

RCGA 기반의 모델을 이용한 트레일러형 로봇의 후방경로 추종제어

Backward Path Tracking Control of a Trailer Type Robot Using a RCGA-Based Model

위 용 욱, 김 헌 희, 하 윤 수, 진 강 규
(Yong-Wook Wi, Hon-Hui Kim, Yun-Su Ha, and Gang-Gyoo Jin)

Abstract : This paper presents a methodology on the backward path tracking control of a trailer type robot which consists of two parts: a tractor and a trailer. It is difficult to control the motion of a trailer vehicle since its dynamics is non-holonomic. Therefore, in this paper, the modeling and parameter estimation of the system using a real-coded genetic algorithm(RCGA) is proposed and a backward path tracking control algorithm is then obtained based on the linearized model. Experimental results verify the effectiveness of the proposed method.

Keywords : trailer type robot, backward path tracking control, non-holonomic system, RCGA

I. 서론

최근 국내 수출입 물량의 증가와 더불어 항만 및 물류 처리 시설의 자동화에 대한 요구가 절실하다. 특히 제한된 공간 내에서 효율적으로 화물의 적화 및 하역을 해야 하는 컨테이너 수송용 트레일러의 경우 후진 및 주차기능이 매우 중요하다. 일반적으로 트레일러형 차량은 트랙터의 속도와 방향을 제어하여 트레일러의 위치 및 방위를 제어하는 논홀로노믹(Non-holonomic) 제어시스템으로서 제어하기가 까다로우며, 특히 후방경로 주행에 있어서는 시스템이 불안정해지기 쉽기 때문에 더욱 더 정교한 제어가 요구되고 있다[1]-[4].

Nakamura 등은 트랙터와 트레일러의 방위각의 차가 작고($\phi \approx 0$) 또한 트레일러의 방위각이 작은($\theta \approx 0$) 것으로 간주하여 선형화한 모델에 근거하여 상태피드백 제어시스템을 구성한 결과를 보고한 바 있다[1]. 이는 제어알고리즘의 단순화 측면에서는 높이 평가될 수 있으나, 운전 범위가 동작점 부근에서 크게 벗어났을 때 문제가 될 수 있다. 실제 트레일러형 차량의 경우 T지로 등에서 후진주차가 요구되는 경우 트랙터와 트레일러의 방위각의 차는 90°에 이르는 등 광범위의 운전조건이 주어질 수 있다.

이를 보완할 수 있는 한 방법으로 Tanaka는 몇 개의 동작점에서 선형모델을 구한 후 이를 퍼지결합하여 제어하는 방법을 제안하였다[3]. 그러나 자립(Self-contained) 이동시스템의 실제 구현에 있어서는 CPU의 처리능력, 배터리 용량 등 여러 가지 물리적 제약조건을 고려하여 시스템을 통합하여야 하므로 시스템의 대형화나 알고리즘의 복잡성을 줄이는 노력이 필요하다. 이러한 측면에서 트레일러형 로봇의

후방경로를 제어하는데 있어서 CPU에 부담을 덜어주기 위해 복잡한 알고리즘을 피하면서 광범위한 운전영역에서 큰 무리없이 동작할 수 있도록 하는데 역점을 둘 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 선형모델을 얻고 이를 근거로 후방직선경로를 안전하고 정확히 추종할 수 있는 상태피드백 제어기를 설계하는 문제를 다룬다. 일반적으로 트레일러형 로봇의 후방경로 제어는 몸체의 질량, 관성 등과 같은 동역학적 요소와 길이, 폭 등과 같은 운동학적 요소가 동시에 고려되어야 하지만, 로봇의 병진속도 및 회전 각속도 제어를 담당하는 하위의 제어기를 미리 확보한 것으로 간주하고 운동학적 요소만을 고려하기로 한다. 따라서 먼저 로봇의 비선형 기구학적 모델로부터 선형모델의 구조를 결정하고, 실제 장치를 Sinusoidal 형태로 주행시키면서 얻어진 입출력 데이터와 실수코딩 유전알고리즘(Real-coded genetic algorithm : RCGA)[7][8]을 이용하여 그 파라미터를 추정한다. 다음 추정된 모델에 기초한 상태피드백 제어기가 극배치법으로 설계된다. 제안된 방법은 실제 실험장치를 통해 그 유효성을 검증한다.

