Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 6 pp. 86-94, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.6.86
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

무인차량 원격주행제어 신뢰성 향상을 위한 통합 시뮬레이터 구축에 관한 연구

강태완[1], 박기홍[2*], 김준원[3], 김재관[3], 박현철[3], 강창근[3]
[1]국민대학교 자동차공학전문대학원, [2]국민대학교 자동차IT융합학과, [3]한화시스템(주) 지상시스템팀

A Study on the Development of Driving Simulator for Improvement of Unmanned Vehicle Remote Control

Tae-Wan Kang[1], Ki-Hong Park[2*], Joon-Won Kim[3], Jae-Gwan Kim[3], Hyun-Chul Park[3], Chang-Keun Kang[3]
[1]Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University
[2]Department of Automobile and IT Convergence, Kookmin University
[3]Hanwha Systems Co., Ltd Land System Team

요 약 본 논문은 보다 높은 실재감과 안전성을 확보하기 위한 무인차량 원격주행제어 환경 개발에 대한 내용을 설명한다. 주로 무인차량 원격주행제어를 위한 환경은 조이스틱 형태의 장치를 활용하여 조향과 가/감속이 가능하도록 개발되어 사용되었다. 그 외 일반 차량처럼 간이 조향-휠(steering-wheel)을 기반으로 개발된 시뮬레이터 환경도 있으나, 현재 주행 상황을 피드백하는 기술이 적용되어 있지 않거나 가/감속부를 포함하지 않는 것이 대부분이다. 피드백 기술이란 일반 차량을 직접 운전할 때 조향-휠과 가/감속 페달을 통해 느껴지는 현재 주행 상황을 시뮬레이터 환경에 구현하는 것을 의미한다. 이렇듯 무인차량 원격주행제어에 이질감을 감소시키는 피드백 기술 개발과 더불어 실재감을 높일 수 있는 시뮬레이터 환경 구축이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 선행 연구를 통해 개발된 힘반향 햅틱제어 기술을 적용할 수 있는 시뮬레이터 환경을 구축하고 시뮬레이터 하드웨어의 최소 요구사양을 도출하는 연구를 수행하였다. 하드웨어 구성은 일반 차량과 유사한 조향-휠 모듈과 가/감속 페달 모듈로 구성하였으며, 조향부와 가/감속부 모두 피드백 기술을 적용할 수 있도록 별도의 액추에이터를 설치하였다. 또한 제어부 PC를 통해 두 가지 조작부에 피드백 명령을 전달할 수 있도록 CAN(controller area network) 통신 환경을 구성하였다. 이렇게 구성한 시뮬레이터 환경의 성능을 검증하기 위하여 기 개발된 힘반향 햅틱제어 알고리즘을 직접 적용하여 각 상황 별 알고리즘 동작을 평가하였다.

Abstract This paper describes the development of unmanned vehicle remote control system which is configured with steering and accelerating/braking hardware to improve the sense of reality and safety of control. Generally, in these case of the remote control system, a joystick-type device is used for steering and accelerating/braking control of unmanned vehicle in most cases. Other systems have been developing using simple steering wheel, but there is no function of that feedback the feeling of driving situation to users and it mostly doesn't include the accelerating/braking control hardware. The technology of feedback means that a reproducing the feeling of current driving situation through steering and accelerating/braking hardware when driving a vehicle in person. In addition to studying feedback technologies that reduce unfamiliarity in remote control of unmanned vehicles, it is necessary to develop the remote control system with hardware that can improve sense of reality. Therefore, in this study, the reliable remote control system is developed and required system specification is defined for applying force-feedback haptic control technology developed through previous research. The system consists of a steering-wheel module similar to a normal vehicle and an accelerating/braking pedal module with actuators to operate by feedback commands. In addition, the software environment configured by CAN communication to send feedback commands to each modules. To verify the reliability of the remote control system, the force-feedback haptic control algorithms developed through previous research were applied, to assess the behavior of the algorithms in each situation.

Keywords : Accelerating & Braking Pedal Module, Driving Simulator, Force Feedback Haptic Control, Remote Control System, Steering Wheel Module

본 논문은 2018년도 한화시스템(주)의 재원을 지원 받아 수행된 연구임.
*Corresponding Author : Ki-Hong Park(Kookmin Univ.)
Tel: +82-2-910-4689 email: kpark@kookmin.ac.kr
Received February 25, 2019 Revised April 16, 2019
Accepted June 7, 2019 Published June 30, 2019

