

차량 주행 감각 재현을 위한 운전 시뮬레이터 개발에 관한 연구 (I)

박민규*, 이민철**, 손권**, 유완석**, 한명철**, 이장명***

A Study on the Development of a Driving Simulator for Reappearance of Vehicle Motion(I)

Min Kyu Park*, Min Cheol Lee**, Kwon Son**, Wan Suk Yoo**, Myung Chul Han** and Jang Myung Lee***

ABSTRACT

A vehicle driving simulator is a virtual reality device which a human being feels as if the one drives a vehicle actually. The driving simulator is used effectively for studying interaction of a driver-vehicle and developing vehicle system of a new concept. The driving simulator consists of a vehicle motion bed system, motion controller, visual and audio system, vehicle dynamic analysis system, cockpit system, and etc.

In this paper, the main procedures to develop the driving simulator are classified by five parts. First, a motion bed system and a motion controller, which can track a reference trajectory, are developed. Secondly, a performance evaluation of the motion bed system for the driving simulator is carried out using LVDTs and accelerometers. Thirdly, a washout algorithm to realize a motion of an actual vehicle in the driving simulator is developed. The algorithm changes the motion space of a vehicle into the workspace of the driving simulator. Fourthly, a visual and audio system for feeling higher realization is developed. Finally, an integration system to communicate and monitor between sub systems is developed.

Key Words : vehicle driving simulator(차량 운전 시뮬레이터), vehicle motion bed system(차량 운동 모사장치), performance evaluation(성능평가), motion controller(운동 제어기), visual/audio system, (시각·음향 장치), cockpit system(운전 조작부), washout algorithm (워시아웃 알고리즘)

1. 서론

운전 시뮬레이터^(1,2,3)는 운전자가 차량의 조향 휠, 브레이크, 액셀레이터 등의 조작을 통해 야기 되는 차량의 운동을 시뮬레이션에 의해 예측하고 그 결과를 감각, 시각 등을 통해 운전자에게 전달함으로써 운전 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 실

제로 차량을 운전하고 있다는 느낌을 받게 하는 가상 현실 장비(virtual reality device)이다. 이러한 운전 시뮬레이터는 실제 차량의 운동을 실험실 단 위에서 재현함으로써 새로운 개념을 갖는 차량 시스템 개발이나 운전 교육용으로 자동차, 건설기계 등의 차량을 제작하는 회사에서의 활용이 점차 증대되고 있다.

* 부산대학교 대학원 지능기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

*** 부산대학교 전자공학과

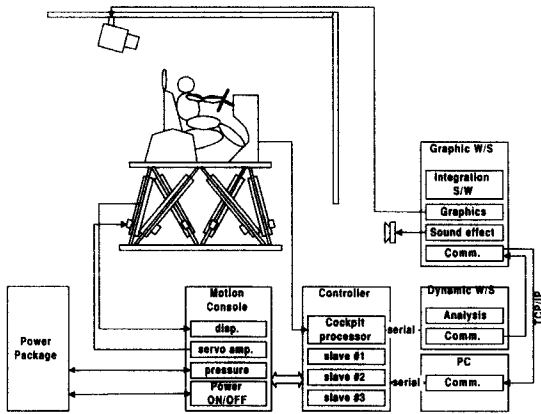


Fig. 1 Schematic diagram of driving simulator

운전 시뮬레이터를 개발하기 위해서는 여러 가지 서브 시스템의 통합이 필요하다. 서브 시스템으로는 6자유도 병렬구조를 가지는 스튜어트 플랫폼⁽⁴⁾ 형태의 운동재현기와 이를 제어할 수 있는 전용제어기, 운전자와 운동재현기의 인터페이스 역할을 하는 운전 조작부와 운전 조작부의 출력 신호를 입력받아 차량의 동적 모델을 해석하는 컴퓨터, 시각 및 음향 효과를 제공하는 시스템 등으로 분류할 수 있으며 이러한 각 서브 시스템이 유기적으로 적절히 조합되어야만 가상 현실 장비로서의 의미가 있다. 이러한 구성 조건을 갖춘 차량 운전 시뮬레이터는 국내에서도 이미 개발된 사례가 있다^(5,6). 그러나 주행 환경에 대한 그래픽 처리 과정을 개인용 컴퓨터를 사용함으로써 그래픽 처리 시간 등의 제약을 받는 문제점, 운동재현기의 설계 시 최대 부하를 운전자만으로 제한함으로써 승객에 대한 고려를 하지 않은 문제점, 운동 사양 즉 최대 속도 및 최대 가속도 등을 차량에 적합하지 않게 설계·제작함으로써 차량의 운동 모사 장치로서 운전 시뮬레이터의 활용 범위를 제한하는 문제점이 있었다. 또한 운동재현기가 주어진 기준 제적에 잘 추종하기 위해서는 독립적인 전용제어기가 필수적인데 기존에 개발된 시스템에서는 개인용 컴퓨터를 이용하는 문제점이 있었다.

본 논문에서는 기존의 개발된 운전 시뮬레이터에서 발견된 문제점을 보완하여 차량의 운동을 보다 현실성 있게 모사할 수 있는 운전 시뮬레이터를 개발하고자 한다. 우선 실제 차량의 운동을 운동재현기에서 재현할 수 있는지를 평가하기 위해 목표 성능을 MIL-STD-1558 (Six-DOF Motion

System Requirements for Aircrewmember Training Simulators)⁽⁷⁾을 참고하여 설정하고 운동범위, 속도, 가속도에 대한 성능 평가를 수행하고자 하며, 실제 차량에서 느끼는 현실감을 유지하면서 운동재현기의 운동 영역을 만족할 수 있는 알고리즘, 즉 워시아웃(washout) 알고리즘^(8,9)을 개발하고 이를 이용해서 운동재현기를 제어할 수 있는 전용제어기를 개발하고자 한다. 또한 각 서브 시스템간의 정보교환을 위한 통신이 가능하도록 하여 전체 시스템을 통합함으로써 운전 시뮬레이터를 개발하고자 한다.

