

# 원격지 현장감을 향상시키기 위한 무인차량 원격조종에 관한 연구

## A Study on the Teleoperation of the Unmanned Grounded Vehicle for Improving Telepresence

이 태 곤, 유 지 환\*  
(Tae-Gon Lee and Jee-Hwan Ryu)

**Abstract:** In this paper, we proposed a teleoperation scheme of unmanned grounded vehicle to improve telepresence. Especially, bilateral control architecture for transmitting realistic steering feeling to the remote driver is investigated. System architecture of the teleoperated remote vehicle is introduced with visual, auditory and kinesthetic haptic channel. Several bilateral control architectures are proposed for transmitting remote steering feeling, and subject tests are done to evaluate the performance. Position-force bilateral control architecture with returning torque compensation algorithm shows best performance.

**Keywords:** unmanned grounded vehicle, teleoperation, haptic, bilateral control, steering feeling

### I. 서론

최근 로봇 기술의 발전과 더불어 실제차량을 로봇화 하여 무인자율주행이 가능하도록 하는 자동차에 대한 관심이 증대되고 있다. 무인 자율주행 차량은 사람이 접근하기 힘든 지형의 탐사나 인명구조 그리고 군사적 목적으로도 많은 활용 가능성을 가지고 있다. 2003년 DARPA에서는 사막의 지정된 경로를 평균 속도 20mph로 무인으로 주행하는 “GRAND CHALLENGER”대회를 개최하여 무인자동차에 대한 관심을 전세계적으로 증대시킨 바 있다[1].

하지만 현실적으로 운전자의 아무런 개입 없이 무인으로 완벽하게 자율주행이 가능한 자동차를 개발하기 위해서는 인공지능분야 등에서 아직까지 많은 연구가 필요하다. 자동차에 충분한 지능을 부여하지 못하는 현 시점에서 자동차를 무인화하여 원하는 작업을 수행하기 위한 대안으로 차량의 원격조종이 현실적으로 가능한 대안으로 제시되고 있다[2].

원격조종 기술은 로봇의 작업능력과 인간의 판단능력을 결합하여 원격지의 환경을 보다 효율적으로 조작하고 원하는 작업을 수행하기 위한 방법으로 최근 많은 각광을 받고 있다. 원격조종로봇은 초기에 원격지의 탐사, 원자로 검사, 폭발물 탐지와 같은 인간이 접근하기 어려운 곳의 위험한 작업을 대신하는 용도로 주로 사용되었으며, 최근에는 원격수술과 마이크로/나노 크기 물체의 조작 등에도 활용되어, 인간의 작업능력을 증대시키고 작업의 피로를 줄여주는 용도로도 활용되고 있다. 뿐만 아니라 체형학습도구, 각종 산업훈련의 도구 및 장애인의 재활 보조기구 등으로도 응용분야가 확대되고 있는 추세이다[3,4].

차량의 효율적인 원격조종을 위해서는 원격지에서 차량을 원격으로 조종하는 운전자에게 실제 차에 타고 운전하는

것과 같은 느낌을 재현해주는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 원격지 현장감이라 하며, 원격조종로봇 분야에서 많은 연구들이 이루어지고 있다. 하지만 주로 모바일 로봇의 원격조종 분야에서 연구들이 이루어지고 있으며 실제차량의 원격조종에 대한 연구는 미비한 실정이다[5].

본 논문에서는 실제차량의 효율적인 원격제어를 위하여 원격지 현장감을 향상시키는 방법에 대한 연구를 수행하였으며, 특히, 원격지의 운전자에게 원격 조향감을 실제적으로 전달하기 위한 양방향 원격제어 방법을 제안하고 이를 실험을 통하여 검증하였다.

### II. 시스템 개요

본 논문에서는 실제 차량 운행시 느낄 수 있는 현장감을 원격지의 운전자에게 최대한 전달하여 원격조종의 성능을 향상시키는 데 연구의 목적이 있다. 차량 주행시 운전자는 촉각, 시각, 청각의 3가지 감각으로 현장감을 느끼게 된다. 본 논문에서는 이 3가지 감각이 원격지의 운전자에게 현실감 있게 전달될 수 있도록 마스터(master)와 슬레이브(slave) 무인차량 원격조종 시스템을 구성하고(그림 1) 이를 실험을 통하여 검증하였다. 특히, 조향감각의 전달에 중점을 두어 연구를 진행하였다.



