

# 차량형 로봇을 이용한 다중 Off-Hooked 트레일러의 후진 제어

## Backward-Motion Control of Multiple Off-Hooked Trailers Using a Car-Like Mobile Robot

정 우 진<sup>†</sup>, 유 광 현<sup>‡</sup>

Woojin Chung<sup>†</sup>, Kwanghyun Yoo<sup>‡</sup>

**Abstract** It is difficult to find a practical solution for the backward-motion control of a car-like mobile robot with  $n$  passive trailers. Unlike an omni-directional robot, a car-like mobile robot has nonholonomic constraints and limitations of the steering angle. For these reasons, the backward motion control problem of a car-like mobile robot with  $n$  passive trailers is not trivial. In spite of difficulties, backing up a trailer system is useful for parking control. In this study, we proposed a mechanical alteration which is connecting  $n$  passive trailers to the front bumper of a car to improve the backward motion control performance. Theoretical verification and simulations show that the backward-motion control of a general car with  $n$  passive trailers can be successfully carried out by using the proposed approach.

**Keywords** : Articulated Vehicles, Robot Kinematics, Mobile Robotics, Path Tracking, Underactuated Systems

### 1. 서론

수동 트레일러는 운송 능력을 향상시킨다. 굴절 버스, 보트 트레일러나 캠핑 트레일러, 공항의 화물 트레일러나 다중 트레일러 트럭 등이 좋은 예이다. 이러한 장점에도 불구하고, 이러한 시스템의 제어는 복잡한 비선형 문제이다. 비선형 제어 분야에서, 수동 트레일러 시스템의 제어에 관한 문제는 많은 연구자들이 연구해왔다<sup>[1-11]</sup>. 다수의 soft computing 기법 또한 수동 트레일러 시스템의 운동 제어에 도입되었다<sup>[12-14]</sup>.

차량형 로봇을 이용한 수동 트레일러 시스템의 후진 제어 문제는 몇몇 연구자에 의해 연구되었다. Yi 등은 fuzzy 제어를 이용한 truck-trailer 시스템의 후진 제어 기법을 제안하였다<sup>[4]</sup>. Matsushita 등은 Lyapunov 함수를 이용한 2대의 수동 트레일러의 후진 제어 기법을 제안했다<sup>[5]</sup>. 그러

나, 일반적인 4륜 자동차를 이용한 수동 트레일러 시스템의 후진 제어 문제는 많이 연구되지 않았다. [13]에서 Slagle 등은 neural network를 이용하여 2대의 수동 트레일러를 후진 제어하였다. 이 방법은 환경이나 시스템 제원의 변화에 대처하기 어려운 단점이 있다. [16]에서, Ollero는 1대의 트레일러와 차량을 이용한 평행 주차 제어 기법을 제안하였다. Altafini 등은 1대의 트레일러와 차량형 트랙터의 전, 후진 제어를 제안하였다<sup>[7]</sup>. 이 연구들은 일반적인 차량을 이용하였지만 1대의 수동 트레일러만이 고려되었다<sup>[16-17]</sup>.

이전의 연구에서, 우리는 off-hooked 수동 트레일러를 제안하였다<sup>[18]</sup>. 이 기구학적 설계는 높은 궤적 추종 성능을 보장한다. 홀로노믹 전방향 이동 로봇을 이용한 다수의 off-hooked 트레일러의 후진 제어 기법 또한 제안되었다<sup>[9]</sup>. 그러나, 수동 트레일러를 차량형 로봇으로 후진 제어하는 것은 몇 가지 어려움을 갖고 있다. 차량형 로봇은 논홀로노믹 구속 조건과 조향 각도의 제한을 가지게 되어 제어가 어려워진다. 후진 제어 시 트레일러간의 상대 각도 또한 제한되게 된다. 이 제한을 벗어나게 되면, 트레일러 시스템이 제어 불가능한 각도로 꺾여 버리는 잭나이프 현상

Received: July 31, 2009; Reviewed: Sep. 7, 2009; Accepted: Sep. 25, 2009

※ 이 논문은 지식경제부 “융복합형 로봇 전문 인력 양성 사업”의 지원을 받아 수행되었습니다.

<sup>†</sup> 교신저자 : 고려대학교 기계공학부

<sup>‡</sup> 고려대학교 기계공학부 석사과정

이 발생하게 된다. 그러므로, 차량형 로봇을 이용하여  $n$ 대의 수동 트레일러 시스템을 후진 제어하는 것은 어려운 문제이다. 이러한 어려움에도 불구하고, 차량형 로봇을 이용한 수동 트레일러 시스템의 후진 제어는 주차 제어 등에서 유용하다.

