

# 차량 기울기값을 이용한 차량 시뮬레이터용 워시아웃 알고리즘에 대한 개선 및 평가

## Improvement of Washout Algorithm for Vehicle Driving Simulator Using Vehicle Tilt Data and Its Evaluation

문영근, 김문식, 김경달, 이민철\*

(Young-Geun Moon, Moon-Sik Kim, Kyung-Dal Kim, and Min Cheol Lee)

**Abstract:** For developing automotive parts and telematics devices the real car test often shows limitation because it needs high cost, much time and has the possibility of the accident. Therefore, a Vehicle Driving Simulator (VDS) instead of the real-car test has been used by some automotive manufactures, research centers, and universities. The VDS is a virtual reality device which makes a human being feel as if one drives a vehicle actually. Unlike actual vehicle, the simulator has limited kinematic workspace and bounded dynamic characteristics. So it is difficult to simulate dynamic motions of a multi-body vehicle model fully. In order to overcome these problems, a washout algorithm which restricts workspace of the simulator within the kinematic limits is needed, and analysis of dynamic characteristics is required also. However, a classical washout algorithm contains several problems such as time delay and generation of wrong motion signal caused by characteristics of filters. Specially, the classical washout algorithm has the simulator sickness when driver hardly turns brakes and accelerates the VDS. In this paper, a new washout algorithm is developed to enhance the motion sensitivity and improve the simulator sickness by using the vehicle tilt signal which is generated in the real time vehicle dynamic model.

**Keywords:** vehicle driving simulator, washout algorithm, motion platform, simulator sickness

### I. 서론

가상환경 기반의 차량 주행 시뮬레이터(vehicle driving simulator)는 실내의 제한된 공간에서 실제 차량의 주행 운동감을 가상적으로 재현 할 수 있는 가상현실 시스템이다. 이러한 차량 주행 시뮬레이터를 이용하면 제한된 실내 공간에서 여러 가지 실험이 가능하다. 차량의 각종 첨단 안전장치 및 텔레메틱스 장치들을 개발하기 위해서는 실제 자동차 기반에서의 시험 평가가 이루어져야 한다. 하지만 실제 자동차 환경에서 실험하는 것은 많은 실험 시간과 비용, 다양한 실험 환경 구현의 어려움, 그리고 사고와 같은 위험상황에 대한 안정성 문제 등의 이유로 한계가 있다. 이에 반해 차량 주행 시뮬레이터를 이용하면 실제 차량으로 하는 실험을 대신하여 시험 평가를 할 수 있어 자동차 회사 제조 회사나 연구소, 학교 등에서 실제 차량을 대신하여 차량 주행 시뮬레이터를 이용한 많은 연구가 많이 이루어지고 있다. 그러나 실제 차량과 달리 차량 주행 시뮬레이터는 운동 재현부의 기구학적인 운동범위와 시스템 동특성의 한계가 있기 때문에 실제 자동차의 운동감을 전부 재현하기에는 한계가 있으며 운동이 일어난 후에 다시 운동 원점으로 복귀할 수 있는 복원 기능까지 필요하다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 워시아웃 알고리즘(washout algorithm)을 사용한다. 이것은 실제 자동차의 움직임을 차량 주행 시뮬레이터의 기구학적인 운동 영역 한계 내로 제한시키고 복원력을 제공한다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2008. 10. 13., 수정: 2009. 3. 26., 채택확정: 2009. 3. 27.

문영근, 김경달: 부산대학교 기계공학부 제어자동화시스템전공

(ygmoon@pusan.ac.kr/ice240@gmail.com)

김문식: 자동차부품연구원 차량IT융합연구센터(mskim@katech.re.kr)

이민철: 부산대학교 기계공학부(mclee@pusan.ac.kr)

이러한 가상환경 기반에서의 차량 시뮬레이터 시험평가 서비스를 제공하기 위해서 자동차부품연구원 (KATECH : Korea Automotive Technology Institute)에서는 동양 최대 규모의 차량 시뮬레이터인 KAAS (KATECH Advanced Automotive Simulator)를 구축하였다. 전체 시스템은 그림 1에서처럼 8채널 프로젝터가 360도의 둥근 스크린에 장착되어 있어 실시간 영상을 생성하여 차량 시뮬레이터의 시각적인 주행 현실감을 높였다. 또한 최대 7톤의 무게를 탑재할 수 있는 6자유도의 전기식 모터를 가지는 스텐드 플랫폼과 현대 자동차의 EF 소나타 실차 캐빈을 장착하였다. 그리고 운전자 상태를 모니터 할 수 있는 각종 시스템과 통합관리 시스템 및 HILS (Hardware In the Loop Simulation) 장치 등이 유기적으로 구성되어 있다. KAAS의 개발목적은 첨단 안전 차량(advanced safety vehicle)과 차량의 텔레메틱스 장치 및 차량 관련 제품 평가에 사용하는 것이다. 그러나 다른 차량 주행 시뮬레이터와 마찬가지로 KAAS에서 시범 운용을 했을 때 다수의 피실

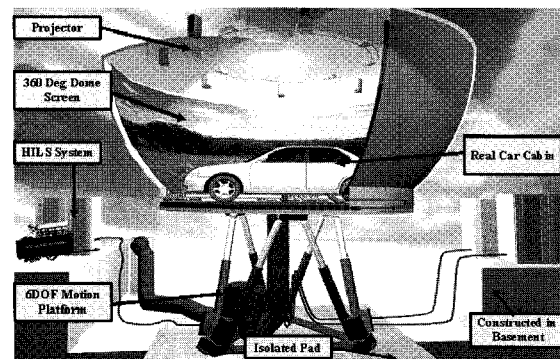


그림 1. 자동차부품연구원의 차량 시뮬레이터.

Fig. 1. KAAS(KATECH Advanced Automotive Simulator).

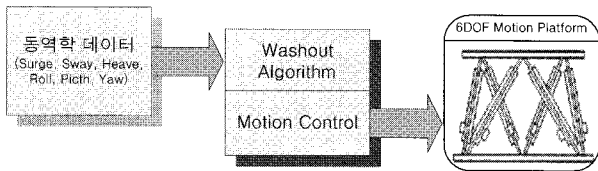


그림 2. 차량 시뮬레이터에 적용되는 워시아웃 알고리즘.  
Fig. 2. A washout algorithm applied to the KAAS.