그림 1. 원격지 현장감 전달을 위한 무인차량 원격조종 시스템.  
Fig. 1. Teleoperation system of Unmanned grounded vehicle for transmitting transparency.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 3. 15., 수정: 2010. 4. 15., 채택확정: 2010. 4. 30.

이태곤: 한국기술교육대학교 산업대학원(gonny@kut.ac.kr)

유지환: 한국기술교육대학교 기계정보공학부(jhryu@kut.ac.kr)

※ 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(KRF-2007-D00042).

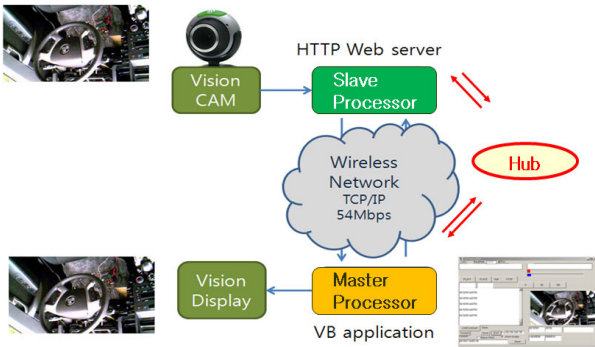


그림 2. 영상 시스템.  
Fig. 2. Vision system.

1. 영상 시스템

디지털 웹 카메라를 통하여 슬레이브 측의 주행영상을 마스터 측으로 전달하는 시스템을 구현하였다. 2.4GHz의 무선 인터넷을 통해 영상을 전달하며, JPEG 압축방식을 사용하였다. 그림 2는 Vision 시스템의 영상신호 처리 흐름도를 보여준다. 슬레이브의 메인 프로세서에서 소형 웹 서버가 구성되어 웹 프로토콜을 사용하여 영상이 전달되게 된다.

초당 14~18프레임의 이미지 영상을 전송할 수 있도록 구성되었으며, 사람의 눈이 일반적으로 초당 24프레임 이상은 구분을 잘 못한다는 것을 감안한다면, 현장감 전달에 상당히 근접한 갱신 율이라 할 수 있다. 본 시스템에서는 대략 0.1~0.15(sec)의 이미지 영상 지연이 발생하였다.

2. 음향 시스템

본 논문에서는 원격지 현장감을 증가시키기 위하여 영상 정보에 추가하여 원격지의 음향정보를 전달하는 시스템을 도입하였다. 운전자에게 가장 많은 정보를 줄 수 있는 음향은 차량 주행시 발생하는 엔진 음일 것이다. 본 연구에서는 초기에 원격지 차량의 엔진 음을 전달하는 방법을 두 가지로 접근하였다. 첫째, 차량의 엔진 음을 마이크로폰으로 측정하여 직접 전달하는 방법과, 둘째, 엔진 RPM에 따라 구간별로 미리 저장된 엔진 음을 마스터 측에서 직접 재생하는 방법이다(그림 3).

엔진 음을 직접 전달하는 첫 번째 방법의 경우, 실제 원격지의 음향을 그대로 전달한다는 장점이 있는 반면 시간지연 및 네트워크에 의한 순간적인 음향 끊김 현상이 오히려 원격지 현장감을 저하시키는 원인이 되었다. 따라서 본 연구에서는 엔진 RPM에 따라 구간별로 미리 녹화된 엔진 음을 마스

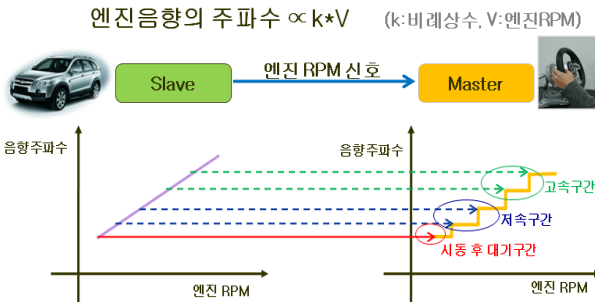


그림 3. 음향 시스템.  
Fig. 3. Auditory system.