1. 서론

최근 다방면에서 무인화에 대한 관심이 증대됨에 따라 무인차량을 이용한 다양한 임무를 담당하는 움직임이 활발하다[1]. 실제로 무인차량을 이용하여 짐을 옮기거나 정밀한 탐지를 수행하고, 위험 구역에 대한 감시, 더 나아가 인명까지 구조하는 등 사람이 수행하기 어려운 많은 임무를 수행하고 있다[2]. 이러한 특수 임무를 수행하기 위하여 무인차량의 운용 방법이 크게 2가지 방향으로 연구가 진행되고 있다. 첫 번째로 무인차량에 장착된 센서가 주변 상황을 인지한 후 특정 임무 수행을 위한 판단 알고리즘이 동작하는 방향으로 운용되는 '자율주행'과 특정 임무 수행을 위하여 사용자가 원격으로 무인차량을 운용하는 '원격제어' 방법론이 있다. 원격제어에 활용되는 제어 스테이션은 대부분 조이스틱 형태의 시스템이 사용되고 있으며, Ryu 외 5인은 조이스틱 형태의 제어 스테이션을 개발하여 조이스틱의 Tilting motion은 가/감속, Panning motion으로 조향제어를 수행하도록 하는 연구를 수행하였다[3]. 이는 하나의 기구로 조작이 가능하다는 장점이 있으나, 조종에 어려움이 있고 실제 차량 운전과 매우 다르다는 한계점이 있다. 이러한 이질감뿐만 아니라 원격주행제어 모드에서 자율주행 모드로, 자율주행 모드에서 원격주행제어 모드로 변환할 시 조향 및 가/감속 조작부와 실제 제어 상황과 동기화가 이루어지지 않아 위험을 유발할 수 있다. 특히 동기화가 이뤄지지 않은 상황에서 모드를 변환할 시, 해당 오차를 줄이기 위한 제어가 수행되어 무인차량 혹은 원격 제어 시스템의 손상 가능성이 매우 높아진다. 이러한 문제가 대두됨에 따라 이를 극복하기 위한 제어 스테이션의 실재감 향상을 위한 환경 구축 연구와 사용자 관점에서의 알고리즘 개발 연구가 필요한 실정이다. Kang 외 4인은 무인차량이 주행하는 환경이 제어 스테이션에 전달되도록 하는 실재감 향상을 위한 사용자 관점의 힘반향 햅틱제어 알고리즘을 개발하였다[4]. 본 연구에서는 앞선 연구에서 개발되어진 힘반향 햅틱제어 기술을 적용할 수 있는 신뢰성 높은 원격주행제어 환경을 개발하는 연구를 수행하였다. 제어 환경 내 하드웨어는 실재감과 안전성을 높이기 위한 동기화 기능이 포함되어 있으며, 힘반향 햅틱제어 기술의 정상적인 적용을 위하여 제어 호환성까지 고려되어 구축되었다.

2. 통합 시뮬레이터 구성

본 연구에서 개발한 원격주행제어 스테이션의 구성은 Fig. 1과 같다. 우선 3가지 하드웨어로 구성되어 있는데, 조작을 담당하는 조향부와 가/감속부 모듈, 그리고 이를 제어하는 제어부 PC가 포함된다.

본 연구는 기 개발된 힘반향 햅틱제어의 적용 호환성을 고려하여 진행되었기 때문에 신뢰성 높은 하드웨어 구성뿐만 아니라 제어 알고리즘을 적용하기 위한 기본 시뮬레이터 구성도 중요하다. 이러한 기본 구성에는 실제 무인차량을 대체할 가상의 차량 모델 개발과 하드웨어 간 통신 환경 구성이 포함된다.

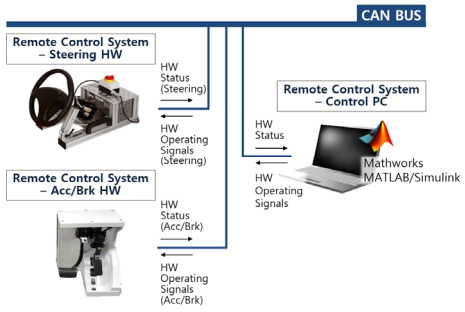

Fig. 1. Remote Control System Hardware Configuration

2.1 가상 차량모델 개발

앞서 언급했듯이 힘반향 햅틱제어 알고리즘 적용을 위하여 실제 무인차량과 유사한 가상의 차량이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 상용 툴인 TruckMaker를 사용하여 해당 업무를 수행하였다. TruckMaker는 독일 IPG 社에서 제공하는 차량 동역학 해석 솔루션 소프트웨어로, 주요 특징은 Fig. 2와 같이 차축이 2개 이상인 대형차량을 해석 대상으로 한다는 점이다. 원격주행제어의 주 대상인 무인차량의 경우, 특수 목적 차량으로써 Table 1과 같은 제원을 가진다.

