

# 운전 숙련도에 따른 자동차 페달시스템 유형이 운전자세에 미치는 영향

이 재 훈\* · 장 영 관\*\* · 오 형 술\*\* · 하 중 규\*\*\*

\*나사렛대학교 재활스포츠연구소 · \*\*강원대학교 산업경영공학과 · \*\*\*한국 스포츠 클리닉 & 공학 연구소

## Effect of Driver's Posture with Different Car Pedal Systems and Skilled Levels

Jae-Hoon Yi\* · Young-Kwan Jang\*\* · Hyung-Sool Oh\*\* · Chong-Ku Hah\*\*\*

\*Adapted Physical Activity Laboratory, Korea Nazarene University

\*\*Dept. of Industrial & Management Engineering, Kangwon National University

\*\*\*Korea Institute of Sports Clinic & Engineering

### Abstract

The purpose of this study was to compare drivers' postures with different car pedal systems and skilled levels. Fourteen subjects participated in this experiment and for three-dimensional analyses, six cameras (Proreflex MCU-240, Qualisys) were used to acquire raw data. The parameters were calculated and analyzed with Visual-3D. In conclusion, the patterns of pelvic, hip, knee and ankle joint angles were different as to pedal systems and skilled levels, and distal joints ROA pelvis have large angles. ROA(range of angle) of a double pedal system was small, but ROA of a single pedal system was large. These findings suggested that we should improve a present single pedal system.

**Keywords :** Pedal System, Driver's Posture, Joint Angle, Range of Angle

### 1. 서 론

현대인들에게 자동차 운전은 매일 반복되는 일상 활동이며, 운전하는 시간도 하루의 활동시간에서 많은 비중을 차지하는 중요한 활동이다. 특히 자동변속장치(automatic transmission)가 모든 승용차에 적용되면서, 현대인들은 매일 반복되는 운전을 통해 오른발 한 발만을 장시간 사용하게 된다. 그 결과 반복적이고 누적되는 동작으로 인하여 하지 근골격계 질환이 발생하여 통증을 호소한다[1]. 또한, 지금까지 차종에 관계없이 운전자가 브레이크 페달 대신에 가속페달을 밟는 페달

오작동(pedal misapplication)에 의한 심각한 사고가 지속적으로 발생하고 있으며 이는 인간 오류로 인한 제어 실패의 결과물이다[2].

기존의 페달시스템은 외발(오른발)만으로 자동차를 제어하므로 오른쪽 하지의 사용빈도가 많고 페달을 잘못 인지하여 밟는 경우가 발생한다. 그러나 양발이 각각 하나의 페달을 전담하여(왼발: 가속페달, 오른발: 브레이크 페달) 작동하는 양발 페달시스템은 양발을 사용하므로 편측 하지의 사용횟수 감소를 가져오며, 페달을 밟기 위하여 발을 이동하지 않기 때문에 페달을 잘못 인지하여 작동하는 오류를 줄일 수 있다.

† 교신저자: 장영관, 강원도 삼척시 중앙로 346, 강원대학교 산업경영공학과

M · P: 010-3470-6585, E-mail: ykjang@kangwon.ac.kr

2012년 4월 20일 접수; 2012년 6월 11일 수정본 접수; 2012년 6월 11일 게재확정

많은 연구자들은 페달 오작동과 페달디자인의 관계를 정량화 하려고 시도하였다. 그 결과 페달디자인이 페달 오작동에 중요한 요인이라고 주장하는 그룹이 있는 반면 여전히 페달디자인과 페달 오작동과는 통계적으로 유의하지 않다는 그룹으로 분리되어 심각한 논쟁거리가 되고 있다[3][4]. 또한, 다른 연구자들은 기존의 페달 배치를 피하고 브레이크 반응시간(brake reaction time)감소로 야기되는 페달 오동작으로 인한 사고율을 감소시키기 위한 획기적인 디자인의 변화가 필요하다고 하였다[5]. 이러한 연구자들은 중심축을 중심으로 앞꿈치를 밟아 가속기능을, 뒷꿈치를 밟아 브레이크 기능을 가지는 일체형 페달시스템을 자체적으로 평가하였다. 이 연구에서 실험 대상자들은 새로운 페달시스템의 장치사용법을 빨리 익히고 오류동작도 거의 없었으므로 기존의 페달시스템보다 우수하다고 하였다. 그러나 스웨덴의 볼보자동차 회사가 디자인의 공학적 가능성을 실증하고 몇 가지 시제품을 만들어 실험한 결과, 연구자들은 페달 디자인과 페달 오작동과의 상관성을 도출하는데 실패하였다[6]. 그리고 NTSB(2005)는 페달 디자인 실험에 대한 결과가 변동성이 크게 나타나 페달 디자인이 페달 오작동과 급작스런 가속의 원인이라는 아무런 합의도 견인할 수 없다고 하였다[7]. 이와 같이 페달시스템을 변화시켜야 한다는 적극적인 그룹과 오작동과는 무관하니 페달시스템을 굳이 변경할 필요 없다는 소극적인 그룹으로 분리되어 있다. 이러한 상반되는 주장은 기업적인 견해와 정치, 사회, 문화적인 이해관계 등 복잡한 요인을 내포하고 있다.

오작동이란 인간의 신체 및 인지의 한계 때문에 야기되는 인간오류로서 시스템의 사용성에 매우 민감하다. 그러므로 기존의 외발 페달시스템과 새로운 페달시스템에 대한 인간의 동작평가가 필요하며, 특히 장시간 운전하는 직업 운전자의 경우는 양발을 사용하여 자동차를 제어하는 것이 근골격계질환 예방측면에서 효과적이라고 생각된다.

그러나 기존의 연구는 숙련자만을 대상으로 심·생리적인 영역에서의 주관적 평가가 주류를 이루어 왔다. 따라서 작업환경의 새로운 변화를 견인할 수 있는 페달시스템의 변화와 운전자의 숙련도에 따른 운전자세의 정량적인 비교 연구는 매우 현실적이다. 그럼에도 불구하고 현재까지 한국에서 한국인을 대상으로 페달시스템 유형(외발 vs 양발시스템)과 숙련도를 고려한 3차원 하지자세 변화에 관한 연구는 거의 이루어지지 않은 상황이다. 그러므로 본 연구에서는 자동차 페달시스템유형에 따라 숙련자와 비숙련자의 하지 관절각의 3차원 패턴과 하지관절각의 ROA(range of angle) 차이를 검정하고자 다음과 같은 가설을 설정하였다.

첫째, 숙련군은 페달시스템의 유형에 따라 골반 및 하지관절의 각범위(ROA)가 차이가 있을 것이다.

둘째, 비숙련군은 페달시스템의 유형에 따라 골반 및 하지 관절의 각범위(ROA)가 차이가 있을 것이다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 대상자의 특성

본 실험을 위한 대상자는 K대학교 재학생 14명의 남학생을 대상으로, 운전면허증을 소지하고 실제로 2년 이상 운전경험이 있는 학생 7명을 숙련군으로 운전경험이 전혀 없는 학생 7명으로 비숙련군으로 분류하였으며 신체적 특성의 평균±표준편차는 <표 1>과 같다.

<표 1> 대상자의 특성

| 구분        | 신장<br>(cm) | 체질량<br>(kg) | 연령<br>(yrs) |
|-----------|------------|-------------|-------------|
| 숙련군       | 175        | 72          | 24          |
| (면허 소지자)  | ±3.51      | ±15.77      | ±1.57       |
| 비숙련군      | 177        | 67          | 22          |
| (면허 무소지자) | ±4.47      | ±9.53       | ±1.98       |
| 전체        | 176        | 69          | 23          |
|           | ±3.95      | ±12.65      | ±2.00       |

### 2.2 분석국면 및 이벤트

분석 국면은 두 시스템 모두 발이 브레이크 페달(break pedal)과 액셀 페달(acceleration pedal)에 접촉하는 순간부터 이지하는 순간으로 2 국면 4 이벤트로 다음과 같이 설정하였다.

