

컨테이너 운송용 AGV의 운동궤적에 관한 연구

박정보*, 김민주+, 이승수+, 김종완++, 전언찬**

(논문접수일 2004. 2. 16, 심사완료일 2004. 7. 13)

A Study on the Driving Trajectory of AGV for Container Transport

Jeong-Bo Park*, Min-Ju Kim+, Seung-Soo Lee+, Joong-Wan Kim++, Eon-Chan Jeon**

Abstract

In this study, we have developed the simulation tool in order to investigate driving trajectory of AGV for container transport. AGV for container transport is different from the indoor AGV in that it is a large size structure at being loaded the weight of 40 ton. And AGV for container transport is applied to front wheel steering, rear wheel steering, all wheel steering, and crab steering. Therefore, we have developed the simulation tool considering dynamic problems and a center of turning in accordance with fourth ways of steering mode. As the result of this study, we have confirmed that this tool is useful and cost-effective in the dynamic analysis or large size vehicles. Also, it is useful to calculate the minimum radius of turning for large size vehicles.

Key Words : AGV(Automatic Guided Vehicle), Driving Trajectory(운동궤적), Minimum Radius of Turning(최소 회전 반지름)

1. 서론

전 세계적인 항만 물류량 증가와 이로 인한 부두의 자동화가 중요시되고 있다. 항만의 자동화에서 가장 중요한 것이 컨테이너를 이송할 수 있는 무인자동차, 즉 AGV(Automatic guided vehicle)의 개발과 제어이다.

AGV에 대한 국내연구로는 Yang 등⁽¹⁾이 유한요소법을 이용한 AGV 구조물의 강도해석을 수행하고, Kye 등^(2,3)이 4륜구동·조향 차량의 선회성능 해석을 위한 Simulation

Tool 개발 및 4WD/4WS 전기 구동 차량의 동역학적 성능해석을 수행한 것들을 들 수 있다. 그리고 Song 등⁽⁴⁾이 AGV시스템의 메커니즘 개량화 연구를 수행하는 등 다양하게 진행되고 있다. 그리고 국외에서는 Dugoff 등⁽⁵⁾이 타이어 거동을 물리적 현상에 근거하여 유도함으로써 차량 운동을 시뮬레이션한 경우와 실험적 데이터를 토대로 개발된 모델링⁽⁶⁻⁸⁾을 적용한 경우 등이 있다. 하지만 이러한 연구들은 주로 실내 공장용 AGV에 관한 내용으로 야드(yard)에서 운용되는 컨테이너 수송용 AGV에 대한 연구

* 삼척대학교 기계공학과 (jbpark@samcheok.ac.kr)

주소: 245-711 강원도 삼척시 교동 산253번지

+ 동아대학교 기계공학과 정밀가공실�험실

++ 동아대학교 기계공학과

는 전무한 실정이다.

야드용 AGV는 외국에서도 그 예를 찾기 힘든데, 선두주자인 독일을 포함하여 3개국 정도에서 생산하고 있다. 야드용 AGV가 설치되어 운영되고 있는 곳은 네덜란드의 ECT항과 싱가포르의 PSA항을 들 수 있으며, 이들 장비는 독일의 MDF 및 Kamag사가 독점적으로 공급하고 있는 실정이다.

이러한 야드용 AGV는 네 가지 형태의 조향(Steering)을 수행하며, 주차 및 컨테이너 적재를 위한 위치선정시 최소화 전반경이 가장 중요한 요소로 작용한다. 하지만 최소화전반경에 대한 연구는 전륜조향에 대한 것만 공개되어 있으며, 네 가지 조향 모드에 대한 연구는 전무할 뿐만 아니라 일반적으로 적용되고 있는 애커먼-장토식(Ackerman-Jantaud type)은 전륜을 제외한 나머지 방식에는 적용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 항만의 야드에서 컨테이너 운송용으로 사용되는 AGV의 조향모드별 운동궤적 및 최소화전반경 등을 자동으로 계산하는 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 이를 AGV 설계의 기초자료로 제공하고자 한다. 이는 AGV를 제어함에 있어서 상당히 중요한 자료로 이용될 수 있으며, 일반 자동차에도 적용할 수 있다.

