

롤러코스터 운동감 구현을 위한 보급형 모션의자 개발

서정아* · 정무진* · 신영기**

Development of a Low-Cost Motion Chair for Rollercoaster Simulation

Jeong-Ah Seo, Mujin Jung and Younggy Shin

Abstract

PC 및 게임 소프트웨어의 급격한 발달로 가상현실 구현에 필요한 그래픽 환경은 성숙단계에 진입하였다. 현재 국내에서 개발되는 게임 소프트웨어는 PC 사용자를 겨냥한 제품이 대부분이다. 토요일 휴무제의 도입에 따른 문화 콘텐츠 시장의 확대, 가족이 즐길 수 있는 테마 공원의 성장성 등을 고려할 때 기존의 PC 게임과 차별화되는 운동감을 포함한 가상현실 게임 제품의 개발이 요망된다. 잘 알려진 6자유도 운동 시뮬레이션 방식인 Stewart 방식은 구현 가격이 고가이고 운동범위가 작아 게임용으로 상용화하기 어렵다.

본 연구에서는 2대의 AC 서보모터를 이용하여 roll과 pitch의 2 자유도만 구현하나, 각 축으로 자유로운 회전이 가능하여 탑승자의 스릴감을 향상시킬 수 있는 저가형 운동의자를 개발하였다. 2 자유도로 회전하는 외부와 차단된 캐빈 내부에는 40인치 스크린과 프로젝터가 설치되어 롤러코스터 게임의 몰입감을 향상시켰다. 롤러코스터 가상현실을 대상으로 운동감을 극대화하기 위한 워시아웃(washout) 필터의 설계 알고리즘이 제시된다. 탑승자들의 감성 평가를 객관화하기 위한 데이터 베이스 구축방안이 서술된다.

Key Words : 모션의자, 운동감, 감성공학, 워시아웃 필터, 롤러코스터, 동 환경

기호설명

Θ : 절대좌표와 차량좌표가 이루는 pitching 각	Fw_x : 차량 좌표계에서의 x방향의 힘
Φ : 절대좌표와 차량좌표가 이루는 rolling 각	a_{xyz} : 열차의 가속도
M_{trans} : 오일러 회전행렬	v_x : 차량의 x방향 성분
F_x : 차량으로의 x방향 힘의 성분	v_y : 차량의 y방향 성분
F_y : 차량으로의 y방향 힘의 성분	v_z : 차량의 z방향 성분
F_z : 차량으로의 z방향 힘의 성분	
F_{car} : 차량좌표에서의 힘	
F_{abs} : 절대좌표에서 차량의 힘	

* 세종대학교 기계공학과

** 세종대학교 기계항공우주공학부

1. 서론

근간에 컴퓨터 기술이 발달함에 따라 시뮬레이션 기술이 진보되어 다양한 종류의 시뮬레이션 게임들이 선 보여 지고 있고, 시각적인 것만의 게임형태에서 전신 운동감을 함께 느낄 수 있는 모션 베이스 시뮬레이터가 확산되는 추세이다.^(1,2)

모션 베이스 시뮬레이터는 현실 세계에서는 실험 또는 체험하기 어려운 비행기 조종 등과 같은 물리적 현상을 가상환경(Virtual Environment) 속에서 현실 세계와 똑같이 체험할 수 있도록 하는 시뮬레이션 장비로서, 가상현실 게임이나, 의료, 훈련등 적용 분야가 다양하다.

롤러 코스터는 놀이동산이나 테마파크 등에서 가장 쉽게 찾아 볼 수 있는 대중성 있는 놀이기구로, 움직임이 다양하고 속도감이 있어 인기가 있으나 이것을 만들기 위해서는 막대한 자본과 대지가 필요로 하게 된다. 이것을 가상현실 환경과 모션 베이스를 기반으로 보다 낮은 가격과 제한된 장소에서 실제로 놀이기구를 타는 것과 같은 효과를 얻기 위한 것이 이번 개발의 핵심이다.

본 논문에서 구현된 모션의자는 롤러코스터의 운동을 모사하는 시뮬레이션 장비로, 기존의 제품들은 Stewart Platform⁽³⁾이나 4자유도 parallel 모션 베이스 시뮬레이터들은 구현을 위한 가격이 높고 오일 교환, 역류에 의한 손실문제와 inversion track의 구현이 불가능하기 때문에 AC 서보 모터 2개를 이용하여 fig.1에서처럼 Roll축과 Pitch축 2자유도 gimbal 형식으로 하드웨어를 구현하였다.