본 연구에서,  $n$ 대의 수동 트레일러를 차량형 로봇으로 후진 제어하기 위한 방법을 제안한다. 차량형 로봇과 수동 트레일러 시스템의 운동학 모델에 대한 기구학적 분석을 통하여, 후진 제어 시 입력 제한을 완화시킬 수 있는 차량의 전방에 수동 트레일러 시스템을 연결하는 방법을 제안한다. 이 방법의 유용성을 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

본 논문은 아래와 같은 구성으로 이루어진다. 2장에서 일반적으로 널리 쓰이는 차량 후방 범퍼에 수동 트레일러를 연결했을 경우 기구학적인 해석을 수행한다. 3장에서는 본 연구에서 제안하는 차량 전방 범퍼에 수동 트레일러를 체결하는 방식에 대해 소개한다. 4장에서는 제안된 방법의 유용성을 두 방법을 비교하는 모의 실험 결과로써 보이고, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 운동학 모델

### 2.1 차량과 수동 트레일러의 운동학 모델

그림 1에서는 이전 연구<sup>[13]</sup>에서 제안된 off-hooked 트레일러 시스템의 운동학 모델을 볼 수 있다. 차량형 로봇의 pose  $[x_0, y_0, \theta_0]$ 와 input velocity  $[v_0, \omega_0]$ 는 직각 좌표계에서 차량의 후륜 중심점을 기준으로 한다. 이전 연구<sup>[13]</sup>에서, 링크의 길이  $D$ 가아래의 조건을 만족할 때 차량의 궤적 추종 오차가 0으로 수렴함이 검증되었다.

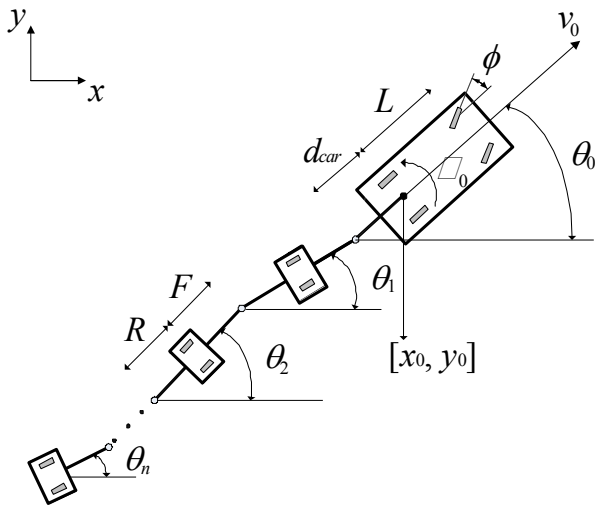


그림 1. 기존의 차량 및 수동 트레일러 시스템의 구성

$$\text{조건1) } D = F = R$$

그림 1에서 주어진 차량형 로봇 및 다중 트레일러 시스템에서의 속도 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ \omega_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi_n & (-1)^{n-1} D \sin \psi_n \\ \sin \psi_n / D & -(-1)^{n-1} \cos \psi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_n \\ \omega_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\psi_i = \sum_{k=1}^i (-1)^{k-1} (\theta_{k-1} - \theta_k), \quad i = 1, \dots, n$$

최전방의 이동 로봇은 논홀로노믹 구속 조건을 갖는 차량형 로봇이다. 차량형 로봇의 제어 입력은 선속도  $v_0$ 와 조향 각도  $\phi$ 이므로, (1)을 통하여 얻어진 차량에 요구되는 각속도는 조향 각도로 변환되어야 한다. 각속도를 조향 각도로 변환하는 과정은 아래와 같다.

$$\omega = \frac{v}{L} \tan \phi \quad (2)$$

그림 2에서 (2)에 이용된 2륜 이동 로봇과 차량형 로봇의 유사성을 확인할 수 있다.

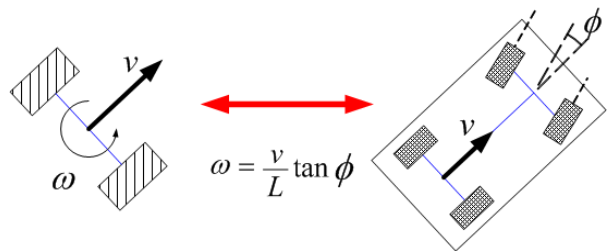


그림 2. 2륜 로봇과 차량형 로봇의 기구학적 유사성

(1)을 이용하면, 최후방 트레일러는 항상 제어가 가능하기 때문에 이동 로봇과 같이 취급될 수 있게 된다. 운동학적 관점에서 볼때, 차량형 로봇을 이용한 다중 트레일러의 후진 제어는 최후방 트레일러가 나머지 트레일러 및 차량형 로봇을 끄는 것과 동일하다. 따라서 다중 트레일러 시스템의 후진 제어 전략은 아래와 같다.

