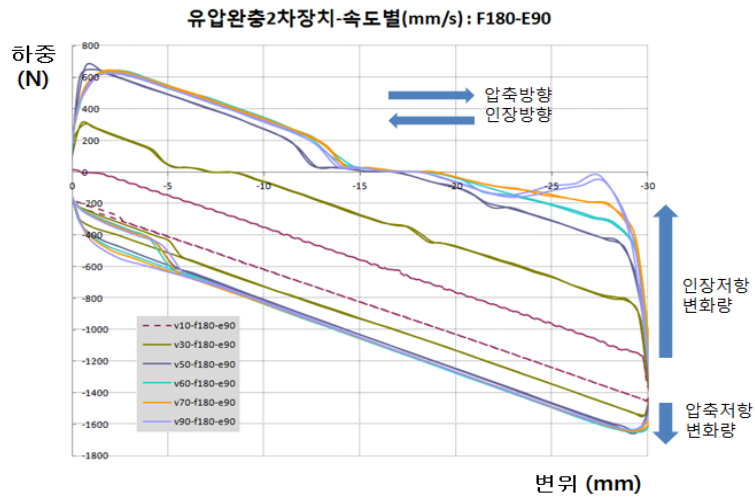


Fig. 7 Load-displacement relationship of hydraulic damper

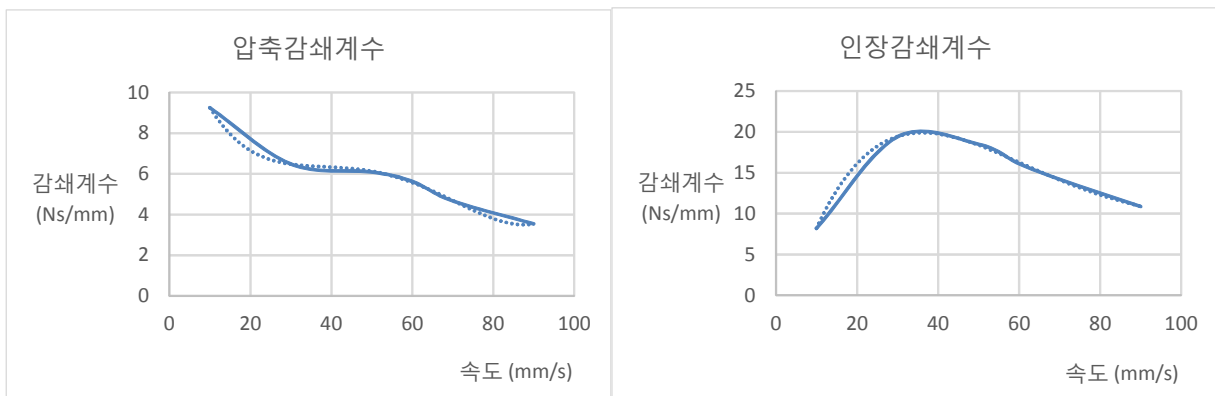


Fig. 8 Damping coefficient of hydraulic damper with respect to speed

계수를 속도에 대한 그래프로 Fig. 8에 나타내었다. 압축 감쇄 계수의 경우 노즐 설정은 노즐 조정에 따라 감쇄 계수가 변화하므로 노즐 크기와 감쇄 계수의 상관관계를 구하였다. Fig. 9에는 노즐 크기에 따른 감쇄 계수의 변화를 보여주고 있다. 노즐 크기에 따른 감쇄 계수는 기준 노즐 크기에 대한 비율로 정규화 되었으며 기준 노즐의 크기는 압축 방향 90°, 인장 방향 180° 이다. 압축 방향의 경우 노즐을

최대한 작게 조정하였을 때(0°) 기준 노즐 설정에 비하여 2.9배 감쇄 계수가 커지고, 노즐을 최대한 크게 조정하였을 때(360°) 기준 노즐 설정에 비하여 0.8배의 감쇄 계수를 가지게 된다. 획득한 감쇄 계수를 이용하여 속도와 노즐 설정에 따른 감쇄 계수와의 관계를 도출하였다. 이 상관관계는 속도에 대한 감쇄 계수의 상관관계 커브로 표현될 수 있으며 노즐 설정에 따른 가중치를 부여하도록 구성하였다. 기준 노즐 설정에서 속도와 감쇄 계수의 관계를 나타내는 커브를 Fig. 10에 나타내었다.

