

# RTGC의 모델링 및 주행제어기 설계에 관한 연구

† 이 동석 · 김 영복\* · 정 정순\*\* · 정 지현\*\*\*

† 부경대학교 대학원 제어기계공학과, \*부경대학교 기계시스템공학과 부교수, \*\*부경대학교 대학원 제어기계공학과,

\*\*\*부경대학교 대학원 제어기계공학과

**요 약** : 컨테이너의 효율적인 이송은 작업 시간이 곧 비용으로 연결되는 항만에서 가장 중요한 요소이다. 따라서 1990년대 중반부터 세계항만은 RMGC(Rail-Mounted Gantry Crane), RTGC(Rubber-Tired Gantry Crane)등의 크레인이 개발되어 야드에서 컨테이너를 적재하는데 널리 이용되어 오고 있으며, 특히 최근에는 CCD카메라, 각종 센서 등을 이용하여 트랜스퍼 크레인의 무인화를 위해 수많은 연구가 진행되었고 실용화 된 많은 기술들이 현장에서 사용되고 있으나, 여전히 많은 부분이 연구를 필요로 한다. 특히 RTGC의 경우 RMGC에 비해 무인 자동화 연구개발은 미비한 수준이다. 따라서 본 논문에서 RTGC의 무인자동화 작업을 위한 가장 기초라고 볼 수 있는 수학적 모델링을 기반으로한 고정밀도 주행제어기를 설계하고자 한다.

**핵심용어** : RTGC, RMGC, 자동화 컨테이너 터미널, 주행제어

## 1. 서 론

최근 중국 경제의 비약적 발전은 우리나라 항만 운영 등 다양한 분야에 영향을 받고 있는 것이 사실이다. 이에 우리나라뿐만 아니라 전 세계 각국은 경쟁력 제고를 위한 다양한 노력을 강구하고 있는 실정이다.

국제적으로 경쟁력 있는 항만을 건설하기 위한 중요한 요건 중 하나가 바로 물류의 신속한 처리이다. 신속한 물류처리를 위해 최첨단 시설과 장비를 도입하는 것은 이제 필수조건이 되었다.

항만에서 신속한 물류처리를 위해 가장 우선시 되어야 할 부분은 컨테이너의 신속, 정확한 적재 및 운반이기 때문에 컨테이너를 옮기는 크레인은 항만의 최첨단 시설을 도입하는데 가장 우선시 되는 부분을 차지한다.

항만에서 널리 쓰이는 컨테이너 운반 크레인의 종류는 사용 목적, 크기 등의 분류로 다양하게 나뉘는데, RMGC(Rail-Mounted Gantry Crane) 및 RTGC(Rubber-Tired Gantry Crane)는 크레인 자체가 독립적으로 컨테이너를 이동시키고 처리하는 장치이다. 작업 중 여러 형태의 흔들림 등의 단점이 있으나 자체적인 이동성 때문에 항만에서의 중요성이 더욱 높아지고 있다. 따라서 항만의 자동화를 위해서 RMGC나 RTGC의 컨테이너 처리 능력을 향상시키는 것이 필연적이라 말할 수 있으나 RMGC의 자동화 정도에 비해 RTGC의 자동화 수준 및 체계적인 연구개발은 미비한 수준이다.

따라서 본 연구에서는 RTGC의 운동특성을 파악하고 제어하기 위해 수학적 모델링을 수행한다. 이때 발생할 수 있는 다양한 동적특성을 표현하고 이송 및 위치제어 시스템 구축기술에 대해 검토한다.

## 2. 제어대상의 모델링 표현

본 연구에서 고려하고 있는 제어대상은 고무타이어로 이송 작업이 이루어지는 RTGC이다. 이송을 위해 양측의 타이어에 모터가 장착되고 이송거리 및 속도검출을 위한 엔코더 및 거리 센서(초음파센서)가 설치된다. 단, 본 연구에서는 RTGC의 주행제어에 대해서만 고려하고 있으며 컨테이너의 흔들림, 트롤리와 스프레더 운동은 고려하지 않는다.

이와 같은 준비아래 Lagrange 운동방정식을 이용하여 크레인을 모델링하여 상태방정식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, 상태  $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ x_8 \ x_9 \ x_{10}]^T$ ,  $B = [B_1 \ B_2]$ ,  $u = [u_1 \ u_2] = [F_1 \ F_2]$  이다. 이때 각 구동모터의 입력전압을  $v_1, v_2$ , 모터 토크상수를  $K_{m1}, K_{m2}$ 라 하면 구동력은  $[F_1 \ F_2] = [K_{m1}v_1 \ K_{m2}v_2]$ 와 같이 나타낼 수 있고 식 (1)로 표현된 상태방정식의 각 계수행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

† 교신저자 (정회원), lds\_dong@naver.com 010)5158-6227

\* 정회원, kpjiwoo@pknu.ac.kr 016)866-0673

\*\* 정회원, fuheaven@nate.com 017)564-0129

\*\*\* 정회원, bada@pknu.ac.kr 010)8488-4098

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{(M+m)} + \frac{l_1 l}{J_2} & 0 & \frac{1}{(M+m)} + \frac{(l_1-l)l}{J_2} & 0 & -\frac{l}{J_2} & 0 \end{bmatrix}^T \cdot K_{m1}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{(M+m)} - \frac{l_1 l}{J_2} & 0 & \frac{1}{(M+m)} - \frac{(l_1-l)l}{J_2} & 0 & \frac{l}{J_2} & 0 \end{bmatrix}^T \cdot K_{m2}$$

$$C = \begin{bmatrix} 000100000000 \\ 000001000000 \end{bmatrix}, D = [0]$$

위의 식 (2)에서 행렬 A의 요소행렬은 각각 다음과 같이 계산 된다.

