

공기압 구동식 6 DOF 드라이빙 시뮬레이터의 개발

김근묵¹, 강이석^{2*}

¹아주자동차대학 자동차계열, ²충남대학교 기계설계공학과

Development of a Pneumatically Driven 6 DOF Driving Simulator

Geun-Mook Kim¹ and E-Sok Kang^{2*}

¹Division of Automotive Engineering, Ajou Motor College

²Department of Mechanical Design Engineering, Chungnam National University

요약 본 연구의 목적은 실감나는 운전 환경을 제공하는 공기압 구동식 드라이빙 시뮬레이터 개발에 있다. 드라이빙 시뮬레이터의 모션 플랫폼은 운전자에게 실제 차량의 사실적인 느낌을 주는 메카트로닉스 장비이다. 모션 플랫폼의 비용은 드라이빙 시뮬레이터를 개발하는데 가장 큰 부분을 차지한다. 저비용으로 모션 플랫폼을 개발하기 위하여 6개의 공압 실린더로 구성된 스튜어트 플랫폼 형태를 기반으로 모션 플랫폼을 자체 제작하였다. 스튜어트 플랫폼은 조이스틱의 작동신호에 대한 응답으로 만족할 만한 추종성능을 보여주었다. 상용의 레이싱 게임 소프트웨어 중의 하나인 rFactor를 이용하여 드라이빙 시뮬레이터의 가능성을 확인하였다.

Abstract A pneumatically-driven driving simulator that provides a realistic representation of the driving environment was developed. The motion platform for the driving simulator is a mechatronic device that gives a driver the realistic feeling of an actual vehicle. The cost of the motion platform comprises the largest part of the expenses in developing a driving simulator. In this project, to develop a low-cost motion platform, the self-built motion platform based on the Stewart platform configuration that is constructed by six pneumatic cylinders was used as its actuator. The Stewart platform that moves in response to the operating signals of the joystick showed satisfactory tracking performance. We confirmed the possibility of the driving simulator using rFactor that is a commercially available racing game software.

Key Words : Driving simulator, Motion platform, Pneumatic cylinder

1. 서론

드라이빙 시뮬레이터는 자동차 운전을 가상으로 체험할 수 있도록 만든 것으로 설계 단계에 있는 차량의 가상 주행시험, 씨킷 적응을 위한 가상훈련 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

드라이빙 시뮬레이터의 가장 큰 장점중 하나는 실차 주행시 발생할 수 있는 위험 없이 안전하게 운전경험을 쌓을 수 있다는 것이다.

드라이빙 시뮬레이터는 실제 운전 조건과 얼마나 닮은 운전 환경을 만들어낼 수 있는지가 매우 중요하다. 실제 운전 조건과 아주 유사한 운전 환경을 만들어내는 데

표적인 고 수준의 드라이빙 시뮬레이터는 미국 아이오와에 있는 NADS와 일본 스소노시에 있는 도요타 드라이빙 시뮬레이터라고 볼 수 있다[1]. 이러한 드라이빙 시뮬레이터를 설치하기 위해서는 격납고 크기의 건물을 필요로 하며 가격도 수백만 달러에 이른다.

한정된 예산 범위에서 운전 시뮬레이터의 모션을 만들 어주기 위한 방법으로 공기압 구동식 모션 플랫폼을 도입하였다. 드라이빙 시뮬레이터의 제어, 시각적인 전시, 사운드 발생 등을 상용 제품을 활용하여 저비용으로 구현하였다.

본 논문은 아주자동차대학(Ajou Motor College, AMC)에서 공기압 구동식으로 개발한 6 DOF 드라이빙 시뮬레

*Corresponding Author : E-Sok Kang(Chungnam National Univ.)

Tel: +82-42-821-6647 email: eskang@cnu.ac.kr

Received October 28, 2013

Revised (1st November 25, 2013, 2nd December 4, 2013)

Accepted December 5, 2013

이터에 대한 기술적인 내용을 다루었고 상용의 부품을 활용하여 저비용으로 드라이빙 시뮬레이터의 개발 가능성을 보여주었다.

2. 드라이빙 시뮬레이터

본 섹션은 AMC에서 설계하고 제작한 드라이빙 시뮬레이터에 대한 기술적 내용을 기술하였다.

AMC에서 개발한 드라이빙 시뮬레이터는 Fig. 1과 같고 Fig. 2는 드라이빙 시뮬레이터 구성요소와 구성요소 간 상호작용을 보여준다.

