

# 트레일러형 차량의 후방경로추종제어에 관한 연구

위 용 옥\*, 백 운 학\*, 김 덕 곤\*, 최 진 규\*, 하 윤 수\*\*, 진 강 규\*\*

## A Study on the Backward Path Tracking Control of the Trailer Type Vehicle

Y. W. Wi\*, W. H. Baek\*, D. G. Kim\*, J. K. Choi\*, Y. S. Ha\*\*, G. G. Jin\*\*

\* 한국해양대학교 대학원 제어측정공학과

\*\* 한국해양대학교 기계·정보공학부

**Abstract** : This paper provides a basic study on automation of a trailer type vehicle which consists of two parts such as a tractor and a trailer. Backward moving and parking control is very important to automate this type of vehicle.

However, it is very difficult to control such their motion since a trailer type vehicle is a non-holonomic system. Therefore, in this paper, we propose the backward path tracking control algorithm for a trailer type vehicle. And also this paper presents the results of simulation to verify the effectiveness of the proposed control algorithm.

**Key Words** : Trailer Type Vehicle(트레일러형 차량), Backward Path Tracking Control(후방경로추종제어), Non-holonomic System(논홀로노믹 시스템)

### 1. 서론

최근 국내 수출입 물량의 증가와 더불어 항만 및 물류처리 시설의 자동화에 대한 요구가 절실하다. 특히 늘어나는 물류량에 비해 이들의 수송을 담당하고 있는 대형트레일러의 기사들의 숫자부족현상은 기사들의 과중한 업무로 이어지고 이로 인한 대형교통사고는 많은 물적, 인적피해를 야기 시키고 있다. 이와 같은 대형교통사고를 미연에 방지하고 늘어나는 물동량으로 인한 물류비용을 절감하기 위해서는 컨테이너 수송용 트레일러 차량을 포함한 물류처리 시설에 대한 자동화는 매우 중요하다. 현재까지 이루어진 트레일러형 차량의 자율이동에 관한 대부분의 연구들은 주로 전방경로를 대상으로 한 경로추종제어기의 설계 및 멀티센서를 이용

한 위치추정문제를 다루었다<sup>[1][2][3]</sup>. 그러나 제한된 공간 내에서 효율적으로 화물의 적화 및 하역을 해야하는 실제 작업현장에서는 후진 및 주차기능이 매우 중요하며 이의 자동화가 절실히 요구되고 있다. 이러한 후진 및 주차기능을 자동화하기 위해서는 먼저 후진 경로추종제어에 관한 연구가 선행되어야 한다. 그러나 트레일러형 차량은 트랙터의 속도와 방향을 제어하여 트레일러의 위치 및 방위를 제어하는 논홀로노믹(non-holonomic) 제어시스템으로서 제어하기가 까다로우며 특히, 후진경로 주행에 있어서는 시스템이 불안정해지기 쉽기 때문에 더욱더 정교한 제어가 요구되고 있다<sup>[4]</sup>. 따라서 본 논문에서는 컨테이너 수송용 트레일러차량에 대한 기초 연구로서, 모형 트레일러형 차량을 대상으로 주어진 후방직선경로를 안전하고 정확히 추종

할 수 있는 후방경로추종제어알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 그 유효성을 입증한다.

## 2. 트레일러형 차량의 모델링

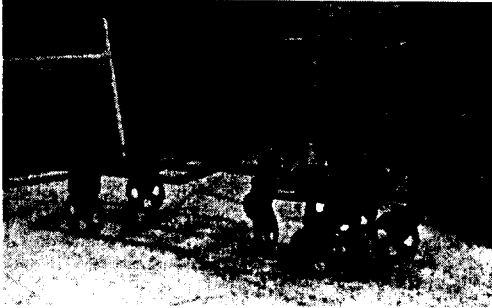


Photo 1. Trailer type vehicle

사진 1은 본 연구에서 대상으로 하는 한국해양대학교 지능로봇연구실에서 자체 설계 제작한 모형 트레일러형 차량을 나타낸 것이다. 트레일러형 차량은 크게 좌·우에 독립적으로 구동되는 구동륜을 가지는 트랙터와 비구동륜을 가지는 트레일러의 두 부분으로 구성되며 트랙터와 트레일러는 자유로이 회전 가능한 조인트에 의해 연결되어진다. 좌우구동 모터 및 연결 조인트에는 회전각 검출용 엔코더센서를 부착하고 있다.