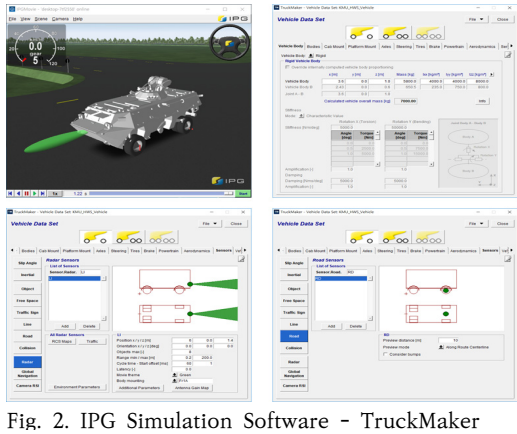

Fig. 2. IPG Simulation Software - TruckMaker

본 연구에서는 해당 제원을 토대로 TruckMaker 차량모델을 개발하였는데, 우선 조향 방식과 차체 정보를 반영하고, 무인차량의 기능 중 하나인 전방 장애물 및 전방 도로 정보 습득이 가능하도록 센서를 장착하였다. 센서의 경우, 힘반향 햅틱제어에 필요한 정보가 가상의 차량에서도 출력되도록 하기 위하여 TruckMaker에서 기본적으로 제공하는 센서를 장착하였다.

Table 1. Specification of Unmanned Vehicle

Specification	
Steer type	6Wheel Steer(Ackermann)
Height	400mm
Track width	1550mm
Wheelbase	2155mm
Weight	5894kg
Overall size	4250(L)x2500(W)x1980(H)
Accelerating performance	0 → 48km/h 10.5sec(Within)
Max. Speed	Paved/ Unpaved: 60/ 30 km/h
Tire radius	1037mm
Tire width	345mm

2.2 하드웨어 간 통신 환경 구축

Fig. 1에서 표현한대로 각각의 하드웨어는 하나의 CAN 버스로 연결되어 메시지를 주고받는다. 먼저 조향부에서는 Table 2와 같이 힘반향 햅틱제어에 활용되는 신호인 조향각, 조향각속도, 조향토크 값을 출력하며, 정상 구동에 필요한 메시지를 입력받는다. 다음으로 가/감속부에서는 Table 3과 같이 힘반향 햅틱제어에 활용되는 신호인 가/감속 페달 값을 출력하며, 구동 모드와 관련한 메시지를 입력받는다.

Table 2. Control PC - Steering HW CAN Messages

Control PC → Steering HW		
ID	Description	Range
200h	Controlword	0h, 2h, 4h, Fh
	Mode of Operation	1h, 2h, 4h, 8h
201h	Desired Torque	-32768 - 32767
Steering HW → Control PC		
ID	Description	Range
210h	Error	0h - FFFFh
211h	Position	1h, 2h, 4h, 8h
	Velocity	-32768 - 32767
	Actual Torque	-32768 - 32767

Table 3. Control PC - Acc/Brk HW CAN Messages

Control PC → Acc/Brk HW		
ID	Description	Range
300h	Control Mode	0h, 1h, 2h
Acc/Brk HW → Control PC		
ID	Description	Range
310h	Acc Pedal Position	0h - 800h
	Brk Pedal Position	0h - 800h

조향부와 가/감속부와 달리 제어부 PC는 별도로 CAN 통신 환경을 구현해야하는데, 본 연구에서는 Matlab/Simulink에서 제공하는 Vehicle Network Toolbox를 활용하였다. Fig. 3에 확인 가능한 CAN 메시지 송수신 블록셋(block-set)을 활용하여 조향부와 가/감속부에서 출력하는 메시지를 수신받고, 조향부와 가/감속부가 입력받아야 하는 메시지를 송신하도록 구현하였다.

추가적으로 힘반향 햅틱제어에 필요한 메시지를 가상 차량모델로부터 수신 받아야하기 때문에 기타 메시지가 모두 송수신되도록 Matlab/Simulink 모델을 구성하였다.