2. 야드용 AGV 차량 모델

Fig. 1에 야드용 AGV의 기본 개요를 나타내었다. 컨테이너 운송용 AGV는 전·후의 개념이 존재하지 않으며, 진

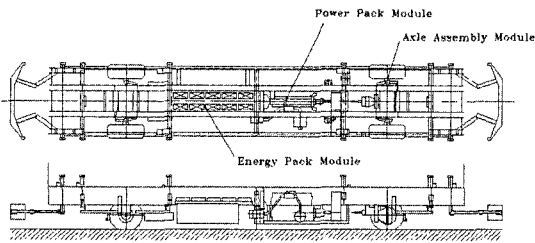


Fig. 1 Schematic of AGV for container transport

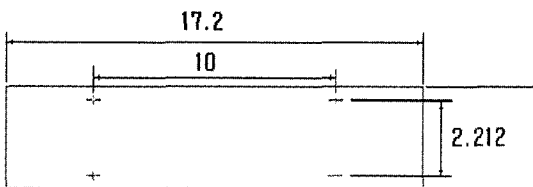


Fig. 2 AGV frame(units : m)

행방향에 따라 전방, 후방이 결정된다.

Fig. 2에 야드용 AGV의 외형 프레임을 나타내었으며, 그 제원을 도시하였다. 일반적으로 연구되는 실내용 AGV와 달리 본 연구에서 사용한 모델은 40 ton의 하중을 받는 대형 구조물로 볼 수 있다. 그리고 Table 1에 야드용 AGV에 적용되는 네 가지 조향 모드를 나타내었다.

전륜조향(Front wheel steering)과 후륜조향(Rear wheel steering), 4륜조향(All wheel steering), 그리고 크랩조향을 전부 적용한다.

- Overall length : 17.2m
- Wheel base : 10m
- Overall width : 3m
- Tread : 2.212m
- Steering 각속도(20, 25, 30, 35°/s)
- 이동속도(0~6 m/s), 최대 조향 각=35°

본 논문에서 고려된 차량모델을 유도하기 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- 1) 차량은 평평한 노면(Even road) 위를 주행하는 것으로 가정한다.
- 2) 횡풍에 의한 요잉 모멘트는 차량중량 및 컨테이너 중량을 고려하여 없는 것으로 한다.
- 3) 차량은 직진운동, 횡운동, 요잉운동 및 롤 운동을 할 수 있으나 피칭 및 히빙운동은 무시한다.

Table 1 Four steering mode types for AGV driving condition

Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
Front Wheel Steering	Rear Wheel Steering	All Wheel Steering .	Crab Steering
/ / 	 / /	/ / \ \	/ /

3. AGV 조향에 따른 운동해석

3.1 차륜을 조향한 후 운동상태 변화

Fig. 3에서 ω_{wh} 는 조향 각속도[rad/s], θ_{wh} 는 평균 조향 각[rad], V 는 AGV의 주행속도[m/s], ω_b 는 AGV 차체 회전 각속도[rad/s]를 의미한다.

차륜은 각속도 ω_{wh} 의 값으로 회전하므로, 차륜이 회전한 각도는

$$\theta_{wh} = \omega_{wh} \times t \quad (1)$$

시간 t 초 후 차륜의 조향 각이 θ_{wh} 이므로 전륜의 속도 V 를 V_x , V_y 로 분해하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_x &= V \times \sin(\theta_{wh}) \\ V_y &= V \times \cos(\theta_{wh}) \end{aligned} \quad (2)$$

따라서 AGV 운동은 V_y 의 병진운동과 V_x 의 속도성분으로 인한 회전운동이 동시에 일어난다.

3.2 병진 운동과 회전운동

AGV의 운동을 일반 강제운동으로 고려하여 해석할 수 있다. 일반 강제운동은 병진운동과 회전운동으로 분해하여 생각하면 편리하다.

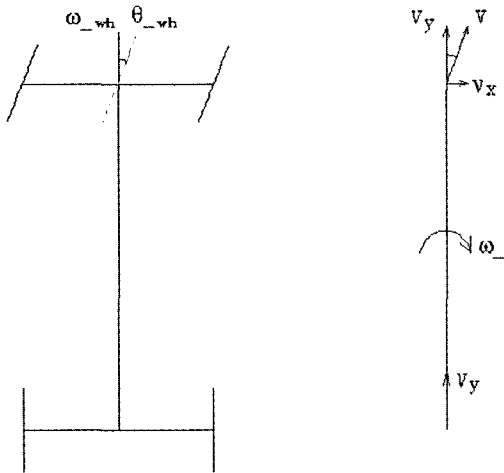


Fig. 3 Velocity components of interesting body points for steering

3.1.1 병진운동

Fig. 4에서 보는 바와 같이 전륜은 $X_1 = V_x \times \Delta t$, $Y_1 = V_y \times \Delta t$ 만큼 병진이동한다.