II. 트레일러형 로봇의 모델링

2.1 비선형 모델

제어대상으로 하는 트레일러형 로봇은 크게 좌우에 독립적으로 구동되는 구동륜을 가지는 트랙터와 비구동륜을 가지는 트레일러의 두 부분으로 구성되며 트랙터와 트레일러는 자유롭게 회전 가능한 조인트에 의해 연결되어진다. 또한 방향 전환은 좌우구동륜의 속도차에 의해 이루어진다. 그림 1은 X-Y 2차원 평면상을 주행하고 있는 모형 트레일러형 로봇의 운동학적 모델이고, 표 1은 주요 파라미터를 나타낸 것이다.

트레일러형 로봇의 제어를 위한 모델을 얻기 위해 먼저 그림 1로부터 트랙터와 트레일러 사이의 관계를 나타내면 (1)과 같이 기술될 수 있다.

접수일자 : 2001. 6. 25., 수정완료 : 2001. 8. 10.
위용욱, 김헌희 : 한국해양대학교 제어계측학과(dreamtec@hanmail.net/robotics@kmce.kmaritime.ac.kr)
하윤수, 진강규 : 한국해양대학교 기계·정보공학부(hys@hanara.kmaritime.ac.kr/ggjin@hanara.kmaritime.ac.kr)
※ 이 연구는 두뇌한국(BK21)사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

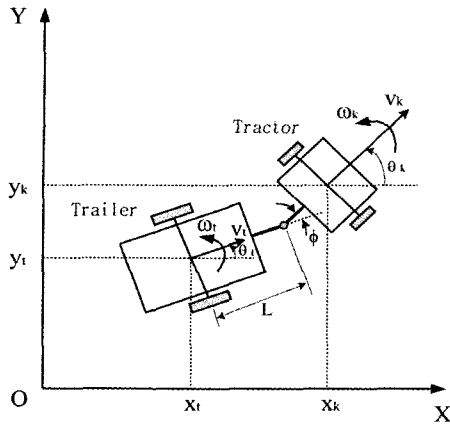


그림 1. 트레일러형 로봇의 기구학적 모델.
Fig. 1. Kinematic model of the trailer type robot.

표 1. 파라미터의 정의.
Table 1. Definition of parameters.

x_k, y_k	X-Y 2차원 평면상의 트랙터의 위치
θ_k	트랙터의 방위각
v_k	트랙터의 병진속도
ω_k	트랙터의 회전각속도
x_t, y_t	X-Y 2차원 평면상의 트레일러의 위치
θ_t	트레일러의 방위각
v_t	트레일러의 병진속도
ω_t	트레일러의 회전각속도
ϕ	트랙터와 트레일러 방위각간의 차이각도
L	트레일러 휠축과 트레일러 연결조인트 사이의 길이

$$v_t = v_k \cos \phi \tag{1a}$$

$$L \omega_t = v_k \sin \phi \tag{1b}$$

$$\theta_t = \theta_k - \phi \tag{1c}$$

그림 1과 (1)로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\dot{x}_t = v_t \cos \theta_t = v_k \cos \phi \cos \theta_t \tag{2a}$$

$$\dot{y}_t = v_t \sin \theta_t = v_k \cos \phi \sin \theta_t \tag{2b}$$

$$\dot{\theta}_t = \omega_t = \frac{v_k}{L} \sin \phi \tag{2c}$$

$$\dot{\phi} = \omega_k - \omega_t = \omega_k - \frac{v_k}{L} \sin \phi \tag{2d}$$

$$\dot{v}_k = u_v \tag{2e}$$

$$\dot{\omega}_k = u_\omega \tag{2f}$$

본 논문에서 다루는 제어 문제는 트랙터가 일정한 속도 v_k 로 후진하는 동안 $\dot{\omega}_k$ 를 조정하여 트레일러가 원하는 경로를 추종하도록 제어하는 것이다. 따라서 트레일러를 X 축상을 따라 주행시키고자 하는 문제에 있어서 $\omega_k, \phi, \theta_t, y_t$ 를 각각 상태변수 $x_{p1}, x_{p2}, x_{p3}, x_{p4}$ 와 $\dot{\omega}_k$ 를 제어입력 u_ω 로 하는 시스템을 상태공간형으로 나타내면 다음과 같다.