- 1) 최후방 트레일러에 대한 trajectory를 생성한다.
- 2) 기준 궤적을 기준으로 최후방 트레일러에 요구되는 속도 입력  $[v_n, \omega_n]$ 를 계산한다.
- 3) (1)을 이용하여 차량형 로봇에 요구되는 속도 입력  $[v_0, \omega_0]$ 을 계산한다.

- 4) (2)를 이용하여 차량형 로봇의 요구 각속도를 조향 각도로 변환한다.
- 5) 2) 에서 4)의 과정을 궤적 추종이 종료될 때까지 반복한다.

과정 2)에서 기준 궤적을 기준으로 최후방 트레일러에 요구되는 속도 입력의 계산은 [20]의 Kanayama tracking controller를 이용하게 된다.

### 2.2 기존 트레일러 시스템의 가용 속도 영역

그림 3에 차량형 로봇이 후방에 연결된 수동 트레일러를 후진 제어할 때 힌지에서 구현 가능한 속도 방향에 대한 각도 영역이 나타나 있다. 그림 3의 각 변수에 대한 의미가 표 1에 나타나 있다. 차량의 조향 각도가 제한되어 있으므로, 힌지에서 허용되는 선속도 방향의 영역  $\beta$ 는  $[-\beta_{max}, \beta_{max}]$ 로 제한되는 것이 명백하다. 이 경우  $\beta_{max}$  는 아래의 식 (3)과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned}
 r \tan \phi &= L \\
 r \tan \beta &= d_{car} \\
 r &= \frac{L}{\tan \phi} = \frac{d_{car}}{\tan \beta} \\
 \beta_{max} &= \tan^{-1} \left( \frac{d_{car}}{L} \tan \phi \right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

본 연구에서, 차량이 수동 트레일러를 밀어서 후진 제어를 수행할 경우 가용 속도 영역은  $[-\beta_{max}, \beta_{max}]$ 로 정의한다. 이 가용 속도 영역은 차량 및 수동 트레일러로 이루어진 시스템의 입력 제한을 나타낸다. 식 (3)으로부터 가용 속도 영역은 차량의 휠베이스 길이  $L$ , 최대 조향 각도  $\phi_{max}$ , 그리고 차량 후방의 링크 길이  $d_{car}$ 의 함수로 정해짐을 알 수 있다. 위 (3)의 관계에서 살펴 볼 때, 가용 속도 영역을 증대시키는 방법은 아래와 같다.

- 1) 차량의 축간 거리  $L$ 을 감소시킨다.
- 2) 차량의 최대 조향 각도  $\phi_{max}$  를 증가시킨다.
- 3) 차량 후방의 링크 길이  $d_{car}$ 를 증가시킨다.

위의 3가지 방법 중, 방법 3)은 섹션 2.1의 조건1)을 위반하게 되어 궤적 추종 오차의 증가를 야기하게 된다. 그러므로 3)은 선택 가능한 대안이 아니다. 방법 1)과 방법 2)의 경우 차량형 로봇과 트레일러 시스템의 가용 속도 영역을 증가시킬 수 있지만, 후진 제어 성능 개선만을 위해 차량의 제원을 변화시키는 것은 실제로 적용하기 어

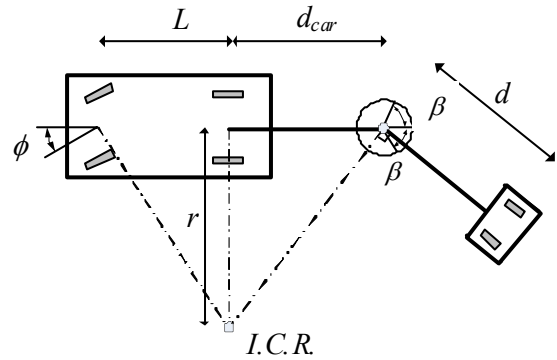


그림 3. 기존 트레일러 시스템의 후진 제어 시 가용 속도 영역

표 1. 가용 속도 영역 유도를 위한 변수 설명

변수	의미
$L$	차량의 휠베이스 길이
$d_{car}$	차량의 연결 링크 길이
$\phi_{max}$	차량의 최대 조향 각도
$r$	차량 후륜 중심점을 기준으로 한 차량 및 트레일러 시스템의 선회 반경
$d$	수동 트레일러의 연결 링크 길이
I.C.R.	순간 선회 중심

려운 방법이다. 그러므로, 3장에서와 같은 차량의 제원 변화가 불필요한 시스템 배치의 변경에 대해 고려하였다.