3. 하드웨어의 구성

3.1 기구 구성의 개요

본 운동의자는 그림1에서 도시 한 것과 같이 Roll축과 Pitch 축의 2자유도를 가진다. 일

반적인 시뮬레이터들은 유압을 사용하는 6자유도 스텐더트 플랫폼 방식을 택하고 있다. 유압은 효율이 좋고, 제어성이 용이하지만, 배관작업이 복잡하고, 연속 작업 시 온도에 민감해지는 단점이 있으므로, 구현한 모션 베이스 시뮬레이터는 Pitch축과 roll축으로 구성된 2축 Gimbal 형으로 양 축에는 각각 출력2kw, 정격 회전 속도가 2000rpm인 모터를 감속비 60:1인 감속기에 연결하였다.

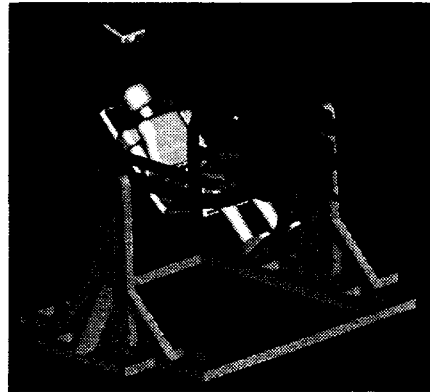


fig. 1 운동의자의 외형

또한, 속도감을 효율적으로 주기위한 시야각⁽⁴⁾을 140° 정도로 하기 위해 가로,세로 40inch 인 스크린을 제작하여 설치하였다.

스크린을 탑승자의 눈에서 1500mm거리에 설치하여 사용자의 시야범위 내에 충분한 화면이 들어 올 수 있게 하였다.

기구 전체의 정지시의 높이는2160mm이고, 탑승자의 최고 신장 180cm, 체중 90kg 에 준하여 설계하였다. 재질은 밀판의 경우 일반강을 사용하였고, pitch축 프레임과 Roll축인 케빈은 강도가 높고 비교적 가벼운 스테인레스를 사용하였다.

시뮬레이터의 대략적인 크기는 Table.1 에서 명시하였다.

이러한 사용자 탑승형의 게임기에서는 안전에 대한 문제가 중요한 관건이 된다. 이 경우, 기구가 크기 때문에 움직임이 크고, 동작이 빠

Table 1 김블형 모션 베이스 시뮬레이터의 크기

PART	크기[mm]
BASE	2800×2800×100
MAIN FRAME	2200×2600×200
CABIN	1000×1800×1680

른 속도의 회전이 포함되어 있어 근거리에서 사고의 위험이 높다. 따라서 주위에 충분한 안전거리를 생각한 가이드를 설치하여 이를 미연에 방지 하고자 하였다. 가이드에는 근접센서를 두어 이를 넘게 되면 PC측에 신호를 보내 기구가 정지하도록 하였다.

또한, 트랙 시나리오의 시작전에 캐빈의 내부에 사용자의 벨트가 확실히 잠겼는지, 캐빈의 위치가 확실한 시작위치에 있는지, 문이 완전히 닫혔는지 등 비정상적인 상태를 감지할 수 있도록 센서를 설치하여 유사시에 대비할 수 있게 하였다.

2.2 하드웨어간 통신

기구운동의 시작 전과 운전중에 안전을 위해 하드웨어의 상태를 확인 할 필요가 있다. 또한, 2개의 서보 모터 엔코더의 출력 값인 위치데이터를 얻기 위해서는 Master PC의 Com1과 Com2만으로는 부족하게 되며, 232에 비해 비교적 노이즈에 강하고, 전송거리로 길며 1대 다 통신이 가능한 RS-485 통신을 사용하였다.

전이중(Full-Duplex)방식인 RS-232에 비해 485는 반이중(Half-Duplex)방식으로 공유된 신호라인 에서 한번에 송신이나 수신 중 어느 한쪽만을 수행하게 된다.