양발 시스템의 국면

국면 1: 오른발로 브레이크 밟는 순간 -오른발이 브레이크에서 이지하는 순간

국면 2: 왼발이 액셀을 밟는 순간 -왼발이 액셀에서 이지하는 순간

외발 시스템의 국면

국면 1: 오른발로 브레이크 밟는 순간 -오른발이 브레이크에서 이지하는 순간

국면 2: 오른발이 액셀을 밟는 순간 -오른발이 액셀에서 이지하는 순간

### 2.3 실험 절차 및 방법

승용차의 페달시스템 유형이 운전자의 자세에 미치

는 영향을 평가하고자 양 발을 사용하는 양발 페달시스템(왼발: 액셀페달 전담/ 오른발: 브레이크 페달 전담)과 외발 페달시스템(오른발을 사용하는 기존 자동차 페달시스템)에 대하여 두 집단(숙련군과 비숙련군)으로 분류하였으며 신발 차이에 의한 자료의 오염을 방지하기 위하여 동일회사의 동일 종류의 신발을 대상자가 편리한 크기를 선택하도록 하였다. 그리고 연구대상자들에게 실험의 필요성, 목적 및 실험 절차를 충분히 설명하고 참여 동의를 득한 후 실험을 실시하였다. 실험설계는 각 숙련자와 비숙련자에 대하여 일원급내설계(one-way factorial and within subject design)를 하였으며 대상자들이 운전 시뮬레이터에 익숙해지도록 하기 위해 본 실험 전에 2개월 간 주 3회 이상의 개인별 연습일정을 계획하여 실행하였다. 실험에 사용된 운전 시뮬레이터는 브레이크 및 가속페달, 핸들, 가상 주행환경, 운전좌석 및 6대의 동작분석용 카메라로 구성되었다. 실험에 사용된 가상주행환경은 <그림 1>과 같이 Atari사(USA)의 Test Drive (Unlimited PC, 2007)를 이용하였다.



<그림 1> 실험 장비

하지 각범위는 운전좌석에 매우 종속적인 요인이므로 운전자가 가장 편안한 자세를 취할 수 있도록 좌석의 전·후와 높이를 조정하게 하였다. 그리고 대상자의 주행구간은 운전하는 동안 브레이크와 액셀 페달의 작동 상황이 충분히 발생할 수 있는 구간으로 선정하였으며 동일한 구간을 3회 반복 주행하도록 하였다. 반복으로 인한 피로, 학습 효과, 전이효과를 줄이기 위해서 한 대상자를 연속으로 실험하지 않고 무작위 순으로 실험을 수행하였다. 대상자가 실험하는 동안 운전 집중할 수 있도록 주행시간 내에 3대의 차량을 추월해야 하는 과제를 부여하였으며, 충돌사고 시에는 주행을 처음부터 다시 하도록 하였다. 또한, 운전 중에 대상자가 신호나 제한속도 등을 준수하며 주행하도록 대상자의 운전 상태를 실험 진행자가 통제하였으며 주행 시나리오 오는 <표 2>와 같다.

<표 2> 주행 시나리오

| 운행 조건      | 제한 내용   |
|------------|---|
| 주행 시 준수사항  | <ul style="list-style-type: none"> <li>구간별 제한속도를 지킨다.</li> <li>신호등을 지킨다.</li> </ul> |
| 좌(우)회전     | 좌회전: 3회, 우회전: 4회  |
| 신호등 및 속도제한 | 신호등: 5회, 속도제한: 3회   |
| 주어진 과제     | <ul style="list-style-type: none"> <li>충돌사고 시 재실험</li> <li>3대의 차량을 추월</li> </ul>    |

## 2.4 인체의 좌표화 및 연구 변인 정의

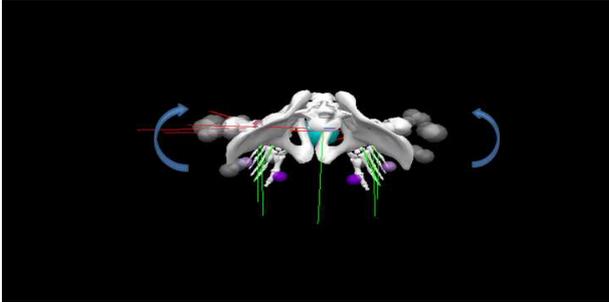
인체는 NLT(Nonlinear transformation)방식으로 3차원 좌표화하였고 Visual 3D(C-motion Inc., USA)의 마커 시스템에 준하여 <그림 2>와 같이 부착하였다.



<그림 2> 마커 부착점

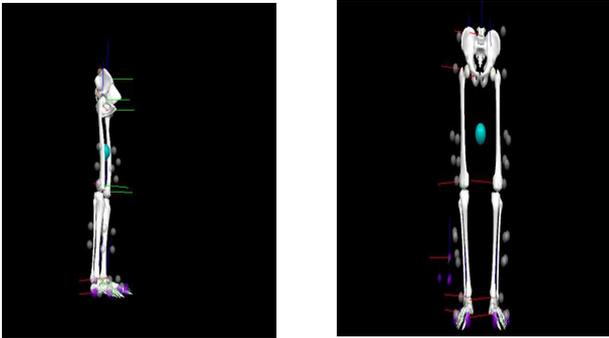
연구변인은 주행 중 운전자의 페달시스템에 따른 숙련자와 비숙련자의 골반 절대각(Absolute angle of pelvis), 고관절각(Relative angle of hip), 슬관절각(Relative angle of knee)과 족관절각( Relative angle of ankle)의 변화패턴과 각범위(ROA)이며 축방향은 전 방향이 Y축(좌우 회전축), 상방향은 Z축(수평면 회전축)이며 나머지 X축(전후 회전축)은 오른손 법칙에 따라 방향을 정하였다.

골반 절대각은 <그림 3>과 같이 골반(pelvis)의 스텐딩 자세가 0°이며 우측회전각, 후경각과 우경각이 (+)이며 좌측회전각, 전경각과 좌경각이 (-)이다.



<그림 3> 골반 스탠딩

하지 관절각은 <그림 4>와 같이 족관절각은 스탠딩 자세인 90°가 0°이며 방향은 저측굴곡, 외번과 회외는 (+), 배측굴곡, 내번과 회내(-)이며 슬관절각과 고관절각은 스탠딩 자세인 180°가 0°이며 신전, 외전과 회외는 (+), 굴곡, 내전과 회내는 (-)로 정의 하였다.



<그림 4> 하지 스탠딩 자세(좌: 시상면, 우: 전두면)

## 2.5 자료 및 통계처리

동작분석을 위하여 동일한 구간을 3회 주행한 영상 자료를 Qualisys System의 QTM (Motion Capture Software)을 이용하여 위치좌표(raw data)로 변환한 후 이 원자료를 Visual-3D software(C-motion Inc., USA)로 강제분절로 모델링한 인체에 적용하여 연구변인을 산출하였다.

기술통계 처리를 위하여 상대각(고관절각, 슬관절각 및 족관절각) 및 절대각(골반각)의 평균치를 사용하였으며 그래프화하였다. 또한 통계적 검정을 위하여 SPSS 16.0의 대응표본 t-test를 사용하였으며, 유의수준은  $\alpha = .05$  로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

두 페달 작동 시스템 유형에 따른 하지 관절각의 변화와 ROA 변인의 패턴은 다음과 같다

### 3.1 하지 관절각 패턴비교

두 페달시스템에 대한 하지 관절각의 변화는 적색선은 숙련자 흑색선은 비숙련자를 나타내며 실선은 양발 페달시스템이고 점선은 외발 페달시스템이다. 그리고 브레이크페달을 사용할 때의 관절각을 BP(Break Pedal)-관절각으로 액셀페달을 사용할 때의 관절각을 AP(Acceleration Pedal)-관절각으로 표기하였다.

