

병렬구조 모션 시뮬레이터 이클립스-II 를 위한 가상현실 시험경로 개발

인우성*(서울대 대학원 기계항공공학부), 김종원(서울대 기계항공공학부)

Development of the Virtual Test Path for Eclipse-II, A Parallel Mechanism Motion Simulator

Woosung In, Jongwon Kim(School of Mechanical and Aerospace Engineering, SNU)

ABSTRACT

This paper describes the development of the test path for Eclipse-II, a parallel mechanism motion simulator. Eclipse-II which can be used as a base for general motion simulators, enables unlimited continuous 360-degree spinning in any rotational axes plus finite X , Y , and Z translation motions. The advantage of enabling continuous 360-degree spinning allows various motions for virtual reality. In this paper, the development of the test path to verify the robustness of the Eclipse-II motion simulator is described. The test motions, which satisfy the requirements of test path, are suggested and washout filter enables these motions reproduced in the limited workspace. The trial run is conducted to verify the robustness of the Eclipse-II motion simulator. Additionally the standard data format of virtual reality for Eclipse-II One Man Ride is suggested.

Key Words : Test path (시험경로), Motion simulator (모션 시뮬레이터), Robustness (견실성), Eclipse-II (이클립스-II), Parallel mechanism (병렬기구)

1. 서론

모션 시뮬레이터는 현실세계에서 발생하는 운동을 시각효과, 청각효과 및 운동감의 재현을 통해 가상적으로 재현하는 장치이다. 이러한 모션 시뮬레이터는 실제의 상황을 가상현실로 구현하여 화면에 보여주는 시각효과 시스템, 소리나 소음을 전달하여 주는 청각효과 시스템, 실제 운동을 모사하는 모션 베이스로 이루어진다. 모션 시뮬레이터에 있어서 시각효과 시스템과 청각효과 시스템을 통한 시각적, 청각적 현실감의 재현이 중요하나 모션 베이스를 통하여 탑승자에게 현실세계에서와 같은 운동감을 재현해 주는 것이 더욱 중요한 요소이다.

현재 대부분의 모션 시뮬레이터에서는 스투어트-고흐 플랫폼 (Stewart-Gough platform)을 사용하고 있다.[1, 2, 3] 이는 3-자유도 병진운동, 3-자유도 회전운동을 재현할 수 있으나 회전운동에 있어서 20~30도의 각도로 움직임이 제한되어 있다. 이러한 제약으로 인해 스투어트-고흐 플랫폼을 통해서 현실에서 발생하는 비행기의 90도 급전직하, 롤러코스터의 360도 회전 나선운동 등을 현실과 똑같이 재현

하는 것은 불가능하며, 시각적인 효과에만 의존하여 탑승자의 현실감을 떨어뜨린다. 스투어트-고흐 플랫폼을 이용하지 않고 360도의 회전운동을 재현하는 직렬 기구들이 존재하지만 이들 역시 병진운동을 재현할 수 없다는 한계를 갖는다. 이러한 한계를 극복할 수 있는 새로운 모션 베이스의 개발 필요성이 대두되었고 이에 따라 플랫폼의 6-자유도 운동 뿐만 아니라, 플랫폼이 360도 이상 무한 회전이 가능한 새로운 병렬기구 구조인 이클립스-II를 개발하였다. Fig. 1은 이클립스-II 구조 및 기구 시작품의 플랫폼이 360도 회전하는 것을 보여준다.