3.1.2 회전운동

AGV는 x축의 속도성분 V_x 에 의해서 후륜 차륜의 윤간 거리의 중심점 p에 대하여 회전한다. 이 때 AGV가 회전하는 각속도와 샘플링 시간에서의 각도변화는 다음 식과 같다.

$$\omega_b = \frac{V_x}{l_{wheel\ base}} [rad/s] \quad (3)$$

$$\Delta\theta_b = \omega_b \times \Delta t \quad (4)$$

4. 전륜의 위치이동 및 회전운동 메카니즘

전륜의 위치이동은 Fig. 5와 같이 설명할 수 있다. step 1과 같이 조향 각 (θ_{wh}) = 0 인 상태에서 Δt 만큼 시간이 경과한 후의 전륜의 위치는 다음과 같다.

식 (1)에서 $\theta_{wh} = \omega_{wh} \times \Delta t$ 만큼 차륜을 조향시킨 후 전진하면 전륜의 다음 위치는 식 (2)를 사용하여 $X_1 = V_x \times \Delta t(m)$, $Y_1 = V_y \times \Delta t(m)$ 만큼 이동되어 있음을 알 수 있다.

식 (3)을 사용하여 $\omega_b(1)$ 을 구할 수 있다. $\omega_b(1)$ 에 의하여 $\Delta\theta_b(1) = \omega_b(1) \times \Delta t$ 이고, $\theta_b(1)$ 만큼 회전한 step

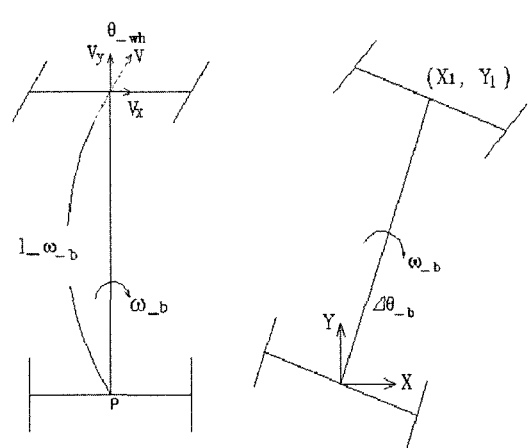


Fig. 4 Kinematic analysis for AGV after Δt

2의 상태가 된다.

그러므로 식 (5)와 같이 된다.

$$\theta_b(1) = \theta_b(0) + \Delta\theta_b(1) \quad (5)$$

Step 3에서와 같이 $\theta_{wh}(2)$ 만큼 조향시킨 후 전진시키면 전륜의 위치는 $X'_2 = V \times \sin(\theta_{wh}(2)) \times \Delta t$, $Y'_2 = V \times \cos(\theta_{wh}(2)) \times \Delta t$ 만큼 이동시킨 후 좌표축 X' , Y' 을 $\theta_b(1)$ 만큼 회전시킨 값이 된다.

따라서

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_b(1)) & -\sin(\theta_b(1)) \\ \sin(\theta_b(1)) & \cos(\theta_b(1)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'_2 \\ Y'_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)과 같이 좌표축의 회전 결과가 step 4와 같은 그림이 된다.

$$\theta_b(2) = \theta_b(1) + \omega_b(2) \times \Delta t = \theta_b(1) + \Delta\theta_b(2) \quad (7)$$

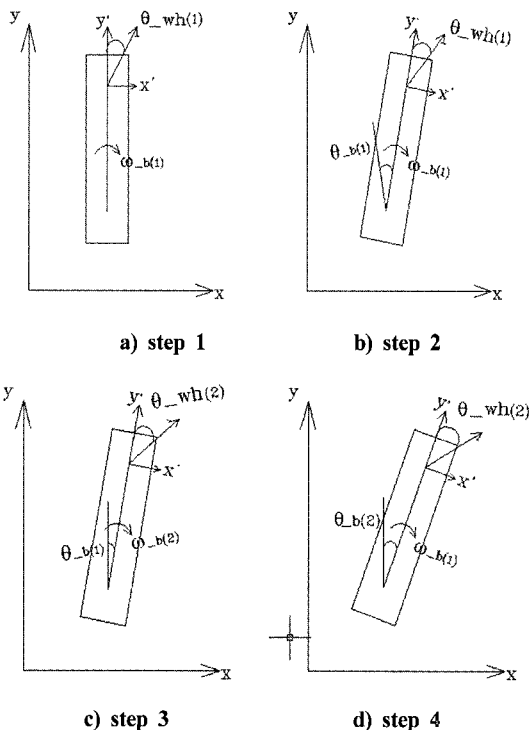


Fig. 5 Position movement of front wheel

Step 4는 전륜이 X_2 , Y_2 만큼 위치 이동한 후 AGV 차체가 $\theta_b(2)$ 로 회전된 상태이다.