### 3. 차량 전방에 연결된 수동 트레일러 시스템

#### 3.1 차량 전방 범퍼에 연결된 수동 트레일러 시스템의 기구학 모델

기존의 차량 및 트레일러 체결 방식의 경우 식 (3)에 의해 가용 속도 영역이 결정된다. 가용 속도 영역을 증대시키기 위한 2가지 대안이 있으나, 그러한 방식은 실제 적용이 어려운 방법들이다. 본 논문에서 제안하고자 하는 방법은 차량의 전면부에 트레일러를 연결하여 트레일러 시스템의 후진 제어 성능 향상을 도모하는 것이다.

그림 4에 역 연결된 차량 및 트레일러 시스템의 운동학 모델이 개략적으로 나타나 있다. 최후방 트레일러의 요구 속도로부터 1번째 트레일러의 제어 입력을 계산하는 것은 (1)과 같다. 1번째 트레일러의 속도를 차량에 요구되는 속도 입력으로 바꾸는 과정은 아래의 식 (4)와 같다.

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ \omega_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0 - \theta_1) & (d_{car} + L) \cdot \sin(\theta_0 - \theta_1) \\ \sin(\theta_0 - \theta_1) / D & -\cos(\theta_0 - \theta_1) \cdot (d_{car} + L) / D \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ \omega_1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

위 (4)으로부터 계산된 차량의 속도 입력은 (2)를 통하

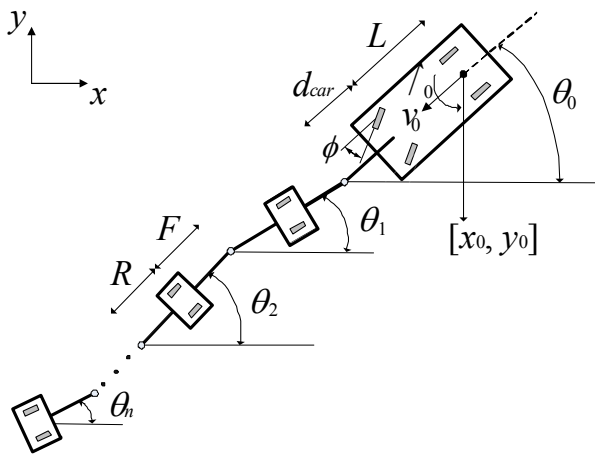


그림 4. 역 연결된 차량 및 트레일러 시스템의 구성

여 선속도와 조향 각도로 변환된다.

### 3.2 차량 전방에 연결된 수동 트레일러 시스템의 가용 속도 영역

위의 그림 5에서와 같은 차량형 로봇과 트레일러 체결 방식에서의  $\beta$ 는 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} r \tan \phi_{\max} &= L \\ r \tan \beta &= L + d_{car} \\ r &= \frac{L}{\tan \phi_{\max}} = \frac{L + d_{car}}{\tan \beta} \quad (5) \\ \beta_{\max} &= \tan^{-1} \left( \left( 1 + \frac{d_{car}}{L} \right) \tan \phi_{\max} \right) \end{aligned}$$

(3)과 (5)를 통해서 얻어진 기존 트레일러 체결 방식과 제안된 방식의  $\beta$ 를 비교해 보면 동일한 차량 조건에서 (5)의 가용 속도 영역이 (3)보다 항상 큰 것이 수학적으로