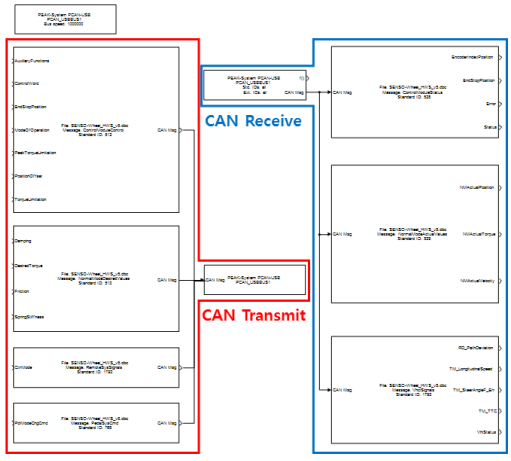

Fig. 3. CAN Receive & Transmit Block-set in Vehicle Network Toolbox(Matlab/Simulink)

2.3 통합 시뮬레이터 하드웨어 설치

본 절에서는 신뢰성 높은 원격주행제어 환경 구축을 위해 선정한 조향부, 가/감속부 하드웨어 사양을 설명하고, 설치 방법에 대해서도 설명한다.

2.3.1 통합 시뮬레이터 조향부

힘반향 햅틱제어 적용 등 시뮬레이터 구축에서 가장 중요한 부분을 차지하는 조향부의 경우, 신뢰성 높은 제품을 활용해야 한다. 또한 힘반향 햅틱제어 적용을 위하여 Desired Torque를 입력받을 수 있어야 하고, 조향각, 조향각속도, 조향토크에 대한 계측이 필수적이다. 기본적으로 조향 기반 힘반향 햅틱제어의 경우, 조타감과 관련되어 제어 주기가 매우 중요하다고 알려져 있다. 이는 모터 제어 주기를 확인해보면 알 수 있는데, 일반적으로 모터 제어 주기 비율(주파수/전동기의 구동 주파수 비율)이 10보다 작을 경우 하드웨어 측면에서 불안정한 제어가 수행되고 이 현상이 온전히 운전자에게 전달되게 된다. 따라서 기본적으로 100~200us의 주기를 가진다[5][6]. 또한 일반 차량 내 CAN 통신 주기는 10~20ms로써 정보량 대비 수용 가능한 통신 부하로 유지시키기 위한 수치이다.

본 연구에서는 모터 제어 주기와 CAN 통신 주기를 모두 고려하여 1ms를 통신 주기로 선정하였다. 아래 Table 4는 통신 주기를 포함한 조향부 하드웨어의 설계 요구사항이다.

Table 4. Steering HW Specification Requirement

Max. Torque	12Nm
Sampling time	1,000Hz(1ms)
Steering Angle Resolution	0.01deg
Steering Angular-rate Resolution	0.5 - 1deg/s
Steering Torque Resolution	0.01 - 0.03Nm

2.3.2 통합 시뮬레이터 가/감속부

가/감속부 하드웨어는 상대적으로 조향부보다 사용자에게 이질감을 유발하는 경우가 적으나 원격주행제어 시 안전성을 확보하기 위해서는 조작 제한 기능이 추가되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 가/감속부의 가속 페달에 추가적인 액추에이터를 장착하여 위험 상황 발생 시 조작을 제한할 수 있도록 하였다. 이렇듯 아래 Table 5는 원격주행제어의 안전성 확보를 위하여 가/감속부 모듈이 가져야하는 요구사양에 대해서 설명한다.

Table 5. Acc/Brk Hardware Specification Requirement

Max. Force	200N
Sampling time	50 - 500Hz(5ms Recommend)
Acc/Brk Pedal-value Resolution	0(0) - 400h(1)

각각의 하드웨어는 CAN 통신을 통해 정보를 주고받기 때문에 제어부 PC에 PEAK 社 P-CAN을 설치하여 Fig. 4와 같이 통신이 가능토록 구성하였고, 정상적인 힘반향 햅틱제어 기술 작동을 확인하였다. 본 연구는 기존과 비교하여 원격주행제어의 실재감과 안전성을 향상시키기 위하여 조향부와 가/감속부 모두의 요구사양을 분석하는 것이 주요한 내용이며, 위 요구사양은 힘반향 햅틱제어 성능을 저하시키지 않도록 하는 최소한의 조건이다.

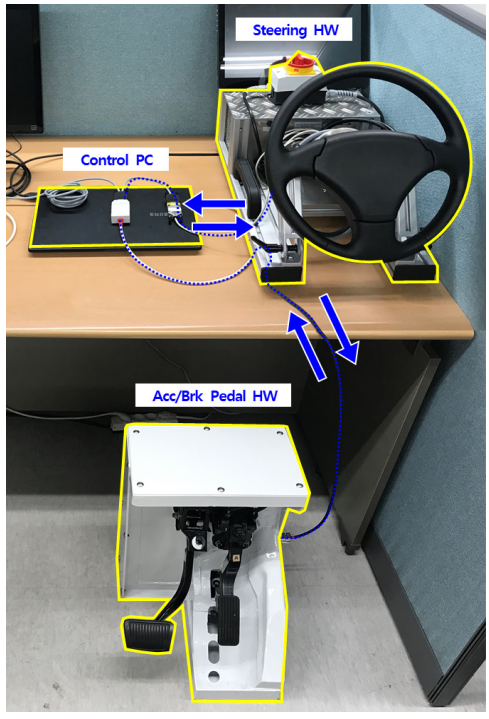

Fig. 4. Remote Control Simulator Configuration

3. 힘반향 햅틱제어 알고리즘 개요

앞 절에서 언급했듯이 하드웨어를 선정하고 원격주행제어시스템 환경을 구축하기 위해서는 요구사양이 먼저 정의되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 기존에 개발되었