5. AGV 차체의 회전 및 병진

전륜의 임의의 좌표값이 $(X(i), Y(i))$ 라고 가정할 때 AGV의 차체 각도가 $\theta_b(i)$ 이므로 전륜을 중심으로 코너의 위치가 $\theta_b(i)$ 만큼 회전됨을 알 수 있다. AGV 차체의 회전을 구하기 위한 정의를 Fig. 7에 나타내었다.

따라서 AGV 코너 위치의 궤적은

$$\begin{bmatrix} X_A(i) \\ Y_A(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\theta_b(i)) & -\sin(-\theta_b(i)) \\ \sin(-\theta_b(i)) & \cos(-\theta_b(i)) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_A(1) \\ Y_A(1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{fr}(i) \\ Y_{fr}(i) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} X_B(i) \\ Y_B(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\theta_b(i)) & -\sin(-\theta_b(i)) \\ \sin(-\theta_b(i)) & \cos(-\theta_b(i)) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_B(1) \\ Y_B(1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{fr}(i) \\ Y_{fr}(i) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} X_C(i) \\ Y_C(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\theta_b(i)) & -\sin(-\theta_b(i)) \\ \sin(-\theta_b(i)) & \cos(-\theta_b(i)) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_C(1) \\ Y_C(1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{fr}(i) \\ Y_{fr}(i) \end{bmatrix} \quad (10)$$

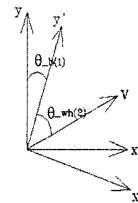


Fig. 6 Rotation of coordinate system

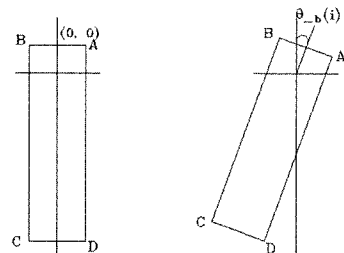


Fig. 7 Rotation of corner points

- A : right front corner
- B : left front corner
- C : left rear corner
- D : right rear corner

$$\begin{bmatrix} X_D(i) \\ Y_D(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\theta_b(i)) & -\sin(-\theta_b(i)) \\ \sin(-\theta_b(i)) & \cos(-\theta_b(i)) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_D(1) \\ Y_D(1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{fr}(i) \\ Y_{fr}(i) \end{bmatrix} \quad (11)$$

이다.

6. 조향모드에 따른 회전중심의 변화

조향모드에 따른 회전중심의 변화를 실험적으로 구하기 위하여 애커먼-장토식을 적용한 모형 AGV를 제작하였다. 모형 AGV는 1/10의 축소모형이며, 여기서 구해진 회전중심의 변화를 기하학적 상사를 통하여 Fig. 9 및 시뮬레이션에 적용하였다.

Fig. 9에 조향 방식에 따른 회전중심의 변화를 나타내었다. 전륜조향에서는 회전중심은 뒷바퀴의 윤간거리의 중앙이 회전중심이 되고, 후륜조향에서는 회전중심은 앞바퀴의 윤간거리의 중앙이 회전중심이 된다. 그리고 4륜 조향에서는 회전중심은 축간거리의 중앙이 회전중심이 된다. 그러나 크랩조향에서는 회전중심이 없고, AGV는 단지 평행하게 비스듬히 이동하게 된다.