$$\dot{\mathbf{x}}_p = f(\mathbf{x}_p, u_\omega, t) \tag{3a}$$

여기서 $\mathbf{x}_p = [x_{p1} \ x_{p2} \ x_{p3} \ x_{p4}]^T = [\omega_k \ \phi \ \theta_t \ y_t]^T \in \mathbb{R}^4$ 는 상태벡터이고, f 는 4×1 함수벡터로서 다음과 같은 요소를 가진다.

$$f(\mathbf{x}_p, u_\omega, t) = \begin{pmatrix} u_\omega \\ x_{p1} - \frac{v_k}{L} \sin(x_{p2}) \\ \frac{v_k}{L} \sin(x_{p2}) \\ v_k \cos(x_{p2}) \sin(x_{p3}) \end{pmatrix} \tag{3b}$$

2. RCGA에 기초한 선형화 모델

트레일러 로봇의 후방경로 추종제어기를 설계함에 있어 선형 조정기 이론을 적용하기 위해 (3)의 비선형 시스템과 유사한 동특성을 가지는 선형모델을 얻는 것이 필요하다. 따라서 동작점 $\phi=0, \theta_t=0$ 부근에서 선형화된 모델로부터 다음과 같은 구조가 선택되었다.

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{B} u_\omega \tag{4}$$

단,

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & p_1 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_3 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

여기서 $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T \in \mathbb{R}^4$ 는 모델의 상태벡터이고, p_1, p_2, p_3 는 미지의 파라미터이다. 이들은 그림 2와 같이 시스템의 입출력 데이터와 탐색 알고리즘을 이용하여 추정한다.

시스템과 조정모델을 병렬로 연결하고 동일한 입력을 인가한 후 각각의 출력으로부터 계산되는 다음 목적함수값이 최소가 되도록 탐색 알고리즘은 모델의 파라미터를 조정하게 된다.

$$J = \int_0^{t_f} (\mathbf{x}_p - \mathbf{x})^T \mathbf{Q} (\mathbf{x}_p - \mathbf{x}) dt \tag{5}$$

여기서 \mathbf{x}_p 와 \mathbf{x} 는 각각 시스템과 모델의 상태벡터이고, \mathbf{Q}

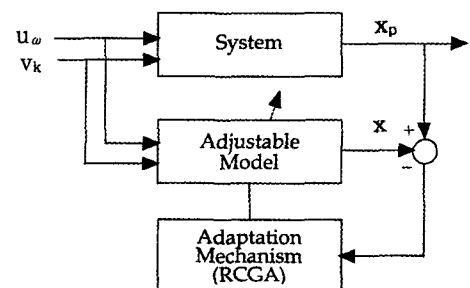


그림 2. 시스템 모델의 파라미터 추정.
Fig. 2. Parameter estimation of the system model.

$=\text{diag}\{q_{11}, q_{22}, q_{33}, q_{44}\}$ 는 하중행렬이고, t_r 는 최종 적분시간으로서 이 이후의 적분값이 무시되어도 좋을 정도로 충분히 큰 값이다.

여기서 일어나는 비선형 최적화 문제는 RCGA[7][8]를 이용하여 해결한다. 따라서 RCGA의 선택연산을 위해 적합도 함수는 $f: S \rightarrow R^+(S$ 는 탐색체 공간)의 관계를 만족하도록 다음과 같이 사상된다.

$$f(s) = -J + \delta \tag{6}$$

여기서 $s \in S$ 는 탐색체이고, δ 는 전 세대 동안 $f(s) \geq 0$ 의 관계가 유지되게 선택되는 상수로서, 선택압(Selection pressure)이 적절히 유지되도록 스케일링 원도 기법[6]으로 변경된다.