그림 4. 조향 시스템.  
Fig. 4. Steering system.

터 측에서 운전자에게 직접 재생하여 주는 방법을 채택하였으며, 실험을 통하여 첫 번째 방법보다 원격지 현장감이 증가됨을 확인할 수 있었다.

3. 조향 시스템

실제 차량의 원격주행 시 영상 및 음향 정보도 중요하지만, 원격지 현장감의 증대를 위하여 무엇보다 중요한 정보중의 하나는 운전자가 느끼는 햅틱 정보이다. 차량의 가 감속에 따른 중 방향 흔들림, 횡 방향 제어에 따른 횡 방향 흔들림, 도로의 상태에 따라 타이어를 통해 전달되는 상하 흔들림 등이 차량의 운전시 운전자에게 전달되는 햅틱 정보이며, 운전자는 이를 통해 차량을 효율적으로 조종할 수 있게 된다. 특히, 차량의 횡 방향 제어시 조향 장치의 흔들림과 조향 토크의 변화는 효과적인 조향에 큰 영향을 준다.

본 논문에서는 여러 햅틱 정보 중 조향 감각에 초점을 맞추어 연구를 진행하였으며, 실제 차량의 원격주행시 원격지 현장감을 최대한 증가시키기 위하여 조향 감각 전달을 위한 시스템을 개발하고, 실험을 통하여 원격 조향 감각의 성능을 검증하였다.

원격지 차량의 조향 컬럼 하단에 모터 및 제어기를 부착하여 슬레이브를 구성하였으며, 게임용 스티어링 휠에 모터 및 제어기를 부착하여 마스터를 제작하였다.

마스터와 슬레이브 휠의 엔코더와 홀센서를 통하여 각각 조향 위치 및 토크 정보를 추출하고 양방향 제어를 수행하였다. 좀더 상세한 양방향 제어에 관련된 내용은 다음 절에서 소개하도록 한다.

III. 실험 구성

본 논문에서는 SUV 4륜 구동 디젤 차량을 사용하였으며, 유압식 조향 장치가 장착되어 있다. 상세 제원은 그림 5와 같다.

그림 6은 실험을 위한 실 차량 원격조종 시스템의 전체 제어시스템 구조이다. 마스터와 슬레이브는 각각 메인 프로세서에 의해 제어되며, 메인 프로세서는 영상, 음향, 조향에 대한 제어를 총괄하게 된다. 특히, 조향 시스템의 경우는 하위에 마이크로 프로세서를 사용한 로컬제어기를 두어 위치 및 토크제어를 독립적으로 수행하고 있다. 마스터와 슬레이브는



차체	전장(mm)	4,365
	전폭(mm)	1,850
	전고(mm)	1,720
사시	축거(mm)	2,705
	윤거-전(mm)	1,560
	윤거-후(mm)	1,570
엔진	형식	VCDI
	출배기량(cc)	1,991
	최고출력(ps/rpm)	150/4,000
	최대토크(kg.m/rpm)	32.7/2,000
	연료탱크용량(l)	65

그림 5. 실험차량 제원.

Fig. 5. Information of the vehicle for experiment.

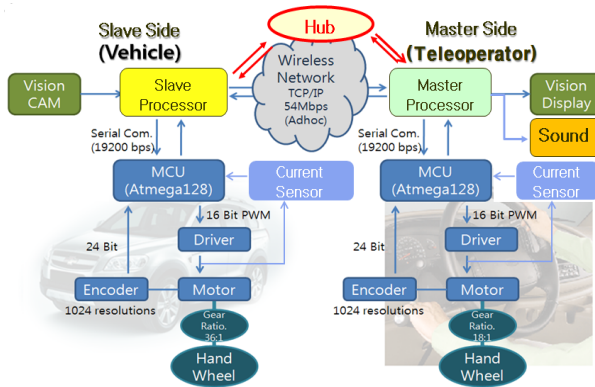


그림 6. 전체 제어기 구조.