2.1 모션 플랫폼

드라이빙 시뮬레이터의 모션 플랫폼은 실제 주행 차량의 사실적 느낌을 운전자에게 줄 수 있는 메카트로닉 장비로 Fig. 1에 보여지는 바와 같이 스튜어트 플랫폼을 기초로 개발하였다. 스튜어트 플랫폼은 6자유도 움직임

을 줄 수 있는 6개의 병렬 관절을 갖는 병렬 로봇 매니퓰레이터로 정확성, 강성 및 큰 부하 핸들링 능력에 있어 우수한 성능을 갖고 있다.

2.1.1 공압 실린더 및 밸브 선정

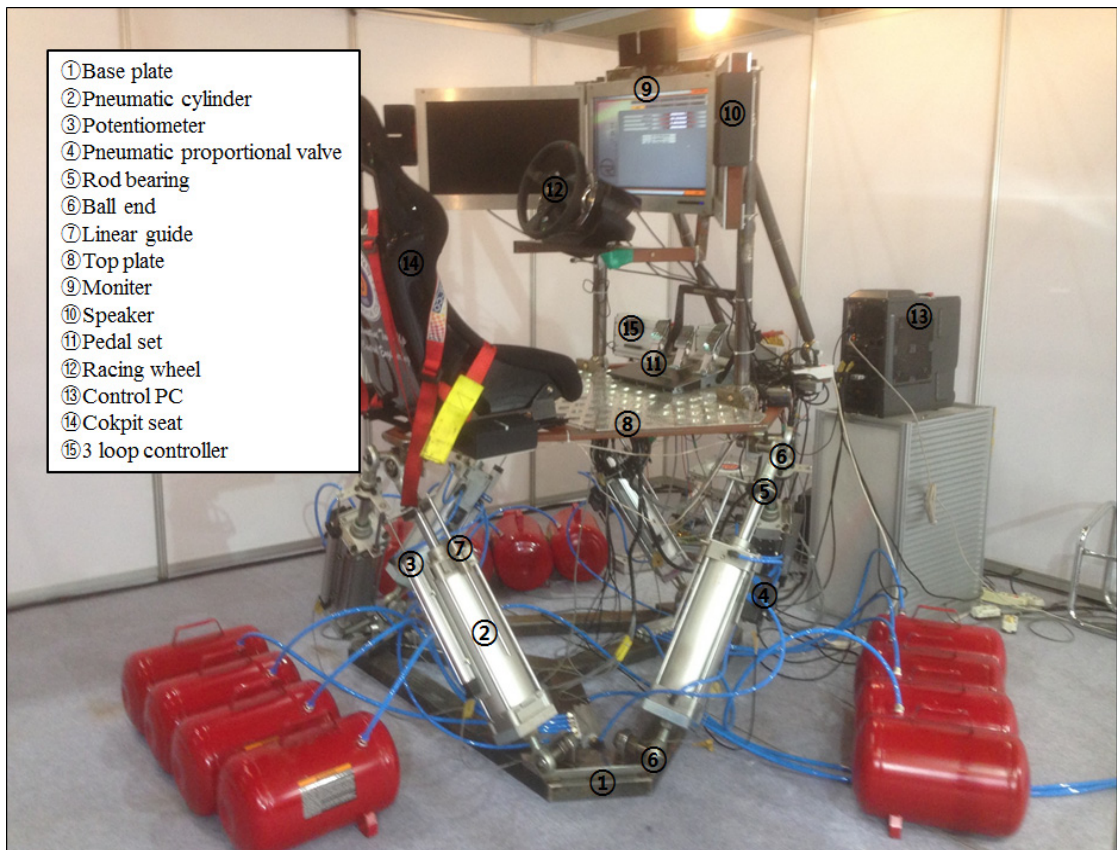
본 절에서는 모션 플랫폼의 설계 하중을 구동하기 위한 공압 실린더와 공압 실린더를 설계 속도로 구동하기 위해서는 설계 속도에 상응하는 밸브의 선정이 필요하다. 모션 플랫폼 구동에 필요한 공압 실린더와 밸브의 선정은 계산식을 통해 계산된 데이터를 이용해 상용부품을 선정하였다.

최대 중량은 모션 플랫폼 최대 질량, m 으로부터 계산된다.