그림 1과 표 1은 각각 X-Y 2차원 평면상을 주행하고 있는 모형 트레일러 차량의 기하학적 모델과 주요 파라미터를 나타낸 것이다

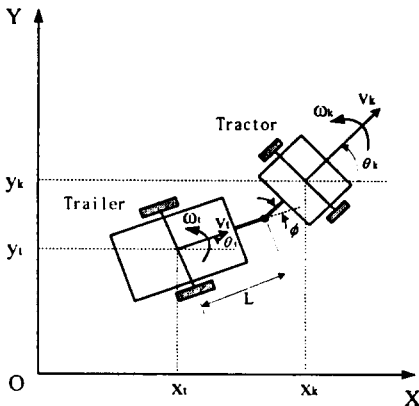


Fig. 1. Kinematic model of the trailer type vehicle

Table 1. Definition of parameters

$x_k, y_k$	X-Y 2차원 평면상의 트랙터의 위치
$\theta_k$	트랙터의 방위각
$v_k$	트랙터의 병진속도
$\omega_k$	트랙터의 회전각속도
$x_t, y_t$	X-Y 2차원 평면상의 트레일러의 위치
$\theta_t$	트레일러의 방위각
$v_t$	트레일러의 병진속도
$\omega_t$	트레일러의 회전각속도
$\phi$	트랙터와 트레일러 방위각간의 차이각도
$L$	트레일러 휠축과 트레일러 연결조인트 사이의 길이

트레일러형 차량의 제어를 위한 모델을 얻기 위해 먼저, 트랙터와 트레일러 사이의 관계를 나타내면 그림 1로부터 다음 식과 같이 기술 될 수 있다.

$$v_t = v_k \cos \phi$$

$$L \omega_t = v_k \sin \phi$$

$$\theta_t = \theta_k - \phi \quad (1)$$

여기서 트레일러형 차량이 전진 할 때는 병진속도  $v_k$ 가 양수가 되고 후진할 때는 음수가 된다. 그림 1과 식 (1)로부터 트레일러형 차량의 제어를 위한 상태변수  $\dot{x}_t, \dot{y}_t, \dot{\theta}_t, \dot{\phi}$ 와 제어입력  $\dot{v}_k, \dot{\omega}_k$ 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\dot{x}_t = v_t \cos \theta_t = v_k \cos \phi \cos \theta_t$$

$$\dot{y}_t = v_t \sin \theta_t = v_k \cos \phi \sin \theta_t$$

$$\dot{\theta}_t = \omega_t = \frac{v_k}{L} \sin \phi$$

$$\dot{\phi} = \omega_k - \omega_t = \omega_k - \frac{v_k}{L} \sin \phi$$

$$\dot{v}_k = u_v$$

$$\dot{\omega}_k = u_\omega$$

(2)

### 3. 후방경로추종제어

트레일러형 차량은 트랙터의 움직임을 제어함으로써 트레일러를 제어하는 구조를 가진다. 따라서 트레일러형 차량의 제어는 트랙터의 좌·우 휠의 회전속도를 결정하는 문제로 귀결된다. 이러한 트랙터 좌·우 휠의 회전속도  $v_r, v_l$ 은 트랙터의 병진가속도  $\dot{v}_k$ 와 회전각가속도  $\dot{\omega}_k$ 가 주어진다고 가정하면 다음 식에 의해 계산되어진다.

$$\begin{aligned} \dot{v}_r &= \dot{v}_k + \frac{T}{2} \dot{\omega}_k \\ \dot{v}_l &= \dot{v}_k - \frac{T}{2} \dot{\omega}_k \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $T$ 는 트랙터의 좌·우 휠 간의 거리를 나타낸다.