Fig. 6. Overall control architecture.

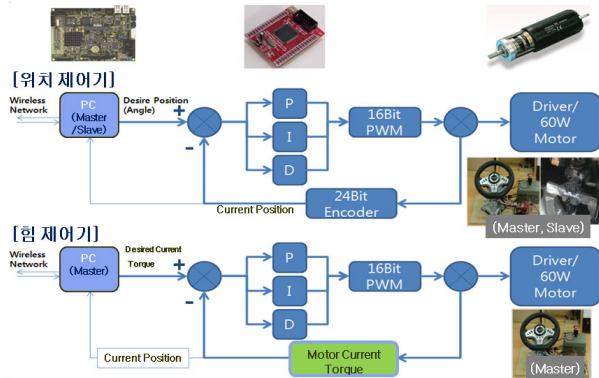


그림 7. 로컬 위치/힘 제어기 구조.

Fig. 7. Architecture for local position/force controller.

무선 TCP/IP 통신에 의하여 서로 데이터를 주고받도록 구성되었다.

그림 7은 마스터와 슬레이브의 로컬 위치 및 힘 제어기의 구조를 나타낸다. 상위 프로세서에서 목표 위치 및 토크를 전달받게 되며, 하위 마이크로 프로세서에서 위치/힘 PID 제어가 구현되었다.

**IV. 실험환경**

본 논문에서는 실 차량의 원격조종시 현장감 있는 조향 감각의 전달을 위한 효율적인 양방향 원격제어기의 구조를 실험을 통하여 찾아냈다. 먼저, 위치-위치 및 위치-힘 양방향 제어기의 성능을 실험을 통하여 비교하였다. 그림 8에서 보듯이 위치-위치 양방향 제어기의 경우 마스터와 슬레이브

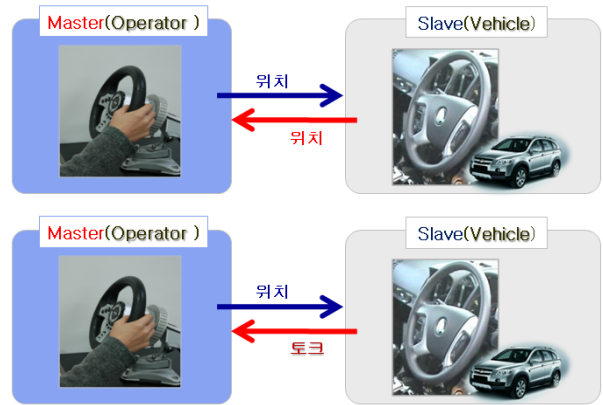


그림 8. 양방향 원격제어기의 구조.

Fig. 8. Architecture for bilateral controller.

표 1. 실험 평가항목.

Table 1. Evaluation items.

Evaluate Item	Feeling	Control	Stable	Response
Value	(가장 좋음) 5~1 (가장 나쁨)	(가장 좋음) 5~1 (가장 나쁨)	(가장 안정) 5~1 (가장 불안)	(가장 좋음) 5~1 (가장 나쁨)

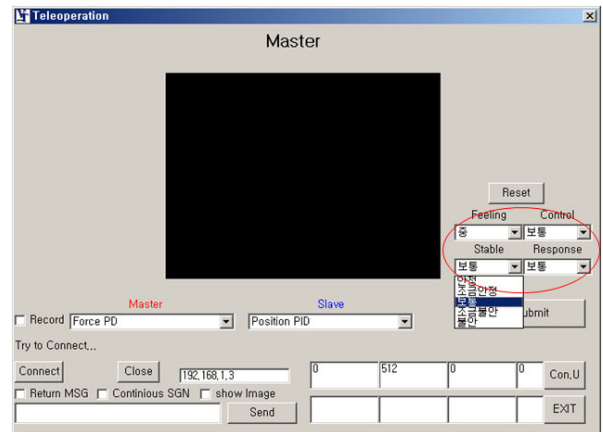


그림 9. 평가를 위한 마스터 측 GUI.