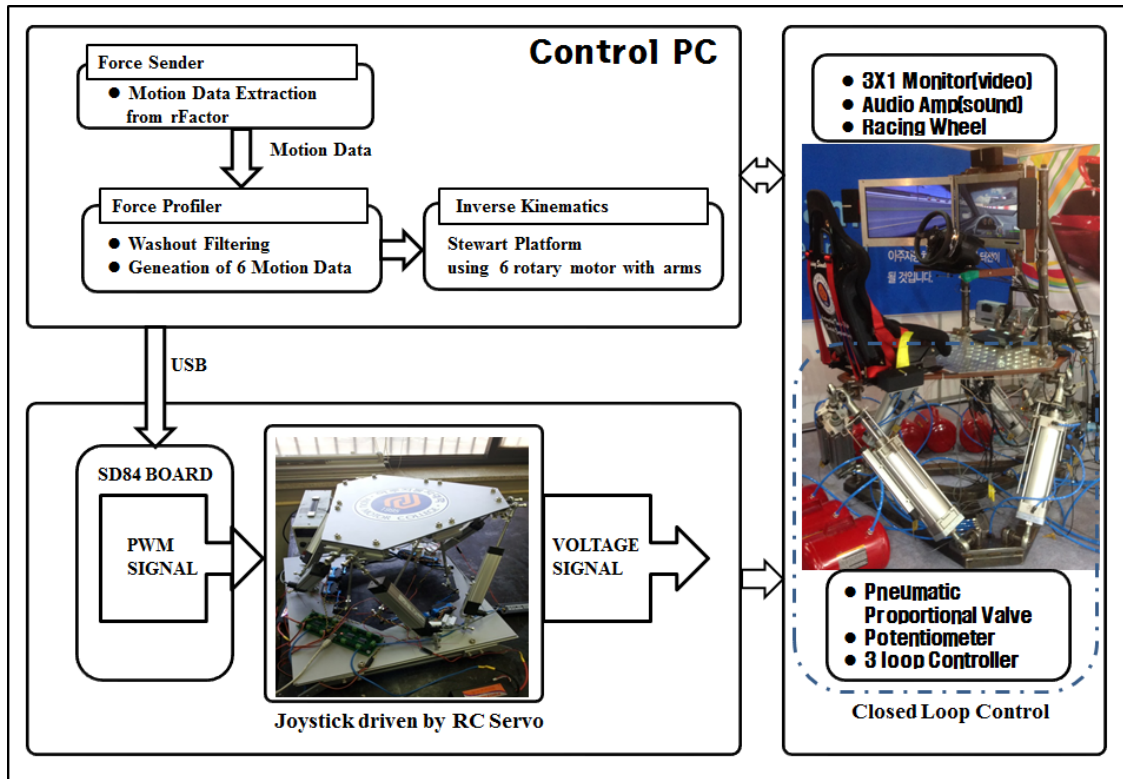
$$F = mg(N) \quad (1)$$

여기서, 중력 가속도, $g = 9.81(m/s^2)$

상판 지지 실린더의 개 수를 n 이라하면 실린더 당 힘은 다음과 같이 쓸 수 있다.



[Fig. 1] AMC's Pneumatically Driven 6 DOF Driving Simulator



[Fig. 2] Diagram of the AMC's Driving Simulator Components and their Interactions

$$F_{cyl} = F/n(N) \quad (2)$$

실린더 내 압력을 P(Pa)로 나타내면 실린더 단면적은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_{cyl} = F_{cyl}(N)/P(Pa) \quad (3)$$

실린더 단면적으로 부터 실린더 직경은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_{cyl} = \sqrt{A_{cyl}4/3.14} \quad (4)$$

따라서, 직경이 D_{cyl} 인 n개의 수직 실린더로 중량 $F(N)$ 을 지탱할 수 있다. 모션 플랫폼의 경우 실린더가 수직상태를 유지하며 작동하기 어렵다. 스트럿 플랫폼의 경우 설계에 따라 초기에 45도 정도 실린더가 기울어져 세팅 될 수도 있다. 실린더가 45도로 기울어진 상태에서 작동할 경우 수직으로 들어 올리는 힘은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_v = F_{cyl}\cos(\pi/4)(N) \quad (5)$$

이때, 실린더 당 요구되는 힘은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_{cyl} = F_v / \cos(\pi/4) \quad (6)$$

식(6)을 식(3)에 대입하여 식(4)까지의 과정을 거쳐 요구되는 중량을 들어 올리는데 필요한 크기의 실린더 직경을 구할 수 있다.

그러나, 빠른 응답을 갖고 스펀지 모션을 방지하기 위해서보 공압에 표준으로 적용되는 안전율을 적용하면 식(6)의 실린더 당 요구되는 힘의 5배를 낼 수 있는 실린더로 결정해야 한다.

따라서, 이러한 안전율을 적용하면 식(6)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_{cyl} = 5 F_v / \cos(\pi/4) \quad (7)$$

따라서, 식(7)을 식(3)에 대입하여 식(4)까지의 과정을 거쳐 빠른 응답을 갖고 스펀지 모션 없이 요구되는 중량을 들어 올리는데 필요한 크기의 실린더 직경을 구할 수 있다.