2. 운전 시뮬레이터 구성

운전 시뮬레이터는 운전자와 차량 상호간의 작용 인자 연구 및 새로운 개념을 갖는 차량 시스템 개발 분야에 효과적으로 사용될 수 있는 시스템이다.

Fig. 1은 본 연구에서 개발되어진 운전 시뮬레이터의 개념 및 구성을 보인다. 차량 조작부 즉 핸들, 브레이크, 엑셀레이터 등의 출력이 차량 해석용 워크스테이션에 입력되고 이 정보를 이용해서 동역학 모델 시뮬레이션을 수행함으로써 차량 좌표계에서의 운동 값을 구한다. 또한 운동 재현기의 운동 범위 내에서 재현이 가능하도록 워시아웃 알고리즘을 이용해서 변환시키고 이러한 정보를 그래픽 및 음향 처리용 워크스테이션으로 전송해서 시각 및 음향 효과를 생성하고 프로젝터(projector) 및 스피커를 이용해서 재현한다. 유압 작동기에 의해서 구동되는 6자유도 운동재현기에서는 80C196KC를 마이크로프로세서로 갖는 전용제어기와 제어 알고리즘을 이용해서 차량의 운동에 해당하는 현실감 있는 운동을 재현한다.

2.1 운동 재현 시스템 구성 및 성능평가

본 연구에서는 구조적으로 높은 강성도와 위치 정밀도 그리고 안정성을 지니는 6자유도 스튜어트 플랫폼 형태의 운동 재현기를 개발하였다. 차량의 차체부와 탑승자 3~4명을 고려해서 운동재현기의 최대부하를 750kg으로 설정하고 재현할 주행 시나리오와 플랫폼의 운동 범위 등을 고려하여 역동역학 해석을 수행하고 이를 통해 운동재현기의 기구학적 인자와 각 유압 작동기가 생성해야 할 힘을 예측하여 유압구동회로 및 유압부품의



Fig. 2 Motion bed system



Fig. 3 Hydraulic unit

사양을 선정하여 제작하였으며, 개발한 운동재현기가 실제 차량의 운동을 모사할 수 있는지에 대한 성능평가를 위해 목표성능을 MIL-STD-1558의 사양을 참고로 해서 설정하고 성능평가를 수행하였다. Fig. 2는 본 연구에서 개발한 운동재현기이고, Fig. 3은 운동재현기를 구동하기 위한 유압 유닛이다.

운동재현기의 설계요구사항은 MIL-STD-1558의 사양을 참조해서 Table 1과 같은 요구사항을 설정했다. Table 1에서 주어진 본 요구사항은 복합운동에 대한 요구사항은 아니며 1자유도 운동에 대

Table 1 Requirements of 6-dof motion

Spec. Motion	Excursion requirements	Velocity requirements	Acceleration requirements
Surge	± 320 mm	610 mm/s	± 1 g
Sway	± 320 mm	610 mm/s	± 1 g
Heave	± 320 mm	610 mm/s	± 1 g
Roll	± 25 deg	20 deg/s	± 60 deg/s ²
Pitch	± 25 deg	20 deg/s	± 60 deg/s ²
Yaw	± 25 deg	20 deg/s	± 60 deg/s ²

Table 2 Experiment results of 6-dof motion

Spec. Motion	Excursion results	Velocity results	Acceleration results
Surge	-470~+580 mm	602.5 mm/s	3.3 g
Sway	± 480 mm	614.9 mm/s	3.5 g
Heave	± 320 mm	595.5 mm/s	4.6 g
Roll	± 26 deg	43.2 deg/s	1015 deg/s ²
Pitch	± 23 deg	46.7 deg/s	990 deg/s ²
Yaw	± 38 deg	47.2 deg/s	1135 deg/s ²

한 요구사항이다. 운동재현기의 성능평가를 위해 본 연구에서는 운동재현기의 상관에 약 250kg의 부하를 탑재하였으며 실험 조건은 운동재현기의 중립위치에서 1자유도 운동을 급격하게 수행하게 하였다. 운동재현기의 목표 성능을 Table 1과 같이 설정하여 구성된 시스템의 성능평가를 실제 실험을 통해 수행하였다. 6자유도 운동 범위는 6개의 유압 실린더의 길이를 LVDT (linear variable displacement transducer)를 이용해서 측정한 뒤 순기구학 해석을 통해 구했다. 병진 성분의 최대 속도 및 최대 가속도는 3축 가속도 센서(AG122GK, JTFT/3639-02, SENSOTEC)를 이용해서 각 방향 병진 최대 가속도를 구한 뒤 이를 적분하여 최대 속