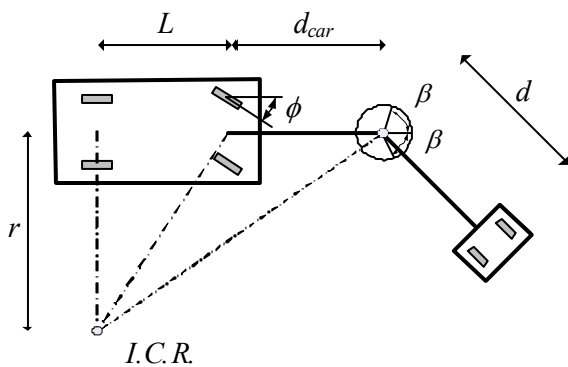


그림 5. 차량 후방에 연결된 수동 트레일러 시스템의 후진 제어 시 가용 속도 영역

증명된다. 최전방 차량형 이동 로봇의 추가적인 제원 변화 없이 트레일러를 차량 전면에 체결함으로써 기존의 방식보다 더 넓은 가용 속도 영역을 확보할 수 있고 이를 통해 전체 트레일러 시스템의 후진 제어 시 입력 제한 문제를 완화시킬 수 있다. 실제 차량의 제원을 이용하여 기존의 방법과 제안된 방법의  $\beta$ 를 비교해 보았다. 최대 조향 각도  $30^\circ$ , 휠베이스 2.78m, 차량 후방 링크 길이 1.25m로 동일한 경우 기존 체결 방식은  $[-14.6^\circ, 14.6^\circ]$ 의 가용 속도 영역을 제공하지만, 그림 5에 제안된 방식을 이용하면  $[-39.9^\circ, 39.9^\circ]$ 의 가용 속도 영역을 확보할 수 있다. 증대된 가용 속도 영역은 다중 트레일러 시스템의 입력 제한의 완화를 의미한다. 위 계산과 동일 조건에서의 시뮬레이션 결과가 다음 섹션에 수록되어 있다.

## 4. 모의 실험 결과

### 4.1 모의 실험 환경 및 시나리오

사용자에게 일반적인 차량과 상용화된 다중 트레일러 시스템, 즉 여러 대의 보트나 짐 트레일러가 존재할 때, 기존의 방법 및 제안된 방법 중 후진 제어 성능이 가장 뛰어난 방법을 찾기 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구에서의 시뮬레이션 환경은 아래의 그림 6과 같다. 트레일러 시스템은 2.1에서 제안한 페루프 제어에 의해 주어진 최후방 트레일러의 기준 궤적을 추종하게 된다. 최후방 트레일러의 기준 궤적의 초기점은 (0m, 7.5m,  $180^\circ$ )이며, 최후방 트레일러의 초기 위치는 (-1.5m, 8m,  $180^\circ$ )로 초기 위치 오차가 (1.5m, 0.5m,  $0^\circ$ ) 존재하는 상황에서의 궤적 추종에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 이용된 차량-트레일러 시스템의 제원은 아래 표 2에 나타나 있다.

### 4.2 전략 1: 차량 후방에 연결된 수동 트레일러 시스템

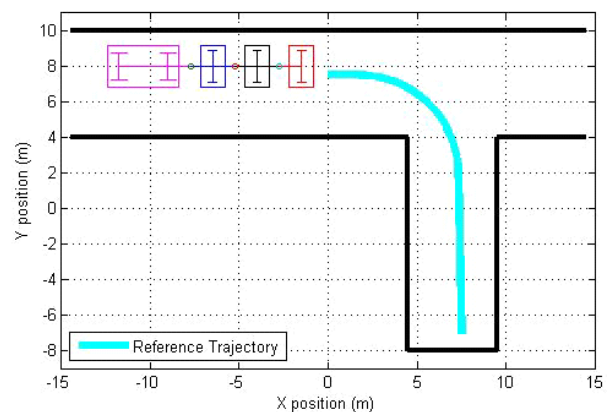


그림 6. 시뮬레이션 환경

표 2. 시뮬레이션 제원

	파라미터	크기
차량형 로봇	휠베이스	2.78 m
	후방 연결 링크	1.25 m
	최대 조향 각도	30 도
수동 off-hooked 트레일러	트레일러 수	3 대
	전방 연결 링크	1.25 m
	후방 연결 링크	1.25 m
	바퀴 축	1.56 m

템의 후진 제어

표 2에 나타나 있는 차량의 제원에 아무런 변화를 주지 않고 차량 후방 범퍼에 수동 트레일러 시스템을 연결한 경우 3대의 수동 트레일러의 실제 이동 궤적이 아래의 그림 7에 도시되어 있다. 그림 7에서 알 수 있듯이, 트레일러 시스템은 주어진 기준 궤적을 끝까지 추종하지 못한다. 궤적 추종이 끝난 후 최종 위치 오차는 기준 궤적 대비 5.33m이다. 그림 8를 보면, 시뮬레이션에 이용된 다중 트레일러 시스템이 주어진 궤적을 추종하기 위해 필요한  $\beta_{max} = 18.8^\circ$ 이다. 그러나 가용 속도 영역은  $[-14.6^\circ, 14.6^\circ]$ 이다. 이러한 결과는 트레일러 시스템이 주어진 최후방 트레일러의 기준 궤적을 제대로 추종하지 못한 그림 7의 결과와도 잘 부합한다.