밸브의 용량은 실린더가 설계 속도로 팽창할 때 발생 되는 체적과 지지하중에 따른 실린더 내 압력에 상응하는 실린더 내 공기 밀도의 곱으로 질량유량, $\dot{m}$ 을 다음과 같이 구함으로써 구할 수 있다.

$$\dot{m} = \rho_{cyl} q_v \quad (8)$$

여기서, ρ_{cyl} : 실린더 내 공기밀도, q_v : 체적유량을 나타낸다.

실린더 내 압력에 상응하는 공기밀도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\rho_{cyl} = p_{cyl} / (G_{const} T_{cyl}) \quad (9)$$

여기서, p_{cyl} : 실린더 내 압력, G_{const} : 가스 상수, T_{cyl} : 실린더 내 공기온도를 나타낸다.

식(8)로부터 밸브의 용량을 결정하기 위하여 밸브 선택시 많이 사용하는 SLPM(Standard Liter Per Minute) 및 SCFM(Standard Cubic Feet Per Minute) 단위로 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$SLPM = 60000 \dot{m} \rho_{air} \quad (10)$$

$$SCFM = 2118 \dot{m} \rho_{air} \quad (11)$$

이러한 과정을 통해 선정된 공압 실린더와 공압 비례 밸브의 규격은 Table 1과 Table 2에 각각에 나타내었다. 설계 요구조건을 만족시키기 위한 규격과 일치하는 상용 제품이 없어 설계조건에서 요구하는 크기 및 용량 보다 각각 한 단계 씩 큰 상용 제품을 Table 1 및 Table 2와 같이 각각 선정하였다.

[Table 1] Specifications for the Pneumatic Cylinder

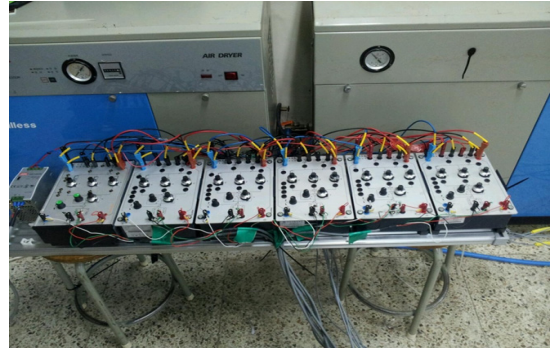
Item Specification	Pneumatic cylinder	
Required	Diameter(mm)	110
	Stroke(mm)	300
Selected	Diameter(mm)	125
	Stroke(mm)	300

[Table 2] Specifications for the Pneumatic Proportional Valve

Item Specification	Pneumatic Proportional Valve	
Required	Flow Rate (SLPM)	1200
	Flow Rate (SLPM)	1400
Selected	Flow Rate (SLPM)	1400
	Manufacture	Festo

2.1.2 모션 플랫폼 제어

모션 플랫폼 구동에 Table 1에 제시된 공압 실린더 6개를 사용하였으며 공압 실린더의 제어는 Fig. 3에 보여지는 아나로그 3중 루프 제어기를 사용하였다. 3중 루프 제어기의 출력에 따라 Table 2에 제시된 비례밸브를 구동하여 공압 실린더의 변위를 제어하였다.



[Fig. 3] Triple Loop Controller

Fig. 4는 3중 루프 제어기의 신호 흐름을 보여주고 있다. 3중 루프 제어기를 PVA제어기라고 부르기도 한다.



[Fig. 4] Detail view of triple Loop Controller



[Fig. 5] Motion Platform

Fig. 5는 초기에 제작된 공압 구동식 모션 플랫폼에 중량물을 탑재하고 모션 플랫폼을 축소하여 제작한 조이스틱을 이용하여 모션 플랫폼의 운동 특성을 확인하였다.

제작된 조이스틱은 직선형 포텐시오미터를 스튜어트 플랫폼 형태로 제작하였다. 조이스틱을 조작함에 따라 6개의 포텐시오미터는 조이스틱의 자세에 따라 6개의 전압을 출력한다. 조이스틱에서 출력된 6개의 전압은 모션 플랫폼의 3중 루프제어기 목표 값이 된다. 공압 구동식 모션 플랫폼은 조이스틱의 모션을 추종하게 된다.

초기 제작된 모션 플랫폼의 부하강성을 증가시키고 스펀지 효과를 줄이기 위한 방안은 크게 2가지로 정리되었다. 실린더 직경을 기존 실린더 직경보다 크게 하든가 실린더의 개수를 추가하는 것이었다.

