

병렬구조형 차량운전 모사장치의 성능평가 및 분석

Analysis and Performance Evaluation of the Parallel Typed for a Vehicle Driving Simulator

°박 일경, 박 경균, 조 준희, 김 정하, 이 운성

국민대학교 자동차공학과 대학원 (Tel : +82-2-919-3714; E-mail : jhkim@kmu.kookmin.ac.kr)

Abstracts The vehicle driving simulator expects vehicle motion with real-time simulation arise from driver's steering, accelerating, stopping, and simulates motion of vehicle with visual, audio and washout algorithm. And it gives a vivid feeling to driver in reality. Vehicle driving simulator with vehicle integration control system is used for analysis of vehicle controllability, steering capacity and safety in various pseudo environment alike. Besides, it analyzes vehicle safety factor, driver's reaction and promotes traffic safety without driver's own risks.

The main procedures of development of the vehicle driving simulator are classified by 3 parts. First, the motion base system which can be generated by the motion queues, should be developed. Secondly, real-time vehicle software which can afford the vehicle dynamics, might be constructed. The third procedure is the integration of vehicle driving simulator, which can be interconnected between visual systems with motion base.

In this study, we are to study of the motion base for a vehicle driving simulator design and that of its real time control and using an extra gyro sensor and accelerometers to find a position and an orientation of the moving platform except for calculating forward kinematics. To drive the motion base, we use National Instruments corp's LabVIEW software. Furthermore, we use the analysis module for the vehicle motion and the washout algorithm module to consummate driving simulator, which can be driven by human in reality, so we are doing experimentally process about various vehicle motion condition.

Keywords Vehicle Driving Simulator, System Integration, Goal Performance, System Measurements

1. 서론

차량 시뮬레이터 (Driving Simulator)는 운전자가 자동차를 운전하는 동안 행해지는 핸들 조작, 엑셀레이터와 브레이크 페달 조작을 통해 야기되는 차량의 운동을 실시간 시뮬레이션을 수행해 예측하고 그 결과를 운동, 시각 및 음향 시스템을 통해 운전 모사장치에 탑승한 운전자가 실제로 자동차를 운전하고 있다는 느낌을 받게 한다. 이때 운동 시스템은 사시의 각속도 및 선형 가속도에 의해 생성되는 운동 큐(Cue)를 통해 핸들링 및 승차감 특성을 느끼게 하며, 시각 시스템과 음향시스템은 각각 운전자로 하여금 시각을 통해 주위 환경을 인지시키고 실제 운전시 발생하는 소음을 재현시켜 현실감을 높인다.

차량 시뮬레이터는 차량의 제어성, 운전성, 안정성에 대한 예측 분석을 토대로 차량시스템의 개발에 효과적으로 이용되고, 또한 위급상황을 재현하여 운전자가 차량을 운전할 때 작용하는 반응을 운전자의 안전에 위협을 주지 않으면서 분석하여 차량의 안전도, 소비자의 반응 예측 및 교통 안전의 도모에 이용된다. 본교에서는 현재 프로토타입 차량 시뮬레이터를 개발하였는데, 이는 실시간 시뮬레이션을 수행하는 실시간 컴퓨터, 운전자가 실제 차량을 운전할 때 느끼는 운동을 재생하는 운동 시스템 (Motion System), 시각 시스템 (Visual System), 음향 시스템 (Audio System)과 각 시스템간의 정보 및 데이터 교환, 시간 일치화 (Synchronization) 등을 관리하는 시스템 통합(System Integration)으로 구성되어 있다.

본 연구의 목적은 현재 개발된 프로토타입 차량 시뮬레이터의 응용 소프트웨어를 최적화, 개선하기 위하여 시스템의 성능평가와 검증용을 수행하여 결과를 분석함으로써 시스템 성능을 극대화하는데 있다. 또한 이 장치를 효과적으로 응용하여 향후 개발될 Full-Scale 차량 시뮬레이터의 목표성능을 예측하고, 시스템 통합을 비롯하여 여러 기술적 문제를 해결할 수 있는 기반을 조성하는데 있다.