새로운 병렬기구 구조인 이클립스-II에 대한 기구 구조 타당성 및 성능의 검증은 위한 이론적인 해석과 실제 구동이 가능한 시제품 제작을 수행하였으며 현재 이클립스-II 일인승 모션 시뮬레이터를 제작 중에 있다.[4] 이클립스-II 구조를 이용한 모션 시뮬레이터 제작 시 기구에 대한 신뢰성 및 견실성을 얻기 위한 시험경로를 이용한 실험은 필수 요소이다. 시험경로는 이클립스-II 구조를 이용한 시뮬레이터가 가질 수 있는 최대 선가속도, 각속도를 표현하고, 플랫폼의 작업영역 전체를 활용하며, 구

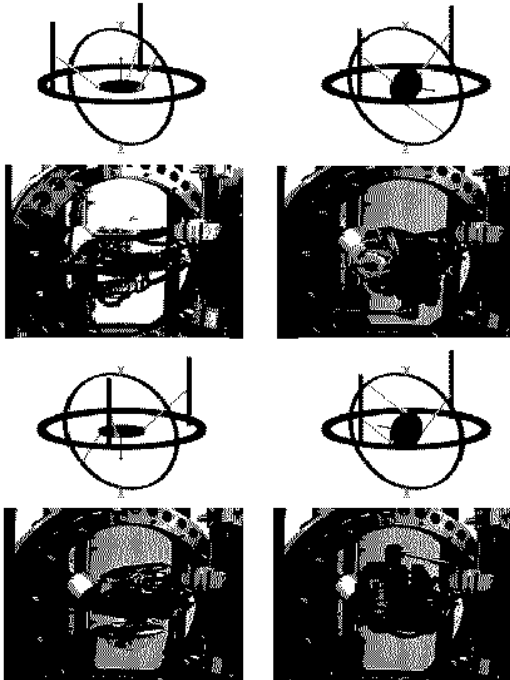


Fig. 1 Eclipse-II working sample and its 360-degree continuous rotational motion

현할 수 있는 모든 움직임, 즉, 360 도 연속 회전운동 및 6-자유도 운동을 나타낼 수 있어야 한다. 또한 모션 시뮬레이터의 특성에 비추어 볼 때 시각 및 청각효과 시스템과 연계한 시험 경로 개발이 필요하다.

본 연구에서는 이클립스-II 구조를 사용한 모션 시뮬레이터에 대하여 탑승자가 경험하는 가상현실에 대해 시각 및 청각효과 시스템과 동기화 된 시험경로를 개발한다. 이러한 시험경로를 통해 신뢰성 및 견실성을 확보한다.

2. 이클립스-II 기구구조 및 작업영역

이클립스-II 는 고정된 수평 원형 가이드 위에 독립적으로 움직이는 3 개의 PPRS 직렬 연쇄기구로 구성되어 있다. 여기서 P, R, S는 각각 미끄럼 (Prismatic), 회전 (Revolute), 볼 (Spherical) 관절을 나타낸다. 이클립스-II는 6-자유도 기구로써 6 개의 구동관절로 구성되어 있는데 이는 수직 칼럼 위의 두개의 미끄럼 관절과 원형 칼럼 위의 미끄럼 관절, 그리고 수평 원형 가이드 위의 세 개의 미끄럼 관절로 이루어져 있다. Fig. 2 에서 6 개의 구동관절을 볼 수 있으며 움직임의 방향을 화살표로 표시해 놓았다. 하나의 원형 칼럼과 두개의 직선 칼럼을 원형 가이드 위에 위치시킴으로써 회전운동의 범위를 극대화하였다. 즉, Fig. 2 에서 보는 바와 같이 운동