험자들이 시뮬레이터 병(simulator sickness)을 호소하였다. 이러한 현상은 모션 플랫폼의 운동과 돛 내부의 영상과의 비동기화, 실제 차량 운동과의 이질감 등 여러 가지 원인에 의해서 발생한다. 이러한 시뮬레이터 병을 줄이기 위해서 다양한 워시아웃 알고리즘과 해결책이 제시 되어 왔다.

본 논문에서는 이러한 시뮬레이터 병을 좀 더 줄이고 주행 운동감을 개선시키기 위해 차량 기울기 값에 대한 특정 영역 크기 조정 기법을 이용한 개선된 워시아웃 알고리즘을 제안하고 그 성능을 평가하고자 한다. 먼저 인체 감각 모델과 기존의 차량 워시아웃 알고리즘에 대해서 소개하고, 차량 시뮬레이터의 현실감 재현 향상과 시뮬레이터 병을 줄이기 위해 기존의 차량 워시아웃 알고리즘을 개선한 워시아웃 알고리즘을 제안한다. 또한 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 인체 감각 모델(human perception model)을 이용하여 제안한 알고리즘과 고전적인 워시아웃 알고리즘과의 정량적인 비교 및 가상 주행 환경에서 운전자에 의해 실시간으로 구동된 차량 시뮬레이터의 거동을 분석하고, 정성적 평가로 운전자의 감성에 의한 평가를 수행하고자 한다[1,2,7-11].

II. 선행 연구된 워시아웃 알고리즘

1. 인체 감각 모델(Human perception model)

운전자가 인지하는 중요한 운동상태는 비력(specific force)과 회전 각속도이다. 비력은 평형석(otolith)에서 인지하여 병진 운동을 느끼고, 회전 각속도는 전정관(vestibular)에서 인지하여 회전운동을 느끼게 된다. 운전자가 평형석에 의해 지주파의 병진 운동을 감지하는 것은 병진 가속도와 중력장 가속도간의 벡터 차인 비력이다. 비력은 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\vec{sF} = \vec{a} - \vec{g} \tag{1}$$

여기서  $\vec{a}$ 는 병진 가속도 벡터이며,  $\vec{g}$ 는 중력 가속도 벡터이다. 인체 감각 모델에 관한 연구 중 인체 감각 기관과 가장 유사하게 연구된 결과로는 Young과 Oman의 인체 감각 모델이다. 이 보고서에서 제시한 인체감각기관 모델은 가속도 및 각속도를 느끼는 평형석계(otolith system)와 전정관계(vestibular system)에 대한 수학적 모델링을 제시한다. 이것은 스프링, 질량, 댐퍼 시스템으로 모델링 되었으며 평형석계의 전달함수는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$G(s)_{otolith} = \frac{k(\tau_A s + 1)}{(\tau_L s + 1)(\tau_S s + 1)} \tag{2}$$

또한 평형석계의 인체 모델에 사용되는 파라미터는 표 1과 같으며, 그에 대한 주파수 응답은 그림 3과 같다. 또한 평형석계의 주파수 응답 특성을 구해보면 인체가 감지 할 수

있는 비력은 0.5 Hz 이하이며, 0.01~0.5 Hz의 대역에서 가장 양호한 감지를 나타낸다.

모델링 된 전정관계의 전달함수는 식 (3)과 같이 표현되고, 각 파라미터는 표 2에 나타냈으며, 전정관계의 주파수 영역에서의 응답 특성은 그림 4와 같다.

표 1. 평형석계 인체모델에 사용되는 파라미터.

Table 1. The human model of otolith system parameters.

| Motion \ Parameter | Surge | Sway | Heave |
|--------------------|-------|------|-------|
| $\tau_L$           | 5.33  | 5.33 | 5.33  |
| $\tau_S$           | 0.66  | 0.66 | 0.66  |
| $\tau_A$           | 13.2  | 13.2 | 13.2  |
| K                  | 0.17  | 0.17 | 13.2  |

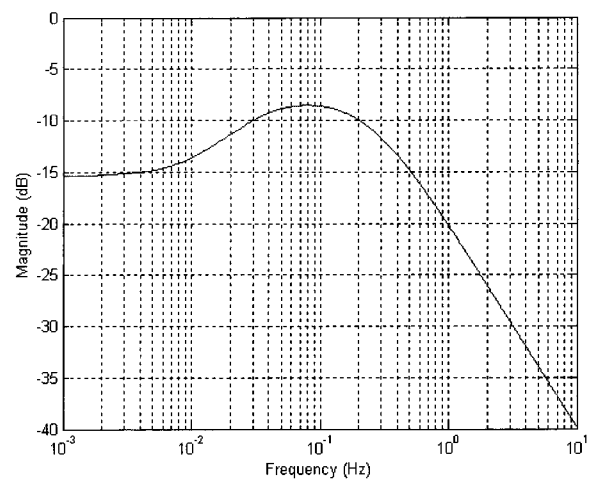


그림 3. 평형석계의 주파수 응답.

Fig. 3. Frequency response of the otolith system.

표 2. 전정관계 인체모델에 사용되는 파라미터.

Table 2. The human model of vestibular system parameter.

| Motion \ Parameter | Roll | Pitch | Yaw  |
|--------------------|------|-------|------|
| $T_L$              | 6.1  | 5.3   | 10.2 |
| $T_S$              | 0.1  | 0.1   | 0.1  |
| $T_A$              | 30   | 30    | 30   |

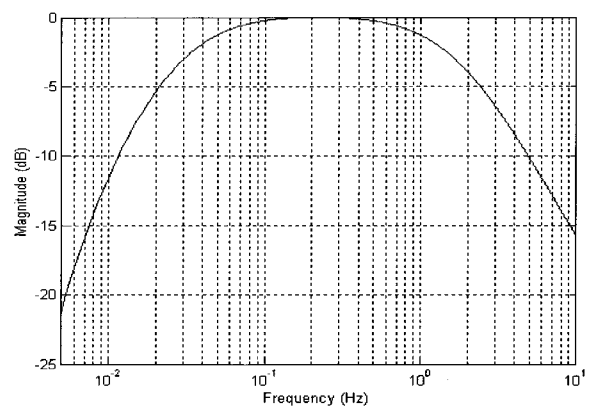


그림 4. 전정관계의 주파수 응답.