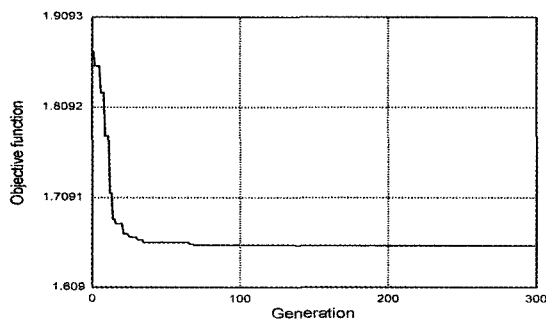
파라미터 추정을 위해 RCGA 매개변수로 집단크기 $N=20$, 재생산계수 $\eta=1.7$ ($\sigma=1.0$), 교배확률 $P_c=0.9$, 돌연변이확률 $P_m=0.05$ 를 사용하였고[8], 시스템의 입출력 신호(그림 2 참조)로 v_k 는 $-200[\text{mm/s}]$ 로 일정하게 유지되고, u_ω 와 x_p 는 안정화 제어로 페루프시스템을 구성한 후 Sinusoidal 입력을 가해 취득한 신호를 사용하였다. 그리고 하중행렬 $Q=$

$\text{diag}\{0, 1, 20, 0.03\}$ 을 사용하였다.

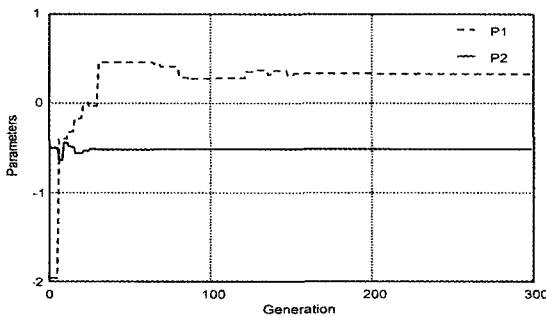
그림 3은 RCGA가 파라미터를 탐색해 가는 한 예를 보인 것으로서, 약 240세대에서 해를 찾고 있다. 유전알고리즘은 확률적 탐색도구로서 그 성능은 초기집단의 구성에 영향을 받게 된다. RCGA의 경우에도 예외일 수 없으며 초기집단의 영향을 줄이기 위하여 독립적인 초기 씨드로 10번 돌려 추정치를 얻었고 이를 평균한 결과는 $p_1=0.3412$, $p_2=-0.5174$, $p_3=190.7157$ 이었다.

3. 추정 모델의 검증

RCGA로 추정된 모델의 유효성을 검증을 위하여 동작점 부근에서 테일러 급수 전개하여 얻어진 선형모델과 비교하는 실험을 실시하였다. 그림 4는 시스템, RCGA로 추정된 모델 및 테일러 급수 전개하여 얻어진 모델을 병렬로 연결하고 동일한 입력을 인가하여 얻은 결과이다. 그림에서 보면 RCGA로 추정된 모델의 응답은 시스템의 응답과 거의 일치하지만 테일러 급수 전개한 모델의 경우에는 시스템과 차이가 많음을 알 수가 있다.



(a) Objective function



(b) Parameters

그림 3. RCGA를 이용한 파라미터 추정.
Fig. 3. Parameter estimation using a RCGA.

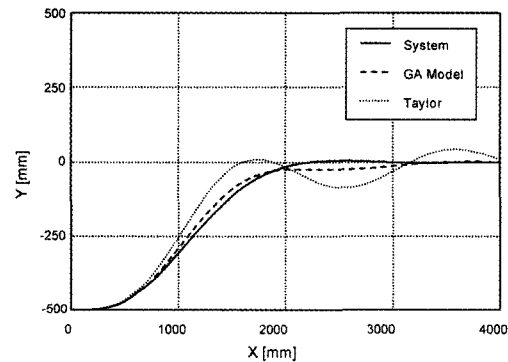


그림 4. 선형화 모델의 검증.
Fig. 4. Validation of the linearized model.