도를 구했다. Fig. 4는 x 방향 병진 운동(surge)에 대한 가속도 측정 결과이며 Fig. 5는 Fig. 4의 가속도를 적분함으로써 구한 속도 결과이다. 회전 성분의 최대 속도 및 최대 가속도는 유압 실린더의 길이 정보를 계측해서 순기구학 해석을 한 뒤 이를 샘플링 주기를 이용해서 미분하여 구하였다. 이상과 같은 방법으로 성능 평가를 수행한 결과는 Table 2와 같다. 운동재현기의 운동영역은 y 방향 회전(pitch) 운동을 제외한 모든 방향에서 요구 성능치를 만족하였으며, 최대 속도는 병진 성분이 요구 성능치에 미소하게 부족함이 있었지만 회전 각속도는 모두 만족하였다. 실제 차량의 운동을 모사하는데 가장 중요한 인자는 가속도 성분이며 성능 평가를 통해서 가속도 조건은 모두 만족하므로 실제 구동에는 무리가 없을 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 운동재현기의 구동원이 유압 유닛을 설계할 때 안전계수를 충분히 고려했고 비교적 응답 속도가 빠른 서보밸브(J076-104, Moog)를 사용함으로써 전체적으로 요구 성능치를 만족할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 개발한 운동재현기는 Table 2의 사양 이내에 있는 차량의 동적 거동은 충분히 재현할 수 있을 것으로 사료된다.

2.2 전용제어기

유압 작동기에 부착된 거리센서로부터 신호를 검출하여 현재 거동 상태를 파악하고 기준 궤적에 따라 유압 작동기를 제어할 수 있는 제어기 보드(슬레이브 보드)를 Fig. 6과 같이 설계·제작하였다. 제어기 보드의 프로세서는 성능이 우수하고 전류소모가 적은 80C196KC를 사용하였으며 제어기 성능 향상을 위해 1개의 프로세서가 2개의 유압 작동기를 관장하게 하였다. 따라서 전용제어기는 6자유도 운동재현기를 구동하기 위해 3개의 슬레이브 보드로 구성되고 이 3개의 슬레이브 보드를 관리하는 컴퓨터와 정보 교환을 위해 RS-232C를 이용해서 직렬 통신이 가능하도록 구성하였다.

2.3 시각 및 음향 시스템

운전자는 주로 시각을 통해 주행 상황을 인지하므로 운전 시뮬레이터에서 현실감을 확보하기 위한 중요한 부분이 시각 시스템이다. 본 연구에서는 워크스테이션(Indigo R2)을 이용하고 OpenGL과 프랙탈 함수를 이용해서 배경을 구성하였다⁽¹⁰⁾.