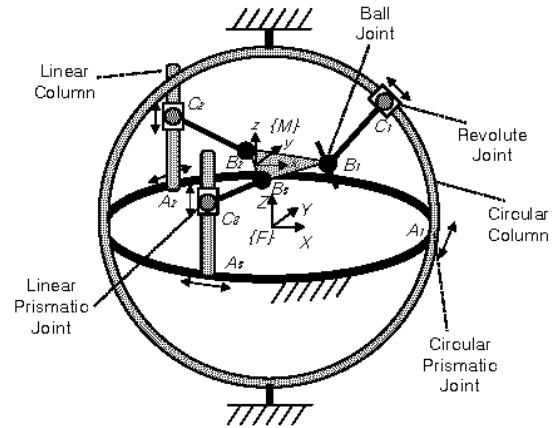


Fig. 2 Architecture of the Eclipse-II mechanism

좌표계 $\{M\}$ 에서의 y 축과 고정 좌표계 $\{F\}$ 에서의 Z 축에 대해 360 도 무한회전이 가능하다. 또한 작업 영역의 크기를 극대화 시키기 위해 기구변수를 최적화할 때 플랫폼의 형태는 세 개의 볼관절 B_1, B_2, B_3 이 이등변 삼각형을 이루며 운동 좌표계의 원점은 B_2, B_3 의 중심에 오도록 하였다.

이클립스-II 일인승 모션 시뮬레이터의 주요 사항은 원형 가이드의 지름과 원형 칼럼의 지름은 2500mm이며 플랫폼에서 볼관절 B_2, B_3 를 잇는 삼각형의 밑변 길이는 1125mm, 높이는 940mm이다.

이를 통해 얻어지는 이클립스-II 일인승 모션 시뮬레이터의 작업영역은 지름 237mm, 높이 491mm의 원기둥의 형태를 갖는다.

Table 1 은 이클립스-II 일인승 모션 시뮬레이터의 최대 속도 및 가속도를 보여준다.

3. 시험경로 개발

3.1 경로 데이터 생성

360 도 연속 회전운동 및 6-자유도 운동을 표현한 다양한 영화, 애니메이션을 선정하여 탑승자 입장의 일인칭시점 장면 중 이클립스-II 일인승 모션 시뮬레이터의 최대속도, 가속도를 넘지 않는 장면을 선별하여 245 초의 시험경로 화면을 제작하였다.

제작된 화면에 대해서 속도와 가속도의 변화가 확인한 120 개의 주요 프레임을 선정하고 각각에

Table 1 Maximum velocity and acceleration

	Linear	Angular
Max. Velocity	600 (mm/sec)	208 (deg/sec)
Max. Acceleration	5000 (mm/sec ²)	866 (deg/sec ²)

대해서 탑승자의 위치와 자세를 6-자유도 좌표로 측정하였다. 주요 프레임의 위치와 자세 좌표를 통해 가상 공간에 가상 화면을 제작 하였으며 제작 화면과 가상 화면을 비교하여 프레임의 위치, 자세 좌표를 수정하였다.

이클립스-II 일인승 모션 시뮬레이터의 제어 소프트웨어에서는 20ms 의 추출 시간 (Sampling time) 을 사용하므로 주요 프레임으로부터 얻어진 6-자유도 위치, 자세 좌표를 스플라인 보간을 통하여 20ms 의 추출 시간에 맞는 경로 데이터를 얻어냈다.

3.2 워시아웃 필터

모든 모션 시뮬레이터들은 제한된 작업공간으로 인하여 실제 움직임에서 보여주는 속도와 가속도를 똑같이 재현할 수 없다. 이러한 한계를 해결해 주는 것이 워시아웃 필터 (Washout Filter)이다. 예를 들어 가상공간에서 탑승자가 5 초 동안 x 축 방향으로 가속을 한다면 모션 베이스 역시 5 초 동안 x 축 방향으로 가속 해야 하지만 작업영역이 제한 되어 있기 때문에 실제로 가속량 만큼 움직일 수 없다. 이와 같은 문제점을 해결 하기 위해서 x 축 방향으로의 가속을 주는 대신 y 방향으로의 회전을 통해서 x 축 방향으로 발생하는 가속도를 재현한다.

이클립스-II 일인승 모션 시뮬레이터에서는 (1) 과 같은 동적 모델링을 이용하여 y 방향으로의 회전 시 선가속도 대신 중력의 영향을 고려하며 최대 변위, 최대 선속도, 선가속도를 이용하여 실제 움직임을 재현한다.