활강 시뮬레이션은 인체 더미를 탑승시킨 모노스키가 72km/h(20m/s)의 초기속도로 주어진 300m 길이의 설면 프로파일을 주행하도록 구현하였다. 설면 프로파일은 수평면에 적용되어 있기 때문에 모노스키가 가속되지는 않으며 설면의 동적 마찰계수(0.07)에 의하여 약간의 감속은 발생하지만 초기 속도를 거의 유지하게 된다. 시뮬레이션 수행 결과에 따르면 주행이 끝난 시점에서 약 1m/s 정도의 감속이 발생하였다.

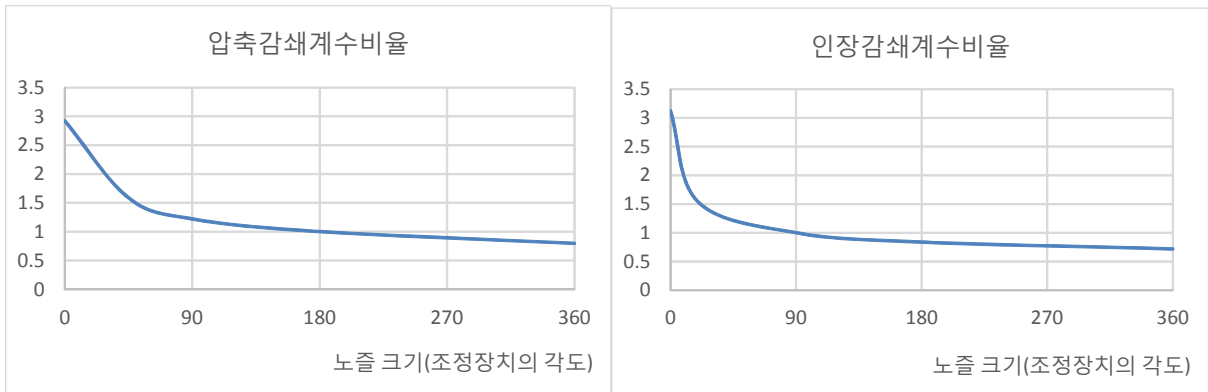


Fig. 9 Damping coefficient of hydraulic damper with respect to nozzle size

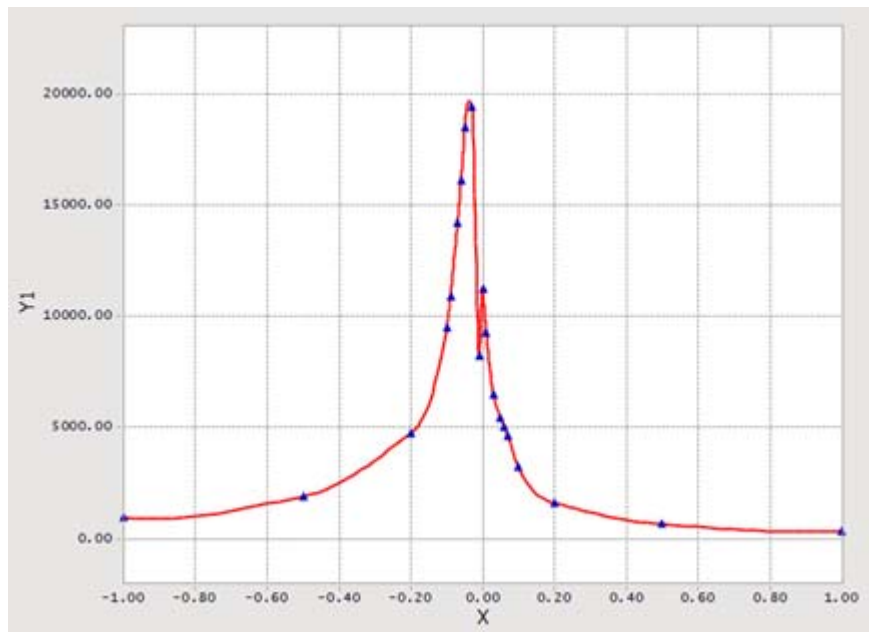


Fig. 10 Relationship between speed and damping ratio of hydraulic damper : x axis means speed (m/s;+ direction means compression), y axis means damping ratio (Ns/m)

### 3. 스키 활강에 대한 안락감 평가 방법

자동차 산업계에서 탑승감 평가 등에 주로 활용되고 안락감 평가 방법을 응용하여 모노스키 활강 시 인체가 느끼는 안락감을 평가하였다. 안락감 평가 방법으로 다양한 방법들이 존재하지만 본 연구에서 사용한 BS6801 규격<sup>(7)</sup>에 따른 방법은 실질적으로 산업계에서 주로 많이 사용되는 방법이다. 주기적인 진동 하중이 인체에 가해졌을 때 멀미, 통증, 호흡곤란 등과 같은 감각, 생리, 신체적인 위해 현상이 발생한다. BS6801 규격에서는 전신평진동에 의하여 인체에 발생하는 영향을 건강, 행동, 불편감(안락감), 가속도병의 4가지로 분류하고 있다. 이러한 영향들을 발생시키는 요인은 가해지는 외력에 의한 가속도의 누적 값에 비례한다. 4가지의 위해현상은 가해지는 가속도의 방향 성분과 신체의 위치에 의하여 분류되며 이 중 안락감에 관계된 가속도 요소가 가장 많은 신체의 위치와 가속도의 방향 성분을 고려하고 있다.<sup>(7)</sup>