Fig. 9. Master GUI for evaluation.

간에 위치 정보를 주고받아 양방향 원격제어가 이루어지게 되며, 위치-힘 제어기의 경우 마스터는 위치정보를 슬레이브 측으로 보내고, 슬레이브는 토크 정보를 마스터로 전달하는 방식이다.

실험 평가의 보조수단으로 표 1과 같은 4개의 평가지표를 선정하여 평가자들로 하여금 실험 후 평가를 수행하게 하였다. 조향감각(Feeling), 조향성능(Control), 안정성(Control) 그리고 반응속도(Response)를 5단계 (5 가장 좋음)로 평가 하도록 하였다.

그림 9는 실험에 대한 실시간 평가를 위해 사용된 마스터 측의 GUI이다. 그림에서 보는 것처럼 운전자가 로컬에서 원격지의 차량을 조종하면서 각각의 기준 항목을 실시간 평가하도록 하였다. 평가는 10명의 평균연령 25세 남/여 대학(원)생을 대상으로 이루어 졌으며, 각 항목 평가에서 최대와 최소 값을 제외한 결과를 평균 한 결과를 사용하여 결과의 객관성을 높일 수 있도록 하였다.



V. 실험결과

1. 위치-위치 양방향 원격제어구조

먼저 마스터와 슬레이브 간에 위치정보만을 주고받는 위치-위치 양방향 원격제어구조를 사용하여, 슬레이브의 조향각 추종성능 및 마스터의 조향각각 전달성능에 대하여 실험 및 평가를 수행하였다.

그림 10은 마스터 측에 PD 위치제어를 슬레이브 측에 PID 위치제어를 사용한 경우에 대한 실험결과를 나타낸다. 위쪽 그래프는 위치추종 성능을 나타내며, 아래 그래프는 힘 추종 성능을 나타낸다. 밑의 테이블의 경우 표 1의 실험평가 항목에 대한 평가 결과이다. 결과에서 보는 것처럼 위치추종 성능은 만족스러운 반면, 슬레이브 차량 측의 토크에서 진동이 발생하는 것을 볼 수 있다. 오퍼레이터의 평가에서도 안정성 측면에서 낮은 지표를 나타내는 것을 확인하였다. 이는 마스터와 슬레이브 사이의 통신 시간지연에 의하여 발생하는 불안정성으로, 슬레이브가 위치추종을 못하고 있음에도 불구하고 마스터 측에서 지속적으로 변화하는 위치명령이 슬레이브 측으로 유입되어 발생하는 현상으로 분석된다.

마스터의 위치를 슬레이브의 위치와 좀더 강하게 커플링시키기 위하여, 마스터 측에 적분 제어를 추가로 도입하여 실험을 수행하였다. 그림 11에서 보듯이 안정성이 현저히 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 평가항목을 보면 조향각각 및 조향성능은 적분제어를 사용하지 않은 경우에 비하여

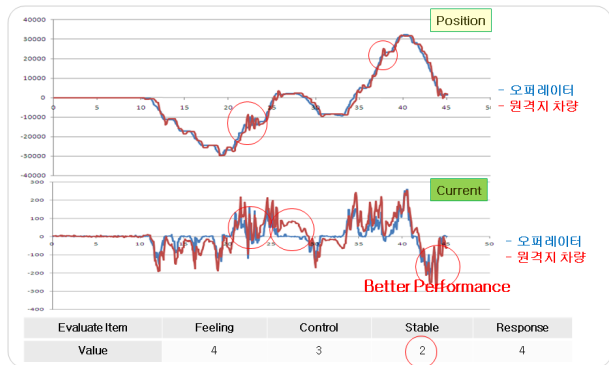


그림 10. 위치-위치 제어구조, 마스터 PD, 슬레이브 PID 사용.  
Fig. 10. Position-position control architecture, master used PD and slave used PID position controller.