즉, 어느 한 슬레이브가 송신을 시작하면 나머지 슬레이브들은 수신만을 하게 되는 것으로, 하드웨어나 소프트웨어적인 Tx신호선의 단락을 위해 개폐신호가 필요하게 된다.

이런 문제를 소프트웨어적으로 해결하기 위해서 데이터 패킷을 설계하여 각 슬레이브에 부여한 ID가 맞을 경우에만 수,송신 모드로 전

환 될 수 있도록 하였다.

그림 2는 기구의 485통신의 개략도 이다. PC의 COM1과 COM2는 RS-232통신 방식이므로, 슬레이브들과 PC사이에 fig.2와 같은 485 아답터를 두게 되었다.

2.2 통신 에러에 대한 대처 방법

통신 에러가 발생하면 시리얼 버스의 기능은 마비된다. 이것은 기구의 손상과 탑승자의 안전과 직결 될 수 있으므로, 송,수신된 데이터의 무결성을 검증 할 필요가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 데이터의 마지막에 checksum값을 추가하여 송신하게 하였다. 데이터의 마지막 바이트인 Checksum값을 제외한 나머지 데이터의 합과 Checksum값이 일치하지 않으면 그 데이터는 무시하게 하였다.

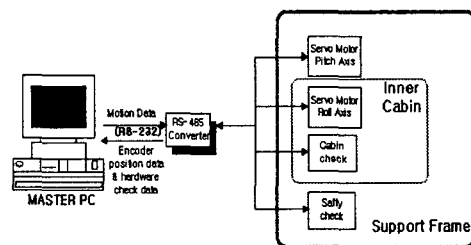


fig. 2 RS-232 to RS-485 변환기와 버스통신의 구조

3. motion data의 생성

3.1 운동 방정식

롤러코스터의 트랙데이터는 가상공간의 절대좌표(absolute Coordinate System)를 기준으로 생성되지만, 실제 시뮬레이터의 운동 데이터는 시뮬레이터의 좌표는 차량 좌표계(Car Coordinate System)를 따르게 된다. 따라서 그래픽 상의 절대좌표를 차량의 중심을 기준으로 한 차량좌표로 바꿔 줄 필요가 있다.(fig. 3)

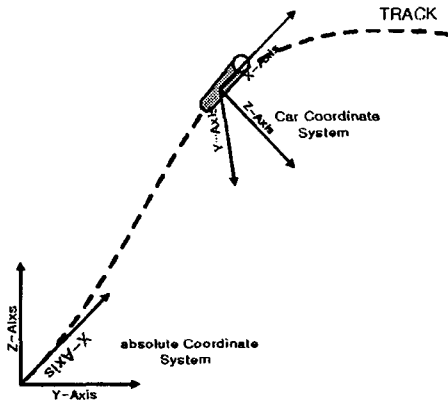


fig 3. 절대 좌표에서 차량좌표계로의 좌표 변환의 개요

롤러 코스터의 차량은 트랙 위에서만 존재하게 된다. 그리고 차량 좌표계는 차량에 가해지는 힘에 의해 해석 될 수 있다는 조건에 의해 절대좌표와 차량좌표간의 관계식을 얻을 수 있다.

롤러코스터의 특성상 외부에서 작용하는 힘은 중력뿐이므로, 이것을 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$F_{car} = M_{trans} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix}_{abs} \quad (1)$$

여기서 M_{trans} 는 오일러 회전 행렬이다. 중력에 대한 가속도 성분을 풀어쓰면,

$$\begin{aligned} X_{car} &= -mgsin\theta \\ Y_{car} &= mgcos\theta sin\phi \\ Z_{car} &= mgcos\theta cos\phi \end{aligned} \quad (2)$$

롤러 코스터 차량은 트랙 위로만 존재한다는 가정에 의해 트랙과 바퀴의 마찰력은 차량에 받는 힘과 동일하며 움직이는 열차에 가해지는 힘은 진행방향으로 만 존재하게 된다.⁽⁵⁾

$$F_{abs} = M_{trans}^{-1} \begin{bmatrix} Fw_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}_{car} \quad (3)$$

여기서 트랙과 열차 바퀴 사이의 저항은 뉴턴의 제1법칙에 의해 열차 진행방향 가속도는 식 3과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{F_{abs}}{m} = a_{xyz} \quad (4)$$