본 논문에서는 트랙터의 병진속도가 정상 상태(일정)에 있다고 가정하고 주어진 직선 경로를 추종하는 제어기를 설계한다. 만약, 차량이 목표직선경로에서 크게 벗어나지 않고 주행한다고 가정하면  $\theta_k, \theta_t, \phi$ 의 크기가 충분히 작게 되어 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

$$\begin{aligned} \sin \theta_k &\approx \theta_k, \quad \sin \theta_t \approx \theta_t, \quad \sin \phi \approx \phi \\ \cos \theta_k &\approx \cos \theta_t \approx \cos \phi \approx 1 \end{aligned} \quad (4)$$

트레일러형 차량의 움직임을 제어하기 위한 입력은 식 (3)과 트랙터의 병진속도가 일정하다는 가정에 의해 트랙터의 회전각가속도  $\dot{\omega}_k$ 로 주어진다. 따라서 제어입력  $u$ 는 상태궤환에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u = \dot{\omega}_k = (k_1 \ k_2 \ k_3 \ k_4) \begin{pmatrix} \omega_k \\ \phi \\ \theta_t \\ y_t \end{pmatrix} \quad (5)$$

여기서  $k_1, k_2, k_3, k_4$ 는 상태궤환이득을 나타낸다. 따라서 식 (2)~(5)에 의해 직선 경로추종제어를 위한 다음과 같은 선형화 모델을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \dot{\omega}_k \\ \dot{\phi} \\ \dot{\theta}_t \\ \dot{y}_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_1 & k_2 & k_3 & k_4 \\ 1 & -v_k/L & 0 & 0 \\ 0 & v_k/L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v_k & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_k \\ \phi \\ \theta_t \\ y_t \end{pmatrix} = Ax \quad (6)$$

따라서 시스템행렬  $A$ 의 고유치의 실수부가 부의 값을 갖도록 상태궤환이득  $k_1, k_2, k_3, k_4$ 를 적당히 선정해줌으로써 시스템을 안정화함과 동시에 트랙터와 트레일러를  $X$ - $Y$  2차원 평면의  $X$ 축 상에 위치하게 할 수 있다.

한편, 임의로 주어진 직선경로에 대한 추종은  $X$ 축 상에 차량을 위치시키는 문제의 확장으로 생각할 수 있다. 먼저, 차량의 현재 위치  $(x, y)$ 와 방위각  $\theta$ 가 그림 2와 같다고 하고  $X$ 축과  $\theta_0$ 도를 이루는 직선경로를 추종하는 문제를 생각하자. 이는  $(x_0, y_0)$ 을 원점으로 한 새로운 좌표계  $X'-Y'$ 를 설정하고 차량을  $X'$ 축을 추종하는 문제로 생각하면 된다. 트레일러의 현재위치와 방위각은 다음 식에 의해  $X'-Y'$ 좌표계 상의 값으로 변환되어 나타난다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_0 & \sin \theta_0 & 0 \\ -\sin \theta_0 & \cos \theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ \theta - \theta_0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

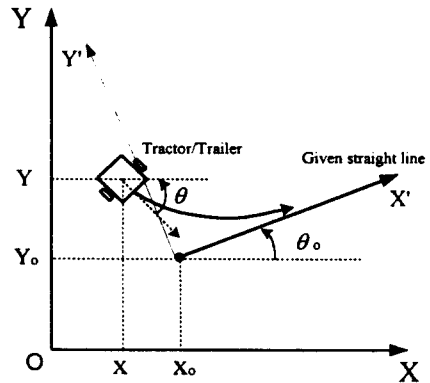


Fig. 2. Scheme of a straight line tracking control

따라서 식 (7)의  $y', \theta'$ 를 식 (6)의  $y_t, \theta_t$ 로 대치함으로써 트레일러형 차량은 주어진 임의의 목표직선경로를 추종하게 된다.