2. 차량 시뮬레이터

차량 시뮬레이터의 개발 과정은 크게 세 단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 단계로서 모션시스템의 개발, 두 번째로 실시간 차량 소프트웨어의 개발이며, 세 번째는 영상시스템과 음향시스템을 모션시스템과 연결시켜 시뮬레이터를 완성하는 시스템 통합 단계이다. 현재 세 번째 시스템 통합을 수행하여 실제 운전자가 탑승할 수 있는 시스템을 완성하였고 시스템 튜닝을 통한 최적화 작업을 수행 중에 있다.

본교에서 제작된 차량 시뮬레이터는 효과적인 연구목적의 달성을 위하여 차량 시뮬레이터의 개념 설계를 위한 모션시스템의 기구학적 설계, 구동제어 알고리즘, Driving Logic, 유압시스템, Visual/Audio System, Vehicle Simulation System, Control Force Loading System등의 각 부분에 대한 개별적인 연구를 수행하였고, 전체 시스템을 통합시켜 완성하였다. Fig. 1은 현재 본교

에서 개발한 차량 시뮬레이터의 모습을 보여주고 있다. 본 논문은 차량 시뮬레이터의 구동부인 모션시스템의 목표 성능을 설정해 놓고 실제 시험을 통한 성능평가에 대해 기술하였다.

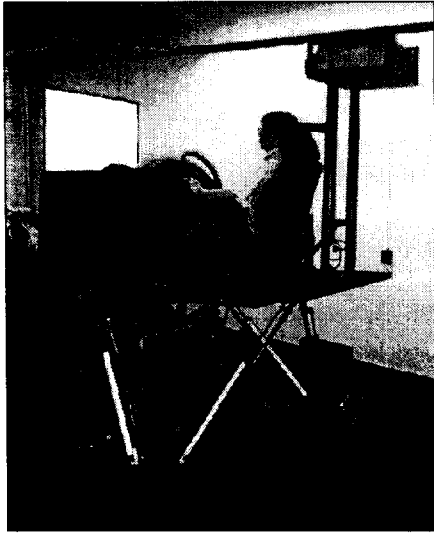


Fig. 1 Vehicle Driving Simulator

3. 시스템 목표 성능의 결정

모션시스템의 성능평가를 위해서 MIL-STD-1558(Six-DOF Motion System Requirements for Aircrewmember Training Simulators)의 성능특성 항목을 참조하여 다음과 같은 요구사항 기준을 설정하였다.

3.1 계단과 응답 (Step Response)

계단과 입력을 인가하였을 때 운동시스템은 0.05초 이내에 반응하여야 하며, 운전자의 조작입력에 대한 운동시스템의 반응은 시스템 설계 조건에 따라 결정할 수 있다.

3.2 운동범위 및 한계속도 (Excursion & Maximum Velocity)

각 자유도에 관한 운동 범위 및 한계 속도와 가속도는 운동 플랫폼의 중립 위치에서 상판의 중심점에 있는 고정좌표계에 관하여 Table. 1과 같이 정의된다.

Table 1. Excursion Requirements

Vertical	± 250 mm
Lateral	± 250 mm
Longitudinal	± 250 mm
Pitch	± 25 degrees
Roll	± 25 degrees
Yaw	± 25 degrees

Table 2. Velocity Requirements

Vertical	610 mm/s
Lateral	610 mm/s
Longitudinal	610 mm/s
Pitch	20 deg/s
Roll	20 deg/s
Yaw	20 deg/s

본 요구사항에서 정의한 운동 플랫폼의 운동 범위는 동시에 모든 한계를 만족해야 하는 요구사항은 아니며, 독립적으로 각각의 요구사항을 만족하여야 한다. Vertical과 Pitch의 경우 기하학적인 중심으로부터 그 중심점이 벗어나는 것은 허용한다.

3.3 한계 가속도 및 초기 가속도비 (Maximum Acceleration and Acceleration Onset)

운동 플랫폼의 중심점에서의 움직임에 대하여 0.2초 동안의 입력 큐에 대해 Table. 3과 같은 한계를 만족하여야 한다.