그림 9의 위쪽에 최후방 트레일러에 대한 기준 선속도와 실제 요구된 최후방 트레일러의 선속도가 도시되어 있다. 초기 위치 오차에 의해 실제 선속도가 처음엔 큰 값을 갖다가, 궤적 추종이 이루어지면서 기준 선속도 값에 수렴함을 알 수 있다. 하지만 궤적 추종이 실패한 50.8초

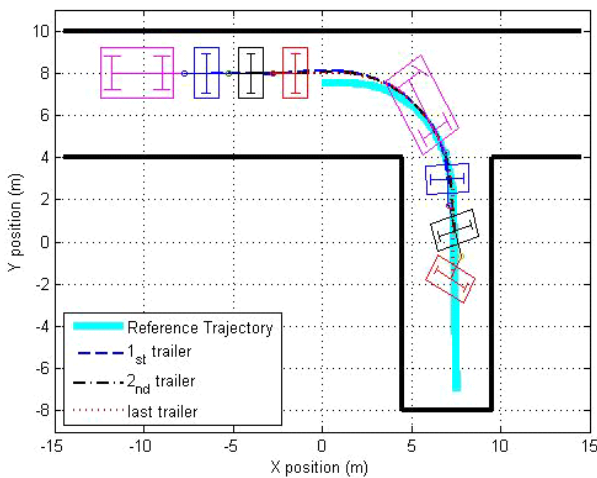


그림 7. 전략 1에 의한 궤적 추종 결과

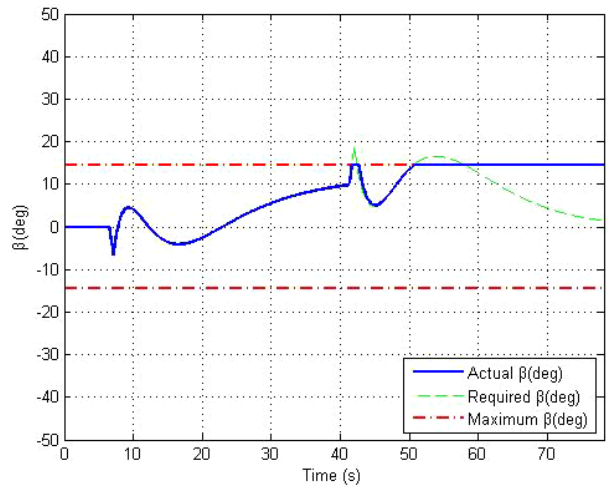


그림 8. 전략 1을 이용한 후진 제어 시 가용 속도 영역

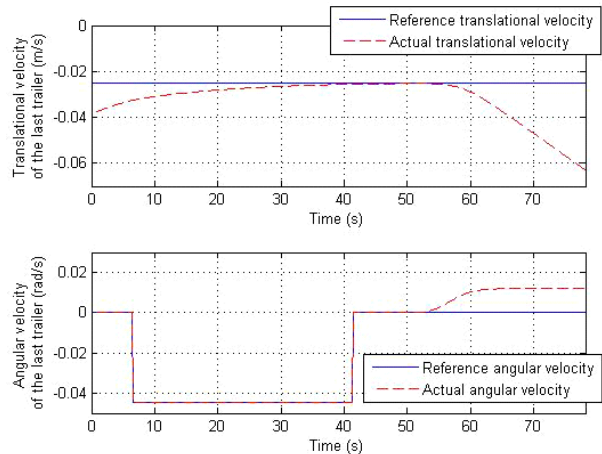


그림 9. 최후방 트레일러 기준 선속도 및 각속도

이후로 실제 선속도가 급격히 증가함을 알 수 있다. 그림 9위 하단은 최후방 트레일러에 대한 기준 각속도와 실제 트레일러에 요구된 각속도를 도시한 그림이다. 궤적 추종 실패가 일어난 50.8초 이후로 직진을 위한 기준 각속도는 0임에도 불구하고, 요구되는 각속도가 증가함을 알 수 있다.

4.3 전략 2: 차량 전방에 연결된 수동 트레일러시스템의 후진 제어

전략 2에서는 차량의 전면부에 트레일러를 체결하는 제안된 방법을 사용하였다.