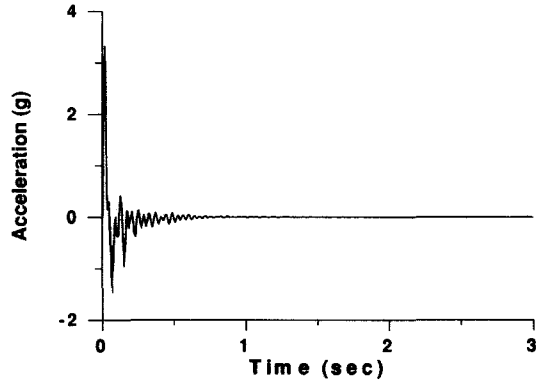


Fig. 4 Result of acceleration from surge motion

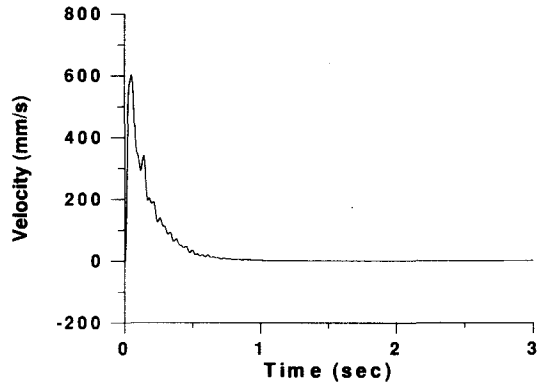


Fig. 5 Result of velocity from surge motion

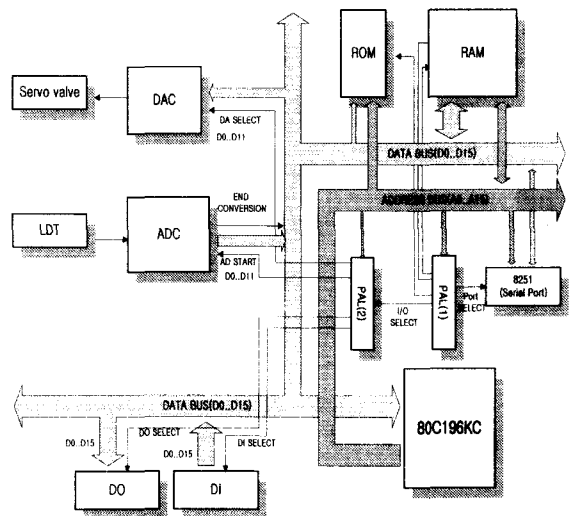


Fig. 6 Schematic diagram of controller

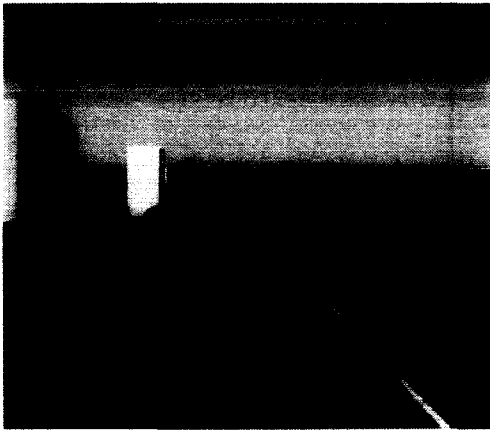


Fig. 7 Screen of driving environment

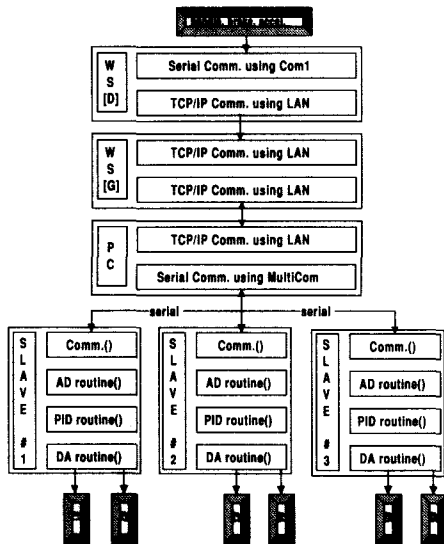


Fig. 8 Structure of communication network

주행 현실감을 높이기 위해서는 주변의 대상이 실제와 같이 많으면 좋으나 실시간으로 주변환경을 처리해야하는 문제가 발생한다. 따라서 운전 시뮬레이터의 움직이는 상태에 대응하는 주변 환경을 적절히 제한해야 한다. Fig. 7은 주행 환경의 일례를 보이는 그림이다. 또한 현실감 개선을 위해 사운드 편집기를 이용해서 음향효과를 주었다.

2.4 통신 네트워크 구성

운전 시뮬레이터를 구동하기 위한 전체적인 통신 구성은 Fig. 8과 같다. 핸들, 브레이크, 액셀

레이터 등을 조작하면 각 조작부에 부착된 엔코더에서 신호가 발생하고 이 신호는 계수 회로를 거쳐 직렬 통신 방식으로 차량 해석용 워크스테이션(O2)에 입력 된다. 차량 해석용 워크스테이션에서는 운전조작부의 정보를 이용해서 차량 동역학을 해석하여 차량 좌표계에서의 데이터를 생성한 후 워시아웃(washout) 알고리즘을 거쳐 운동재현기 좌표계에서의 데이터를 생성한다. 생성된 데이터는 그래픽 처리용 워크스테이션으로 전송된다. 이때의 전송 방식은 LAN(local area network)으로 구성하였으며 최대 통신 속도는 10Mbps이다. 그래픽 처리용 워크스테이션에서는 차량 좌표계의 데이터를 주행 환경을 표현하기 위해 사용하고, 운동재현기 좌표계의 데이터는 다시 LAN을 이용해서 3개의 슬레이브 제어기를 관장하는 개인용 컴퓨터(PC)로 전송된다. PC에서는 인터럽터를 이용해서 각 슬레이브 제어기에 직렬 통신에 의해 데이터를 전송한다. 이 때 직렬포트를 확장하기 위해 멀티 시리얼 포트를 사용하였다. 역으로 현재의 유압작동기의 길이 값을 슬레이브 제어기에서 A/D 변환을 거쳐 획득하고 직렬 통신 방식에 의해 획득된 데이터를 PC로 전송한다. PC에서는 6개의 길이 값을 모두 슬레이브 제어기로부터 받은 뒤 LAN을 이용해서 그래픽 처리용 워크스테이션으로 전송한다. 이 결과는 실시간적으로 그래픽 워크스테이션에서 표현될 수 있다.

3. 운전 시뮬레이터 구동 알고리즘

3.1 통합 운영 소프트웨어

통합 프로그램은 모티프(motif)를 이용하여 윈도우 기반으로 작성하였으며 사용자에게 최적의 환경을 제공하기 위해 GUI(graphic user interface) 환경으로 구성하였다⁽¹⁰⁾. 본 연구에서 개발한 운전 시뮬레이터를 관리하는 통합 프로그램은 Fig. 9의 로고 화면과 같이 3가지 형태로 구성되어 있다. 하드웨어 작동이 없이 단지 그래픽 소프트웨어 상에서 차량의 주행 시뮬레이션을 실행하는 모듈인 Graphic Software 기능, 시뮬레이터에 탑승자 없이 하드웨어의 작동을 테스트하기 위한 모듈인 Hardware Operation 기능, 그리고 운전자가 탑승되어 하드웨어 작동시 시스템을 운영하는 통합 환경 모듈인 Integrated Software 기능으로 구성되어 있으며 프로그램 구조는 Fig. 10과 같다. 통합 소프트

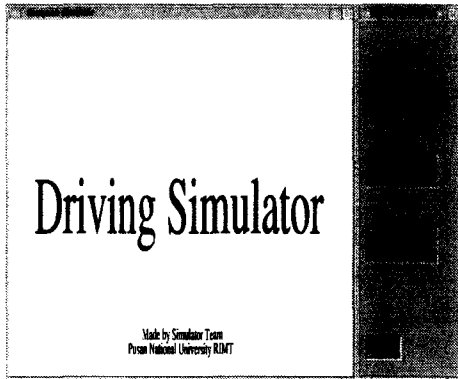


Fig. 9 Logo of integration program

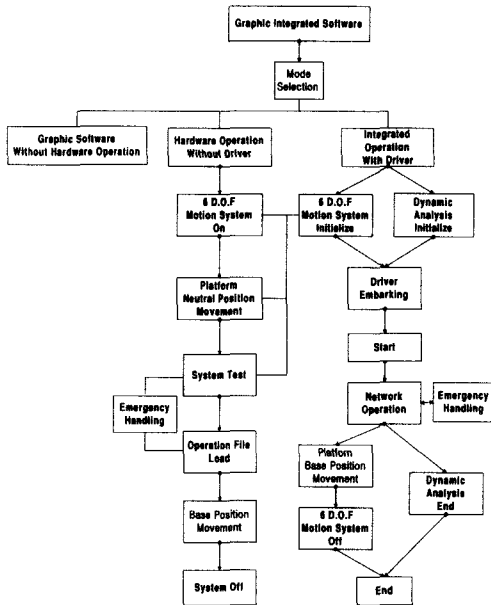


Fig. 10 Tree of integration program

웨어의 서브 프로그램인 그래픽 처리는 모티프 윈도우에 드로잉 영역을 생성하여 OpenGL을 사용하여 나타내었다.