어떤 경로를 따라가는 질점이 임의의 위치에서 미소구간 까지 움직이는데 걸리는 시간을 식으로 표현하면 아래와 같다.⁽⁶⁾

$$t_p = \frac{-v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2ap}}{a} \quad (5)$$

여기에 가속도를 곱해주면 임의 위치의 질점 속도가 계산되고, 이것을 x,y,z 성분으로 나누어서 열차의 속도 벡터를 얻어 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} v_x &= Vcos\theta sin\phi \\ v_y &= Vsin\phi \\ v_z &= Vsin\theta \end{aligned} \quad (6)$$

3.2 시나리오의 생성

트랙 데이터에서 유도된 Roll, Pitch 값은 최종적으로 각가속도 값이 된다. 그러나 시뮬레이터 축의 모터 제어기는 RPM값을 입력받게

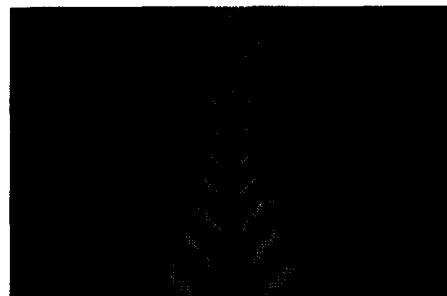


fig. 4 완성된 Roller coaster Track 동영상 화면

되어 있으므로 데이터를 환산해 줄 필요가 있다. 그래서 시간 정보와 각가속도 값을 RPM과 시간간격으로 만들어 최종적인 모션 시나리오를 만든다.

또, 이 시간 값에 의해 UDP통신에 의하여 모션과 그래픽을 동기화를 시킬 수 있다.

4. 실험평가

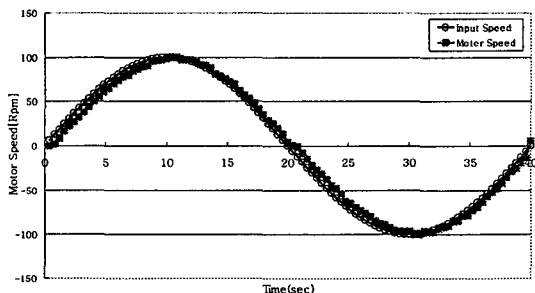
4.1 속도에 따른 응답성 평가

구현된 시뮬레이터에 sin wave 속도 profile 을 만들어 사람의 체중에 해당되는 적재물 70kg 을 탑재하여 실험하였다. fig. 5는 사인파의 최고 속도 값이 100RPM인 경우를 시간과 모터 입, 출력 속도로 나타낸 것이다. fig. 6은 같은 방법으로 조건을 300RPM으로 주어 도시화하였다.

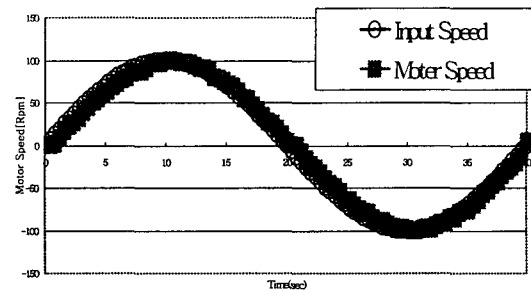
fig. 7은 조건을 600RPM으로 주어 실험한 것이다

fig. 5, fig. 6과 비교해서 최고 속도까지의 가속부분에서 오버런과 회전방향 역전 부분에서 속도 값이 튀는 것이 보인다. 이런 현상은 회전 관성 모멘트에 비해 모터의 토크가 부족하게 되므로 나타난다. 이런 문제에 대한으로서 트랙 데이터에 의한 속도 시나리오 상에서 300RPM 이상의 속도는 제한하며, 현재 단상으로 사용하고 있는 모터의 입력전원을 삼상 전원으로 교체하여 출력을 30%가량 늘리는 방법을 모색해 볼 수 있다.