#### 4. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 후방직선경로추종제어 알고리즘의 유효성을 입증하기 위하여 사진 1의 모형 트레일러형 차량의 실제 파라미터 값을 이용하여 트랙터와 트레일러의 위치 및 방향에 대한 초기값의 변화에 따른 추종 성능에 대하여 시뮬레이션을 하였다.

##### 4.1 시뮬레이션 조건

시뮬레이션에 앞서 좌우구동륜의 회전정보, 트랙트에 대한 트레일러의 회전각 정보는 엔코더센서로부터 얻어질 수 있는 것으로 간주하였다. 시뮬레이션에 있어서 트레일러 연결 조인트에서 트레일러 휠 중심 축까지 거리  $L$ 의 값은  $L = 415\text{mm}$ , 병진속도를  $200\text{mm/s}$ 로 일정하게 유지하도록 하였으며 휠의 바닥에 대한 미끌림은 무시하였다. 또한 제어기의 상태제한이득 결정 시 트레일러 차량의 주행예상 환경 즉 도로의 폭과 트레일러 차량의 길이 및 폭등이 고려되어야 하지만 본 논문에서는 이들에 대한 고려는 하지 않았다. 실제 시뮬레이션에 이용된 상태제한이득은 제어 시스템이 안정화 되도록 페루프극을  $\lambda = -0.47 \pm j0.57, -0.18 \pm j0.26$ 에 배치함으로써 다음과 같이 구하였다.

$$k_1 = -1.9819, \quad k_2 = -2.0801, \\ k_3 = 0.7781, \quad k_4 = -0.0006$$

##### 4.2 결과 및 검토

그림 3은 트레일러의 초기 위치 및 방위각이  $(0, 1000, 0^\circ)$ 이고 트랙터와 트레일러 방위각의 차이 각  $\phi$ 가  $0^\circ$ 인 상태에서 목표경로가 X축으로 주어졌을 때의 결과로서 트레일러형 차량이 X축 상을 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 4는 트레일러의 초기 위치 및 방위각이  $(0, 360, 60^\circ)$ 이고

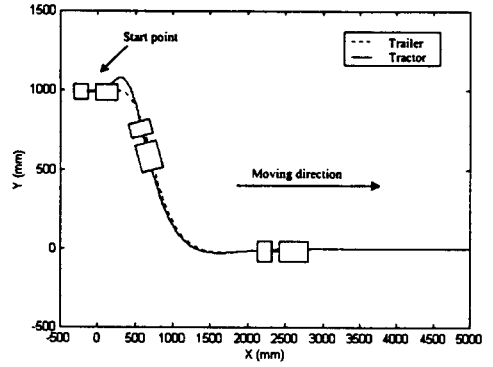


Fig. 3. The results of backward tracking a X axis with initial position of the trailer  $(0, 1000, 0^\circ)$  and  $\phi=0^\circ$

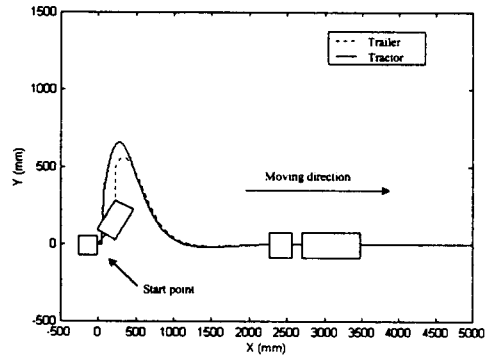


Fig. 4. The results of backward tracking a X axis with initial position of the trailer  $(0, 360, 60^\circ)$  and  $\phi=60^\circ$

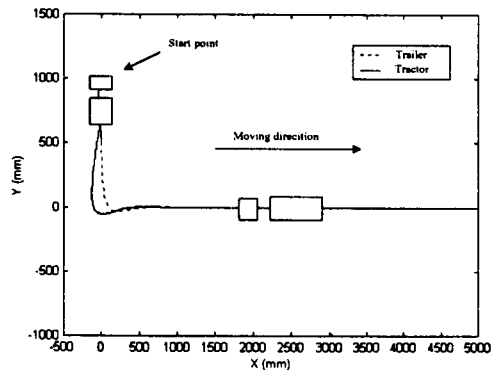


Fig. 5. The results of backward tracking a X axis with initial position of the trailer  $(0, 585, 90^\circ)$  and  $\phi=0^\circ$