3.2 워시아웃 알고리즘 개발

차량의 주행 및 제동성능 분석을 위한 동적 해석 프로그램은 13자유도를 갖는 모델로 축소해서 자체적으로 개발하였으며⁽¹¹⁾, 기존의 상용 프로그램인 DADS를 이용해서 검증하였다. 하지만 운동을 모사하는 운전재현기는 기구학적인 운동범위

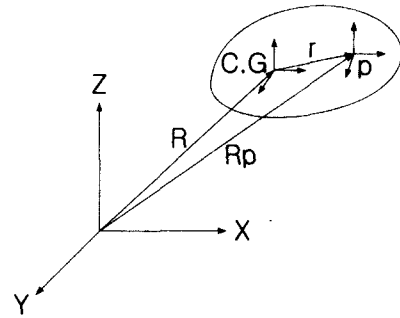


Fig. 11 The coordinate systems

와 시스템의 동특성에 있어서 한계가 있으므로 완전한 운동 재현이 어렵다. 그래서 운동영역을 운동재현기의 물리적인 한계 내로 제한하면서 현실감을 유지시키는 워시아웃 알고리즘이 필요하다.

3.2.1 좌표변환

운동재현기를 구동하기 위해서는 운동재현기의 하판에 고정된 절대좌표계에 대한 운동재현기의 상판에 부착된 국부좌표계(local coordinate)의 위치 및 자세를 생성해야 한다. Fig. 11에서 p점의 절대좌표 R_p 는 다음의 식으로 표시된다.

$$R_p = R + r = R + Ar \quad (1)$$

여기서, r 은 국부좌표계에서본 C.G점에서 p점사이의 벡터이고, A는 국부좌표계에서 절대좌표계로 변환하는 행렬로서 브라이언트 각(Bryant angles)으로 표현하면 다음과 같이 표현된다.

$$A = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & -c\theta s\psi & s\theta \\ c\phi s\psi + s\phi s\theta c\psi & c\phi c\psi - s\phi s\theta s\psi & -s\phi c\theta \\ s\phi s\psi - c\phi s\theta c\psi & s\phi c\psi + c\phi s\theta s\psi & c\phi c\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

이상은 병진가속도를 절대좌표계에 관한 신호로 변환하는 내용이다. 워시아웃 내의 또 다른 좌표변환으로는 차량 운전석의 회전 각속도를 브라이언트 각으로 변환하는 것으로 식 (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sec \theta \cos \psi & -\sec \theta \sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ -\tan \theta \cos \psi & \tan \theta \sin \psi & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_\xi \\ \omega_\eta \\ \omega_\zeta \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 $\omega_\xi, \omega_\eta, \omega_\zeta$ 는 차량 운전석 좌표계에 대한 각속도이고, ϕ, θ, ψ 는 브라이언트 각속도이다.

3.2.2 워시아웃 알고리즘

워시아웃 알고리즘의 개념도는 Fig. 12와 같다. Fig. 12에서의 병진 워시아웃의 입력신호인

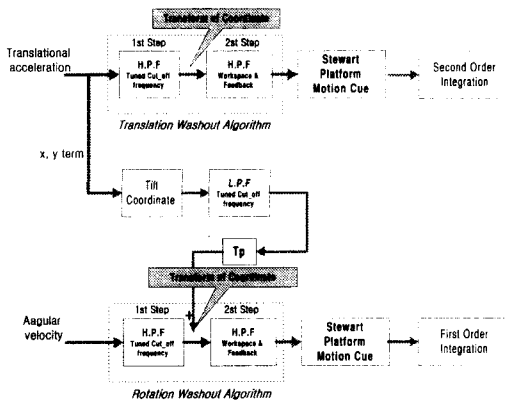


Fig. 12 Schematic diagram of washout algorithm

병진가속도에 저주파 성분이 지속적으로 주어지면 운동재현기가 기구학적 한계에 이르게 되어 더 이상 운동을 재현할 수 없게 되므로, 이러한 저주파 신호는 고역 통과 필터를 이용해 제거해야 한다. 이러한 고역통과필터는 운동재현을 항상과 회전운동과의 커플링(coupling)감소를 위해 Fig. 12의 병진 위시아웃과 같이 1단계 고역통과필터와 2단계 고역통과필터로 구분되어 진다.

본 연구에서 1단계 고역통과필터는 인간이 가장 민감하게 느끼는 주파수 대역을 고려해서 3rad/sec로 설정하였으며 2단계 고역통과필터는 운동재현기의 최대운동영역 및 최대가속도를 고려해서 1rad/sec로 설정하였다.

회전 위시아웃 알고리즘은 Fig. 12의 회전 위시아웃과 같이 차량의 회전각속도를 직접 처리하는 1단계 고역통과필터와 식 (3)과 같은 변환을 거친후 각속도를 처리하는 2단계 고역통과필터로 구성된다. 병진 위시아웃 알고리즘과 같이 1단계 고역통과필터는 인체가 회전 각속도에 대해 민감한 영역을 고려해서 3rad/sec의 차단주파수를 갖는 2차 필터로 구성하였으며, 2단계 고역통과필터는 운동재현기의 최대변위 및 최대가속도를 고려해서 1rad/sec의 차단 주파수를 갖는 2차 필터로 구성하였다.