Fig. 4. Frequency response of the vestibular system.

$$G(s)_{vestibular} = \frac{T_L T_A s^2}{(T_L s + 1)(T_S s + 1)(T_A s + 1)} \quad (3)$$

전정관의 롤(roll) 방향 가속도에 대한 주파수 응답 특성은 그림 4와 같으며, 인체가 감지하는 롤 방향 회전 운동감은 0.02~1.5 Hz의 주파수 대역에서 가장 양호하게 감지되어진다[3].

2. 선행 연구된 워시아웃 알고리즘

고전적인 워시아웃 알고리즘은 크게 병진 운동 워시아웃 알고리즘(translational washout algorithm)과 회전 운동 워시아웃 알고리즘(rotational washout algorithm), 그리고 경사 변환 알고리즘(tilt coordination algorithm)의 세 부분으로 나뉘며, 알고리즘의 개략도는 그림 5와 같다. 차량 동역학 해석 결과로부터 얻어지는 운전석에서의 차량의 병진 가속도와 회전 각속도는 워시아웃 알고리즘에 입력되어지고, 입력된 신호는 워시아웃 알고리즘을 통하여 시뮬레이터에서 구현 가능한 병진 가속도와 회전 각속도로 출력되어진다.

병진 운동 워시아웃 및 회전 운동 워시아웃은 각각 두 단계의 고주파 통과 필터와 좌표 변환으로 구성되어 있으며, 차량의 운동 성분 중 시뮬레이터의 운동 한계를 벗어나게 하는 저주파 운동을 고주파 통과 필터를 사용하여 제거하여, 시뮬레이터에서 구현 가능한 고주파 가속도 운동으로 변환한다. 경사 변환 알고리즘은 병진 워시아웃 알고리즘만으로는 생성할 수 없는 저주파 성분의 비력을 저주파 통과 필터 및 경사 변환을 통해 기울임 각으로 변환하여, 추가적인 저주파 성분의 비력을 생성한다. 고전적인 워시아웃 알고리즘은 빠른 연산 시간을 가지는 장점이 있지만, 다음과 같은 문제점이 존재한다. 첫째, 경사 변환 시에 사용되는 고주파 통과 필터와 저주파 통과 필터는 이상적인 필터가 아니므로, 고주파

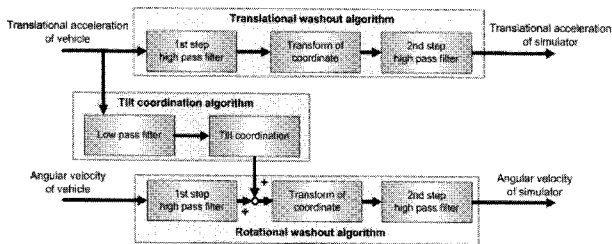


그림 5. 고전적인 워시아웃 알고리즘.

Fig. 5. Classical washout algorithm.

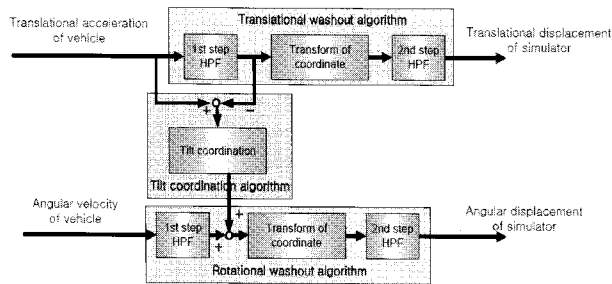


그림 6. 워시아웃 알고리즘을 사용한 경사 변환을 이용한 워시아웃 알고리즘.

Fig. 6. Washout algorithm using tilt coordination without phase delay.

성분의 비력과 저주파 성분의 비력의 합은 재현해야 할 비력 성분과 비교하였을 때, 위상 및 크기 특성에서 왜곡되어지는 현상이 발생한다. 둘째, 고주파 통과 필터를 사용하여, 기구학적 운동 한계 내에서 구현이 가능한 고주파 성분의 운동을 생성하는데, 이러한 고주파 통과 필터를 지난 신호는 차단 주파수가 증가함에 따라서 원 신호의 진행 방향과 반대 방향으로의 운동이 발생할 뿐만 아니라, 고주파 통과 필터에 입력되는 운동이 원점으로 복귀한 이후에도, 고주파 통과 필터를 지난 운동은 일정 시간이 지나고 나서야 운동 원점으로 복귀하므로 복귀 시간을 줄이는 데에 한계가 있게 되어 연속적으로 발생하는 운동을 충실히 재현할 수 없다. 이러한 경사 변환 시 저주파 통과 필터 사용으로 인한 문제점을 해결하기 위해, 그림 6과 같이 병진 가속도와 고주파 통과 필터를 지난 병진 가속도와 차이를 이용하여 위상 지연이 거의 없는 저주파 신호를 얻은 후 경사 변환 알고리즘을 적용한 워시아웃 알고리즘이다.

이 알고리즘의 특징은 기존 알고리즘의 경사 변환 시 저주파 통과 필터 사용으로 인한 문제점을 해결하기 위해, 병진 가속도와 고주파 통과 필터를 통과한 병진 가속도의 차를 이용한 새로운 경사 변환 알고리즘을 사용하였다. 이것으로 인해서 위상 지연에 의한 문제점을 해결하여 운동감 재현이 기존의 워시아웃 알고리즘 보다 향상 되었지만 여전히 많은 필터를 사용함에 따른 시간 지연 현상과 더불어 운전 조작 시 영상과 워시아웃 알고리즘을 통과한 신호의 동기화가 되지 않아 시뮬레이터 병이 여전히 잔존하는 문제점이 있었다 [4-6].