#### 3.1.1 골반 절대각 패턴

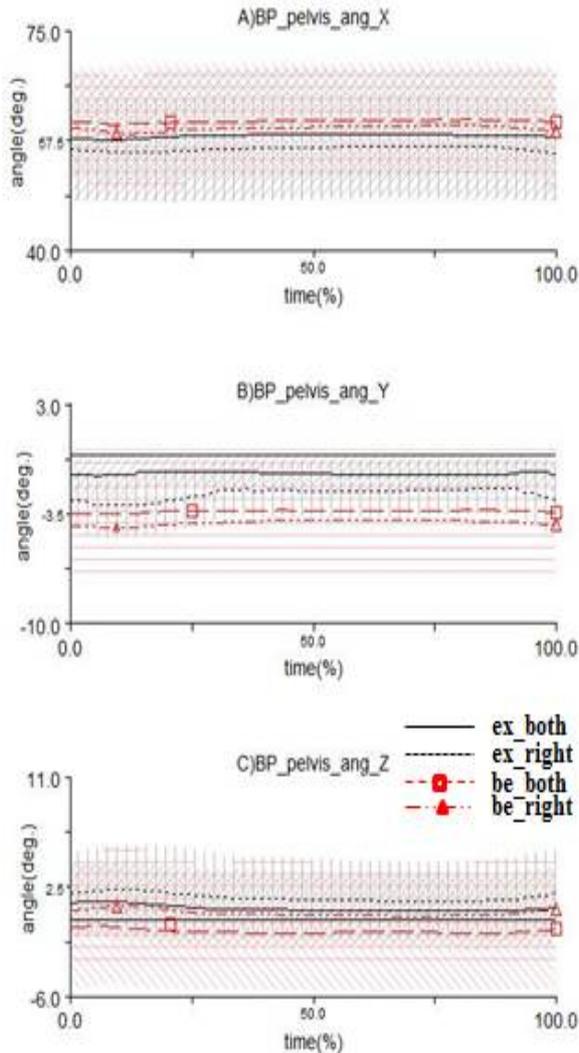
브레이크 밟을 때 골반의 후경각은 숙련군이 비숙련군보다 모든 페달시스템에서 작게 나타났고 모든 군(숙련군과 비숙련군)의 양발시스템이 외발시스템보다 약간 크게 나타났다(그림 5, 상).

이는 두 시스템에서 숙련군이 비숙련자보다 골반을 세우고 브레이크 페달을 밟으므로 장시간 운전 시 피로가 작을 것으로 사료되며 양발 페달시스템이 외발시스템보다 골반을 후방으로 더 기울인 채 페달링하는 것은 양발을 모두 사용하여 자세의 변화가 불필요하기 때문이다. 이에 반해 외발시스템은 오른발을 이동하면서 페달을 밟아야 하기 때문에 상대적으로 골반을 세워 신속하게 발을 이동하려는 의도에서 기인한 자세로 사료된다.

그리고 브레이크 밟을 때 골반의 좌경각은 숙련군이 비숙련군보다 작게 나타났으며 숙련정도에 관계없이 양발 시스템에서 작게 나타났다(그림 5, 중). 이것은 숙련군의 페달을 밟는 기술의 일관성을 반영한 것이며 양발 시스템은 발을 이동하지 않고 좌·우 대칭적이며 평행하게 두 발로 페달링하기 때문이다. 또한 비숙련자의 외발시스템이 가장 많이 왼쪽으로 기울여졌다. 이러한 현상은 외발시스템을 장기간 사용하는 것은 골반 변형을 일으킬 수 있는 가능성을 시사하는 것이다

브레이크를 밟을 때 골반의 좌·우 회전각은 비숙련군의 양발시스템에서 좌측회전을 보인 반면 숙련군의 외발 및 양발 시스템과 비숙련군의 외발시스템은 우측회전을 하는 것으로 나타나 비숙련군은 시스템에 따라 다른 방향의 회전을 보였으며 숙련군은 동일한 방향의 회전을 보였다. 그러나 숙련군의 우측회전 양은 양발 시스템 우측회전이 외발시스템보다 작게 나타났다(그림 5, 하).

양발시스템에서 숙련군의 우측회전각이 외발시스템보다 작게 나타난 것은 양발이 각각 하나의 페달을 전달하기 때문이며 작은 움직임으로 페달링 할 수 있음을 의미한다. 그리고 숙련군과 다르게 비숙련군에서 좌·우측 회전각이 나타난 것은 페달시스템에 따라 변동성이 크게 나타남을 나타낸다.



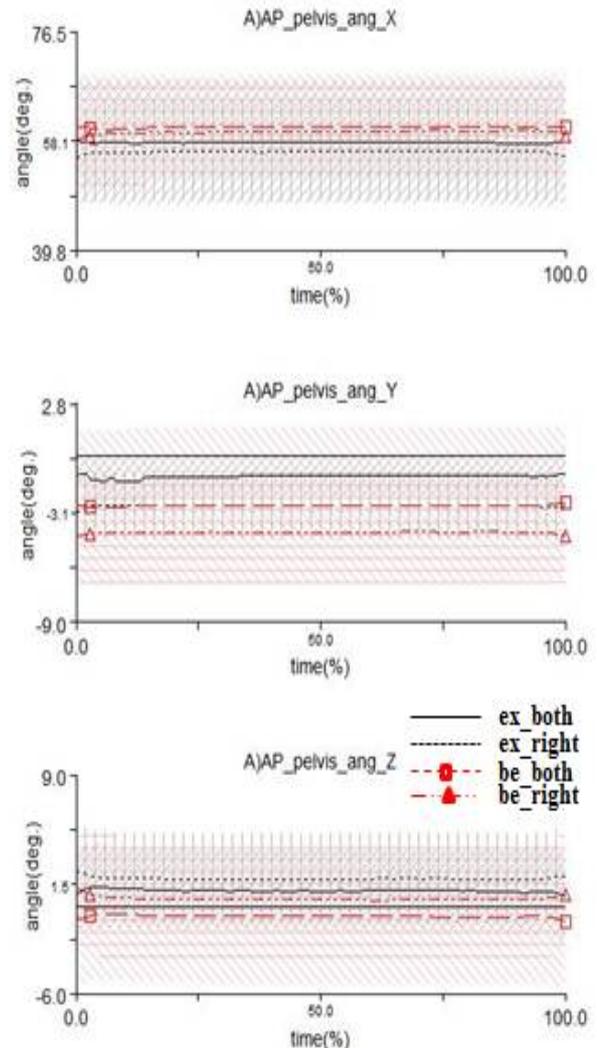
<그림 5> BP-골반각(a: X축, b: Y축, c: Z축)

액셀을 밟을 때 골반의 전·후경각은 숙련도와 페달 시스템에 관계없이 모두 후경각만을 보이며 비숙련군이 좀 더 크게 나타났다. 그리고 모든 군의 양발 시스템에서의 후경각이 외발시스템보다 크게 나타났다(그림 6, 상). 이는 페달을 밟을 때 발의 이동 유무에 기인하는 것으로 외발시스템에 비하여 양발시스템에서 대상자들이 더욱 편안함을 느껴서 상체를 시트에 더욱 기대기 때문으로 생각된다.