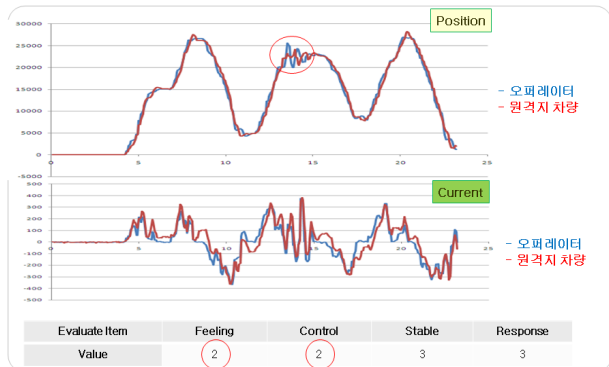


그림 11. 위치-위치 제어구조, 마스터 및 슬레이브 PID 사용.  
Fig. 11. Position-position control architecture, master and slave used PID position controller.

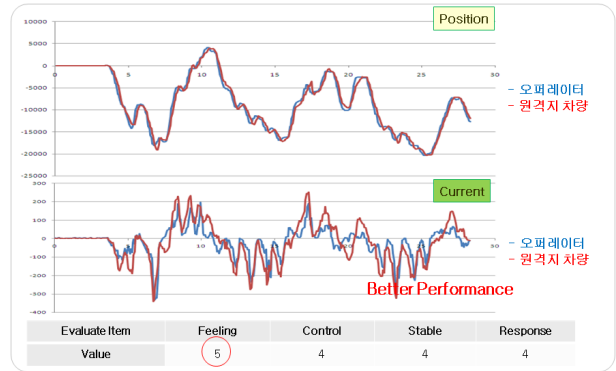


그림 12. 위치-힘 제어구조, 마스터 PD 힘 제어기, 슬레이브 PID 위치제어기 사용.  
Fig. 12. Position-force control architecture, master used PD force control and slave used PID position controller.

저하됨을 알 수 있다. 이는, 적분제어기가 마스터 측의 동작 주파수 영역을 감소시켜 안정성은 증가시키나, 조향각각이나 성능은 오히려 감소시킨다고 해석 가능하다.

위 두 실험 결과를 바탕으로 위치-위치 양방향 원격제어 구조는 차량의 원격 조향제어에 적합한 제어구조로 판단되지 않는다.

2. 위치-힘 양방향 원격제어구조

본 절에서는 대표적인 양방향 원격제어 구조 중 다른 하나인 위치-힘 제어구조를 채택하여 실험을 수행하고 결과를 분석하였다. 위치-힘 제어기는 마스터에서 슬레이브로 위치명령을 전달하고 슬레이브에서 마스터로 힘 명령을 전달하는 양방향 제어구조이다.

그림 12는 마스터 측에 PD 힘 제어기, 슬레이브 측에 PID 위치제어기가 적용된 실험 결과이다. 위치 및 힘 추종에서 앞선 제어기에 비하여 매우 향상된 결과를 얻었으며, 성능평가에서도 모든 지표에서 높은 성적을 기록하였다. 원격 조향 시스템의 특성상 상호간 위치의 일치보다는 슬레이브는 마스터의 위치를 추종하고, 마스터는 슬레이브측의 힘을 전달하는 위치-힘 양방향 제어구조가 적합한 것으로 실험을 통하여 입증되었다.

3. 휠 복원력 제거 및 추가적용

위 절에서 위치-힘 제어구조가 조향각각의 향상 및 조향능력의 향상에 적합한 양방향 제어구조로 판별 되었다. 하지만, 성능평가결과 조향성능에서 아직 개선의 여지가 남아 있는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 사용한 차량의 경우 실제차량의 조향 시스템에 외부 모터를 사용하여 원격 조향을 구현하였으므로, 슬레이브 측 위치제어기의 경우 차량에 존재하는 휠 복원력이 외력으로 작용하게 된다. 이러한 휠 복원력이 슬레이브 측 핸드 휠에 작용하여 조향성능을 크게 향상시키는 데에 한계가 있었다.