Table 3. Max Acceleration & Acceleration Onset

Movement	Onset Acceleration Rate	Maximum Acceleration
Vertical	± 4 g/s	± 1.0 g
Lateral	± 3 g/s	± 0.6 g
Longitudinal	± 3 g/s	± 0.6 g
Pitch	± 300 deg/s ² /s	± 60 deg/s ²
Roll	± 300 deg/s ² /s	± 60 deg/s ²
Yaw	± 300 deg/s ² /s	± 60 deg/s ²

3.4 댐핑 (Damping)

각 6자유도 운동에 대해 전체크기 5%의 계단과 입력을 0.2 Hz로 인가했을 때 Overshoot이 없어야 한다.

3.5 유연성 (Smoothness)

운동시스템에 정현과 신호를 전체 크기의 10%, 0.5 Hz로 인가하였을 때 마찰에 의해 나타나는 가속도 Peak가 운전석의 위치에서 0.04g 이하여야 한다.

3.6 안정성 (Stability)

정지 상태나 정속상태로 운동시 0.015g 이상의 가속도를 전하는 운동 시스템이나 서보 시스템에 불안정성이 있어서는 안된다.

3.7 정적 정확성 (Static Accuracy)

운동 플랫폼 위치의 명령치와 실제 위치와의 정적오차는 전체 운동 영역의 1% 이하여야 한다.

3.8 상호간섭 (Cross Talk)

각 서보 기구 (Servo Mechanism)에 의한 다른 서보 시스템의 간섭량은 총 크기의 2% 이내에 들어야 한다.

4. 계측 시스템 구성

모션시스템의 성능시험을 위하여 다음과 같은 센서를 사용하였다.

4.1 각 실린더의 길이 측정

6개의 LVDT(Linear Variable Displacement Transducer)를 각 실린더에 수평으로 설치하여 실린더의 길이를 측정하였다.

4.2 운동 플랫폼의 속도와 가속도 측정

3축 가속도계를 사용하여 Vertical, Lateral, Longitudinal 세 방향의 가속도를 측정하고 적분을 통하여 속도를 계산하였다.

4.3 운동 플랫폼의 각속도와 각가속도 측정

3축 자이로센서를 사용하여 각속도는 미분하여 구하였고, 각가속도는 각속도를 미분하여 구하였다.

4.4 계측 시스템의 구성

시험을 위한 신호들은 제어용 컴퓨터(Pentium PC)에서 발생시킨다. 실린더에 관련된 데이터는 제어용 컴퓨터에서 모니터링 및 저장을 하고 가속도와 속도, 각 방향의 각도는 모니터링용 컴퓨터(Notebook PC)에 저장한다. 실험장치의 구성은 Fig. 2와 같다. 플랫폼의 속도, 가속도, 각속도, 각가속도의 측정을 위해서 플랫폼의 중앙에 가속도계와 자이로센서를 장착하였고, 그 신호는 모니터링용 컴퓨터에서 계산하게 된다.

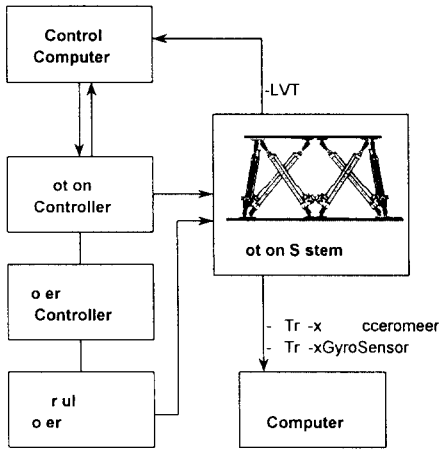


Fig. 2 Block Diagram of Experimental System

5. 성능시험 결과 및 분석

5.1 계단과 응답 시험

Figure. 3은 계단과 신호를 주었을 때 응답을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 목표 성능인 0.05sec 보다 빠른 0.02sec의 응답을 보여주고 있다.

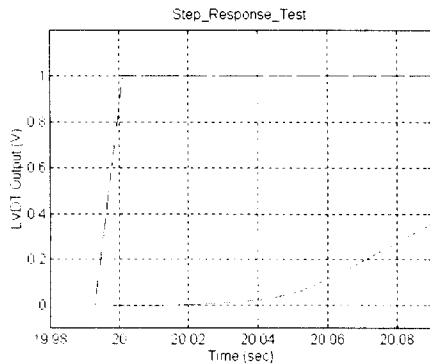


Fig. 3 Step Response

5.2 운동범위 및 한계속도 시험

Table 4는 모션시스템의 운동영역을 보여준다. Vertical, Lateral, Longitudinal 세 방향 모두 요구성능치를 만족하였으나 회전 가능한 각도는 Yaw만 만족하고 Pitch와 Roll은 약간 부족함이 있었다. 속도의 경우는 직선 세 방향 모두 요구치를 만족하지는 못하였지만 각속도는 모두 요구치를 만족하였다. 속도는 가속도값으로부터 적분하여 구하였기 때문에 어느정도의 오차는 있으리라 생각하고 있고 Washout 알고리즘의 구동에 중요한 인자는 가속도이므로 속도성분은 실제 구동에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다.