액셀을 밟을 때 숙련군의 외발시스템과 비숙련군의 양발시스템의 골반 좌·우경각은 거의 없는 것으로 나타났다 숙련군의 양발시스템의 골반각은 우경각을 보인 반면 비숙련군의 외발시스템은 좌경각을 보였다(그림 6, 중). 이것은 숙련군은 외발시스템(오른발)에 익숙해져 있고 비숙련군은 그렇지 않아 발의 위치가 고정되어 좌·우 움직임이 나타나지 않아 중립위치를 보였다. 숙련군이 양발시스템에서 우경각을 보인 것은 습관적인 동작을 반영하고 있는 것으로 생각되고 비숙련군의

외발시스템의 좌경각은 비숙련군이 오른발로 좌측의 브레이크페달을 밟아야 하기 때문에 하지의 이동을 고관절의 회전만으로 능숙하게 이용하지 못하고 골반을 좌측으로 기울여 동작을 수행한 것으로 생각된다. 이 현상은 양발시스템은 숙련도에 관계없이 골반의 좌·우 움직임 없이 동작을 할 수 있음을 시사한다.

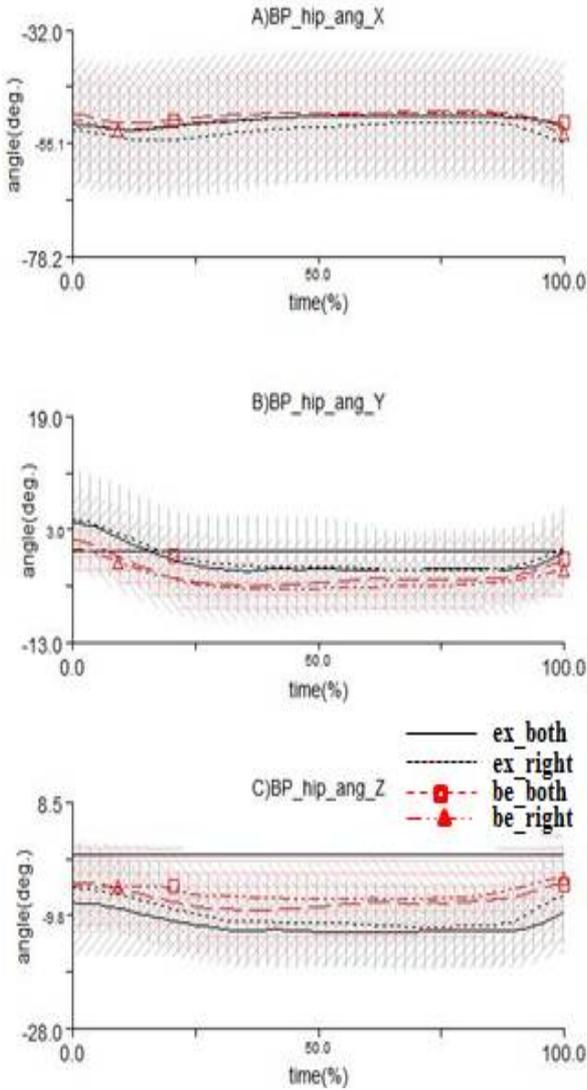
또한, 액셀을 밟을 때 AP-골반회전각은 BP-골반회전각과 아주 유사한 패턴으로 나타났다(그림 6, 하).



<그림 6> AP-골반각(a: X축, b: Y축, c: Z축)

### 3.1.2 고관절각 패턴

브레이크를 밟을 때 고관절은 숙련도와 페달 시스템에 관계없이 모두 굴곡을 보였으나 외발 시스템에서 숙련군의 굴곡이 크게 나타나고 나머지 경우에는 거의 유사하게 나타났다(그림 7, 상). 이러한 고관절의 굴곡 패턴은 앉은 자세에서 페달링하기 때문에 운전석의 높이에 좌우되므로 운전자의 자세 특성에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.



<그림 7> BP-고관절각(a: X축, b: Y축, c: Z축)

그러나 브레이크를 밟을 때 내·외전은 페달시스템에 관계없이 거의 유사하게 나타났고 비숙련군은 숙련군에 비하여 작은 외전과 큰 내전을 보였으며(그림 7, 중), 숙련도와 페달시스템에 관계없이 회내를 하면서 브레이크 페달을 밟았다(그림 7, 하).

숙련도와 페달시스템에 관계없이 대상자들은 처음에 외전상태로 회내하면서 접지한 후 지속적으로 회내하면서 내전하여 브레이크 페달을 밟았다(그림 7, 중과 하). 이러한 현상들은 고관절에서 숙련자들은 비숙련자보다 대퇴를 내측으로 작게 움직이면서 고관절의 회전을 잘 이용하고 있음을 반영하는 것이다.

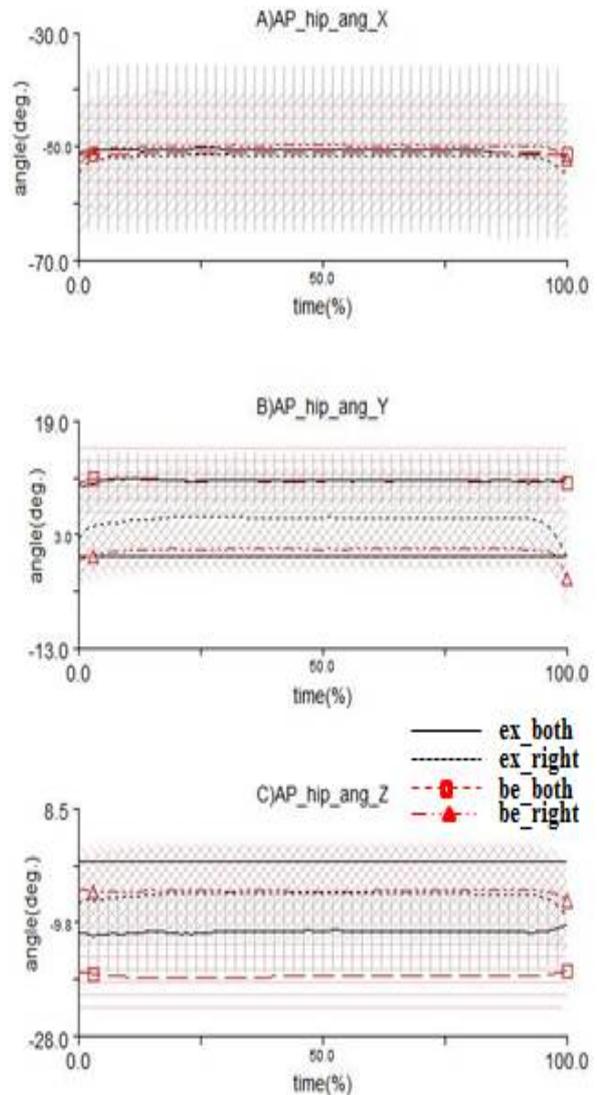
액셀을 밟을 때 고관절의 굴곡은 숙련도와 페달시스템에 관계없이 거의 동일한 패턴을 보였으며(그림 8, 상) 이것은 대퇴가 운전석에 거의 고정되어 있기 때문에 변동이 매우 작은 것으로 생각된다.

액셀을 밟을 때 양발 시스템에서 숙련군의 외전이

외발시스템보다 크게 나타났으며 페달시스템에 관계없이 비숙련군 보다 크게 나타났다. 한편, 비숙련군은 페달시스템에 관계없이 거의 중립의 위치를 보였다(그림 8, 중). 이 현상은 숙련군의 경우 외발시스템에 비하여 양발시스템에 숙련정도가 낮아 대퇴를 많이 벌리고 페달링하며 비숙련군은 운전습관이 고착화되지 않아 대퇴 벌림을 일정하게 유지하는 것으로 생각된다.