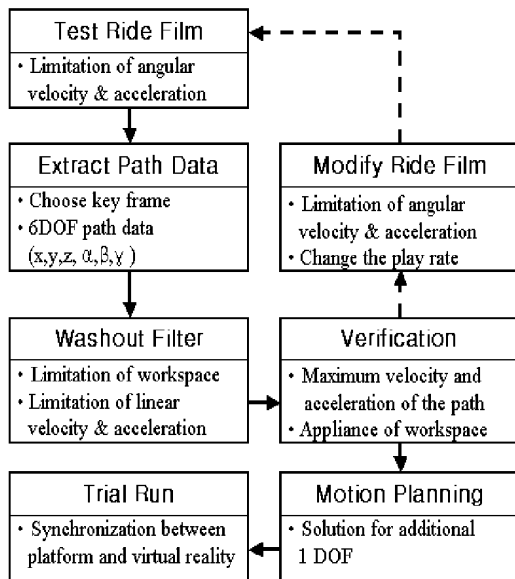


Fig. 3 Flowchart of development of test path

$$f = a + g \sin \theta + R_{sz} \ddot{\theta} \quad (1)$$

- f : 탑승자가 느끼는 힘
- a : 외부 입력 가속도
- g : 중력 가속도
- θ : 회전각도
- R_{sz} : 회전중심에서 탑승자의 머리까지의 반경

3.3 경로 데이터 분석

245 초의 시험경로 화면에 대해 12,250 개의 경로 데이터를 생성, 확인하였다.

Fig. 4 에서는 각 축에 대한 변위를 보여준다. 얻어진 변위 값으로부터 각 축에 대한 최소, 최대 변위를 구한 결과는 Table 2 와 같다. 이 때 a, b, c 는 각각 z, y, x 축에 대한 회전각을 의미한다. 제작된

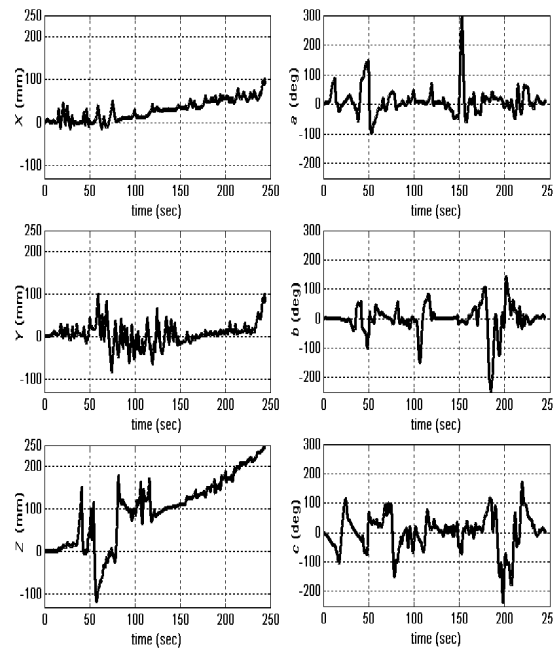


Fig. 4 Traslational and angular displacement

Table 2 Maximum and minimum displacement

	Min. displacement	Max. displacement
X (mm)	-15.03	100.01
Y (mm)	-82.37	100.05
Z (mm)	-115.52	245.00
a (deg)	-97.88	295.82
b (deg)	-243.74	142.21
c (deg)	-238.38	172.10

Table 3 Maximum acceleration and angular velocity

		Max. value	Max. magnitude
Acceleration	X	1320 (mm/sec ²)	4930 (mm/sec ²)
	Y	3410 (mm/sec ²)	
	Z	4920 (mm/sec ²)	
Angular velocity	a	120.00 (deg/sec)	206.17 (deg/sec)
	b	120.00 (deg/sec)	
	c	114.27 (deg/sec)	

시험경로가 6 자유도 운동 및 360 도 연속 회전을 표현하고 있음을 Table 2 를 통해서 알 수 있다. 또한 각 축의 변위의 값의 조합으로부터 이클립스-II 일인승 모션 시뮬레이터의 작업영역 전체를 활용하고 있음을 알 수 있다.