Table 4. Excursion Test Results

Vertical	260 mm
	- 400 mm
Lateral	330 mm
	- 330 mm
Longitudinal	320 mm
	- 300 mm
Pitch	23 deg
	- 22 deg
Roll	22 deg
	- 24 deg
Yaw	30 deg
	- 31 deg

Table 5. Velocity Test Results

Vertical	300 mm/s
Lateral	136 mm/s
Longitudinal	296 mm/s
Pitch	46 deg/s
Roll	44 deg/s
Yaw	49 deg/s

5.3 가속도 시험

가속도 성분은 Washout 알고리즘을 구현하는데 가장 중요한 인자로서 Vertical, Lateral, Longitudinal 세 방향과 Pitch, Roll, Yaw 세 방향의 각가속도는 모두 요구성능을 만족하였다. 특히 Vertical 방향으로서는 상당히 빠른 동작이 가능함을 알 수 있다.

Table 6. Acceleration Test Results

Movement	Maximum Acceleration
Vertical	1.6 g
Lateral	1.0 g
Longitudinal	1.1 g
Pitch	471 deg/s ²
Roll	454 deg/s ²
Yaw	406 deg/s ²

5.4 댐핑 시험

Fig. 4의 그래프를 통해 서보밸브에 신호를 인가했을 때 실린더에서 Overshoot이 일어나지 않음을 알 수 있다.

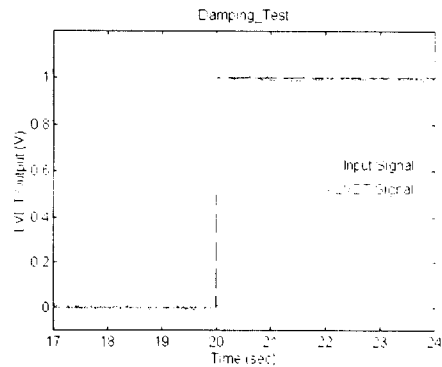


Fig. 4 Damping

5.5 유연성 시험 및 안정성 시험

본 시험은 운전자가 느낄 수 있는 미세한 떨림의 정도를 측정하고 모션시스템의 안정성을 확인하기 위한 시험이었으나 시험에 사용된 가속도계의 오차가 요구성능보다 높은 0.04g 정도로 측정하지 못하였다.

향후에 좀더 정확도가 높은 가속도계를 사용하여 시험하고자 한다.

5.6 정적 정확성 시험

액츄에이터에 25mm의 계단과 입력을 주었을 때 위치의 오차는 거의 일어나지 않음을 그래프를 통해서 알 수 있다. 정적 정확성 시험 역시 요구치를 만족하였다.