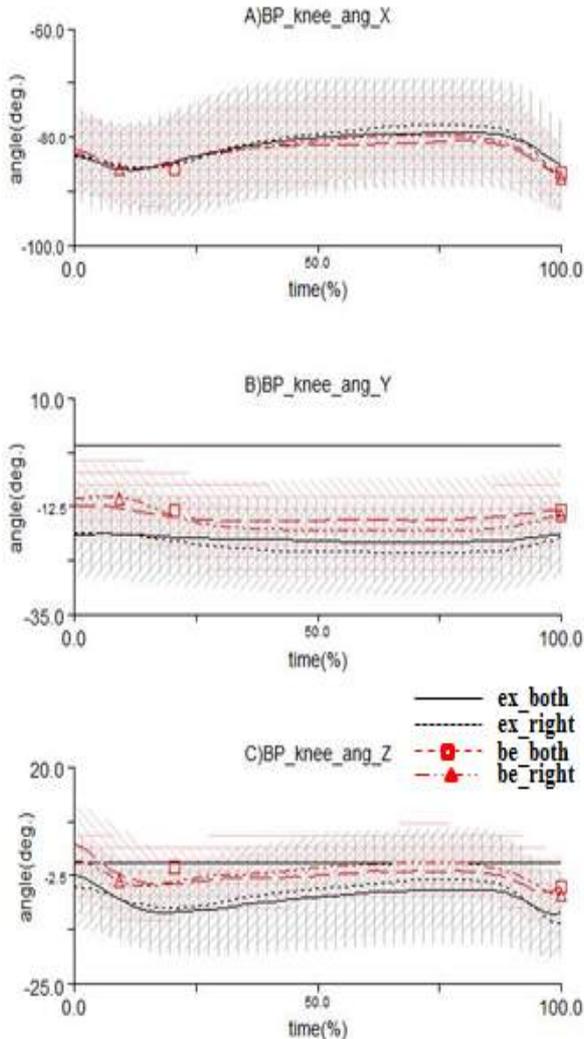
액셀을 밟을 때 회내는 숙련정도에 관계없이 모두 양발 시스템에서 크게 나타나고 비숙련군이 더 크게 나타났다. 외발 시스템은 숙련정도와 관계없이 거의 동일한 외전 상태를 유지하는 패턴을 보였다(그림 8, 하).

양발시스템은 액셀을 왼쪽발로 밟기 때문에 대퇴의 안쪽 회전이 용이하기 때문이며 이에 반해 외발시스템은 오른쪽 발로 좌측의 액셀페달을 밟아야 하기 때문에 대퇴뿐만 아니라 다른 분절도 같이 움직이고 있음을 반영한 것으로 생각된다.



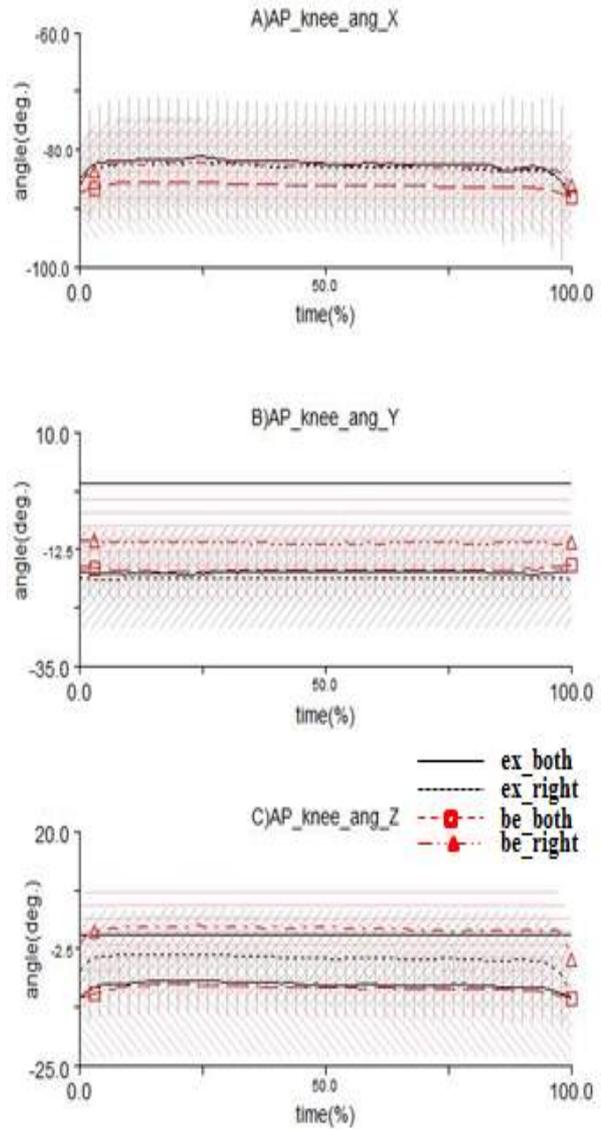
<그림 8> AP-고관절각(a: X축, b: Y축, c: Z축)

3.1.3 슬관절각 패턴



<그림 9> BP-슬관절각(a: X축, b: Y축, c: Z축)

브레이크를 밟을 때 슬관절의 굴곡은 숙련도와 페달시스템에 관계없이 모두 유사한 크기와 패턴을 보였다(그림 9, 상). 이는 브레이크 페달이 두 페달시스템에서 모두 오른쪽발로 작동하기 때문이라고 생각된다. 그리고 브레이크를 밟을 때 두 페달시스템에서 숙련군의 내전이 비숙련군보다 크게 나타났고, 페달을 완전히 밟았을 때 외발 시스템의 내전이 크게 나타났으며 특히 숙련군의 외발 시스템에서 가장 큰 내전을 보였다(그림 9, 중). 이 동작은 페달시스템간의 동작의 차이(모두 오른쪽발)가 없음에도 불구하고 차이를 보이는 것은 페달시스템에 대하여 각 대상자들의 심리적인 요인이나 습관적인 요인 때문에 발을 다른 기점으로 적용하여 사용한다고 생각된다.



<그림 10> AP-슬관절각(a: X축, b: Y축, c: Z축)

브레이크를 밟을 때 슬관절 회전은 숙련자별 페달시스템에 관계없이 매우 유사한 패턴을 보였으며 비숙련군의 양발시스템에서 초기의 약간의 회외만을 제외하곤 모두 회내를 보였다. 그리고 페달시스템에 관계없이 숙련군의 회내가 비숙련자보다 크게 나타났으며 양발시스템이 다소 크게 나타났다(그림 9, 하). 이러한 현상은 숙련도에 따라 무릎의 회내가 다르게 나타나는 것을 반영한 것이다.

액셀을 밟을 때 슬관절의 굴곡은 비숙련군의 양발시스템만 제외하곤 모두 동일한 패턴과 크기를 나타냈다(그림 10, 상). 이는 숙련군은 페달시스템에 관계없이 일관된 동작을 보였고 외발시스템에서 비숙련군의 작은 굴곡은 오른쪽발로 좌측 브레이크페달을 밟아야 하기 때문인 것으로 생각된다.

그리고 슬관절의 내전은 비숙련군의 외발시스템이

가장 작게 나타났으며 다른 경우에는 모두 유사한 패턴을 보였다(그림 10, 중). 이와 같이 숙련정도에 관계없이 양발시스템의 굴곡이 거의 유사한 것은 양발시스템이 왼발로 좌측의 액셀 페달을 밟기 때문이며, 숙련군의 외발시스템에서의 내전은 숙련군의 일관성 있는 동작을 반영한 것이다.

액셀을 밟을 때 슬관절의 회전은 숙련정도에 관계없이 모두 양발 시스템에서 크게 나타나고 비숙련군의 외발시스템은 거의 중립 상태를 유지하는 패턴을 보였으나 숙련군의 외발시스템에서는 약간의 회전을 보였다(그림 10, 하). 이러한 패턴은 숙련정도와 관계없이 양발시스템이 회전범위가 크므로 활동성이 좋다고 생각된다.