던 힘반향 햅틱제어 알고리즘을 토대로 하드웨어 선정 및 요구사양 정의를 진행하였다. 기준이 되는 알고리즘의 경우 크게 3가지 기능을 포함하는데, 첫째 일반 차량 주행 상황과 유사한 실재감을 제공하도록 하는 반력 제어가 가장 기본적이다(force feedback control). 다음으로는 동기화 기능인데 무인차량이 장애물 등으로 인하여 조작이 제한된 상황일 경우, 이를 원격주행제어 스테이션에 전달하는 기능이다(angle/value synchronization)[4]. 예를 들어 도로의 연석에 타이어가 닿아 더 이상의 조향이 불가능한 경우, 원격주행제어시스템에 해당 정보를 전달하여 사용자의 추가 조향 입력을 방지하는 기능을 의미한다. 마지막으로 보다 안전한 원격주행제어를 위하여 무인차량이 위험한 구역으로 접근을 한다든가 사용자가 위험한 조작을 할 경우, 이를 제한 또는 경고하는 기능을 포함한다(avoiding dangerous situations). 이러한 기능을 포함하는 알고리즘은 Fig. 5와 같이 Control PC 내에서 각각의 하드웨어로 Desired Torque 또는 Force 지령을 전달한다.

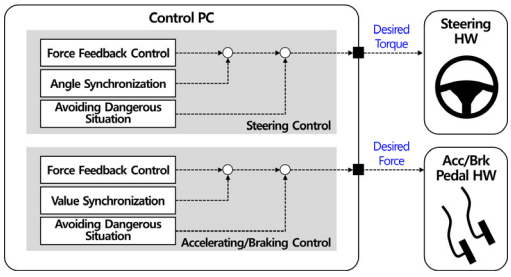

Fig. 5. Force-feedback Control algorithm Overview

4. 통합 시뮬레이터 검증

본 연구에서 개발한 통합 시뮬레이터를 검증하기 위하여, 이를 기반으로 가상 차량모델의 원격주행제어 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 통합 시뮬레이터에 힘반향 햅틱제어 알고리즘 적용하여 기능 수행에 성능 문제가 없는지 확인하였고, 4절에서는 그 내용에 대해서 설명한다.

4.1 기능 검증 시뮬레이션

통합 시뮬레이터 검증을 위하여 3가지 제어 성능에 대한 검증을 수행하였다. 첫째로 가상의 무인차량과 조향 동기화 검증을 수행한다. 조향각 오차가 일정 값, 일정 기간 동안 지속되는 경우가 발생하지 않고 통합 시뮬레이터가 동작하는지 검증한다. 다음으로 조향각-조타토크 히스테리시스 곡선을 통해 기본적인 조타감을 확인한다. 마지막으로 조향부 뿐만 아니라 가/감속부도 기본 제어 성능에 영향을 미치지 않는 수준의 조작 제한 및 경고 기능을 수행하는지에 대해 검증한다.

4.1.1 차량-시뮬레이터 동기화

차량, 시뮬레이터 간 동기화의 경우, 원격주행제어 시 발생할 수 있는 사용자 상해를 방지하고, 제어모드 전환 시 위험을 감소시키기 위해 매우 중요하다. 조향부와 가/감속부 모두에 동기화 기능이 포함되는 것이 바람직하나 본 연구에서는 상대적으로 동기화가 되지 않았을 경우 위험도가 더 높은 조향부에만 동기화 기능을 고려하였고, 조향부 하드웨어를 통해 사용자가 입력한 조향각(User Steering-wheel Angle)과 가상 무인차량의 조향각(Vehicle Steering-wheel Angle) 차이(User Steering- wheel Angle Error)를 비교하는 시뮬레이션을 수행하였다.