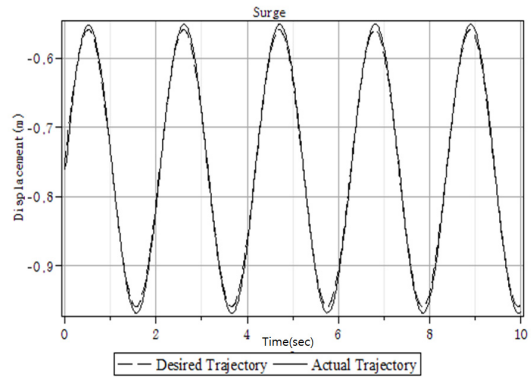
모션 플랫폼의 운동 특성을 확인하기 위하여 Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 제작된 조이스틱에 RC 서보를 부착하여 RC 서보 제어 신호로 조이스틱을 제어함으로써 공압 구동식 모션 플랫폼을 제어하였다.

이 방식의 장점은 기존 스튜어트 플랫폼 형태로 제작된 모션 플랫폼에 구동기를 추가하고 추가된 구동기 만큼 조이스틱에 직선형 포텐시오미터를 상사시켜 부착시킴으로써 모션 플랫폼의 강성을 증가시킬 수 있다. 이 경우 추가되는 구동기 개수에 비례하여 공압 실린더 외에 공압 비례밸브, 직선형 포텐시오미터 및 제어기를 필요로 하는 문제점이 있다. 이러한 문제에도 불구하고 빠른 구동속도와 강성을 필요로 할 경우에는 유용한 방안이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 보유한 공압 비례밸브의 확보 문제로 인하여 실린더 개수를 추가하지 않고 실린더 직경을 기존 80 mm에서 120 mm로 크게 하였다. 또한, 공압 실린더가 상판 및 베이스와 연결되는 조인트부의 강성을 보강하기 위하여 볼렌드로 제작하였고 상판 및 베이스도 강도를 보강하여 Fig. 1과 같이 제작하였다.

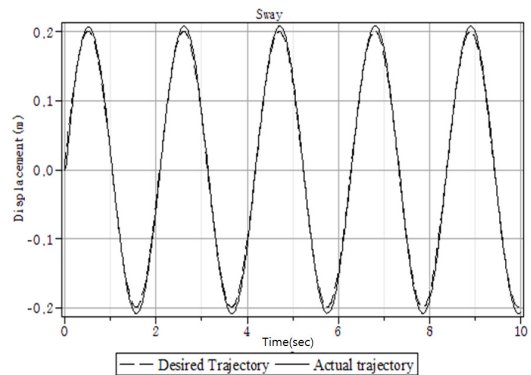
모션 플랫폼의 공압 실린더 피스톤의 위치에 따른 공기 스프링의 탄성이 바뀌게 되어 그에 따른 제어기 계인을 바꾸어 줄 필요가 있다. 본 연구에서는 드라이빙 시뮬레이터의 모션 생성에 필요한 작동 구간에서 공압 실린더의 변위에 따른 공기스프링의 탄성이 바뀌어도 양호한 제어성능을 보장하는 연속 슬라이딩 모드 제어를 적용하였다[2,3].

Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8은 모션 플랫폼의 직선운동 추종 결과를 보여준다. 0.5 Hz인 정현파를 모션 추종 실험에 사용하였으며 진폭은 Heave 모션에 140 mm, Surge 및 Sway 모션에 200 mm를 사용하였다. Fig. 9, Fig. 10 및 Fig. 11은 모션 플랫폼의 회전운동 추종결과를 보여준다. 0.5 Hz 정현파를 모션 추종에 사용하였으며 진폭은 Roll 모션에 20°, Pitch 및 Yaw 모션에 17°를 사용하였다.

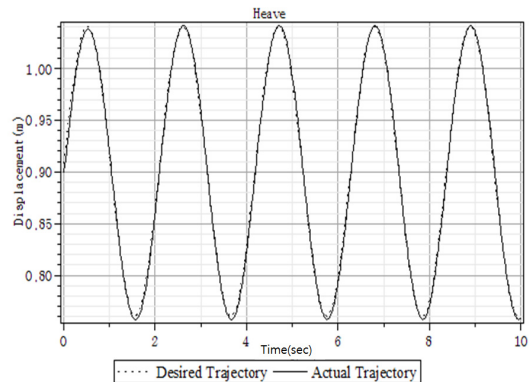
추종 결과는 압축성 매체를 이용한 구동기라는 점에 비추어 볼 때 양호한 결과를 보여준다. 이러한 추종 결과는 드라이빙 시뮬레이터의 실제 운전과 유사한 운전환경을 제공할 수 있는 모션 플랫폼으로 활용이 기대된다.