모노스키는 앉아서 탑승하므로 둔부에 전달되는 가속도만을 가지고 안락감을 평가하게 된다. 실제 활강에서는 회전동작이 이루어지므로 측방향 가속도가 발생하지만 시뮬레이션 상에서는 굴곡진 설면을 직진 주행만 하므로 둔부에 전달되는 충격 가속도는 수직방향과 진행방향 성분만을 고려한다. BS6841 규격에 따르면 신체에 전달된 가속도에 가중치가 부여하여 시간에 대한 누적량을 안락감을 평가하는 물리량으로 정의하고 있다. 이를 VDV(Vibration Dose Value)라고 명칭하며 식 1에 나타내었다. VDV값이 클수록 인체가 느끼는 불편감이 크다. 가중치 부여는 MATLAB Simulink를 사용하여 수행하였다.(Fig. 11)

$$VDV = \left( \int_0^T a_w^4(t) dt \right)^{1/4} \tag{1}$$

유압 댐퍼의 스프링 강성 및 노즐 설정에 따른 모노스키 활강의 안락감을 비교 평가하였다. 스프링 강성은 20 N/mm, 40 N/mm, 60 N/mm 의 3가지를 선정하였다. 활강 시 체중에 의한 충격하중을 체중의 최대 3배로 볼 때, 90kg의 체중의 경우 2700N 정도가 예상된다. 설계된 유압 댐퍼의 스프링 구동 가능 변위는 약 70mm 정도이므로 제시된 3가지 강성의 스프링들의 최대 변위에서의 하중은 1400N, 2800N, 4200N이다. 유압 댐퍼의 노즐을 최소화 하였을 경우 약 1000N 정도를 발생하므로 30 N/mm 강성 모델의 경우 2400N 이상의 하중이 인가될 경우 이론적으로는 완충 기능이 사라질 것으로 예상할 수 있다. 노즐 설정은 압축 및 인장 노즐 각각에 대하여 감쇄계수 비율이 1과 2가 되는 2가지 노즐 설정을 사용하였