$$A_{11} = \begin{bmatrix} \frac{-D_e}{(M+m)} & \frac{-K_e}{(M+m)} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-D_e}{(M+m)} & \frac{-K_e}{(M+m)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-D_e}{(M+m)} & \frac{-K_e}{(M+m)} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{K_{m1} + K_{m2}}{(M+m)} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_{m1} + K_{m2}}{(M+m)} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-D_e \cdot l_1}{(M+m)} + \frac{l_1 \cdot D_3}{J_2} & \frac{-K_e \cdot l_1}{(M+m)} + \frac{l_1 \cdot K_3}{J_2} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A_{21} = [0]$$

$$A_{22} = \begin{bmatrix} \frac{-D_e}{(M+m)} & \frac{-K_e}{(M+m)} & \frac{-D_e \cdot l_1}{(M+m)} + \frac{(l_1-l) \cdot D_3}{J_2} & \frac{-K_e \cdot l_1}{(M+m)} + \frac{(l_1-l) \cdot K_3}{J_2} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-D_3}{J_2} & \frac{-K_3}{J_2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

위 식의 파라미터는 다음과 같이 정의된다.

$F(F_1, F_2)$ : 좌·우측 구동모터에서 발생하는 힘

$M$ : 트랜스퍼 크레인 질량

$m$ : 컨테이너를 포함한 스프레더부 질량

$D_3, K_3, J_2$ :  $O_1$ 을 중심으로 한 회전운동에서의 댐핑상수, 스프링상수 및 회전관성모멘트

$D_e, K_e$ : 크레인 주행운동에서의 댐핑상수 및 스프링 상수

$l$ : 크레인 폭

$\theta_3$ : 각 회전중심에서의 회전 각

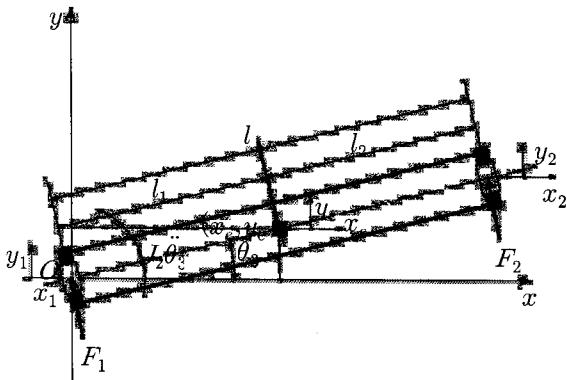


Fig. 1 A schematic diagram for analysing system dynamics

### 3. 시뮬레이션 검토

2자유도 서보계 설계법에 따라 제어계를 설계하고 시뮬레이션을 수행하였다. [1, 2]

Fig. 2는 이동거리를 2m 설정했을 때 주어진 경로를 따라 크레인이 동한 거리를 나타내고 있다.  $y_1, y_2$ 가 크레인 좌·우측 이동거리이며,  $x_1, x_2$ 는 설정된 경로에서 벗어난 정도를 나타내며 정상상태에서 그 목표값에 오차 없이 추종하고 설정된 경로를 벗어나지도 않고 있음을 알 수 있다.

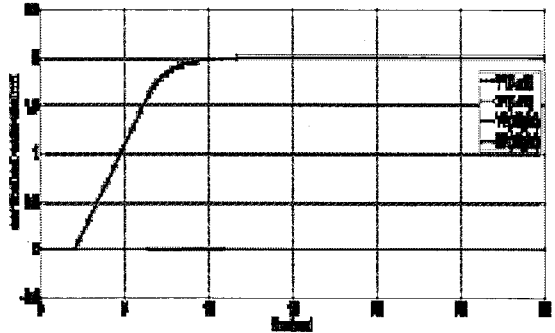


Fig. 2 Step response for system (2m)

### 4. 결 론

항만하역 시스템 효율성을 향상시키기 위해서는 RTGC의 자동화는 중요한 과제이다. 특히 RTGC의 자동주행문제는 가장 우선적으로 고려되어야 할 사항이고 가장 기본적인 문제이다. 따라서 본 연구에서는 강인한 추종성능을 가진 2자유도 서보계 설계법을 이용하여 주행 제어계를 설계한다. 시뮬레이션 결과로부터 크레인의 위치제어목표를 충분히 달성할 수 있음을 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업“고효율 항만하역 시스템 기술개발”의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김영복, 서진호, 이권순 (2006). “트랜스퍼 크레인의 모델링 및 고정도 주행제어기 설계에 관한 연구”, 한국해양공학회지, 제20권, 제6호, pp 114-122.
- [2] Fujisaki, Y. and Ikeda, M. (1991). “Synthesis of Two-Degree-of-Freedom Servosystems”, Trans. SICE, Vol 27, No 8, pp 907-914.