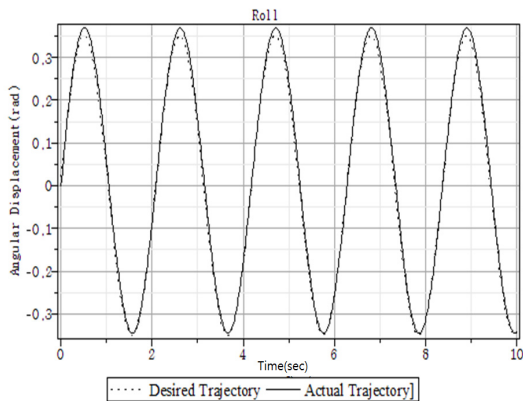
[Fig. 6] Results of Surge Motion Tracking



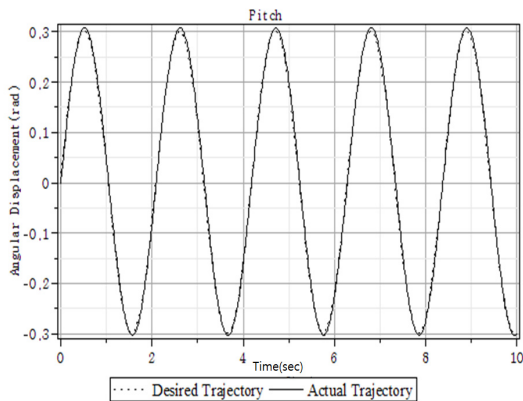
[Fig. 7] Results of Sway Motion Tracking



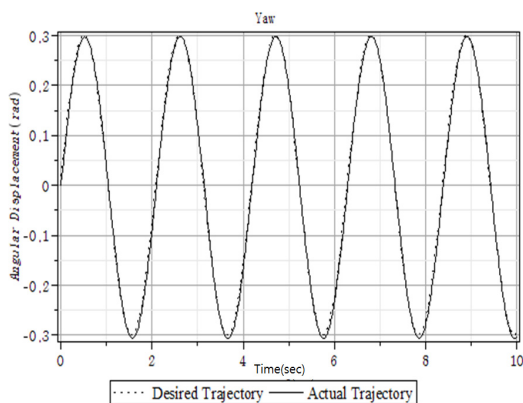
[Fig. 8] Results of Heave Motion Tracking



[Fig. 9] Results of Roll Motion Tracking



[Fig. 10] Results of Pitch Motion Tracking



[Fig. 11] Results of Yaw Motion Tracking

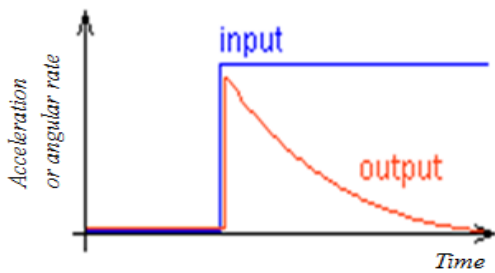
실제 주행 차량에 타고 있다는 느낌을 사실적으로 느낄 수 있도록 하기 위하여 디지털 차량 모델의 동적 거동에 따라 운전자에게 가해지는 힘(G-force)을 가상현실에

서 만들어 주기 위하여 모션 플랫폼을 사용한다. 제동, 코너링 및 바운싱 등에 따라 차량에 가해지는 힘을 만들어 주는 것이 필요하다. 본 과제에서는 차량에 가해주는 3 방향의 힘과 3 방향의 모멘트를 만들어 주기 위한 모션(Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw)를 만들기 위한 모션 플랫폼 구동장치의 변위 정보를 구하기 위하여 역기구학으로 구하였다. 모션 플랫폼의 역기구학 방정식은 상용 프로그램인 메플심[4] 이용하여 구하였다.