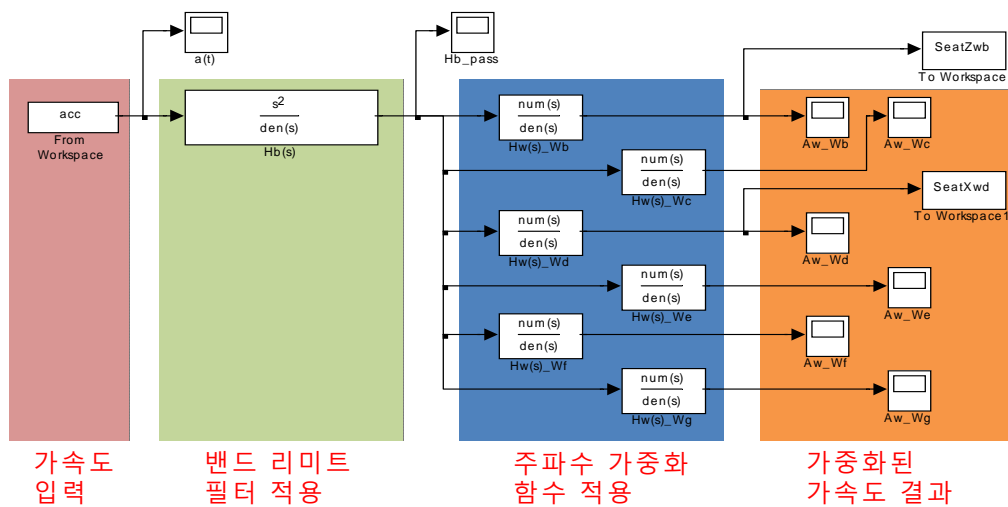
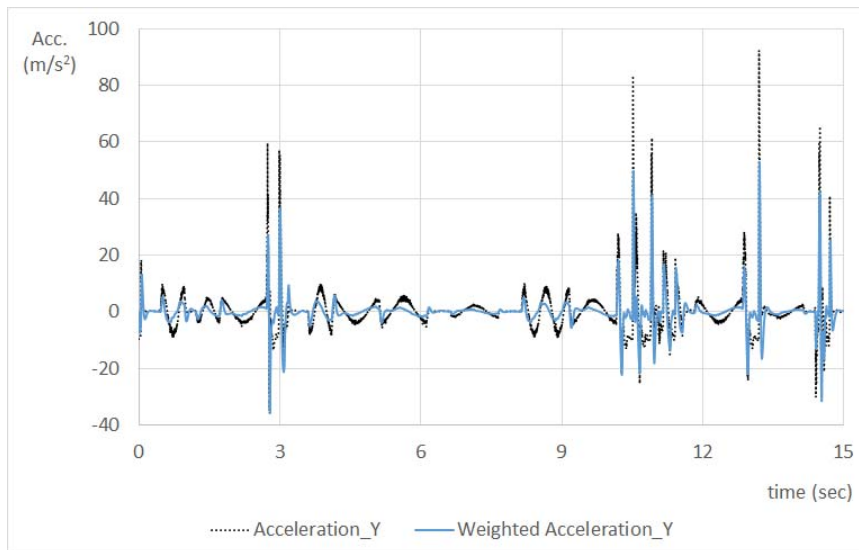