### 3.1.4 족관절각 패턴

브레이크를 밟을 때 족관절의 배측굴곡 패턴은 모두 유사하게 나타났으며 비숙련군의 양발 시스템의 굴곡이 크게 나타나고 외발시스템과 차이가 나타난 반면 숙련군은 모두 유사한 패턴을 보였다(그림 11, 상). 이는 배측굴곡하면서 발이 페달에 접지하고 이 상태에서 발을 저측굴곡시키면서 페달을 밟고 이지하는 결과인 것이다.

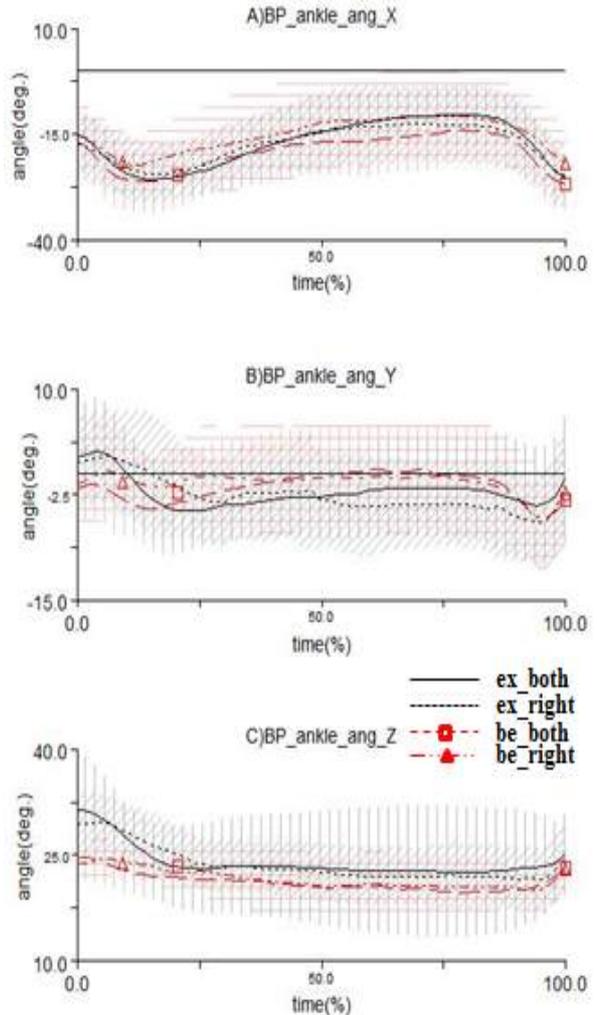
그리고 브레이크를 밟을 때 비숙련군은 초기에 내변을 보인 후 거의 중립상태를 유지하면서 페달을 이지하는 반면, 숙련군은 밟는 초기에 외변을 보인 후 내변 상태로 페달링하였다.(그림 11, 중). 페달링 초기 숙련군에서 나타나는 외변은 외발시스템에 적용된 습관적인 동작으로 생각된다.

또한, 브레이크를 밟는 초기에 회외는 비숙련군에 비하여 숙련군이 다소 크게 나타난 후 일정한 패턴을 보였으며 숙련군이 페달시스템에 관계없이 약간 크게 나타났다(그림 11, 하). 이는 족관절의 회외는 숙련정도나 페달시스템에 영향을 받지 않는 것으로 생각된다(초기 제외). 액셀을 밟을 때 족관절의 배측굴곡은 모두 유사한 패턴과 크기를 보였으며 단지 비숙련군의 양발시스템이 약간 크게 나타났다(그림 12, 상).

그리고 액셀을 밟을 때 숙련군의 외발 시스템은 중립에 가까운 외변을 보인 반면 다른 경우에는 모두 유사한 패턴과 크기를 가지는 내변을 보였다(그림 12, 중). 이는 숙련정도와 무관하게 양발시스템은 족관절의 내변에 영향을 주지 않음을 시사하는 것이다.

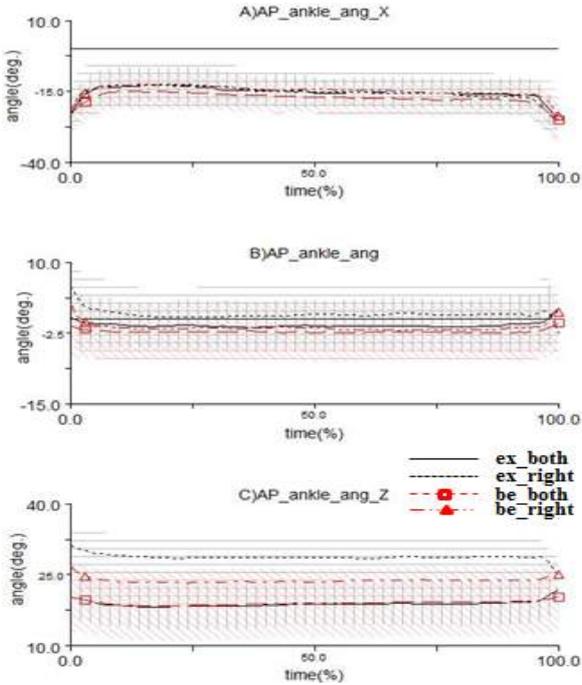
액셀을 밟을 때 회외는 숙련정도에 관계없이 모두 양발 시스템에서 가장 작고 일정한 패턴으로 나타났으며 비숙련군의 외발시스템, 숙련군의 외발시스템 순으로 크게 나타났다(그림 12, 하). 외발시스템의 차이는

숙련정도의 차이에 기인하며 양발시스템이 같은 것은 왼쪽발이 액셀페달을 전담하여 밟기 때문인 것으로 생각된다.



<그림 11> BP-족관절각(a: X축, b: Y축, c: Z축)

전술한 바를 요약하면 액셀 및 브레이크 페달을 밟을 때 골반각은 시간축에 평행한 일정한 상수함수 패턴을 보였다. 그리고 브레이크를 밟을 때 고관절, 슬관절과 족관절의 패턴은 곡선패턴을 보였으며 하지관절로 갈수록 변화 패턴이 크게 나타난 반면 액셀을 밟을 때 고관절, 슬관절과 족관절의 패턴은 브레이크를 밟을 때의 고관절 패턴과 유사한 패턴을 보였다. 액셀 페달보다 브레이크 페달에 더 민감하게 반응한 것은 장애물에 대한 반응으로 생각된다. 이와 같이 페달시스템의 유형에 따라 페달 작동 시 하지관절각의 발현 패턴이 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 페달시스템의 변화는 운전자의 운전동작을 변화시킬 수 있는 가능성을 시사하는 것이다.



<그림 12> AP-족관절각(a: X축, b: Y축, c: Z축)

### 3.2 하지 관절 각범위(ROA)

하지관절의 각범위는 최대 상대각에서 최소 상대각의 차이로 정의하였다.