III. 개선된 워시아웃 알고리즘

본 논문에서는 이러한 시뮬레이터 병을 줄이고 운동감 재현 향상을 위해 기존 워시아웃 알고리즘을 개선한 새로운 워시아웃 알고리즘을 제안한다. 그림 7은 본 논문에서 제안한 새로운 워시아웃 알고리즘의 개략도를 나타내고 있다.

이 알고리즘은 워시아웃을 거치기 전의 기존의 실제 차량의 동역학 신호 중 차량의 기울기 값을 구한 후 기존의 워시아웃을 통과한 신호에 더해 주어 차량의 급격한 운동에 대해 빠르게 반응하도록 현실감을 개선 시키면서 기존의 시간 지연 현상을 줄여 운전자의 시뮬레이터 병을 개선 시키고자 한다.

이것은 병진 가속도의 저주파 통과 필터를 사용하여 경사 변환의 과정을 통해서 비력을 유지시켜주는 워시아웃 알고리즘의 개념에서 나왔다. 차량 동역학 신호에서 회전 각도는

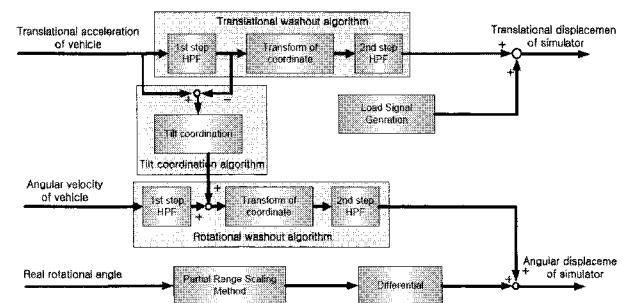


그림 7. 차량 기울기 값을 이용한 워시아웃 알고리즘.

Fig. 7. New washout algorithm using vehicle tilt signal.

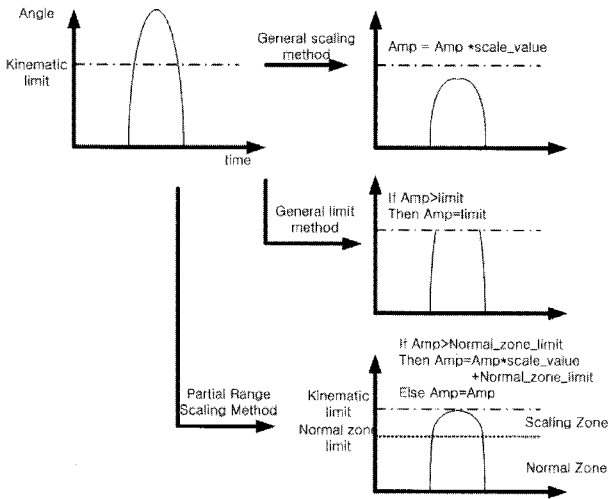


그림 8. 특정 영역 크기 조정 기법.  
Fig. 8. Partial range scaling method.

병진 가속도와 유사성을 가진다. 이러한 특징점은 병진 운동에 대해서 회전 운동성분을 재현하면, 운전자는 가속력을 느끼게 된다. 회전 성분에 대한 운동감을 항상 시키기 위해서 회전 성분의 동역학 신호를 위시아웃 알고리즘의 입력신호로 활용하였다. 하지만 이는 시뮬레이터의 운동영역을 벗어나게 할 수 있다. 특히 경사로를 주행할 경우 위시아웃 알고리즘의 기본적인 역할인 차량의 운동영역을 시뮬레이터의 물리적인 한계 내로 제한해주는 역할을 하는데 도로의 경사도를 차량 시뮬레이터의 기울임 각으로 그대로 재현하기 때문에 시뮬레이터가 기구학적인 운동영역을 벗어날 수 있다.

차량의 기울임 운동감을 최대한 재현하고 모션 플랫폼의 운동 영역을 제한하기 위해 특정 영역 크기 조정 기법 (PRSM : Partial Range Scaling Method)을 그림 8과 같이 제안한다.

이 방법은 일정 범위의 기울임 각은 그대로 재현하여 운동감을 극대화 하고, 특정 한계치를 넘어서는 기울임 각에 대해서는 일정한 비율로 선형 감소시켜 기울임 각을 재현하는 방법이다. 일반적인 스케일 방식은 시뮬레이터의 운동 변위가 작아져 운동감이 덜하고 운동의 상하한값을 두는 방식은 상하한에서 불연속적인 운동이 발생하여 모션 시스템에 무리를 주기 때문에 이 두 가지 방법을 합쳐서 전체적인 움직임이 크면서 부드럽도록 하였다. 또한 운전자가 실제 노면을 달리는 것과 유사한 느낌을 만들어 주기 위해 노면 신호 생성기(LSG : Load Signal Generator)를 추가하였는데 노면의 진동을 생성하기 위한 특정 sine 파형과 병진 방향의 위시아웃 알고리즘을 통과한 스웨이(sway), 히브(heave) 운동에 합하여 실제 노면을 달리는 느낌과 유사한 운동감을 재현하였다.

LSG는 차량의 고유 진동을 생성하고 차량의 속도에 따라 주파수와 진폭이 가변되는 구조로 이루어져 있다.

#### IV. 위시아웃 알고리즘의 성능평가

##### 1. 시뮬레이션에 의한 정량적 평가

본 장에서는 새로운 차량 위시아웃 알고리즘의 정량적인 평가를 위해서 인체 감각 모델을 기준으로 하여 고전적인 위시아웃 알고리즘과 새로운 차량 위시아웃 알고리즘을 평가한다.

차량 동역학 해석을 통해 얻어진 병진 가속도와 회전 각속도에 대하여, 위시아웃 알고리즘과 같은 신호처리 과정 없이 인체 감각 모델에서 인지되는 운동감은 차량에서의 운동감이라 할 수 있다.

식 (1)에서 나타낸 운전자의 평형식을 통해 인지되는 비력을 움직적 중심에서의 좌표계로 변환하면 다음과 같은 식 (4)가 유도되어 진다.

$$\vec{F}_p^S = \vec{a}_p - {}^P_G R(\alpha, \beta, \gamma) \vec{g} = \begin{bmatrix} a_{Px} + g \sin \beta \\ a_{Py} - g \sin \alpha \sin \beta \\ a_{Pz} + g \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서  $\vec{a}_p$  는 운전석 좌표계에서의 병진 가속도이고,  $-{}^P_G R(\alpha, \beta, \gamma) \vec{g}$  는 운전석 좌표계에서의 중력 가속도이다.