본 절에서는 휠 복원력을 극복하고 조향성능을 향상시키기 위하여, 슬레이브 측에 조향각에 비례하는 휠 복원력을 제거하기 위한 피드포워드 항을 추가하여 위치제어기를 구현하였다. 휠 복원력 곡선의 경우 많은 기존의 연구들이 이루어져 있다[6]. 그림 13은 휠 복원력의 제거에 의한 슬레이

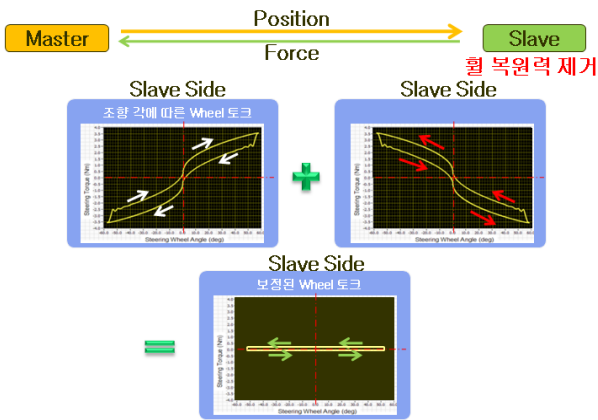


그림 13. 휠 복원력 제거에 따른 조향각-휠 토크 곡선.  
Fig. 13. Relation between steering angle and wheel torque without returning torque.

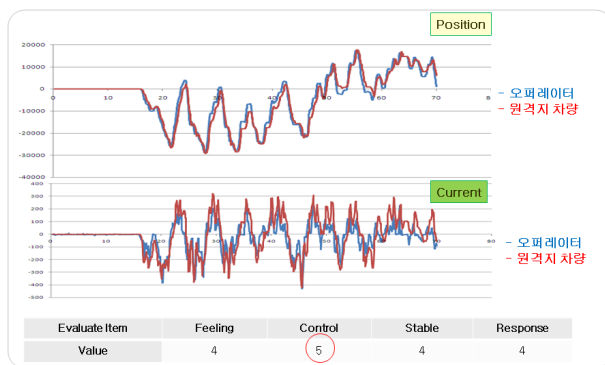


그림 14. 휠 복원력 제거 후 위치-힘 제어구조.  
Fig. 14. Position-force control architecture without returning torque.

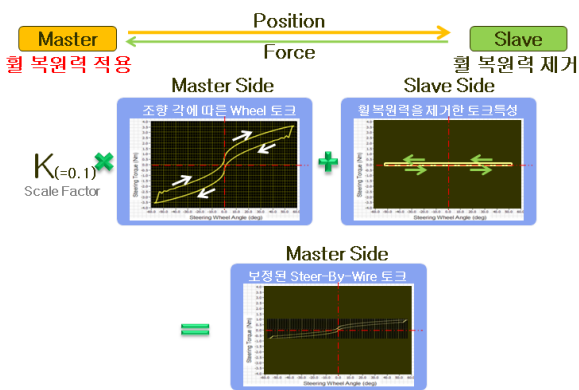


그림 15. 마스터 측의 휠 복원력 추가에 따른 전체 조향각-휠 토크 곡선.  
Fig. 15. Relation between steering angle and wheel torque with returning torque at master side.

브의 조향각에 따른 휠 토크 곡선을 나타낸다. 그림 14는 휠 복원력을 제거한 후의 실험결과이다. 예상대로 조향성능이 크게 향상되었음을 알 수 있다. 하지만 평가에서 조향감각이 오히려 저하되는 결과를 가져왔다. 이는, 휠 복원력의 제거로 인하여 실제차량의 운전에서 느끼게 되는 복원력을 운전자가 느낄 수 없게 됨으로써 조향감각의 저하를 가져온 것으로 해석된다.