<표 3> ROA(전후 방향)

| 구분<br>(X축/전후방향) | 브레이크 페달 |        |        |        | 액셀 페달  |        |        |        |
|-----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 속련군     |        | 비속련군   |        | 속련군    |        | 비속련군   |        |
|                 | 양발 시스템  | 외발 시스템 | 양발 시스템 | 외발 시스템 | 양발 시스템 | 외발 시스템 | 양발 시스템 | 외발 시스템 |
| 골반각             | 1.9     | 2.3    | 1.7    | 1.9    | 1.9    | 2.4    | 1.7    | 2.1    |
| 고관절각            | 3.7     | 5.4    | 4.1    | 5.4    | 3.2    | 4.7    | 1.9    | 4.2    |
| 슬관절각            | 7.6     | 10.8   | 7.1    | 9.1    | 7.5    | 5.4    | 3.0    | 4.9    |
| 족관절각            | 17.6    | 15.9   | 15.8   | 16.7   | 14.0   | 15.1   | 10.8   | 13.2   |

<표 4> ROA(좌우 방향)

| 구분<br>(Y축/좌우방향) | 브레이크 페달 |        |        |        | 액셀 페달  |        |        |        |
|-----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 속련군     |        | 비속련군   |        | 속련군    |        | 비속련군   |        |
|                 | 양발 시스템  | 외발 시스템 | 양발 시스템 | 외발 시스템 | 양발 시스템 | 외발 시스템 | 양발 시스템 | 외발 시스템 |
| 골반각             | 1.4     | 0.6    | 0.5    | 0.6    | 0.8    | 0.7    | 0.5    | 0.6    |
| 고관절각            | 1.0     | 1.1    | 4.0    | 5.7    | 3.2    | 4.8    | 1.5    | 1.8    |
| 슬관절각            | 4.1     | 5.4    | 5.2    | 8.2    | 3.2    | 3.3    | 1.8    | 2.5    |
| 족관절각            | 12.5    | 13.2   | 10.0   | 12.3   | 5.3    | 10.6   | 3.4    | 7.4    |

<표 5> ROA(종축회전)

| 구분<br>(Z축 회전) | 브레이크 페달 |        |        |        | 액셀 페달  |        |        |        |
|---------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|               | 속련군     |        | 비속련군   |        | 속련군    |        | 비속련군   |        |
|               | 양발 시스템  | 외발 시스템 | 양발 시스템 | 외발 시스템 | 양발 시스템 | 외발 시스템 | 양발 시스템 | 외발 시스템 |
| 골반각           | 1.0     | 1.2    | 0.7    | 1.0    | 1.0    | 0.9    | 0.8    | 0.9    |
| 고관절각          | 6.3     | 9.3    | 6.4    | 5.9    | 4.0    | 6.2    | 2.2    | 4.2    |
| 슬관절각          | 11.4    | 11.6   | 11.5   | 10.6   | 5.5    | 9.2    | 3.6    | 8.7    |
| 족관절각          | 12.2    | 10.6   | 7.1    | 8.5    | 4.9    | 8.8    | 2.9    | 5.5    |

### 3.2.1 전후회전(시상면)

속련정도와 페달시스템의 유형과 관계없이 전후방향의 골반 및 하지관절 각범위는 원위관절(distal joint)로 갈수록 크게 나타났으며, 액셀페달 속련자의 슬관절과 브레이크 페달의 족관절 경우를 제외하고 모든 양발시스템의 각범위가 외발시스템보다 작게 나타났다(표 3).

운전자는 원위관절로 갈수록 각 범위를 크게 하여 자동차를 제어하는 것으로 나타났으며, 양발시스템은 외발시스템보다 작은 관절회전(low intensity)으로 페달링을 함으로써 운전자의 부하를 감소시킬 수 있다고 생각된다. 또한, 외발 페달시스템은 운전자의 하지 정렬이 바르지 않은 채로 운전을 하므로 즉, 오른쪽발을 내측으로 회전시켜 액셀페달을 밟게 되므로 골반 및 하지관절의 변위를 초래하여 근골격계 질환을 야기시킬 수 있다고 생각된다. 그러나 액셀페달을 밟을 때 속련군에서 외발시스템의 슬관절 각범위가 작게 나타난 것은 2년 이상 운전을 하고 있기 때문에 개인의 습관이 개입(브레이크 페달의 양발시스템과 비교, 7.5° VS 7.6°)되어 나타난 현상이라고 생각된다. 이는 기본적으로 외발페달시스템과 양발페달시스템의 앉은 자세(시트와 골반 및 자동차 바닥면과 발의 접지 위치)의 차이에서 기인한다고 할 수 있다.

3.2.2 좌우회전(전두면)

좌우방향의 골반 및 하지관절 각범위는 숙련자의 브레이크 페달의 양발시스템과 액셀페달의 외발시스템을 제외하곤 원위 관절로 갈수록 크게 나타났다(표 4).

비숙련군의 외발시스템 각범위는 양발시스템보다 크게 나타났으며 숙련군의 골반각만을 제외하고 비숙련군과 동일한 패턴을 보였다. 이는 페달링 시 전반적으로 외발시스템의 좌우 회전범위가 양발시스템보다 크게 일어나 외발시스템의 하지관절 부하가 더 크다고 생각된다. 특히, 액셀페달의 외발시스템 각범위가 양발시스템보다 큰 것은 오른발을 비틀어 좌측의 브레이크 페달을 밟는 동작으로 매우 시사하는 바가 크다.

3.2.3 종축회전(수평면)

종축 회전은 액셀페달을 작동할 때 숙련정도에 관계 없이 외발시스템의 하지관절 각범위가 크게 나타났다. 그러나 브레이크페달 사용 시 각범위는 일정한 패턴을 보이지 않았다(표 5). 이는 외발시스템에서 액셀페달을 사용할 때 하지관절의 회전 범위가 크게 일어나 관절 변형을 가져올 수 있는 가능성을 반영한 것이다.

전반적으로 외측페달시스템에서 액셀페달을 밟을 때 하지관절 각범위가 크게 나타난 것은 양발시스템이 외발시스템보다 더 작은 관절 회전을 통하여 페달링한 것으로 양발시스템은 더 작은 움직임으로 동일한 동작을 수행할 수 있음을 시사한다. 특히, 비숙련군에서 이러한 경향은 현저하게 나타났다.

<표 6> 숙련군의 ROA 차이

| 숙련군 | 대응표본검정                          |          |          | t       | 자유도    | 유의확률<br>양쪽 |      |
|-----|---------------------------------|----------|----------|---------|--------|------------|------|
|     | 평균                              | 표준편차     | 평균의 표준오차 |         |        |            |      |
| 대응  | 양발 - 외발 시스템<br>국면1의 고관절 전·후 각범위 | -1.71429 | 1.83533  | .69369  | -2.471 | 6          | .048 |
| 대응  | 양발 - 외발시스템<br>국면1의 슬관절 전·후 각범위  | -3.21000 | 3.22073  | 1.21732 | -2.637 | 6          | .039 |
| 대응  | 양발- 외발 시스템<br>국면2의 고관절 좌·우 각범위  | -3.40000 | 3.03236  | 1.14613 | -2.967 | 6          | .025 |
| 대응  | 양발 - 외발 시스템<br>국면2의 족관절 좌·우 각범위 | -5.22286 | 4.47153  | 1.69008 | -3.090 | 6          | .021 |

<표 7> 비숙련군의 ROA차이

| 비숙련군 | 대응표본검정                          |          |          | t       | 자유도    | 유의확률<br>양쪽 |      |
|------|---------------------------------|----------|----------|---------|--------|------------|------|
|      | 평균                              | 표준편차     | 평균의 표준오차 |         |        |            |      |
| 대응   | 양발 - 외발 시스템<br>국면1의 고관절 전·후 각범위 | -1.67571 | 1.59349  | .60228  | -2.782 | 6          | .032 |
| 대응   | 양발 - 외발 시스템<br>국면1의 슬관절 전·후 각범위 | -1.94143 | 2.04349  | .77237  | -2.514 | 6          | .046 |
| 대응   | 양발 - 외발 시스템<br>국면1의 슬관절 좌·우 각범위 | -2.99286 | 3.16880  | 1.19770 | -2.499 | 6          | .047 |
| 대응   | 양발 - 외발 시스템<br>국면2의 고관절 전·후 각범위 | -2.35429 | 1.11069  | .41980  | -5.608 | 6          | .001 |
| 대응   | 양발 - 외발 시스템<br>국면2의 고관절 좌·우 각범위 | -3.70857 | 2.20218  | .83234  | -4.456 | 6          | .004 |
| 대응   | 양발 - 외발 시스템<br>국면2의 슬관절 전·후 각범위 | -1.90286 | 1.02927  | .38903  | -4.891 | 6          | .003 |
| 대응   | 양발 - 외발 시스템<br>국면2의 슬관절 종축 각범위  | -5.05714 | 4.19247  | 1.58461 | -3.191 | 6          | .019 |
| 대응   | 양발 - 외발시스템<br>국면2의 족관절 좌·우 각범위  | -4.03429 | 2.31666  | .87561  | -4.607 | 6          | .004 |
| 대응   | 양발 - 외발 시스템<br>국면2의 족관절 종축 각범위  | -2.59143 | 1.26002  | .47624  | -5.441 | 6          | .002 |

### 3.3 페달시스템 유형의 ROA 차이

숙련도에 따라 페달시스템 유형이 골반 및 하지관절 각범위에 미치는 영향을 조사하기 위하여 숙련군과 비숙련군에 대한 4개의 변인, 3차원, 2국면(4×3×2)의 2 종류의 페달시스템 총 24개의 대응표본 t - test의 결과 중에서 통계적으로 유의한 대응표본은 다음과 같다.