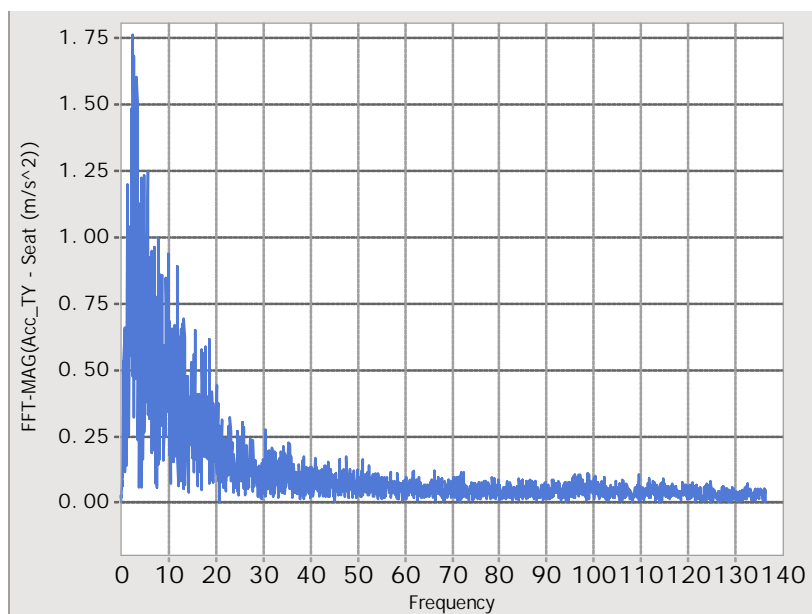
Fig. 11 Schematic diagram of applying frequency weight to the acceleration in MATLAB Simulink

**Table 2** Hydraulic damper settings due to the spring stiffness and nozzle size

강성에 따른 조건	노즐 설정에 따른 조건			
	압축 감쇄계수 비율 = 1		압축 감쇄계수 비율 = 2	
	인장 감쇄계수 비율 = 1	인장 감쇄계수 비율 = 2	인장 감쇄계수 비율 = 1	인장 감쇄계수 비율 = 2
20 N/mm	S20-C1-T1	S20-C1-T2	S20-C2-T1	S20-C2-T2
40 N/mm	S40-C1-T1	S40-C1-T2	S40-C2-T1	S40-C2-T2
60 N/mm	S60-C1-T1	S60-C1-T2	S60-C2-T1	S60-C2-T2



**Fig. 12** Acceleration during skiing of mono-ski with hydraulic damper set to S20-C1-T1



**Fig. 13** Frequency response of acceleration in case of S20-C1-T1



**Table 3** VDV values of skiing simulation with respect to hydraulic damper conditions

강성에 따른 조건	노즐 설정에 따른 조건			
	압축 감쇄계수 비율 = 1		압축 감쇄계수 비율 = 2	
	인장 감쇄계수 비율 = 1	인장 감쇄계수 비율 = 2	인장 감쇄계수 비율 = 1	인장 감쇄계수 비율 = 2
20 N/mm	25.36	26.17	30.94	31.71
40 N/mm	25.68	26.45	30.93	31.55
60 N/mm	25.30	26.05	30.37	31.68

unit : m/s<sup>1.75</sup>

다. 이에 따라 각각의 조건들을 조합하여보면 총 12가지의 조건이 발생하게 된다.(Table 2) 결과 분석에서는 각 조건에 따른 명칭을 표에 나타낸 바와 같이 20-1-2 등으로 표시하였다.

#### 4. 결론

시뮬레이션 수행 결과, 300m의 프로파일을 주행하는데 걸리는 시간은 약 15초 정도였으며 계산 소요 시간은 약 40분 안팎으로 나타났다. Fig. 12에는 스프링 상수가 20 N/mm인 스프링과 유압 댐퍼의 감쇄계수 비율이 압축/인장 방향 모두 1인 노즐 설정을 가진 유압 충격흡수장치가 장착된 모노스키에 대한 결과로써 시트부에서 측정된 수직방향 가속도 값과 VDV 산출을 위하여 주파수 가중치를 부여한 가중화된 가속도 값을 같이 보여주고 있다.