4.1.1 각축의 최고 속도가 100RPM인 경우의 실험 결과



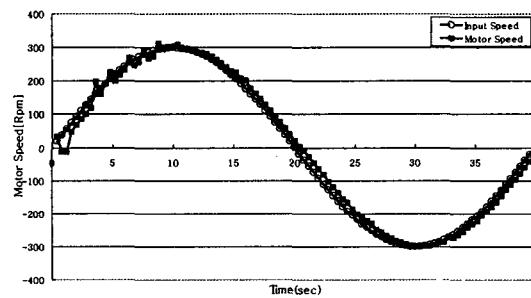
(a) Roll Axis



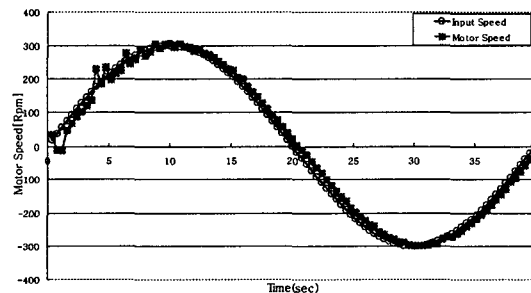
(b) Pitch Axis

fig. 5 최고 속도가 100RPM인 사인파형 입력 속도와 모터 출력 속도

4.1.2 각축의 최고 속도가 300RPM인 경우의 실험결과



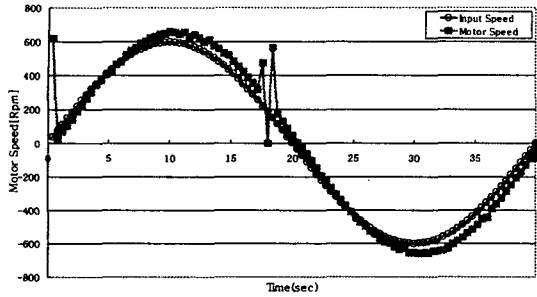
(a) Roll Axis



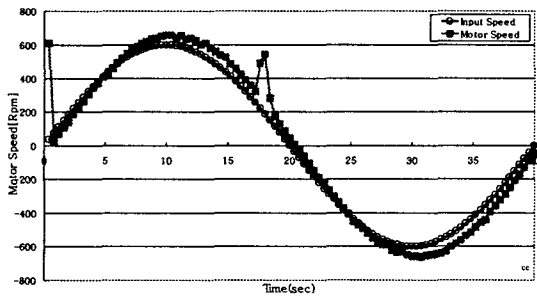
(b) Pitch Axis

fig. 6 최고 속도가 300RPM인 사인파형의 입력 속도와 모터 출력 속도의 비교

4.1.3 각축의 최고 속도가 600RPM인 경우의 실험 결과



(a) Roll Axis



(b) Pitch Axis

fig. 7 최고 속도가 600RPM인 사인파형 입력 속도와 모터 출력 속도비교

4.2 주기에 따른 평가

최고 속도를 300RPM으로 고정시킨 후 입력 속도와 모터 출력속도를 비교 실험하였다. 40초를 한 주기로 한 경우와 20초를 한 주기로 한 경우의 입력 속도와 모터 출력 속도를 비교하였을 때, fig. 8에 도시한 것과 같이 두 경우 모두 모두 입력에 대한 속도 값이

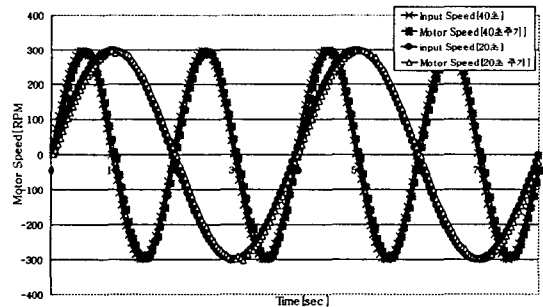
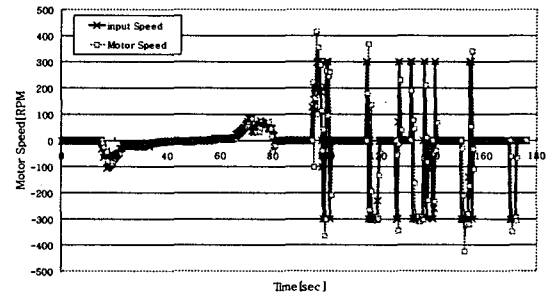