III. 후방경로 추종제어

트레일러형 로봇은 트랙터의 움직임을 제어함으로써 트레일러를 제어하는 구조를 가진다. 따라서 트레일러형 로봇의 제어는 트랙터의 좌우 휠의 회전속도를 결정하는 문제로 귀결된다. 이러한 트랙터 좌우 휠의 회전각속도 $\dot{\omega}_r$, $\dot{\omega}_l$ 은 트랙터 중심의 병진가속도 \dot{v}_k 와 회전가속도 $\dot{\omega}_k$ 가 주어진다고 가정하면 다음 식에 의해 계산된다.

$$\dot{\omega}_r = \dot{v}_k + \frac{T}{2} \dot{\omega}_k \tag{7a}$$

$$\dot{\omega}_l = \dot{v}_k - \frac{T}{2} \dot{\omega}_k \tag{7b}$$

여기서 T는 좌우 휠 간의 거리를 나타낸다. 따라서 트랙터의 병진속도가 일정하다면 임의의 후방직선경로 추종제어 문제는 트랙터의 회전각 가속도 $\dot{\omega}_k$ 를 어떻게 결정하는가에 달려있다.

임의의 위치 및 자세에서 X축 상을 따라 주행시키는 것은 ϕ, θ, y_r 를 0이 되도록 하는 조정기 문제로 취급할 수 있다. 따라서 제어입력 u_ω 는 (8)과 같이 주어진다.

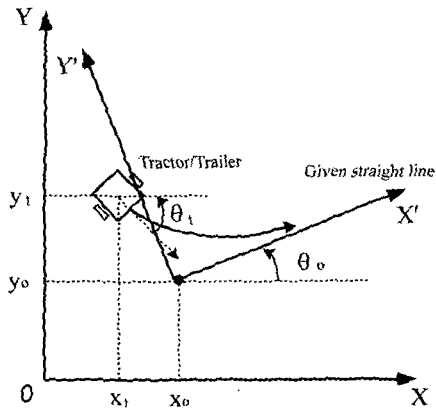


그림 5. 직선경로 추종경로 계획.
Fig. 5. Scheme for straight line tracking control.

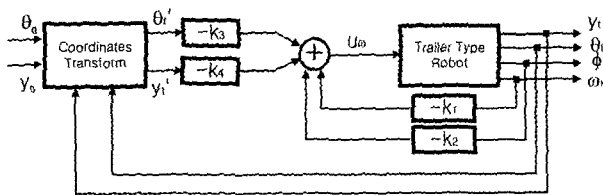


그림 6. 후방경로 제어시스템.
Fig. 6. Backward path control system.

$$u_o = -Kx \quad (8)$$

여기서 $K = [k_1 \ k_2 \ k_3 \ k_4]$ 는 행렬 $(A - BK)$ 의 고유치가 모두 부의 실수값을 갖도록 적절히 선택되는 상태배환 이득행렬이다. (8)의 제어입력을 통해 시스템을 안정화시키는 동시에 트랙터와 트레일러를 목표직선에 추종시킬 수 있다.

한편 임의로 주어진 직선경로에 대한 추종은 X축 상에 로봇을 위치시키는 문제의 확장으로 생각할 수 있다. 먼저, 트레일러의 현재위치 (x_t, y_t) 와 방위각 θ_t 가 그림 5와 같다고 하고 X축과 θ_o 도를 이루는 직선경로를 추종시키는 문제를 생각하자. 이는 (x_o, y_o) 을 원점으로 하는 새로운 좌표계 $X' - Y'$ 을 설정하고 차량을 X'축을 추종하도록 하는 문제로 생각하면 된다. 트레일러의 현재위치와 방위각은 (9)에 의해 $X' - Y'$ 좌표계 상의 값으로 변환되어 진다[4].

따라서 그림 6과 같이 제어를 구성함으로써 트레일러형 로봇은 주어진 목표 후방직선경로를 추종하게 된다.

$$\begin{pmatrix} x_t' \\ y_t' \\ \theta_t' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_o & \sin \theta_o & 0 \\ -\sin \theta_o & \cos \theta_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_t - x_o \\ y_t - y_o \\ \theta_t - \theta_o \end{pmatrix} \quad (9)$$