$\vec{a}_p$  를 병진운동에 의한 비력인  $s\vec{F}_{pt}^S$  로 대입하고,  $-{}^P_G R(\alpha, \beta, \gamma) \vec{g}$  를 회전 운동에 따른 비력인  $s\vec{F}_{pr}^S$  로 대체하면, 운전석 좌표계에서의 비력은 식 (5)와 같이 표현되어진다.

$$\vec{F}_p^S = \vec{F}_{pt}^S + \vec{F}_{pr}^S \quad (5)$$

그림 9는 차량에서의 운동감을 평가하기 위한 구성도를 나타낸다. 즉 그림 9와 같은 방법으로 고전적인 위시아웃 알고리즘과 새로운 차량 위시아웃 알고리즘의 운동감을 인체 감각 모델을 기준으로 비교 평가하기 위한 방법으로 그림 10, 및 그림 11에서와 같이 구성하였다. 이 평가에 사용된 동역학 데이터는 KAAS 에서 좌, 우회전 및 오르막길과 내리막길 등이 복합된 도로에서 좌우회전, 가/감속, 오르막길과 내리막길, 슬라롬(slalom) 주행 등의 데이터를 사용하여 시뮬레이

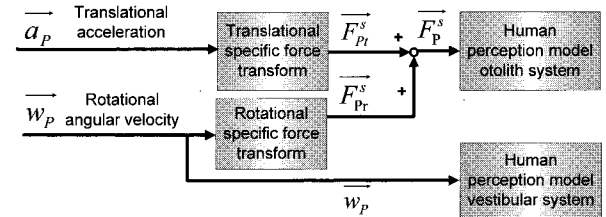


그림 9. 차량에서의 운동감을 평가하기 위한 구성도.  
Fig. 9. Schematic diagram for sensations of motions in actual vehicle.

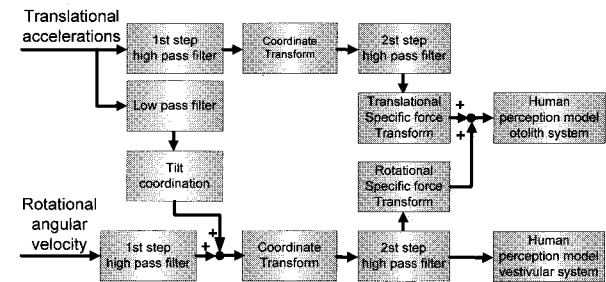


그림 10. 고전적인 위시아웃 알고리즘의 운동감을 평가하기 위한 구성도.  
Fig. 10. Schematic diagram for sensations of motions by the classical washout algorithm.

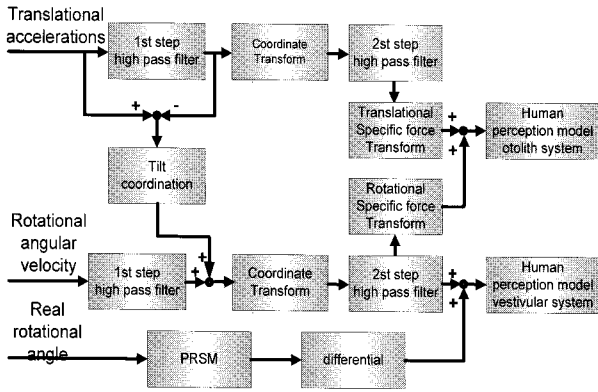


그림 11. 새로운 워시아웃 알고리즘의 운동감을 평가하기 위한 구성도.

Fig. 11. Schematic diagram for sensations of motions by the new washout algorithm.

선 하였으며, 고주파 통과 필터와 저주파 통과 필터의 차단 주파수는 모두 0.01Hz로 하였고, 샘플링 시간은 2msec로 하였다. 차단 주파수를 0.01Hz로 한 이유는 인체 감각 모델링 함수의 응답특성이 0.01Hz ~ 0.1Hz 사이가 가장 응답특성이 좋기 때문이다.

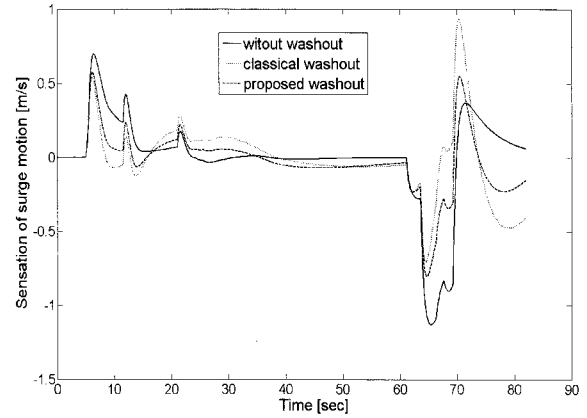
표 3은 차량 동역학 데이터를 사용하여 인체 감각 모델과 고전적인 워시아웃 알고리즘 및 새로운 차량 워시아웃 알고리즘에 대한 각각의 상관 계수를 구한 결과를 나타내고 있다. 제안한 새로운 워시아웃 알고리즘이 고전적인 워시아웃 알고리즘에 비해 큰 상관 계수 값을 가지므로 실제 운동감과 더 유사한 운동감을 구현하는 것을 알 수 있다.