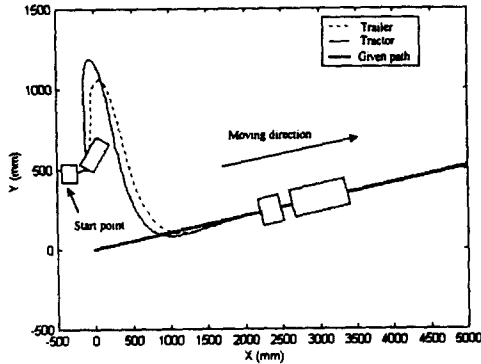


Fig. 6. The results of backward tracking a given path  $(0, 0, 6^\circ)$  with initial position of the trailer  $(0, 860, 0^\circ)$  and  $\phi=60^\circ$

$\phi=60^\circ$  일 때의 결과로서  $\phi$  값의 영향으로 다소 오버슈트가 발생하지만 X축 상의 목표 직선경로를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 트레일러의 초기치가  $(0, 585, 90^\circ)$ 이고  $\phi=0$  인 상태에서 방위각이  $90^\circ$  를 이루는 후진경로가 주어졌을 때의 결과를 나타낸다. 트레일러형 차량이 여전히 X축 상을 잘 추종하고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 트레일러의 초기치가  $(0, 860, 60^\circ)$ ,  $\phi=60^\circ$  인 상태에서 경로의 시작점 위치 및 방위각이  $(0, 0, 6^\circ)$ 인 임의의 직선경로가 주어졌을 때의 결과를 나타낸다. 그림 4와 같이  $\phi$  값의 영향으로 다소 오버슈트가 생기지만 주어진 목표경로를 잘 추종함을 알 수 있다.

## 5. 결론 및 금후의 과제

본 논문에서는 컨테이너 수송용 트레일러 차량의 자동화를 위한 기초연구로서, 트레일러형 차량에게 자율적인 후진 및 주차기능을 부여하기 위하여 후방경로추종제어를 위한 기하학적 모델 및 제어알고리즘을 제시하였다. 이를 위하여 트레일러의 모델은 동작점 부근에서 선형 근사화 되었으며 제어기 설계를 위하여 극 배치 방법에 의한 선형 레귤레이터 이론이 적용되었다. 제안된 제어시스템에 대한 유효성을 입증하기 위하여 모형 트레일러차량의 실제 파라미터 값을 이용하여 여러 가지 시뮬레이션을 행하였으며 그 결과

만족할 만한 결과를 얻었다. 따라서 금후의 과제로 시뮬레이션 결과와 실제 실험결과와의 비교검토 및 후진곡선경로추종제어에 관한 연구가 요구된다.

## 참고문헌

- [1] B. Barshan, H. Durrant-Whyte, "Inertial Navigation Systems for Mobile Robots", *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol. 11, No. 3, 1995.
- [2] 최진규, "멀티센서 데이터융합에 의한 지능 휠체어용 위치추정시스템의 정도개선에 관한 연구," 한국해양대학교 석사학위논문, 2000.
- [3] 오정석, "차륜형 이동로봇의 경로제어시스템에 관한 연구," 한국해양대학교 석사학위논문, 1999.
- [4] M. Nakamura, S. Yuta, "Trajectory Control of Trailer Type Mobile Robots," *Proc. IEEE/RJS Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS '93)*, pp. 2257-2263, 1993.
- [5] Yun-Su Ha, S. Yuta, "Trajectory Tracking Control for Navigation of Self-Contained Mobile Inverse Pendulum," *Proc. IEEE/RJS Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp. 1875-1882, 1994.
- [6] J. Borenstein, H. Everett and L. Feng, "Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning," The University of Michigan, 1996.