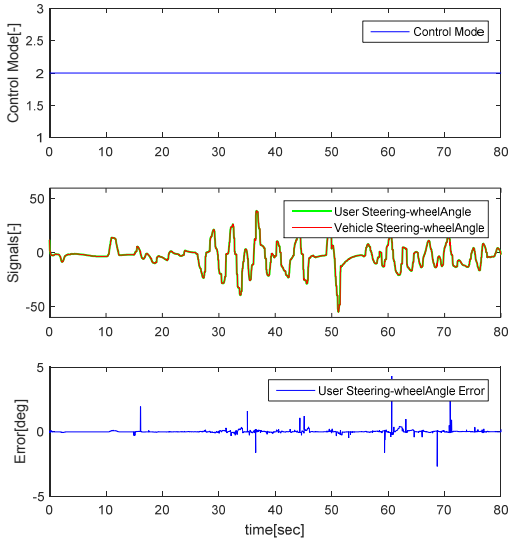

Fig. 6. Results of Simulation: Vehicle-Simulator Steering angle Synchronization

Fig. 6 첫 번째 그래프을 보면 Control Mode가 2(원격주행 모드)인 것을 확인할 수 있고, 조향각 오차(두 번째 그래프)가 ±3deg 이내인 것을 확인 가능하다. 약 60초 지점에 통신 지연 및 부하에 의하여 순간적인 오차가 발생하나 원격주행제어에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

4.1.2 조타감 검증

시뮬레이터에 힘반향 햅틱제어 알고리즘이 정상적으로 동작하고 시뮬레이터가 그 요구사양을 받쳐준다면, 일반 차량과 유사한 조타감을 구현할 수 있다. 따라서 조타감을 검증하는 시험인 On-center Handling 시험을 통하여 조향각-조타토크 히스테리시스 곡선을 확인하였다.

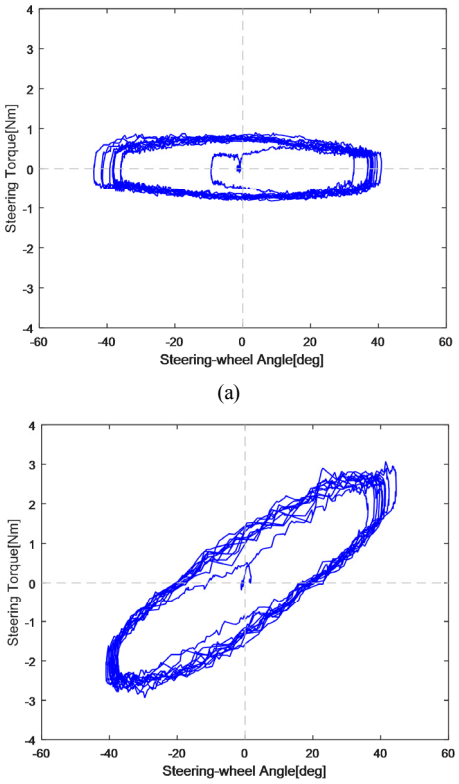

Fig. 7. Results of Simulation: Steering Feel
(a) Algorithm not applied (b) Algorithm applied

무인차량은 일반 차량과 횡가속도 범위가 다르지만 최대한 일반 차량과 유사한 조건으로 시험을 수행하였다. 차량 속도는 30km/h(무인차량의 최고 속도를 비롯해봤을 때 중속 조건으로 가정), 조향각은 ±40deg(0.3Hz 입력)로 입력하는 조건으로 시험을 수행하였다. 그 결과, Fig. 7에서 확인 가능하듯이 힘반향 햅틱제어 알고리즘이 요구사양을 만족하는 하드웨어에 적용되어, 일반 차량에서 확인 가능한 히스테리시스 곡선을 형성하는 것을 확인할 수 있다.

실제로 On-center Handling 시험을 통해 얻은 히스테리시스 곡선에서 조향각이 0인 지점에서의 기울기는 Steering Torque Gradient 라고 정의하고, 이는 조향각에 대한 Steering Torque 변화율을 의미한다. 해당 지표는 운전자의 주관적인 조타감을 정량적으로 나타내며, 일반 차량에서 약 0.1~0.15Nm/deg의 값을 가진다고 알려져있다[7]. Fig. 7(b)에서 확인 가능하듯이 본 과제를 통한 결과는 약 0.12Nm/deg로 분석되어 일반 차량의 조타감과 매우 유사하다는 것을 확인하였다.

4.1.3 조작 제한 또는 경고

시뮬레이터 구축에 가장 중요한 요소는 원격주행제어에 안전성을 확보하는 것이다. 동기화 기능과 더불어 사용자의 위험한 조작을 제한한다든가 경고하는 기능이 안전성을 확보하기 위한 것이다.