4.1에 제시된 기준 궤적을 따라 후진 제어를 하는 경우 트레일러의 궤적이 그림 10에 나타나 있다. 별도의 차량 제원 변화 없이 차량에 의한 다중 트레일러 시스템의 후진 제어가 원활히 이루어짐을 알 수 있다. 궤적 추종 완료 이후 최종 위치 오차는 0.06m이다. 그림 11에 후진 제



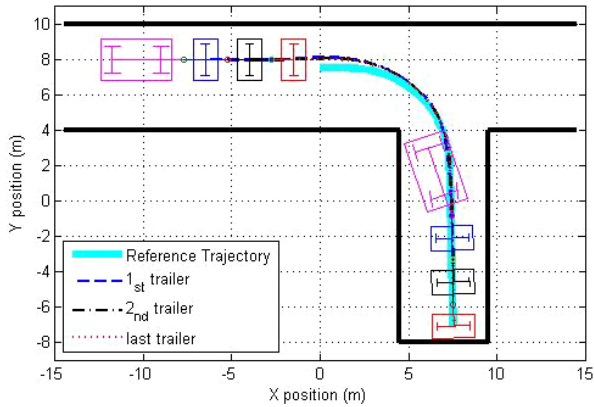


그림 10. 전략 2에 의한 궤적 추종 결과

가 이루어지는 동안의  $\beta$ 가 도시되어 있다. 후진 제어를 위해 요구되는  $\beta_{max} = 38^\circ$ 이며, 이 때의 가용 속도 영역

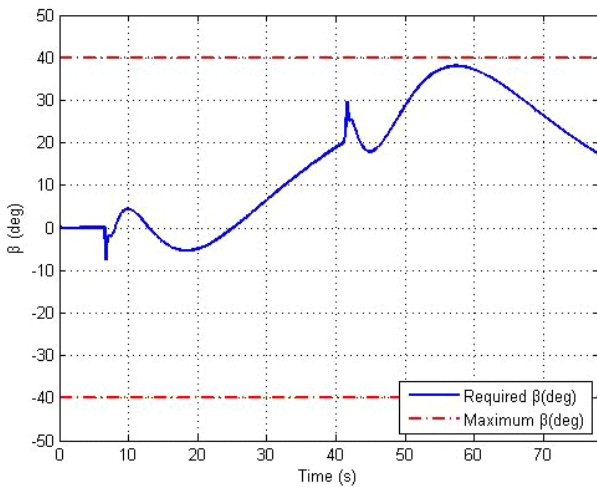


그림 11. 전략 2를 이용한 후진 제어 시 가용 속도 영역

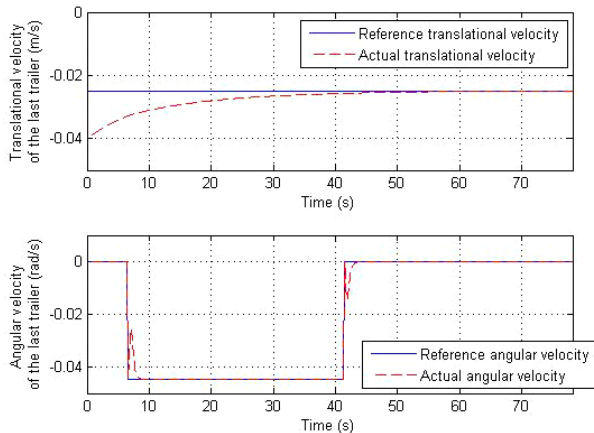


그림 12. 최후방 트레일러에 대한 선속도 및 각속도

은  $[-39.9^\circ, 39.9^\circ]$ 이다. 요구되는  $\beta_{max}$ 보다 가용 속도 영역이 넓으므로, 궤적 추종이 성공적으로 이루어졌음을 알 수 있다. 그림 12에 후진 제어가 이루어지는 동안 최후방 트레일러의 선속도 및 각속도가 도시되어 있다. 전략 1의 경우와 달리, 궤적 추종이 이루어지는 동안 기준 선속도 및 각속도를 추종하는데 어려움이 없음을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 차량형 로봇의 다중 수동 트레일러 시스템의 후진 제어에 관한 문제에 대하여 다루었다. 수동 트레일러 시스템의 후진 제어의 용이성 향상을 위하여 차량의 전방 범퍼에 수동 트레일러 시스템을 체결하는 방법을 제안하였다. 이방법의 유용성을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 제안된 방법에 대한 실험적 검증 및 동역학적 해석이 추후 수행될 것이다.