제작된 시험경로가 이클립스-II 일인승 모션 시뮬레이터의 최대 선가속도 5 m/sec², 각속도 208 deg/sec를 표현하고 있음을 Table 3 에 나타난 최대 가속도와 각속도 값을 통해서 보여준다.

4. 시험경로의 적용

모션 시뮬레이터의 탑승자는 모션 베이스가 가상현실의 움직임을 재현함과 동기화 되어 작동하는 시각, 청각 시스템을 통해서 가상현실을 경험한다. 따라서 시각, 청각시스템과 모션 베이스가 동기화 되지 않는다면 탑승자는 실제 움직임과 같은 움직임 경험을 할 수 없다. 모션 베이스의 움직임과 시각, 청각 시스템을 동기화 하기 위해서 TCP/IP 프로토콜을 사용한다. 이를 이용한 동기화 과정은 다음과 같다. 모션 베이스를 구동하는 제어 소프트

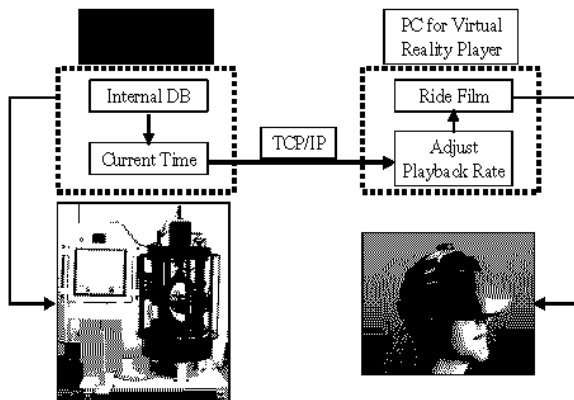


Fig. 5 Synchronization between VR and Motion Base

웨어에서 TCP/IP 프로토콜을 통하여 지정된 시간 간격에 맞추어서 시각, 청각 시스템을 담당하는 소프트웨어로 경로 데이터의 인덱스를 전달한다. 시각, 청각 시스템을 담당하는 소프트웨어에서는 인덱스를 받아 그 순간 움직임의 데이터와 비교한 후 시각, 청각 시스템을 구동하거나 필요한 경우 시각, 청각 시스템의 구동 시간 비율을 조정한다. 이 과정은 Fig. 5 에서 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 이클립스-II 모션 시뮬레이터의 견실성 및 신뢰성을 검증하기 위해서 가상 현실을 이용한 시험 경로의 개발을 소개하였다. 시험 경로는 연속적인 360 도 무한 회전 운동, 최대 속도 및 가속도를 나타내며 플랫폼의 작업공간을 모두 활용하여야 하는 3 가지 요구 조건을 만족시키는 영화 및 애니메이션의 화면을 이용하여 제작하였다.

제작된 시험경로를 적용하여 이클립스-II 모션 시뮬레이터의 견실성 및 신뢰성을 확보한다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Stewart, D., "A Platform with Six degrees of freedom," Proc. Inst. Mech. Eng., 180 Part, Vol. 1, No. 15, pp. 371-386, 1966.
2. Bertolini, G P., et al., "The General Motors Driving Simulator," SAE paper 940179, 1994.
3. Merlet, J. P., "Parallel Robots," Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 2000.
4. Kim, J., et al., "Eclipse II : A New Parallel Mechanism Enabling Continuous 360-degree Spinning Plus Three-axis Translational Motions," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 18, No. 3, pp. 367-373, 2002.
5. Darnell Moore, Monson Hayes, "Tracking 3D Position and Orientation from 2D Sequences Using Simple Geometry", Conference Record of the Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers, v 1, p 125-129, IEEE, 1997.
6. Richard M. Murray, Zexiang Li, S. Shankar Sastry, "A Mathematical Introduction to ROBOTIC MANIPULATION", CRC Press, 1994.