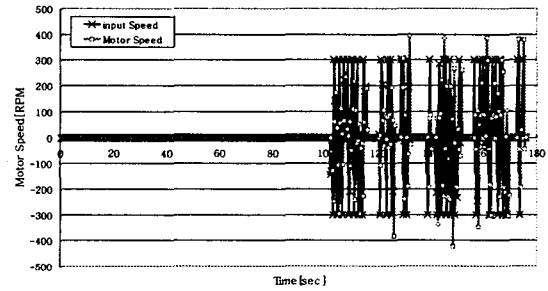
fig. 8 주기 40초와 20초인 경우의 입력과 출력 속도의 비교

4.3 트랙 시나리오에 따른 실험 결과

실제 롤러코스터의 트랙에 따른 차량의 운동을 구현한 시뮬레이터에 그대로 적용하기에는 기구 적으로 문제가 있다. 때문에 모터의 최고 회전 속도를 300Rpm으로 근사 시켜 실험하였다.



(a) PITCH AXIS



(b) ROLL AXIS

fig. 9 모션 데이터로 생성된 시나리오에 의한 입력속도와 모터 출력속도의 비교

4.3 워시아웃(Washout)알고리즘과 적용방안

본 연구를 통해 롤러코스터의 운동감을 재현 할 수 있는 환경을 구현하였다. 트랙시나리오에 따른 시뮬레이터의 모션은 그래픽과 동기되어 음 직임을 모사하였지만 기본적으로 속도를 제어하였기 때문에, 운동의 완료시에 시뮬레이터 밑판의 Z좌표와 캐빈의 Z좌표가 일치하지 않고, 트랙대 이터는 시스템의 동특성이 한계가 있어 완전히 구현하기 어렵다. 이런 문제에 대해서 대안으로 제시할 수 있는 것이

위쉬아웃 필터 이다.

그러나, 기존에 소개된 기술은 6자유도 스텐더트 플랫폼 기반의 고역통과필터⁽⁷⁾로 2축 김블형인 이번 시뮬레이터에는 적용되지 않기 때문에, 연속적인 실험을 통해 데이터를 수집해 학습시 키는 방법으로 알고리즘을 구현하고자 한다.

5. 결론

이제까지 수행된 연구의 결과를 서술하면 다음과 같다.

- (1) 기존의 스텐더트 타입이 아닌 김블형의 시뮬레이터를 제안, 제작하였다.
- (2) 안전한 통신을 위하여 컨트롤러 PC의 RS-232통신을 각 하드웨어 상태정보를 제공하는 슬레이브의 RS485통신으로 바꾸기 위한 통신패킷을 완성하였다.
- (3) 하드웨어의 특성상 300RPM이상 속도 제한에 대해 확인하고, 대안을 제시하였다.
- (4) 속도제어의 특성과 하드웨어 동특성상의 제한을 보완하기 위하여 구현될 김블형 시뮬레이터에 적합한 위쉬아웃 알고리즘의 설계방향을 제안하였다.

후기

이 연구는 감성공학G7과제의 일환으로 수행 되었습

참고문헌

- 1) 송재복, 가상현실에서의 운동감 재현, 기계저널 39권 8호, 1999, 쪽수 : 46 - 49
- 2) Chung-Hsi Huang; Jia-Yush Yen; Ming Ouh -young, The design of a low cost motion chair for video games and MPEG video playback, Consumer Electronics, IEEE Transactions on, Volume: 42 Issue: 4 , 1996 ,Page(s): 991 -997
- 3) D. Li, S. E. Salcudean, Modeling, Simulation, and control a hydraulic stewart platform, International Conference on Robotic and Automation Albuquerque,1997, Pages :3360 - 3366
- 4) 정영훈, 주행 시뮬레이터의 감성공학적 접근과 주행환경의 속도감 인자 분석, 석사학위 논문, 2000, 부산대학교
- 5) Zen-Chung Shin, Yuh-Sen Jaw, Mei-Ling Hus Virtual Roller Coaster, 2000, Proceedings. IEEE, 2000 Pages: 225 -232
- 6) william F. Riley, Leroy D. Sturges, 동역학, 사이텍 미디어, 1998
- 7) 박민규, 이민철, 손권, 유완석 한명철, 이장명, 차량주행 감각을 위한 운전 시뮬레이터 개발에 관한 연구(1), 1999, 한국 정밀공학회지 16권 6호, 쪽수 : 90 - 99