## 참고문헌

- [1] J. P. Laumond, "Controllability of a Multibody Mobile Robot," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.9, No. 6, 1993.
- [2] R. M. Murray and S. S. Sastry, "Nonholonomic motion planning: Steering using sinusoids", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.38, No.5, pp.700~716, 1993.
- [3] D. M. Tilbury, R. M. Murray and S. S. Sastry, "Trajectory generation for n-trailer problem using Goursat normal form", Proceedings of the IEEE control and Decision conference, pp.971-977, 1993.
- [4] O. J. Sordalen, and K. Y. Wichlund, "Exponential stabilization of a car with n trailers", Proceeding of 32nd conference on Decision and Control, pp. 978-983, San Antonio, 1993
- [5] P. Rouchon, M. Fliess, J. Levine and P. Martin, "Flatness, motion planning and trailer systems," Proceedings of the 32th IEEE Conf. on Decision and Control, pp.2700~2705, San Antonio, Texas, 1993.
- [6] F. Lamiroux and J. P. Laumond, "A practical approach to feedback control for a mobile robot with trailer," Proceedings of the 1998 International Conference on Intelligent Robotics and Auto-

- mation, pp. 3291-3296, Leuven, Belgium, 1998.
- [7] Martinez, J. L., Morales, J., Mandow, A., Garcia-Cerezo, A., "Steering Limitations for a Vehicle Pulling Passive Trailers", IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.16, Issue 4, pp.809-818, 2008.
- [8] Bor-Sen Chen, Charnng-Shi Wu, Huey-Jian Uang, "A minimax tracking design for wheeled vehicles with trailer based on adaptive fuzzy elimination scheme", IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.8, Issue 3, pp.418-434, 2000.
- [9] Altafini, C., Speranzon, A., Wahlberg, B., "A feedback control scheme for reversing a truck and trailer vehicle", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.17, Issue 6, pp. 915-922, 2001.
- [10] Dieter Zöbel, "Trajectory Segmentation for the Autonomous Control of Backward Motion for Truck and Trailer", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.4, No.2, pp.59-66, 2003.
- [11] Hodo, D.W., Hung, J.Y., Bevlly, D.M., Millhouse, D.S., "Analysis of Trailer Position Error in an Autonomous Robot-Trailer System With Sensor Noise", IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.2107-2112, June, 2007.
- [12] K. Tanaka, S. Hori, and H.O. Wang, "Multiobjective Control of a Vehicle With Triple Trailers", IEEE/ASME Transactions on mechatronics, pp.357~368, Vol.7, No.3, 2002.
- [13] F. Hougen, M. Gini, and J. Slagle, "Rapid Unsupervised Connectionist Learning for Backing a Robot with Two Trailers", International Conference on Robotics and Automation, pp. 2950-2955, Albuquerque, New Mexico, 1997, April.
- [14] J. Yi, N. Yubazaki, K. Hirota, "Backing Up Control of Truck-Trailer System", IEEE International Fuzzy Systems Conference, pp.489- 492, 2001.
- [15] K. Matsushita, T. Murakami, "Backward Motion Control for Articulated Vehicles with Double Trailers Considering Driver's Input", IEEE Annual conference on Industrial Electronics, pp3052-3057, Nov. 2006.
- [16] F. Gomez-Bravo, F. Cesta, A. Ollero, "Manoeuvring in Nonholonomic Industrial-Like Electrical Vehicles", IEEE 28th Annual Conference of the Industrial Electronics, pp.1543-1548, Seville, Spain, 2002, November.
- [17] Claudio Altafini, Alberto Speranzon, Bo Wahlberg, "A Feedback Control Scheme for Reversing a Truck and Trailer Vehicle", IEEE Transactions on robotics and automation, Vol.17, No.6, Dec., 2001.
- [18] Jaehyoung Lee, Woojin Chung, Munsang. Kim and Jae-Bok. Song "A passive multiple trailer system with off-axle hitching" International Journal of Control, Automation and Systems. Vol.2, No.3 pp.289-297, Sep. 2004
- [19] Myoungkuk Park, Woojin Chung, Munsang Kim, Jae-Bok Song "Control of a mobile robot with passive multiple trailers" In Proc. 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.4369-4374, New Orleans, April 2004.
- [20] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.384-389, Cincinnati, Ohio, 1990, May.



### 정우진

1993 서울대학교 기계공학과  
(공학사)

1995 동경대학교 기계공학과  
(공학석사)

1998 동경대학교 기계공학과  
(공학박사)

2005~현재 고려대학교 기계공학과 교수  
관심분야: 이동로봇 위치추정 및 주행제어, 논홀로  
노믹 시스템 제어, 다지 로봇 손

E-mail : smartrobot@korea.ac.kr



**유 광 현**

2008 고려대학교 기계공학과  
(공학사)

2008~현재 고려대학교 대학  
원 기계공학전공(기계공  
학석사)

관심분야 : Mobile robotics

E-mail : ykhhky@korea.ac.kr