또한, 그림 12는 차량이 급/가감속 주행을 할 때에 따른 운동감을 나타낸 것으로써 각각의 서지(surge) 방향과 스웨이(sway) 방향의 운동감을 워시아웃을 사용하지 않았을 때와 비교하기 위해 고전적인 워시아웃 알고리즘 적용했을 때와 본 연구에서 제안한 새로운 워시아웃 알고리즘을 적용했을 때를 나타낸다. 그림 12에서 보이는 것처럼 고전적인 워시아웃 알고리즘 보다 새로운 워시아웃 알고리즘이 실제 차량의 운동감에 더 가깝게 표현되고 있는걸 확인할 수 있다. 특히 서지 방향의 운동에서 70초 이후 구간은 차량이 멈추고 난 직후의 움직임으로써 차량 시뮬레이터가 뒤쪽으로 쏠리는 현상이 발생하는데 고전적인 워시아웃 알고리즘은 그 현상이 많이 과장되어서 표현되는데 새로운 워시아웃 알고리즘은 많이 줄어든 것을 볼 수 있다. 마찬가지로 그림 13은 차량이 슬라롬 주행을 할 때의 롤(roll) 방향과 피치(pitch) 방향

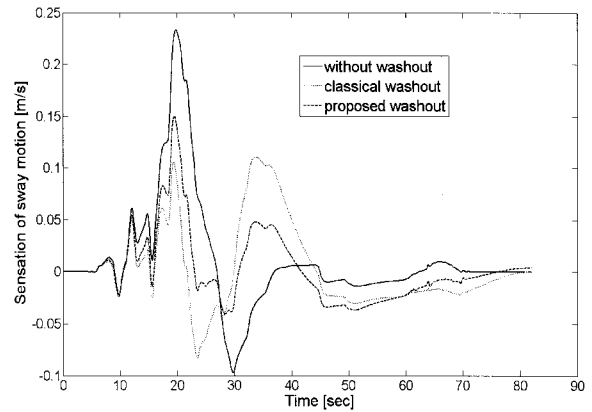
표 3. 고전적인 워시아웃과 새로운 워시아웃 알고리즘을 인체감각모델 출력의 상관계수 비교.

Table 3. Correlation coefficient from outputs of human perception model between classical and new washout algorithm.

|       | Classical Washout Algorithm | New Washout Algorithm |
|-------|-----------------------------|-----------------------|
| Surge | 0.7588                      | 0.9238                |
| Sway  | 0.7757                      | 0.9286                |
| Roll  | 0.8099                      | 0.9052                |
| Pitch | 0.5171                      | 0.5827                |



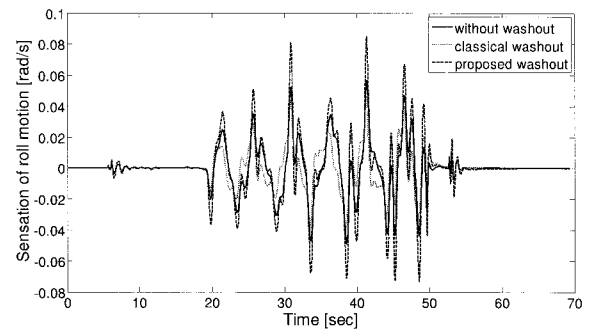
(a) Surge direction sensation



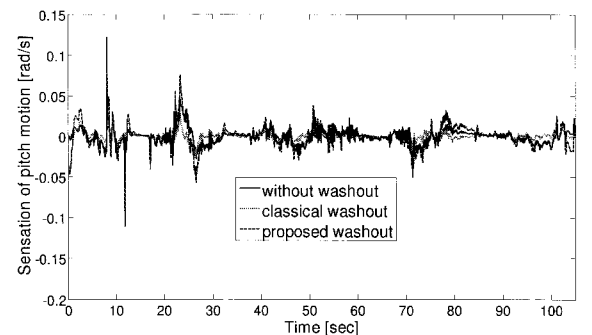
(b) Sway direction sensation

그림 12. 급가감속에 따른 모션 운동감.

Fig. 12. Motion sensation in case of rapid acceleration (deceleration).



(a) Roll direction sensation



(b) Pitch direction sensation

그림 13. 슬라롬 주행에 따른 모션 운동감.

Fig. 13. Motion sensation in case of slalom driving.

의 운동감을 나타내고 있다. 그림에서 보이는 것과 같이 새로운 워시아웃 알고리즘의 경우가 조금 더 실제 운동감에 유사하게 표현되는 것을 볼 수 있다.

2. 시뮬레이터 주행 설문에 의한 정성적 평가

본 연구에서 제안한 워시아웃 알고리즘의 성능을 판단하기 위해서는, 인체 감각 모델을 이용한 정량적인 평가뿐만 아니라, 운전자의 운전 감각 재현에 대한 정성적인 평가 또한 중요한 요소가 되므로, 본 연구에서 제안한 워시아웃 알고리즘의 유효성을 평가하고, 워시아웃에 의한 운동 감각과 시뮬레이터 병의 개선 정도를 검토할 수 있도록, 설문 문항을 세부적으로 나누어 정성적인 평가의 기준을 마련하고자 한다.

설문지는 크게 주행 코스에 따른 평가와 시뮬레이터 병에 대한 평가로 구성되어 있다. 주행 코스는 경기도 일산의 한 지역을 구현한 평지 주행과 고갯길과 같은 경사가 있는 지역을 가상적으로 구현한 경사 주행 두 가지를 가지고 평가하였고, 각각의 주행 코스가 끝난 후에 피실험자들의 시뮬레이터 병의 정도를 조사하였다. 설문의 문답내용으로는 주행 코스 경우 “운전한 차량이 ○○ 하였을 때 실차 주행과 비교해서 느낌이 어떻습니까?”라는 형식으로 질문하고 답변 문항은 “매우다름”을 0점으로 해서 “매우 유사함”까지 6점으로 점수표를 만들어 각각 수치화 하였다. 마찬가지로 시뮬레이터 병에 대한 경우는 몸의 상태를 표현하는 느낌들을 질문하고 답변문항은 “없음”이 0점으로 시작해서 “매우심함”을 6점으로 하여 각각 수치화 하였다.

실험 진행은 두 가지 주행코스를 고전적인 워시아웃 알고리즘을 적용한 A형과 본 연구에서 제안한 워시아웃 알고리즘을 적용한 B형을 각각 한번씩 총 4번의 주행을 하였다. 또한 피실험자들에게는 적용된 알고리즘을 알려주지 않고 전혀 모르는 상태에서 주행을 마친 후 설문에 답하도록 하였으며 또한, 총 피실험자를 두 그룹으로 나누어 먼저 A형 실험 후 B형을 실시하는 그룹과 그 반대의 순서로 진행되는 그룹으로 나누어 실시한 후 전체의 결과를 산출하였다. 본 실험 및 설문에 참가한 운전자는 모두 15명이며, 실험자의 유형 분석을 위해 성별, 나이, 운전경력, 보유한 차종, 시뮬레이터 탑승 경험에 대한 물음을 실시한 결과는 그림 14와 같다.