설면의 고저차가 급격히 변화하는 시점에서 큰 충격 가속도가 발생하였으며 가중화된 가속도는 실측 가속도보다 진폭이 다소 줄어드는 것을 확인할 수 있다. Fig. 13에는 S20-C1-T1 조건의 활강 주행에 대한 시트부의 수직축 방향 가속도의 주파수 특성을 보여주고 있다. 2~4Hz 영역에서 가장 큰 값을 보여주고 있다. 이 주파수 영역은 주로 호흡기에 영향을 주는 주파수 영역이다. 또한 3~6Hz는 인체가 심한 공진을 느끼는 영역으로 이 영역에 대한 수치도 존재하므로 이에 따라 불편감을 느끼게 된다.

Table 2에 나타낸 바와 같이 12가지 조건에 대하여 활강 주행 시뮬레이션을 수행하였으며 산출된 VDV를 Table 3에 나타내었다. VDV를 산출한 결과, 안락감에 가장 큰 영향을 주는 가속도 요소는 수직방향 가속도였으며 진행방향 및 측방향 가속도는 거의 영향을 주지 않았다. 따라서 Table 3에 나타낸 VDV 값에는 수직방향 가속도 성분만을 고려하였다. 수치가 클수록 불편감이 큰 것이며 압축 감쇄계수 비율이 가장 큰 영향을 주고 있다. 스프링 강성의 차이는 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타나고 있으며 인장 감쇄계수 비율은 감쇄계수가 2배로 증가할 경우 약간의 불편감이 증가하는 것으로 나타났다. 설계된 유압 실린더 모델은 강성의 영향이 무시될 만큼 감쇄 계수가 큰 것을 알 수 있다. 즉, 설계된 유압 실린더의 노즐 크기가 너무 작아서 감쇄계수가 매우 큰 상태이며 최적의 조건에서 크게 벗어나 있다. 감쇄계수의 노즐의 크기를 키우고 감쇄계수의 조정 영역을 늘려서 다양한 감쇄량에 따른 특성 분석이 필요하다.

Fig. 12의 가속도 특성을 보면 주어진 설면 조건은 주기적인 진동 특성보다는 간헐적인 충격 특성이 주로 나타난 것을 알 수 있다. 실제로 고속으로 스키 활강을 할 때에 고주파에 가까운 주기적인 진동 특성이 전달되며 이러한 조건이 인체에 주는 영향이 본 연구에서는 다루어지지 않았기 때문에 향후 설면의 조건을 조정하여 이러한 특성을 분석해야 할 것이다.

본 연구는 시뮬레이션을 통한 안락감 평가 방법을 제시하였으며 제시된 방법이 실제 상황에서 탑승자

가 느끼는 결과와 연관성이 있는지 확인해보고자 하며 이와 관련한 실험을 계획 중이다.

## 후 기

본 논문은 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금의 지원에 의한 연구 결과임.

## 참고문헌 (References)

- (1) McCormick, D. P., 1985, "Handicapped skiing: A current review of downhill snow skiing for the disabled," *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, Vol. 4, No. 3, pp. 27-44
- (2) Laskowski, E. R., 1991, "Snow skiing for the physically disabled," *Mayo Clinic Proceedings*, Vol. 66, No. 2, pp. 160~172.
- (3) Hancock, W., Owen, J. and Wolfe, B., 1994, "The western mono-ski," *NSF engineering senior design projects to aid the disabled*, pp. 194~197.
- (4) Cavacece, M., Smarrini, F., 2005, P.P. Valentini and L. Vita, "Kinematic and dynamic analysis of a sit-ski to improve vibrational comfort," *Sports Engineering*, Vol. 8, No. 1, pp. 13~25.
- (5) Langelier, E., Martel, S., Millot, A., Lessard, J. L., Smeesters C., and Rancourt, LD., 2013, "A sit-ski design aimed at controlling centre of mass and inertia," *Journal of Sports Sciences*, Vol. 31, No. 10, pp. 1064~1073.
- (6) 조현석, 김규석, 조 옹, 문무성, 2013, "장애인용 모노스키 서스펜션 메커니즘의 기구학적 특성 분석," *한국정밀공학회 춘계학술발표대회*, pp. 1129~1130.
- (7) British Standards Institution, 1987, Guide to Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock, *BSI*