IV. 실험 및 고찰

1. 실험 장치

그림 7은 제어대상으로 제작한 모형 트레일러형 로봇을 보여주고, 표 2는 그 물성치를 나타낸다. 좌우 구동륜을 위한 구동모터로는 Hitachi사의 DO4G321 (24V19W)를 이용하였으며 구동륜의 회전속도 및 트랙터와 트레일러의 연결조인트의 회전각 검출을 위해서는 Autonics사의 1024 펄스의

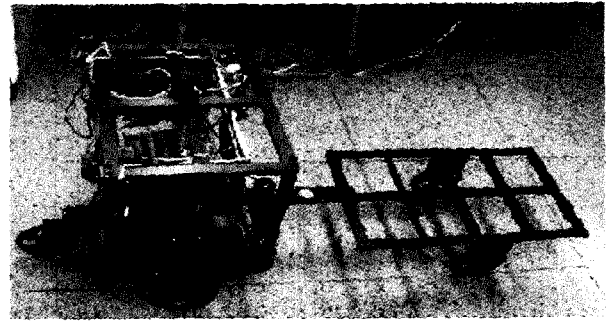


그림 7. 트레일러형 로봇.
Fig. 7. The trailer type robot.

표 2. 트레일러형 로봇의 물성치.
Table 2. Material properties of the trailer type robot.

길이	940[mm]
폭	370[mm]
차륜반경	55[mm]
중량	10.2[kg]

엔코더 센서를 이용하였다[5]. 또한 제어기로는 PC를 이용하였다.

2. 실험 조건 및 환경

제한한 후방직선경로 추종제어 알고리즘의 유효성을 입증하기 위하여 트레일러형 로봇에 있어서 요구되어지는 주요 후진동작 세 가지에 대한 추종성능 실험을 실시하였다. 그림 8은 주요 후진동작을 나타낸 것으로 (a)는 트랙터 축과 트레일러 축이 일치하고 있지 않은 자세($\phi \neq 0^\circ$)에서 후진 차선변경, (b)는 트레일러의 초기위치가 (x_t, y_t) 이고 $\phi=0$ 인 자세에서의 후진 차선변경, (c)는 T자로에서의 후진

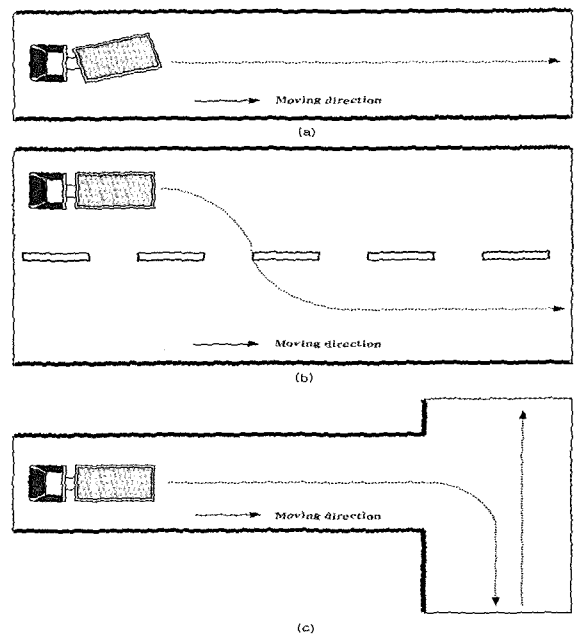


그림 8. 세 가지 형태의 후방경로.
Fig. 8. Three types of backward paths.

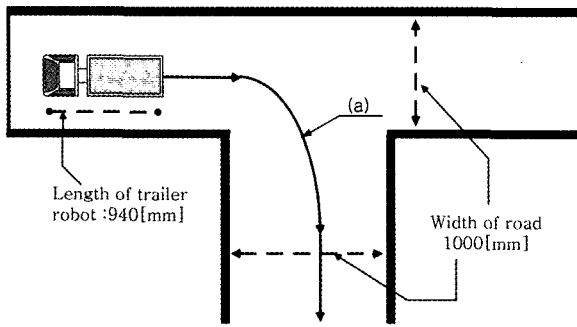


그림 9. 트레일러형 로봇의 실험환경.
Fig. 9. Experimental environment of the trailer type robot.

이 요구되는 경우이다.