3.2.3 경사변환(tilt coordination)

차량의 선회운동과 같은 지속적인 가속도를 모사하기 위하여 병진방향 운동에서 고역통과필터에 의해 제거된 저주파성분의 재생은 중요하다. 지속적인 가속도를 운동재현기에서 재현하기 위한

방법으로 경사변환을 이용해 운동재현기에 기울임 각을 인위적으로 만들어 줌으로써 운전자가 가속도를 느끼도록 한다. 운동재현기가 정적인 상태를 유지 할 경우 운전자는 중력의 크기만큼 반대방향으로 비력을 감지하게 되므로 중력벡터의 반대방향으로 운동재현기에서 재현해야 할 비력을 기울여 주면 원하는 저주파성 비력을 구현할 수 있게 된다. 이것은 다음과 같은 과정을 통해 구현할 수 있다. 먼저 절대좌표계에 대한 중력가속도 \vec{g} 를 변환행렬 A의 전치행렬(transpose matrix) A^T 를 곱하여 운동재현기에서의 성분으로 식 (4)와 같이 변환한다. 비력의 저주파 성분을 운동재현기에서 재현하기 위한 기울임 각속도는 식 (5)에 의해 구할 수 있다.

$$\vec{g}_p = A^T \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(s\phi s\psi - c\phi s\theta c\psi)g \\ -(s\phi c\psi + c\phi s\theta s\psi)g \\ -(c\phi c\theta)g \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\omega_l = \frac{\vec{F}_s \times (-\vec{g}_p)}{|\vec{F}_s| |\vec{g}_p|} \quad (5)$$

$$= \frac{1}{|\vec{F}_s|} \begin{vmatrix} F_{sy}(c\phi c\theta) - F_{sz}(s\phi c\psi + c\phi s\theta s\psi) \\ F_{sz}(s\phi s\psi - c\phi s\theta c\psi) - F_{sx}c\phi c\theta \\ F_{sx}(s\phi c\psi + c\phi s\theta s\psi) - F_{sy}(s\phi s\psi - c\phi s\theta c\psi) \end{vmatrix}$$

여기서 F_s 는 비력이다.

경사변환을 개발할 때는 인위적으로 기울여준 기울임 각으로 인해 시각 불일치, 지나친 기울임 각으로 인해 생겨나는 시뮬레이터 멀미(simulator sickness)를 주의해야 한다.

이상의 병진 위시아웃, 회전 위시아웃, 경사변환 알고리즘을 이용해서 Fig. 12와 같은 운동재현기상에서 주행감각을 재현할 수 있는 위시아웃 알고리즘을 개발하였다.

3.3 운동재현기 구동 소프트웨어

운동재현기를 구동하기 위한 소프트웨어 모듈은 크게 직렬통신 모듈, A/D 변환 모듈, D/A 변환 모듈, 비례-적분-미분(proportional-integral-derivative) 제어 모듈로 구분된다. 이상의 모듈들은 PC에서 작성한 뒤 PC의 다운로드 프로그램과 80C196KC의 모니터링 프로그램을 이용하여 각 축별 제어기인 슬레이브 보드의 RAM상에 멀티 시리얼 포트를 통해 다운로드한 후 운동재현기를 구동하게 된다. 이러한 방식으로 전용제어기의 하드웨어와 소프트웨어를 구축함으로써 차후 다양한 제어 알고리즘을 보다 쉽게 개발 할 수 있다.

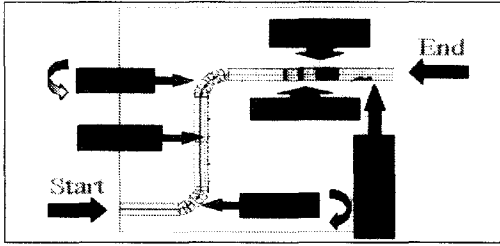


Fig. 13 Road map

4. 운전 시뮬레이터의 성능 평가

운전자가 실제의 주행환경 내에서 차량을 운전하고 있다는 현실감을 갖게 하기 위해서는 서브 시스템의 성능을 극대화시키고 서브 시스템 상호 간의 정보 교환이 효율적으로 이루어지는 통합 기술이 필수적이다. 본 연구에서는 그래픽/음향 처리 및 통합 운영 시스템으로는 SGI사의 Indigo R2 워크스테이션을 이용해서 개발하였으며 차량 동역학 처리용 시스템으로는 SGI사의 O2를 이용하였고, 운전재현기의 전용제어기로는 Intel사의 80C196KC 마이크로프로세서를 이용하여 개발하였다. 그리고 통합 네트워크 구성을 위해 PC와 네트워크 주변장치를 이용하였다. 하지만 차량 동역학 처리용 워크스테이션인 O2에서는 자체적으로 개발한 해석 프로그램의 실시간성이 확보되지 않았다. 따라서 본 연구에서의 운전 시뮬레이터의 성능 평가에서는 미리 설정된 주행시나리오를 오프라인(off-line)으로 동역학 해석을 수행한 후 얻어진 주행 궤적을 그래픽 워크스테이션에 전송하여 실험을 수행하였다.

4.1 운전 시나리오

운전 시나리오는 J-turn, 차선변경, 장애물 및 웅덩이를 적용하여 차량 즉, 차량의 운동을 재현할 시나리오를 Fig. 13과 같이 작성하였다.