참여한 15명의 실험자 중에 남성이 94%, 여성이 6%의 비율을 보였고, 실험자의 연령은 25세에서 29세 사이가 가장 많았고, 평균 나이는 27.8세로 나타났다. 운전경력은 4년 이상의 운전 경력을 가진 실험자가 많았으며, 평균 6년의 운전 경력을 가지는 것으로 나타났다. 실험자의 보유 차종에 대한 조사를 하였는데, 소형차를 운전하는 실험자가 53%로 가장 많았다. 시뮬레이터의 적응력과 관련 있는 실험자의 시뮬레이터 탑승경험을 조사한 결과 실험자의 62%가 5회 미만의 시뮬레이터 탑승 경험을 가지고 있었고, 평균 11회 정도의 탑승을 한 것으로 나타났다.

차량 시뮬레이터에서의 주행과 실제 차량에서의 주행에 대한 느낌을 비교 설문한 응답을 산술적인 평균값을 구해 그림 15와 같이 나타내었다. 전체적으로 본 연구에서 제안한 워시아웃 알고리즘이 기존의 워시아웃 알고리즘 보다 11%정도 더 실제 차량과 유사하다는 결과를 보였는데, 특히 오르

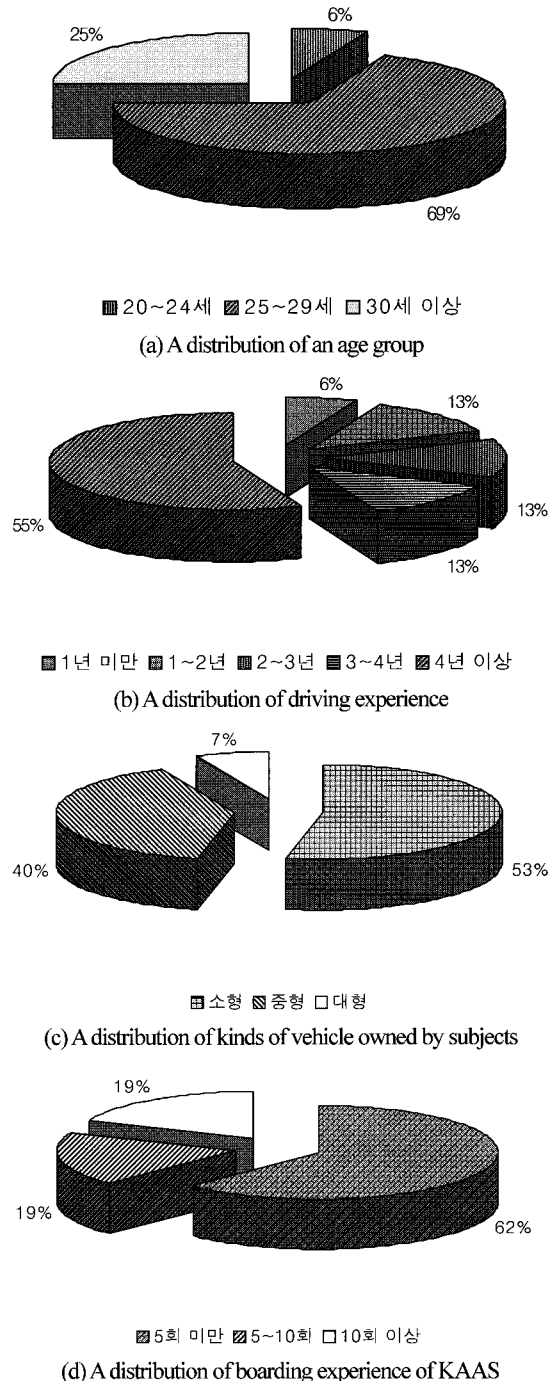


그림 14. 실험자의 유형 분포.  
Fig. 14. Distribution of the type of experimenters.

막길과 급정지시의 느낌이 많이 향상된 것을 알 수 있었다. 이것은 본 논문에서 제안한 알고리즘의 특징이 잘 나타난 경우라고 할 수 있다. 또한 시뮬레이터 병에 대한 설문 응답을 산술적인 평균값을 구해 그림 16와 같이 나타내었다. 이것을 분석해 보면 전체적으로 시뮬레이터 병이 새롭게 제안한 워시아웃 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 21% 더 줄어든 것을 확인 하였다. 특히 멀미가 많이 줄어든 것을 확인 할 수 있는데 이것은 고전적인 워시아웃의 문제점 중 경사 변환에서 비력이 왜곡되거나 복귀 성분을 생성할 때 발생하는 문제점을 보다 개선 함으로써 나타난 결과라 할 수 있다.

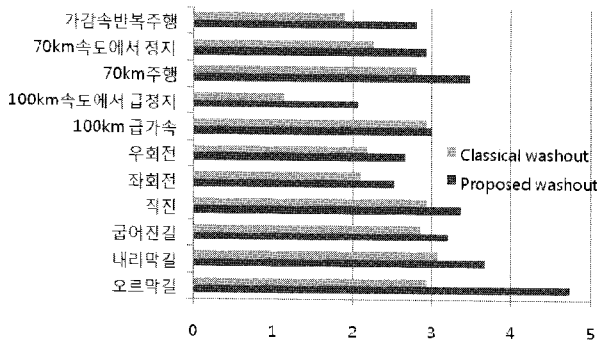


그림 15. 주행 코스별 주행 느낌에 대한 평균값.

Fig. 15. Average values of feelings as driving courses.