실험을 위한 도로의 폭과 모형 트레일러형 로봇의 치수는 약 1/10로 축소되어진 값으로 각각 1000[mm], 940[mm]이다.

제어기의 상태궤환 이득행렬은 이상과 같은 주행 예상 환경, 로봇의 길이 및 폭 등을 고려하여 결정되어졌다. 즉 후진 주행시 오버슈트로 인한 주변 시설물과의 충돌 및 탈선을 피할 수 있도록 그림 9와 같은 주행실험 환경에서 실선 (a)와 같은 응답을 갖도록 극을 배치하였다. 그 결과 $\lambda = -0.4015 \pm j0.1125, -0.1776 \pm j0.649$ 에 배치하여 $K = [1.5 \ 1.424 \ -0.823 \ 0.0008]$ 을 얻었다.

3. 결과 및 검토

그림 10은 트레일러의 초기위치와 방위각이 $(x_t, y_t, \theta_t) = (0, -140, 20^\circ)$ 이고 트랙터와 트레일러축의 각이 $\phi = 20^\circ$ 로 주어졌을 경우(그림 8(a)에 해당)에 X축을 추종하도록 한 결과이며, 그림 11은 초기위치와 방위각이 $(x_t, y_t, \theta_t) = (0, -250, 0^\circ)$ 이고 $\phi = 0^\circ$ 인 경우(그림 8(b)에 해당)에 $y = 250[mm]$ 이고 X축에 평행인 직선이 목표경로로 주어졌을 때의 실험결과이다. 그림으로부터 트레일러형 로봇은 도로를 벗어나지 않고, 주어진 목표경로를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다.

또한 그림 12의 경우는 T지로를 후진하는 경우(그림 8 (c)에 해당)를 나타내고 있으며 초기위치와 방위각은 $(x_t, y_t, \theta_t) = (0, 0, 0^\circ)$ 이고, $\phi = 0^\circ$ 인 상태에서 출발하여 $x = 2500[mm]$ 이고

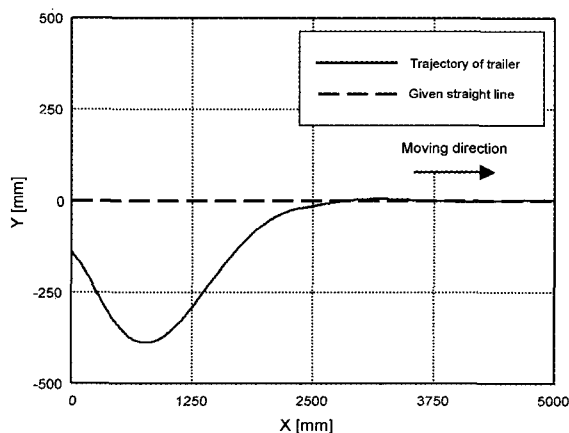


그림 10. 실험결과($x_t=0, y_t=-140, \theta_t=20^\circ, \phi=20^\circ$).
Fig. 10. Experimental result($x_t=0, y_t=-140, \theta_t=20^\circ, \phi=20^\circ$).

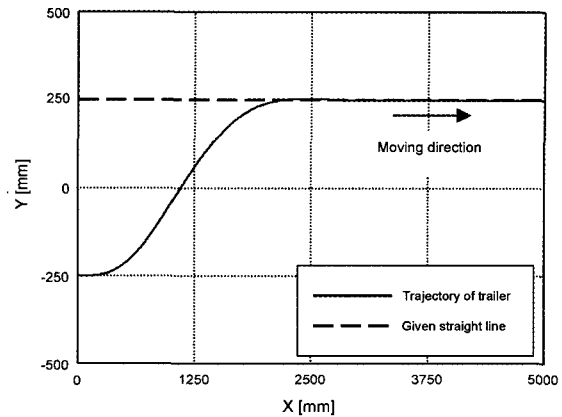


그림 11. 실험결과($x_t=0, y_t=-250, \theta_t=0^\circ, \phi=0^\circ$).
Fig. 11. Experimental result($x_t=0, y_t=-250, \theta_t=0^\circ, \phi=0^\circ$).