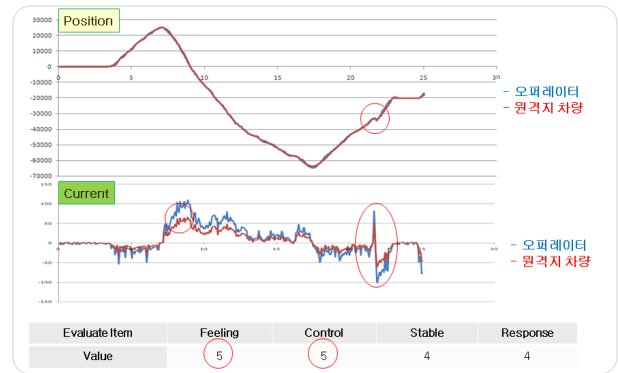


그림 16. 휠 복원력 마스터 측 추가 후 위치-힘 제어구조.  
Fig. 16. Position-force control architecture with returning torque at master side.

슬레이브 측에서 제거된 휠 복원력을 마스터 측에서 재생하기 위하여 조향각에 따른 복원력을 그림 15와 같이 마스터 측에 피드포워드 향으로 추가하였으며, 휠 복원력의 크기를 조절할 수 있는 변수를 두어 제어기의 자유도를 증가시켰다. 이러한 경우, 안정성 및 조향감각에 있어서도 큰 이득을 볼 수 있다. 딜레이를 가지고 전달되는 휠 복원력 보다 로컬에서 재생되는 복원력이 안정성을 덜 저하시킬 뿐만 아니라, 혼동 없이 운전자의 원격지 현장감 증가에도 도움이 된다고 할 수 있다.

그림 16은 최종적으로 제안된 위치-힘 제어구조가 적용된 실험 결과를 나타낸다. 위치 및 힘 추종성능에서 매우 향상된 결과를 보이며, 성능평가에서도 앞선 실험에 비하여 조향감각 및 조향성능에서 최고의 평가결과를 보이고 있다.

VI. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 실제차량의 원격조종 시에 원격지 현장감을 향상시키기 위한 원격조종 시스템이 소개되었으며, 특히, 현장감 있는 원격 조향감각의 전달을 위한 양방향 원격제어 알고리즘이 제안되었다. 휠 복원력을 차량 측에서 제거하고 마스터 측에서 재현한 위치-힘 양방향 원격제어 알고리즘이 최상의 성능을 나타내는 것을 실험을 통하여 보였으며, 이를 사용자 평가를 통하여 증명하였다. 음향 시스템 역시 원격지의 음향을 시간지연을 가지고 전달하는 방법 보다 로컬에서 RPM에 비례하여 재현하는 것이 보다 현장감을 높일 수 있다는 흥미로운 결론도 도출 할 수 있었다.

향후 가속 브레이크 및 트랜스미션 인터페이스까지 발전시켜, 연구를 지속적으로 진행 할 예정이며, 이를 바탕으로 군용 또는 위험환경에서 무인으로 실 차량을 원격주행 시 보다 현장감 있는 차량의 원격주행이 가능하리라 기대한다.

참고문헌

- [1] M. Buehler, K. Iagnemma, and S. Singh, *The 2005 DARPA Grand Challenge The Great Robot Race*. Springer Berlin, 2006.
- [2] McGovern, D., "Experiences and results in teleoperation of land vehicles," SAND87-0646, Sandia National Lab., Albuquerque, NM, 1990.
- [3] 한국과학기술정보연구원 "위험작업용 로봇 기술 동향," Kisti, pp. 40-49, 2004.

- [4] T. B. Sheridan, "Telerobotics, automation, and human supervisory control," MIT press, 1992, pp. 1-12.
- [5] Meier, R., et al., "A sensor fusion based user interface for vehicle teleoperation," *Field and Service Robots Conference*, Pittsburgh, PA, August 1999.



#### 이 태 곤

2006년 한국기술교육대학교(공학사). 2009년 한국기술교육대학교 기계공학과(공학석사). 2009년~현재 한국기술교육대학교 산업대학원 최고경영자과정 PM.

- [6] B. H. Nguyen and J.-H. Ryu, "Direct current measurement based steer-by-wire systems for realistic driving feeling," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2009.



#### 유 지 환

2002년 한국과학기술원 기계공학과(공학박사). 2005년~현재 한국기술교육대학교 기계정보공학부 교수로 재직중. 관심분야는 Haptics, Teleoperation, Vehicle teleoperation.