주행 시나리오 수행 순서

- (1) 출발 후 7.2초에서 선회반경 25m인 도로를 따라 J-turn 반사인파(half sine wave) 조향, 최대 조향입력은 7.9725°
- (2) 출발 후 23초에서 폭 3.5m의 차선 변경 전사인파(full sine wave) 조향, 최대 조향입력은 -3.5°
- (3) 출발 후 34.395초에서 선회반경 25m인 도로를

따라 J-turn 반사인파(half sine wave) 조향, 최대 조향입력은 -8.5°

- (4) 출발 후 49.5초에서 진행속도를 2.56m/s (9.216km/h) 까지 감속
- (5) 출발 후 타이어 중심의 진행방향 위치가 120m에서 범프(bump) 통과
- (6) 출발 후 타이어 중심의 진행방향 위치가 135m에서 웅덩이 통과
- (7) 출발 후 타이어 중심의 진행방향 위치가 150m에서 170m사이에서 연속장애물 통과폭 2m, 높이(깊이) 0.035m인 범프와 웅덩이 10개를 통과

4.2 운전 시뮬레이터의 성능 평가

설정된 주행 시나리오를 이용해서 오프라인으로 동적 해석 및 워시아웃 알고리즘을 수행해서 운동재현기의 기준궤적을 생성하고 통합 운전 시뮬레이터를 이용해서 성능 평가를 수행하였다. Fig. 14는 차량동역학 결과를 워시아웃에 입력해서 운동재현기의 x방향의 회전각을 생성하는 흐름을 보여준다.

- [step 1] 차량 동역학 해석 결과인 x방향 병진가속도를 병진 워시아웃에 입력한다..
- [step 2] 차량 동역학 해석 결과인 x방향 회전각속도를 회전 워시아웃에 입력한다.
- [step 3] [step 1]의 출력신호를 경사변환시키고 저역통과필터를 통과시킴으로써 저주파 가속도성분을 기울임 각으로 보상한다.
- [step 4] [step 2]의 출력신호를 1단계 고역통과필터를 통과시킨다.
- [step 5] [step 3]의 결과와 [step 4]의 결과를 합한다.
- [step 6] 식 (3)과 같은 좌표변환을 수행한다.
- [step 7] 좌표변환한 결과를 다시 2단계 고역통과필터를 통과시킨다.
- [step 8] [step 7]의 결과를 적분하면 다음과 같이 Roll 각이 생성된다.

이상과 같이 차량 동역학 해석 결과를 워시아웃 알고리즘을 이용해서 운동재현기의 6자유도 운동값을 구하였으며 이 값을 역기구학 해석을 통해 각 실린더의 기준 궤적을 생성하였다.

Fig. 15와 Fig. 16은 각 실린더의 기준 궤적과 비례-적분-미분 제어를 이용해서 제어한 결과 중 1번 축과 3번 축의 결과이다. 운동재현기로 사