7. 시뮬레이션 프로그램

본 연구에서는 상기한 수식들을 토대로 네 가지 steering mode별로 최소선회 반지름 및 최대 선회반지름, 그리고 주행경로 및 AGV 차체의 운동궤적을 구하는 프로그램을 개

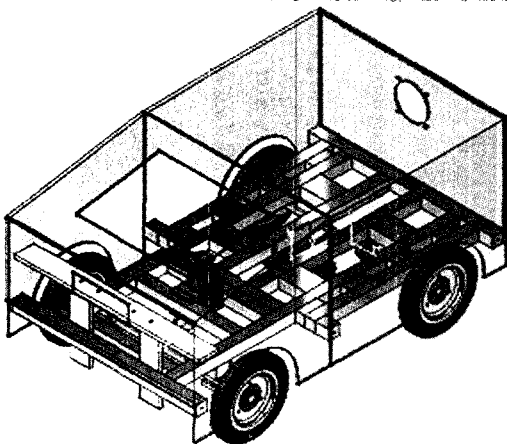
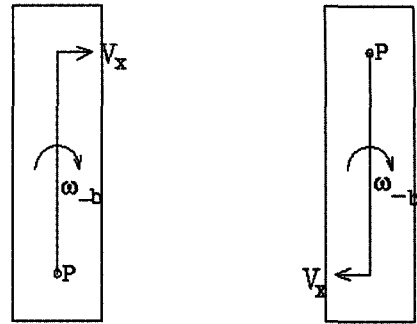
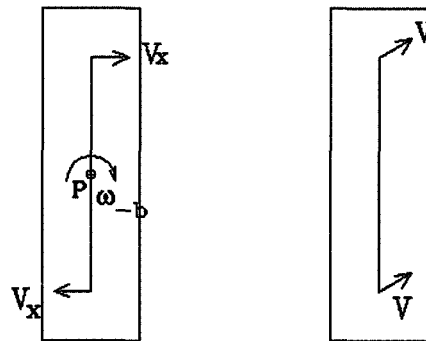


Fig. 8 Geometric reduction model of AGV



a) Front wheel steering b) Rear wheel steering



c) All wheel steering d) Crab steering

Fig. 9 Rotation center of four steering modes

발하였다. 프로그램 개발에는 MATLAB의 Simulink를 사용하였으며, 화면 구성은 Fig. 10과 같다.