[Table 3] Specifications for the AMC's Motion Platform

Architecture		6 DOF Stewart
Actuation		Pneumatic Drive
Payload Mass(kg)		500
Normal Width(mm)		1490(parked)
Normal Length(mm)		1490(parked)
Normal Height(mm)		830(parked)
Surge	disp.(mm)	±200
	vel.(mm/s)	±250
	accel.(mm/s ²)	±4900
Sway	disp.(mm)	±200
	vel.(mm/s)	±250
	accel.(mm/s ²)	±4900
Heave	disp.(mm)	±140
	vel.(mm/s)	±250
	accel.(mm/s ²)	±5600
Roll	disp.(deg)	±20
	vel.(deg/s)	±35
	accel.(deg/s ²)	±350
Pitch	disp.(deg)	±17
	vel.(deg/s)	±30
	accel.(deg/s ²)	±300
Yaw	disp.(deg)	±17
	vel.(deg/s)	±30
	accel.(deg/s ²)	±300

시뮬레이터 운동감에 가장 큰 영향을 미치는 것은 모션 플랫폼 구동에 사용되는 워시아웃(washout) 알고리즘의 종류와 워시아웃 필터 계수의 튜닝이라고 할 수 있다. 시뮬레이터나 게임 등에서 사용하는 차량이나 항공기 등의 움직임은 3차원의 공간제약이 없는 운동이다. 그러나 모션 플랫폼의 움직임으로 표현할 때에 모션 플랫폼의 운동은 공간제약이 있으므로 모션을 적절하게 변환해 줘야 하는데 이를 담당해 주는 것이 워시아웃 필터대[5].



[Fig. 12] The Smooth Washout filter

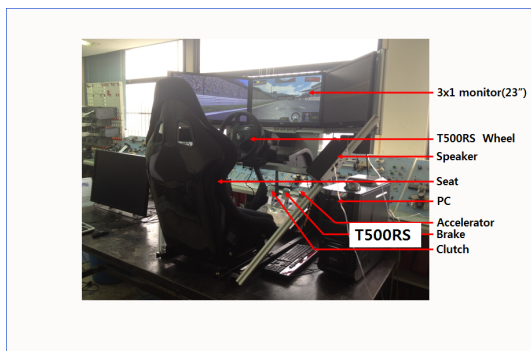
본 논문에서는 레이싱 시뮬레이션에 유용하다고 평가된 Fig. 12에 보여지는 Smooth Washout 필터를 사용하였다[6].

2.2 운전조작 입력장치

운전자의 의지, 운전 조작을 받아들이기 위한 입력 장치로 Thrustmaster사[7]의 레이싱 휠, T500RS를 사용하였다. T500RS는 30 cm 직경의 핸들과 페달 세트 구성된다. 핸들은 3바퀴(1080°)를 돌릴 수 있다. 핸들은 강력하고 빠른 속응성을 갖는 Force Feedback 메카니즘이 채용되었다. 페달 세트는 설치 위치에 따라 GT 스타일과 F1 스타일로 사용할 수 있으며 최적의 안정성을 위해 100 % 금속으로 제작되었다.

2.3 운전석 및 전시장치

운전석의 적절한 배치를 위해 Fig. 7에 보여주는 바와 같이 시트와 레이싱 휠 및 페달을 설치하고 운전해보고 설치 위치를 변경해 가면서 적절한 위치를 구하였다. 운전석의 운전자의 운전 조작에 따른 차의 움직임에 의한 차량 밖의 광경을 실시간으로 운전자에게 보여주어 운전자로 하여금 실제 운전하는 느낌을 갖도록 전시장치를 구성하였다.



[Fig. 13] Cockpit Layout Adjustment

본 연구에서 전시장치는 Fig. 13과 같이 조종석 전방과 좌우에 23 인치 LED모니터를 3X1 레이아웃으로 배치하였다. 시험결과 모니터의 3X1 레이아웃 배치가 운전자에게 몰입감 주는데 효과적이었다. 이러한 결과를 토대로 전시장치는 조종석에 Fig. 1과 같이 배치되었다. 그래픽 카드는 MSI 지포스 N560GTX CROW D5 1GB [PCI-Ex] 2개를 PCI슬롯에 설치하여 사용하였다. 그래픽카드의 출력 영상은 DVI 케이블을 사용하여 모니터로 전송하였다.

2.4 효과음 출력장치

주행중 엔진소음 등 운전중 차량과 도로 마찰로 인한 소음 등을 발생시켜 운전자에게 실제로 운전하고 있다는 느낌을 주기 위한 장치이다. 본 과제에서는 브리즈사의 5.1채널 BR-DA6000을 채용하였다.

2.5 드라이빙 시뮬레이터 소프트웨어

자료조사 및 평가를 통하여 rFactor-PRO를 드라이빙 시뮬레이터의 소프트웨어 플랫폼으로 선정하였다. 선정된 소프트웨어 플랫폼은 풍부하고 디테일한 그래픽, 정밀한 차량동역학, force feedback 레이싱 휠의 완벽지원 덕분에 운전자에게 실감나는 드라이빙 경험을 제공해 준다.

rFactor-PRO[8]는 2008년에 출시된 이후 F1, 나스카와 자동차산업에 널리 사용되고 있다.