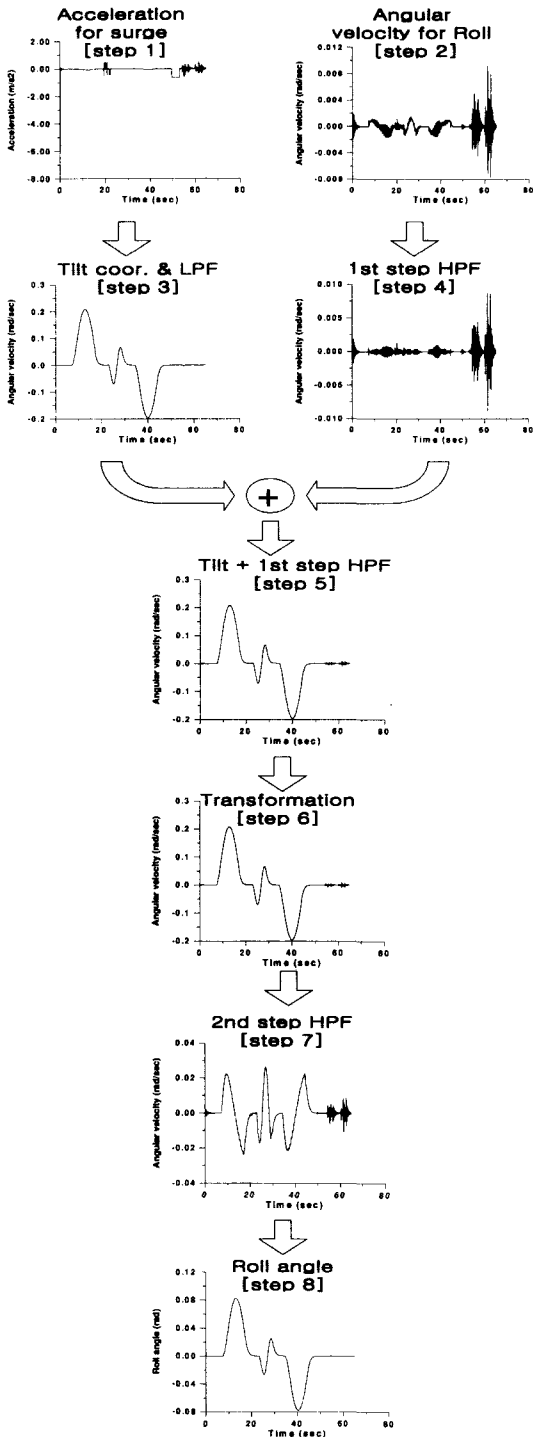


Fig. 14 Generation flow of roll angle using washout algorithm

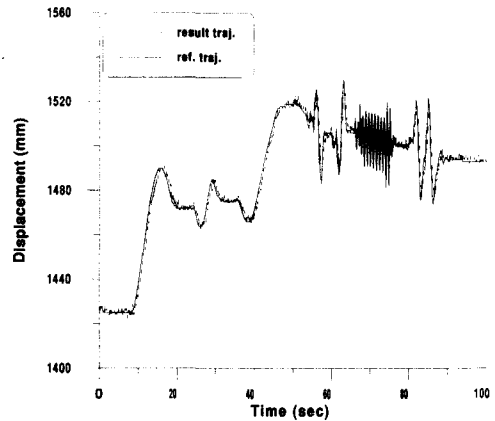


Fig. 15 Control result of cylinder #1

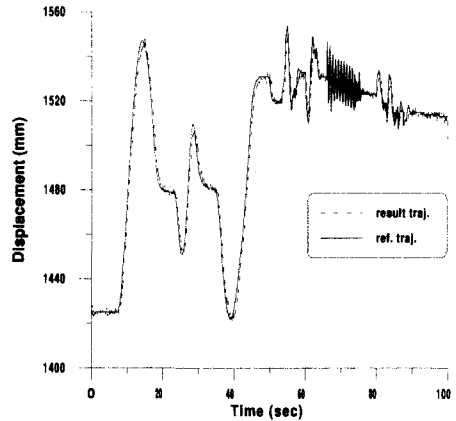


Fig. 16 Control result of cylinder #3

용된 스튜어트 플랫폼이 다변수 시스템(multi-variable system)이고 상판 및 운전석(cockpit)의 질량이나 관성모멘트 등의 작용으로 인한 시스템 변수가 불확실하므로 일반적인 계인 조정방법으로는 최적 계인을 선정할 수 없어서 실험에 의해 시행착오적으로 계인을 선정하였다. 하지만 연속되는 범프 및 웅덩이 등을 운동재현기로 재현할 때 상판의 운동에 따른 각 유압작동기의 부하 변동 등으로 인해 고전적인 비례-적분-미분 제어기로는 제어 정도에 한계가 있어서 원하는 제어성능에는 미치지 못했다. 운전 시뮬레이터의 실험 대상자는 운전자, 비운전자, 학생, 교수, 회사원, 남자, 여자 등의 다양한 조건으로 10명을 선정해서 실험을 수행하였다. 실험을 수행한 결과 주행 시 주변 환경에 배경이 많이 첨가 될수록 현실감을 확보할 수 있었으나, 그래픽 처리 시간이 많이 소요되어서

트랜스포트 지연(transport delay) 현상이 나타남을 알 수 있었다. 또한 유압 유니트의 소음으로 인한 음향 효과 반감 현상도 발생하였다. 하지만 전체적으로 실험 대상자들은 비교적 만족할 만한 현실감을 느낄 수 있었다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 운동재현기, 시각 및 음향 시스템, 차량 동역학 해석 시스템, 전용제어기, 운전 조작부 등의 서브 시스템을 개발하였고, 이를 LAN과 직렬통신 방식으로 네트워크를 구성함으로써 차량 주행 감각을 재현하기 위한 운전 시뮬레이터를 개발하여 다수의 운전 대상자를 선정하여 성능 평가를 수행하여서 비교적 만족할 만한 성과를 얻었다. 향후 과제로는 차량 해석 프로그램의 실시간성을 확보하기 위한 연구, 유압 유니트의 방음 장치, 운전석 시스템의 반력 및 제어 장치 개발, 보다 강인한 운동재현기 제어 알고리즘 개발 등의 연구를 수행해서 보다 현실감을 부여하는 효율적인 운전 시뮬레이터를 개발하고 이를 토대로 차량 주행 성능 평가를 위한 기반 기술 확보 및 운전자와 차량간의 상호 작용 인자 연구 등을 수행해야 한다.

후 기

본 연구는 한국과학재단(특정 기초 연구과제: 97-02-00-10-01-5)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. R. Wade Allen and Theodore J. Rosenthal "Meeting Important Cuing Requirements with Modest, Real-Time, Interactive Driving Simulations," '94 SAE Paper 940228, 1994.
2. G.P. Bertolini, et al., "The General Motors Driving Simulator," '94 SAE Paper 940176, 1994.
3. J.A. Greenberg and T.J. Park, "The Ford Driving Simulator," '94 SAE Paper 940179, 1994.
4. D. Stewart, "A Platform with Six Degree of

- Freedom," Proc. of the Institute of Mechanical Engineering, Vol. 180, pp. 317-386, 1966.
5. 이운성, 김정하, 조준희, "실시간 차량 시뮬레이터 개발," '97 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, pp. 464-469, 1997.
6. 김정태, "합성자기동조제어기를 적용한 6자유도 운동재현기에 관한 연구," 부산대학교 박사학위 논문, 1999.
7. Tackamsa Suetomi, Akinori Horiguchi, Yoshihisa Okamoto, and Shuji Hata "The Driving Simulator with Large Amplitude Motion System," '91 SAE Paper 910113, 1991.
8. 전용민, "6자유도 비행 시뮬레이터용 구동 신호처리에 관한 연구," 인하대학교 공학석사 학위 논문, 1994.
9. "Six-Degree-of-Freedom Motion System Requirements for Aircrewmember Training Simulators," MIL-STD-1558, Department of Defence, 1974.
10. 유창훈, 손권, "굴삭기 주행 시뮬레이터를 위한 통합 프로그램," '97 한국자동차공학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 716-719, 1997.
11. 최대형, 김광석, 유완석, 정만식, "실시간 시뮬레이터를 위한 휠 굴삭기의 다물체 동역학 모델링," '98 한국자동차공학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 1763-1766, 1998.