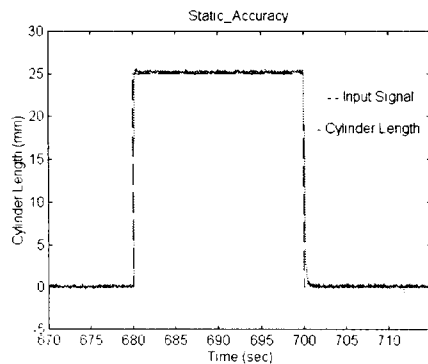


Fig. 5 Static Accuracy Test

5.7 상호간섭 시험

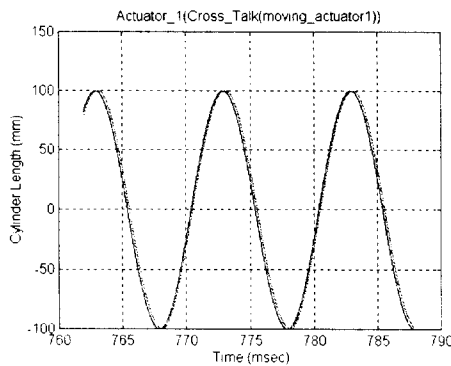


Fig. 6 Length of Actuator No. 1

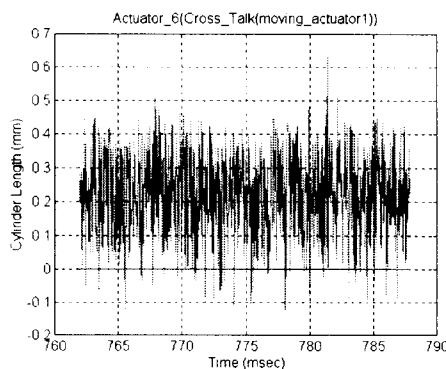


Fig. 7 Length of Actuator No.6

Fig. 6은 1번 액츄에이터에만 100mm의 길이신호를 인가해 주었을 때 LVDT의 신호를 보여주고 있다. 그때 나머지 5개의 액

츄에이터는 움직이지 않고 LVDT의 신호만 출력해 보면 Fig. 6과 같은 그래프를 볼 수 있다.

Fig. 7로부터 6번 액츄에이터는 약 0.5mm정도 움직임이 있음을 볼 수 있고 상호간섭 시험의 요구치인 2mm의 약 1/4 정도로서 대단히 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

6. 결론

차량 시뮬레이터는 기본적으로 한정된 영역 안에서 차량의 운동을 재현해야 하므로 운전자에게 실제감을 주기 위해서 넓은 운동한계와 충분한 가속도를 필요로 한다. 위의 시험을 통해서 운동범위와 가속도는 초기에 설정한 요구성능에 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었지만 모션시스템의 유연성 및 안정성 시험은 센서의 오차로 인해 실험을 하지 못하였다.

현재 모션베이스는 동작 시에 약간의 떨림이 일어나고 있는데 이는 전자 제어방식을 사용한 서보밸브의 영향으로 인해 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해 좀더 정밀도가 높은 서보밸브로 교체하여 시험 중에 있으며 그 외의 필요한 시험을 수행 중에 있다.

후기

본 연구는 1996년도 한국학술진흥재단 공모과제(96-E-0602)에 의하여 연구되었음. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] E. F. Fichter, "A Stewart Platform-based Manipulator General Theory and Practical Construction", *International Journal of Robotics Research*, Vol.5, No.2, pp.157-182, 1986.
- [2] LabVIEW User Manual, *National Instruments*, 1996.
- [3] R. Sivan, J. Shalom and J. k. Haug, "An Optimal Control Approach to the Design of Moving Flight Simulators", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. No.12, No.6, 1982.
- [4] S. Normadick, "VTI Driving Simulator: Mathematical Model of a Four-wheeled Vehicle for Simulation in Real Time", Report 267A, Swedish Road and Traffic Research Institute, 1984.
- [5] T. Suetomi, et. al, "The Driving Simulator with Large Amplitude Motion System", *SAE Paper 910113*, 1991.
- [6] Six-Degree-of-Freedom Motion System Requirements for Aircrewmember Training Simulators, *MIL-STD-1558*, Department of Defense, 1974.
- [7] W. Kading and F. Hoffmeyer, "The Advanced Daimler-Benz Driving Simulator", *SAE Paper 950175*, 1995.
- [8] 김정하, 박일경, 이운성, "병렬구조형 1/2 Size 차량운전 모사장치의 설계 및 특성연구", 제어계측·자동화·로보틱스 연구회 합동발표회 논문집, pp. 49-53, 1997.
- [9] 박경균, 박일경, 최연철, 안태환, 이운성, 김정하, "차량 시뮬레이터의 운동 시스템 개발", 97 춘계한국자동차공학회, pp.488-493, 1997.
- [10] 이운성, 김정하, 조준희, "실시간 차량 시뮬레이터 개발", 97 춘계한국자동차공학회, pp.464-469, 1997.
- [11] 이운성, 조준희, 김정하, "안전도 향상을 위한 Driving Simulator의 개발 및 응용 동향", '97 Safety 부문 학술강연초록집, 한국자동차공학회, 1997, pp. 18-27.