#### 3.3.1 숙련도와 페달시스템 유형에 따른 ROA의 차이

페달시스템 유형 간 24개의 대응변인 중 숙련군은 4개의 대응변인이, 비숙련군은 9개가 유의하게 나타나 숙련군은 약 16.7%, 비숙련군은 약 37.5%의 유의율을 보였다. 그리고 숙련군의 유의한 변인은 국면 1(브레이크페달 조작구간)에서 50%, 국면 2(엑셀페달 조작구간)에서 50%를 보였으며 비숙련군의 유의한 변인은 국면 1에서 33.3%, 국면 2에서 66.7%를 나타냈다.

이것은 페달시스템의 변화에 숙련자가 비숙련군보다 민감하지 않으며 비숙련자는 약 2배 정도 페달시스템에 영향을 받는다고 할 수 있다. 이밖에 유의하게 나타나지 않은 변인은 대상자의 수, 개인의 해부학적 특성, 연습 기간과 개인의 기술획득 능력에 대한 차이일 수도 있다.

그리고 숙련군은 국면1에서 고관절과 슬관절의 전·후 각범위와 국면2에서 고관절과 족관절의 좌·우 각범위가 통계적으로 유의한 차이를 보였으며(표 6), 비숙련군은 국면1(브레이크페달 조작시)에서 고관절과 슬관절의 전·후 각범위, 슬관절 좌·우 각범위와 국면 2(엑셀페달 조작시)의 고관절 전·후 각범위 및 좌·우 각범위, 슬관절의 전·후 각범위 및 종축 각범위, 그리고 족관절의 좌·우 각범위와 종축 각범위가 통계적으로 유의한 차이를 보였다(표 7). 또한, 숙련군의 유의한 변인이 모두 비숙련군에서도 유의하게 나타난 것은 국면1의 고관절과 슬관절 전·후 각범위와 국면2의 고관절과 족관절의 좌·우 좌 각범위는 숙련정도에 관계없이 공통적으로 페달시스템의 유형에 따라 나타나는 차이라고 할 수 있다.

특히, 공통변인 중 고관절의 회전은 직업적으로 장기간 반복적으로 운전을 하는 운전자에게 반복적인 회전을 일으키는 대퇴경부(femur neck)와 대퇴골간(body of femur)이 이루는 각이 커져서 고관절 외반(coxa valgus)을 초래하여 자세 변형을 가져오며 요추 및 뼈 결합조직에 이상을 주어 통증을 야기 시킬 수도 있다.

또한 운동제어와 기술획득 측면에서 페달시스템 유형에 따른 숙련군의 유의한 변인의 수가 비숙련군보다 작은 것은 숙련도가 커질수록 자유도의 수를 작게 하여 과제를 완수할 수 있기 때문이다. 이것은 과제를 반복적으로 수행하면 활용 가능한 모든 자유도보다 작은

단위의 자유도를 사용하여 과제를 수행한다는 가변성을 제안한 연구와 동일한 맥락이라고 생각된다[8].

## 4. 결론

페달시스템의 유형에 따라 숙련군과 비숙련군의 골반 및 하지관절각의 발현 패턴은 상이하게 나타났으며 골반에서 원위로 갈수록 하지관절 각범위는 커지고 양발시스템의 하지관절 각범위가 외발시스템보다 작게 나타났다. 그리고 운전 숙련도에 따른 페달시스템 유형은 숙련군과 비숙련군 모두 골반 각범위를 제외한 일부 하지관절의 각범위(ROA)에서 유의한 차이가 있었다. 특히, 숙련군보다 비숙련군에서 차이가 더 많이 나타났으며 숙련군의 유의한 변인은 비숙련군과 공통적으로 나타났다. 그러므로 운동학적 측면에서 외발시스템을 양발시스템으로 개선할 수 있는 여지가 있다고 판단된다.

향후, 운전자의 피로 유무에 따른 운전자세 분석, 근활성도 및 주관적 평가가 이루어져야하며 특히, 고령자 운전자가 급격히 늘어나는 사회 현상을 고려할 때 고령자에게 적합한 페달시스템에 대한 연구가 요구된다.

## 5. 참고 문헌

- [1] 신주연, 근골격계 통증의 실전 치료, 대한의학서적(2009).
- [2] Graham-Rowe, D., "Combined Accelerator and Brake Pedal Could Save Lives", <http://www.newscientist.com/article/dn1770-combined-accelerator-and-brake-pedal-could-save-lives.html>(2009).
- [3] National Transportation Safety Board, Pedal Misapplication in Heavy Vehicles: Highway Special Investigation Report(2009).
- [4] Nilsson, R., "Evaluation of a Combined Brake-Accelerator Pedal", Accident Analysis and Prevention, 34, no. 2 (2002): 175 - 183.
- [5] Schmidt, R., "Unintended Acceleration: A Review of Human Factors Contributions", Human Factors, 31, no. 3 (1989): 345 - 364.
- [6] Todorov, E., & Jordan, M. I., "Optimal feedback control as a theory of motor coordination", Nature Neuroscience, 5, no. 11 (2002): 1226-35.
- [7] Trachtman, D, Schmidt, R. and Young, D., "The Role of Pedal Configuration in Unintended-Acceleration and Pedal-Error Accidents", Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 49th Annual Meeting (2005): 1984 - 1988.

### 저자 소개

#### 이재훈



한국체육대학교에서 체육학과를 졸업하고, 동 대학원에서 석사 및 박사학위를 취득하였다. 현재 나사렛대학교 재활스포츠 연구소 연구교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 운동역학, 동작분석, 경기력 향상 등이다.

주소: 충청남도 천안시 쌍용동 456번지 나사렛대학교 재활스포츠연구소

#### 장영관



한양대학교에서 산업공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 석사 및 박사학위를 취득하였으며 현재 강원대학교 산업경영공학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 물류정보시스템, MIS, ERP, SCM, 인간공학 등이다.

주소: 강원도 삼척시 중앙로 346 강원대학교 산업경영공학과

#### 오형술



현재 강원대학교 공학대학 산업경영공학과 교수로 재직 중이다. 한양대학교 산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하였고, 2000년 한국과학재단 지원으로 Univ. of Michigan에서 1년간 Post-Doc.을 수행하였고, 2011년 Penn. State Univ.에서 방문교수로 지냈다. 주요 관심분야는 PSS 설계, 서비스 신뢰도, 창조경영 등이다.

주소: 강원도 삼척시 중앙로 346 강원대학교 산업경영공학과

#### 하종규



한양대학교에서 산업공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 석사학위를 취득하였으며 한국체육대학교에서 박사학위를 취득하였다. 현재 한국스포츠클리닉 & 공학 연구소 대표로 재직 중이다. 주요 관심분야는 스포츠공학, 스포츠클리닉, 인간공학, 생체역학 등이다.

주소: 서울시 송파구 오금동 상아아파트 8동 1210호