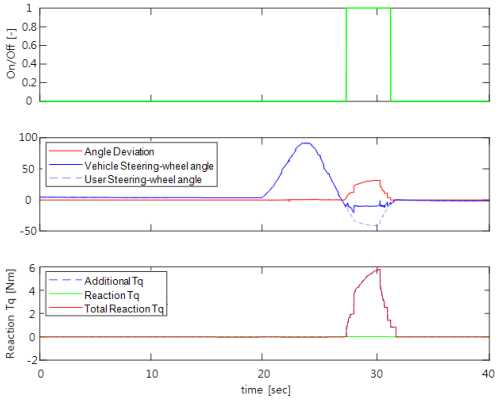

Fig. 8. Results of Simulation: Limitation of Operation (Steering)

연석 등 장애물에 의해 추가적인 조향이 불가한 경우를 모사하여 이질감 없이 조향이 제한되는지 시뮬레이션하고, 전방 추돌과 같은 위험이 예상되는 경우를 모사하여 가/감속부에는 가속 제한, 조향부에는 진동을 통한 경고를 정상적으로 수행하는지 확인한다. Fig. 8의 결과를 보면, 조향각의 차이 Angle Deviation 값이 3deg 이상으로 10 주기(10ms) 동안 지속될 경우, 추가 반력 토크 생성 알고리즘이 동작하는 것(Algorithm On)을 확인할 수 있다. 또한 조향각 차이에 따라 조향 제한 경고를 위한 추가적인 반력 토크(Additional Tq)가 더해져 출력(Total Reaction Tq)되는 것을 확인할 수 있다. Fig. 9에서 확인 가능하듯이 장애물에 의해 시계 방향으로 약 20deg 부근에서 조향이 제한되어 실제로 사용자의 추가 조향이 안 되는 것을 확인할 수 있었다.

앞서 설명한 바와 같이 장애물 충돌 위험 발생이 예상될 때 조향부는 고주파 대역의 경고 신호를 전달하여 진동을 발생시키고, 가/감속부는 제어 모드를 즉시 제한 모드로 변경하여 사용자의 추가적인 가속 입력을 막는다. Fig. 10 첫 번째 그래프의 Pedal Control Mode라는 신호를 확인하면, TTC(Time To Collision) 값이 2.5초보다 작아졌을 때 이 값이 0(일반 모드)에서 2(즉시 제한 모드)로 변경되었으며, 이는 아래 그래프 중 첫 번째에서 확인 가능하다.

Fig. 9. Simulation: Limitation of Steering Situation

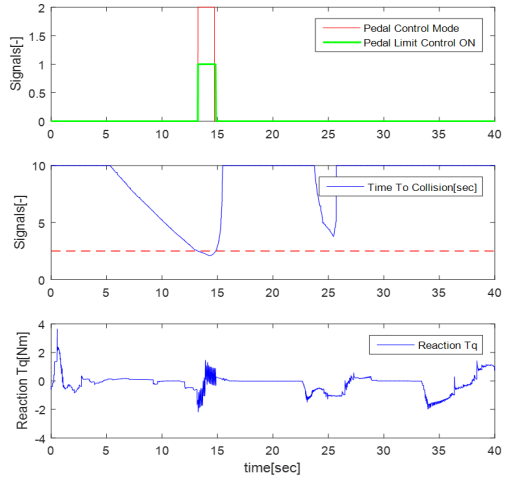

Fig. 10. Results of Simulation: Transmit Warning Signals (Steering), Limitation of Operation(Acc/Brk)

Fig. 11. Simulation: Forward Collision Situation

또한 조향부에서는 고주파수 대역의 경고 신호가 전달되는데, 두 번째 그래프를 보면 TTC 값이 2.5초 보다 작아졌을 때 고주파수 대역의 반력 토크가 추가된 것을 확인할 수 있다. Fig. 11을 보면 전방 장애물과의 충돌이 예상되는 상황에서는 조향부와 가/감속부 모두에 경고 또는 제한 지령이 전달되어 원격 제어 시 보다 적극적으로 사용자에게 피드백하는 기술을 적용했음을 검증하였다.

3. 결론

본 연구에서는 무인차량 원격 제어 시 실재감과 안전성을 향상시키기 위한 하드웨어 환경 구축에 대한 연구를 수행하였다. 연구의 목표는 힘반향 햅틱제어 알고리즘 적용을 고려한 최적의 시뮬레이터 환경을 구성하는 것이며, 이를 달성하기 위하여 다음과 같은 결과물을 도출하였다.

1. 기 개발된 힘반향 햅틱제어 알고리즘 적용을 고려하여 최적의 시뮬레이터 조향부 및 가/감속부 하드웨어 요구사양을 분석하였다. 가장 중요한 요구사양으로 조향부의 제어 주기는 1ms로 분석되었으며, 최대 출력 토크는 12Nm, 가/감속부의 경우 사용자의 조작을 제한할 수 있도록 페달력 최대치는 200N으로 분석되었다.