플러그인 아키텍처를 통해 아주자동차대학이 만든 차량 모델을 rFactor-PRO의 차량 모델로 등록할 수 있다. 현재까지 rFactor-PRO와 호환되는 모델은 Simulink, C++, Dymola, SIMPACK, CARMAKER 및 CARSIM을 이용한 모델이다.

현재 rFactor[9]를 이용하여 드라이빙 시뮬레이터의 소프트웨어 플랫폼으로서의 가능성을 확인한 상태이다.

3. 결론

본 연구를 통해 설계 단계에 있는 차량을 평가하기 위해 적절한 사실감을 재현할 수 있으며 물리적으로도 타당한 드라이빙 시뮬레이터를 저비용으로 개발할 수 있는 한 예를 제시하였다.

6개의 공압 실린더를 모션 플랫폼의 구동기로 채택하여 스튜어트 플랫폼 형태로 자체 제작하였고 조이스틱의 조작 신호를 공압 구동식 스튜어트 플랫폼이 추종하도록 제어한 결과 만족할 만한 추종 성능을 보여 저비용으로 효과적인 모션 플랫폼을 제작할 수 있음을 보였다.

스튜어트 플랫폼 형태로 제작된 조이스틱에 RC 서보

를 부착하여 RC 서보 제어 신호로 조이스틱을 제어함으로써 공압 구동식 모션 플랫폼을 성공적으로 제어하여 복잡한 역기구학 문제의 고려 없이 플랫폼에 원하는 만큼 구동기를 추가하는 것이 가능함을 보였다.

공압 구동식 모션 플랫폼과 상용의 드라이빙 시뮬레이터 구성요소를 이용하여 저비용으로 드라이빙 시뮬레이터의 개발 가능성을 확인하였다.

개발된 드라이빙 시뮬레이터는 각종 전시회 전시를 통해 많은 사람들에게 실감 있는 운전 체험을 제공하였다.

향후 운전 전문가 그룹을 통한 본 드라이빙 시뮬레이터의 레이스 훈련을 위한 시뮬레이터 하드웨어, 모션 시뮬레이션 및 드라이빙 시뮬레이터로서의 가능성 등에 대해 평가할 예정이다.

References

- [1] Garrett Weinberg, Bref Harsham, "Developing a Low Cost Driving Simulator for the Evaluation of In-Vehicle Technologies", Mitsubishi Electric Research Laboratories, Inc., 2009.
- [2] Geun-Mook Kim, E-Sok Kang, "Sliding Mode Control with Velocity Feedforward Gain of a Pneumatic Motor", The Institute of Control, Automation, and System Engineers, Korea, Vol. 12, No. 11, pp.1061~1064, 2006.
- [3] Geun-Mook Kim, "The Ball Screw Position Control System Driven by a Pneumatic Motor Using Continuous Sliding Mode", The Korean Society of Industrial Application, Vol.11, No.4, pp.209~216, 2008.
- [4] Maplesoft, High-Performance Physical Modeling and Simulation, http://www.maplesoft.com/products/maple_sim/index.aspx.
- [5] Federico Barbagli, Diego Ferrazzin, Carlo Alberto Avizzano, Massimo Bergamasco Percro, "Washout Filter Design for a Motorcycle Simulator", Systems, Man, and Cybernetics, 2000 IEEE International Conference on Vol.2, pp.995~1000, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICSMC.2000.885980>
- [6] <http://www.x-sim.de/manual/washout.html>.
- [7] Thrustmaster corp., Thrustmaster Announces The T500RS for PlayStation®3 Officially Licensed by Sony Computer Entertainment and Gran Turismo®5, http://www.thrustmaster.com/en_uk/node/3669, 12. 22. 2010.
- [8] rFactor-Pro, Driver-In-The-Loop simulation solutions for vehicle dynamicists and engineers in the motorsport and automotive industries", <http://rfactor-pro.com>, 2012.
- [9] <http://www.rfactor.net>.

김 근 목(Geun-Mook Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 충남대학교 기계설계공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 충남대학교 기계설계공학과 (공학석사)
- 1990년 3월 ~ 1996년 2월 : 국방과학연구소 선임연구원
- 1996년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수

- 2000년 2월 : 충남대학교 기계설계공학과 박사 수료

<관심분야>

유공압시스템 제어 및 응용

강 이 석(E-Sok Kang)

[정회원]



- 1974년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학사)
- 1981년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 기계설계공학과 교수
- 1983년 2월 : 아주대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1991년 1월 ~ 1992년 1월 : MIT대학 방문연구원

- 1994년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)

<관심분야>

제어이론의 응용, 로보틱스, 인공지능, 유압공학