Fig. 10은 전륜조향에서 AGV의 운동궤적 등을 나타낸 것이다. 우측 상단부에는 조향 각속도의 변화를 나타내며,

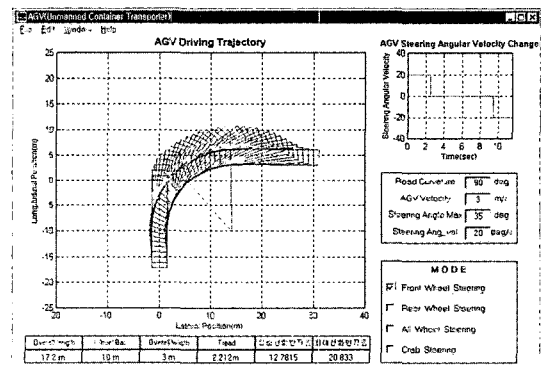


Fig. 10 Front Wheel Steering

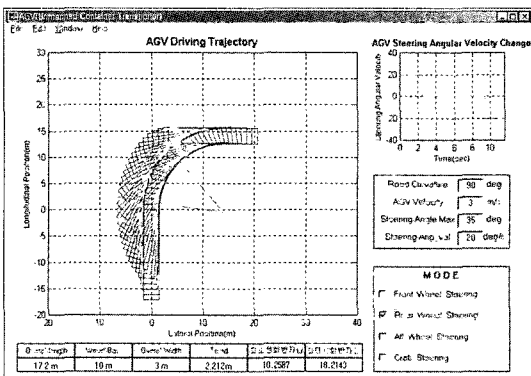


Fig. 11 Rear Wheel Steering

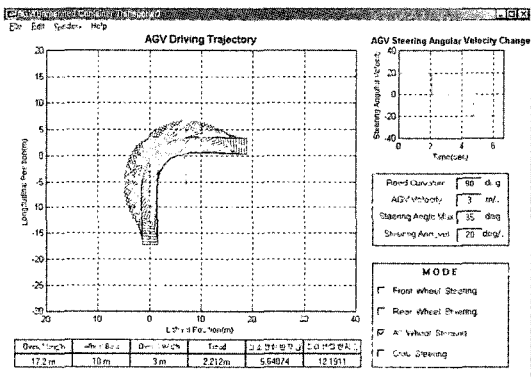


Fig. 12 All Wheel Steering

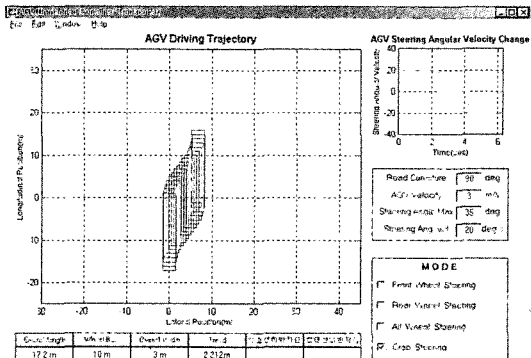


Fig. 13 Crap steering

입력요소들의 선정이 끝난 후 모드를 선택하면 화면과 같은 AGV 차체의 운동궤적과 최소 선회반지름 및 최대 선회반

지름을 계산, 출력하는 형태로 프로그래밍 되어 있다. 야드용 AGV 차량의 최소회전반지름은 최대 선회 반지름에 차륜거리(Tread) 2.212m를 적용하여 구할 수 있으며, 23.045 m이다. 그리고 AGV 전륜부의 회전운동에 후륜부가 추종하는 형태로 운동궤적이 생성됨을 알 수 있다. 이와 달리 Fig. 11의 후륜조향에서는 후륜부의 회전운동에 전륜부가 수용하는 형태를 띤다. 그리고 최소 회전 반지름은 20.4263 m로 전륜조향에 비해 감소함을 알 수 있다.

Fig. 13은 4륜 조향에 따른 AGV의 운동궤적 및 최소 선회반지름과 최대 선회 반지름 등을 나타내고 있다. AGV 차량의 최소회전반지름은 14.4031m이다. 그리고 차량진행 방향을 90°회전시킬 때 AGV 조향 각속도의 변화시간이 상당히 감소함을 알 수 있다.

Fig. 14는 크랩조향에 따른 AGV의 운동궤적을 나타내고 있다. 크랩조향은 주차 및 위치조정시 사용되는 모드로 최소회전반경은 의미가 없으며, AGV 조향 각속도의 변화에서 초기 조향시간이 길게 나타나는 특징을 보인다.

8. 결론

이상의 연구를 토대로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 시뮬레이션 툴은 MATLAB의 Simulink를 이용하여 제작되었으며, 야드용 AGV에 최초로 적용하였다.
- (2) 개발된 시뮬레이션 툴은 그래픽 환경을 제공하여 사용자가 친숙하게 접근할 수 있으며, 입력 데이터와 출력 데이터를 편리하게 처리할 수 있다.
- (3) 차륜을 조향한 후 운동상태 변화와 조향된 차륜의 위치이동 및 회전 메커니즘을 밝혀냈으며, AGV 본체의 회전 및 이송궤적, 그리고 조향모드에 따른 회전중심의 변화 등을 정의하였다.

참고 문헌

- (1) Yang, Y. S., Lee, S. H., and Lee, C. S., 1998, "A Strength Analysis of the AGV Structure using the Finite Element Method," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 7, No. 3, pp. 37~42.
- (2) Kye, G. T., Kim, J. Y., and Huh, K. S., 1997, "Development of a Simulation Tool for the Cornering Performance Analysis of 4WD/4WS Vehicles,"

- KSAE*, Vol. 5, No. 1, pp. 195~206.
- (3) Kim, J. Y., Kye, K. G., Park, K. S., and Huh, K. S., 1996, "Dynamic Performance Analysis for 4WD/4WS Electric-driven Vehicles," *KSAE*, Vol. 4, No. 2, pp. 209~220.
- (4) Song, J. Y., Lee, S. W., and Kim, K. H, 2001, "A Study on Improved Mechanism of AGV System," *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 2, pp. 132~138.
- (5) Dugoff, H., Fancher, P. S., and Segel, L., 1970, "An Analysis of Tire Traction Properties and Their Influence on Vehicle Dynamic Performance," *SAE Transactions*, 79 : 341-366, SAE paper No. 700377.
- (6) Metz, L. D., 1993, "Dynamic of Four Wheel Steer Off-Highway Vehicles," *SAE 930765*.
- (7) Higasa, H., Ishikawa, F., Nasu, H., and Hayashi, S., 1992, "Vehicle Motion Control of the Four Wheel in-Motor Drive Electric Vehicles," *The Society of Technic for Automobile*.
- (8) Sanchez, N. E., 1994, "Nonlinear Dynamics and Control of a Four-Wheel Steering Vehicle using Symbolic-Numerical Approach," *Int. J. of Vehicle Design*, Vol. 15, No. 1/2, pp. 81~98.