2. 요구사양 분석 결과를 토대로 하드웨어를 선정하고 조향부, 가/감속부, 제어부 하드웨어 간 통신 환경을 구축하여 통합 시뮬레이터를 개발하였다.
3. 개발 완료한 시뮬레이터에 기 개발된 힘반향 햅틱 제어 알고리즘을 적용하여 기능이 정상적으로 동작하는지 검증하였다. 첫 번째로 동기화 기능에서는 조향각 오차가 ±3deg 이하로 확인되었으며, 조타감의 경우 일반 차량과 유사하게 Steering Torque Gradient 값이 0.12Nm/deg로 확인되었다. 마지막으로 조작 제한 기능 또한 시뮬레이터 환경에서 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

References

[1] The Science Times. Prospects of 2030 for Unmanned Vehicles [Internet]. The Science Times, c2017 [cited 2017 January 16], Available From: https://www.sciencetimes.co.kr (accessed Feb. 7, 2019)

[2] J Kye. Operation Concept and Core Technology Trends of Unmanned Vehicles. pp.41-45, AUTO JOURNAL : Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, 2015.

[3] B Ryu, T Park, C Han, J Park, J Lee, S Back. "Design and Development of an Unmanned-Ground-Vehicle Using a Real-time Remote Control System.", Proceedings of the KSME Conference, KSME, Gangwon-do, Republic of Korea, pp.2051-2056, Nov. 2005.

[4] T Kang, K Park, J Kim, S Kang, J Kim. "A Study on the Haptic Control Technology for Unmanned Military Vehicle Driving Control", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.19, No.12, pp.910-917, Dec. 2018.
DOI: https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.12.910

[5] L. Zhong, M. F. Rahman, W. Y. Hu, and K. W. Lim, "Analysis of Direct Torque Control in Permanent Magnet Synchronous Motor Drives", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.12, No.3, pp.528-536, May 1997.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/63.575680

[6] D Kim, H Park, K Park, S Kim, G Lee. "High Speed Control of a Multi-pole Brake Motor Under a Long Current Control Period", Journal of institute of control, robotics and systems, Vol.21, No.2, pp.137-144, Feb. 2015.
DOI: http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2015.14.0114

[7] S Kim, D Chung, J Kim, D Choi. Improvement of On-center Handling Performance in Electric Power Steering. pp.405-410, Symposium of Korean Society of Automotive Engineers, 2002

강 태 완(Tae-Wan Kang) [정회원]

- 2013년 2월 : 아주대학교 공과대학 기계공학부 (공학사)
- 2015년 2월 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 (공학석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 박사과정

〈관심분야〉
차량 샤시제어, ADAS/ 자율주행 시스템

박 기 홍(Ki-Hong Park) [정회원]

- 1986년 2월 : 서울대학교 공과대학 기계설계 (공학사)
- 1990년 2월 : 미국 Cornell 대학교 기계공학 (공학석사)
- 1994년 2월 : 미국 Cornell 대학교 기계공학 (공학박사)
- 1990년 2월 : 국민대학교 자동차IT융합대학/자동차공학전문대학원 교수

〈관심분야〉
차량 샤시제어, ADAS/ 자율주행 시스템

김 준 원(Joon-Won Kim) [정회원]

- 2000년 2월 : 연세대학교 공과대학 기계공학과 (공학사)
- 2000년 2월 ~ 현재 : 한화시스템(주) 지상시스템팀 수석연구원

〈관심분야〉
다중로봇 통합운용, 증강현실, 힘반향 햅틱제어

김 재 관(Jae-Gwan Kim) [정회원]

- 2002년 8월 : 한국과학기술원 통신공학 (공학석사)
- 2008년 8월 : 한국과학기술원 통신공학 (공학박사)
- 2009년 5월 ~ 2011년 3월 : 국방과학연구소 선임연구원
- 2011년 4월 ~ 현재 : 한화시스템(주) 지상시스템팀 수석연구원

〈관심분야〉
무인체계 통합, 지휘통제, 통신인터페이스

박 현 철(Hyun-Chul Park) [정회원]

- 2005년 2월 : 단국대학교 경영정보학과 (경영학사)
- 1997년 1월 ~ 현재 : 한화시스템(주) 전문연구원

〈관심분야〉
무인체계, 미들웨어, SW

강 창 근(Chang-Keun Kang) [정회원]

- 2009년 2월 : 동국대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : 한화시스템(주) 전문연구원

〈관심분야〉
무인체계, 지휘통제, 정보통신