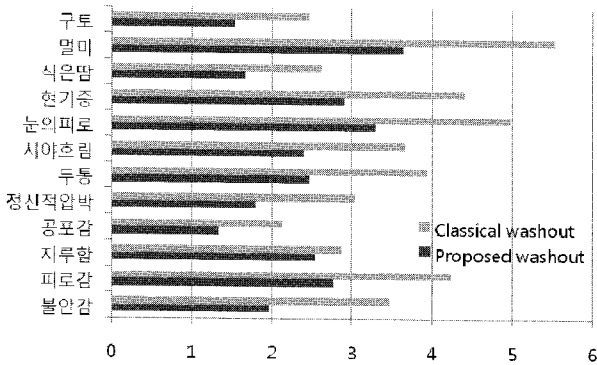


그림 16. 시뮬레이터 병에 대한 평균값.

Fig. 16. Average values of simulator sickness.

V. 결론

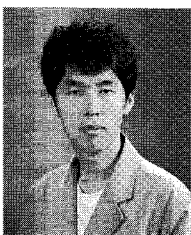
본 논문에서는 고전적 위시아웃 알고리즘에서 나타나는 모션 운동의 시간 지연 문제점 및 시뮬레이터 병(simulator sickness)을 개선하기 위해 차량 기울기 각과, 도로 노면 진동 생성을 이용한 새로운 위시아웃 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해, 시뮬레이션을 통한 정량적인 평가와 실험 및 설문 조사를 통한 정성적인 평가를 수행하였다. 정량적인 평가로 인체 감각 모델과의 시뮬레이션을 통해서 얻은 결과 고전적 위시아웃 알고리즘에 비해서 병진 운동은 21%, 회전 운동은 12% 향상된 것을 확인하였다. 정성적인 평가에서 주행 코스 부분은 11% 정도 더 실제 차량과 유사하며, 시뮬레이터 병은 21% 더 줄어든 것을 확인하였다. 특히 운전 중 감속, 급정지, 오르막길, 내리막길 등에서 주행 느낌이 향상되므로 인해 시뮬레이터 병이 상당 수 줄어든 것을 확인하였다. 뿐만 아니라 LSG와 같은

기능을 추가함으로써 보다 실제 차량과 유사한 주행환경을 제공해 줄 수 있음을 확인하였다.

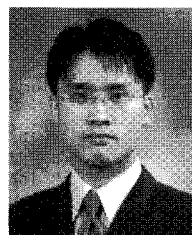
참고문헌

- [1] M. S. Kim, K. D. Kim, and M. C. Lee, "Development of vehicle driving simulator using new washout algorithm and robust control," *DRIVING SIMULATION CONFERENCE ASIA/PACIFIC*, Tsukuba, Japan, 2006.
- [2] K. D. Kim, M. S. Kim, Y. G. Moon, and M. C. Lee, "Application of vehicle driving simulator using new washout algorithm and robust control," *SICE-ICASE International Joint Conference in Bexco, Busan, Korea*, Oct. 18-21, 2006.
- [3] C. C. Peter and T. M. Burnell, "Analysis procedures and subjective flight results of a simulator validation and cue fidelity experiment," *NASA Technical Memorandum 88270*, 1981.
- [4] K. S. Yoo, M. C. Lee, E. G. Kang, and W. S. Yoo, "Development of a washout algorithm for a vehicle driving simulator using new tilt coordination and return mode," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 19, no. 1, pp. 272-282, 2005.
- [5] M. K. Park, M. C. Lee, K. S. Yoo, K. Son, W. S. Yoo, and M. C. Han, "Development of the PNU driving simulator and its performance evaluation," *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automations*, vol. 3, pp. 2325-2330, 2001.
- [6] M. K. Park and M. C. Lee, "Identification of a hydraulic simulator using the modified signal compression method and application to control," *IEEE Trans. On Automatic Control*, vol. pp. 1111-1115, 2000.
- [7] J. Drosdol and F. Panik, "The daimlerbenz driving simulator, a tool for vehicle development," *SAE paper 8503345*, 1985.
- [8] J. S. Freeman, G. Watson, T. E. Papelis, T. C. Lin, A. Tayyab, and R. A. Romano, "The iowa driving simulator: an implementation and application overview," *SAE paper 950174*, 1995.
- [9] T. Suetomi, A. Horiguchi, T. Okamoto, and S. Hata, "The driving simulator with large amplitude motion system," *SAE paper 910113*, 1991.
- [9] J. A. Greenberg and T. J. Park, "The ford driving simulator," *SAE paper 940179*, 1994.
- [10] R. V. Parrish, J. E. Dieudonne, R. L. Bowles, and D. J. Martin, "Coordinated adaptive washout for motion simulators," *Journal of Aircraft*, vol. 12, no. 1, pp. 44-50, 1975.
- [11] J. B. Song, U. J. Jung, and H. D. Ko, "Washout algorithm with fuzzy-based tuning for a motion simulator," *Korea Society of Mechanical Engineers International Journal*, vol. 17, no. 2, pp. 221-229, 2003.



문영근

2009년 부산대 대학원 기계공학부 제어 자동화시스템 전공(공학석사). 2009년~현재 부산대 대학원 기계공학부 제어 자동화시스템 전공 박사과정 재학중. 관심분야는 무인자율주행로봇, 군집주행, 차량 시뮬레이터.



김문식

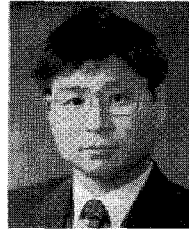
2003년 부산대 기계공학부(공학사). 2005년 부산대 대학원 지능기계공학과(공학석사). 2005년~현재 부산대 대학원 지능기계공학과 박사과정 재학중. 2005년~현재 자동차부품연구원 차량IT융합연구센터 재직중. 관심분야는 차량 시뮬레이터, 건설제어, 자율주행차량.

터, 건설제어, 자율주행차량.



### 김 경 달

2005년~현재 부산대 대학원 기계공학부 제어자동화시스템 전공 석박통합과정 재학중. 관심분야는 차량 시뮬레이터, 건설제어, 로봇 제어.



### 이 민 철

1983년 부산대 기계공학과 졸업. 1988년 일본 쓰쿠바 대학교 이공학 연구과 공학석사. 1991년 동대학 물리공학 연구과 공학박사. 2000년 8월~2001년 8월 노스캐롤라이나 주립대학(NCSU) 방문교수. 1991년~현재 부산대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 시스템 규명, 로봇 제어, 지능형 서비스로봇, 이족보행로봇, 메카트로닉스.