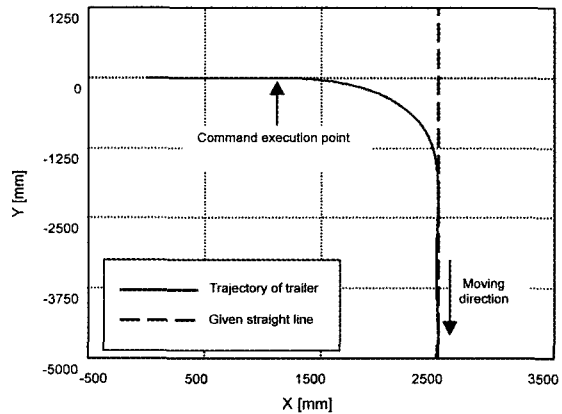


그림 12. 실험결과($x_t=0, y_t=0, \theta_t=0^\circ, \phi=0^\circ$).
Fig. 12. Experimental result($x_t=0, y_t=0, \theta_t=0^\circ, \phi=0^\circ$).

Y축 상으로 평행한 직선을 목표 경로로 할 때의 결과이다. 회전각이 90°나 뒀어도 불구하고 주어진 경로와 약간의 오차(offset)가 발생하지만 오버슈트로 인한 탈선 없이 주어진 경로를 잘 추종함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 트레일러형 로봇 시스템의 자율적인 후진 및 주차기능을 부여하기 위하여 후방경로 추종제어를 위한 운동학적 모델 및 제어알고리즘을 제시하였다. RCGA를 이용하여 선형화 모델을 얻었고 극배치법으로 추종제어기를 설계하였다. 제안된 방법의 유효성을 검증하기 위하여 모형 트레일러형 로봇 시스템에서 실험을 실시한 결과 만족할만한 성능을 얻을 수 있었다.

추후 병진속도 및 회전각 속도제어를 이용하는 문제와 임의의 위치에 임의의 방향으로 정지시키는 문제 등에 대해 연구가 계속될 것이다.

참고문헌

[1] M. Nakamura and S. Yuta, "Trajectory control of trailer type mobile robots," *Proc. IEEE/RJS Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS '93)*, pp. 2257-2263, 1993.
[2] D. B. Widrow, "The truck backer-upper : An example of

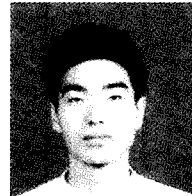
- self-learning in neural networks," *IEEE Int. Joint Conf. On Neural Network*, vol. 2, pp. 357-363, 1989.
- [3] K. Tanaka, "Design of model-based fuzzy controller using lyapunov stability approach and its application to trajectory stabilization of a model car," *Theoretical Aspects of Fuzzy Control*, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [4] Yun-Su Ha and S. Yuta, "Trajectory tracking control for navigation of inverse pendulum type self-contained mobile robot," *Int. Journal of Robotics and Autonomous systems*, no. 17, pp. 65-80, 2000.

- [5] J. Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, *Where am I ? Sensor and Methods for Mobile Robot Positioning*, The University of Michigan, 1996.
- [6] J. J. Grefenstette, "Optimization of control parameters for genetic algorithms," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-16, no. 1, pp. 122-128, 1986.
- [7] 진강규, 유전알고리즘과 그 응용, 교우사, 2000.
- [8] 진강규, 주상래, "실수코딩 유전알고리즘에 관한 연구," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제6권, 제4호, pp. 268-275, 2000.



위 용 옥

1999년 한국해양대학교 제어계측공학과 졸업, 현재 한국해양대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정



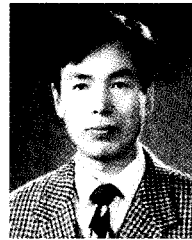
김 현 희

1997년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 현재 한국해양대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정



하 윤 수

1986년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1990년 동 대학원 석사. 1996년 일본 쓰쿠바대학(박사). 1996년~현재 한국해양대학교 기계·정보공학부 조교수.



진 강 규

1977년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1985년 Florida Institute of Technology, 전기·전자·컴퓨터공학과(석사), 1996년 University of Wales Cardiff, 전기·전자·시스템공학과(박사). 현재 한국해양대학교 기계·정보공학부 정교수.