

자동화크레인의 가속도 특성에 관한 연구

† 김환성* · 김명규** · 잔록황선*

*한국해양대학교 물류시스템공학 교수, **대한상공회의소

A Study on Acceleration Characteristics for Automated Rail Mounted Crane

† Hwan-Seong Kim* · Myeong-Kyu Kim** · Tran Ngoc Hoang Son*

* Dept of Logistics, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

** The Korea Chamber of Commerce & Industry, Seoul 100-743, Korea

요 약 : 종래의 크레인에서는 생산성 향상을 목적으로 최단 시간내에 작업을 행하는 최단시간제어기법이 사용되었으며, 이를 위해서 목표 위치에 대해서 속도 패턴을 생성하고 속도 패턴에 따라 제어를 행하고 있다. 그러나 최근 항만에서도 녹색항만정책에 의해 에너지의 고효율 사용법이 논의되어 왔다. 본 연구에서는 ARMC에 대한 에너지 효율을 검토하기 위한 기초연구로서 ARMC의 3D 모델링을 행하며 ARMC의 가속도 특성에 대하여 분석하도록 한다. 먼저, ARMC의 비선형방정식을 통한 3D 상태방정식을 유도하였으며, 시뮬레이션을 통한 ARMC의 가속도 특성을 고찰하여 이상적인 경제적 운전 방법에 대해서 고찰한다.

핵심용어 : 자동화크레인, 모델링, 가속특성

ABSTRACT : By growing the capacity of container in the world, main container terminal in countries introduces the automated container equipments and try to improve the productivity for handling the container. ARMC(Automated Rail Mounted Crane) is installed in automated container terminal and expected the high efficiency of productivity by using minimum-time control method. However recently by the GREEN Port policy, high energy efficiency method for container equipments is importance issue in ports. In this paper, the 3-dimensional modelling of AMRC is discussed and the acceleration characteristics for ARMC is analyzed. By using the results of this paper, the advanced controller for the crane will be developed in future.

KEY WORDS : Automated Rail Mounted Crane, Modelling, Acceleration characteristics

1. 서 론

세계적으로 항만에서의 컨테이너 화물량이 계속 증가하고 있는 가운데, 선진 항만에서는 자동화컨테이너 터미널을 도입하여 물류 서비스를 향상시키며 물류비 절감에 노력하고 있다.

국내에서도 자동화컨테이너 터미널이 개장되었으며, 야드에서는 ARMC(Automated Rail Mounted Crane)을 이용하여 내부트럭에 대해서는 완전자동화를 외부트럭에 대해서는 부분자동화를 행하여 생산성향상에 기여하고 있다.

종래 크레인에 대한 연구는 주행 및 승강에 대한 모델링 해석 및 이에 대한 제어기 설계가 중심이었다[1]-[2]. 이로서 대부분의 ARMC는 생산성 위주로서 최단제어법에 근거한 제어법을 적용하고 있다. 그러나 최근 녹색항만 정책에 의하여 항만내에서의 에너지 효율 등에 대한 적극적인 검토가 필요하며, 이로서 각 장비의 특성을 고려한 에너지 절감제어법이 필요할 실정이다.

본 연구에서는, ARMC에 대한 에너지 효율을 검토하기 위한

기초연구로서, ARMC의 모델링을 행하고 ARMC의 가속도특성을 고찰하여 경제적인 운전모드에 관하여 고찰하도록 한다. 이로서 본 연구 결과는 향후 에너지 효율을 위한 새로운 제어기 개발에 활용될 것으로 사료된다.

2 ARMC 3-D 모델링

자동화 컨테이너 터미널에서 사용되는 야드 크레인은 레일형으로서 컨테이너를 야드 내에 적재 또는 반출하는데 사용되는 장비이며, Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

먼저, 크레인 모델을 유도하기 위해 다음과 같이 가정한다.

- (1) 화물은 집중질량이며, 로프의 흔들림 마찰은 무시한다.
- (2) 트롤리 및 크레인의 질량에 변속기 및 모터의 관성을 포함하며, C_x 에는 모터의 역기전력정수를 포함한다.

위의 가정 하에 라그랑주 운동방정식을 이용하면, 다음과 같은 비선형 크레인 모델을 얻을 수 있다.

$$(M_T + m)\ddot{x}(1 - \cos^2\theta - m^2\sin^2\theta) - m\cos\theta(2\dot{\theta} + g\sin\theta) + m\sin\theta(F_1 - C_f\dot{t} + m\dot{\theta}^2 + mg\cos\theta) + C_x\dot{x} + 2m\cos\theta\dot{\theta}$$

† 통신회원, kimhs@hhu.ac.kr, 010-7540-2409

$$-ml\sin\theta\ddot{\theta} = F_x \quad (1a)$$

$$ml^2\ddot{\theta} + ml\cos\theta\ddot{x} + 2ml\dot{l}\dot{\theta} + mgl\sin\theta = 0 \quad (1b)$$

$$(M_l + m)\ddot{l} + m\sin\theta\ddot{x} + C_l\dot{l} - ml\dot{\theta}^2 - mg\cos\theta = F_H \quad (1c)$$

$$M_C\ddot{y} + C_y\dot{y} + K_y y = F_y \quad (1d)$$

여기서 M_T, M_b, M_C 는 각각 트롤리, 로프 및 크레인 질량을 나타내며, m 은 스프레더를 포함한 화물의 질량, l 은 로프 길이, θ 로프의 흔들림 각, g 는 중력가속도, C_x 는 x 축 방향으로 트롤리 이동시의 마찰계수, C_y 는 y 축 방향으로 크레인 이동시의 마찰계수, K_y 는 y 축 방향으로 크레인 이동시의 탄성계수를 나타낸다.

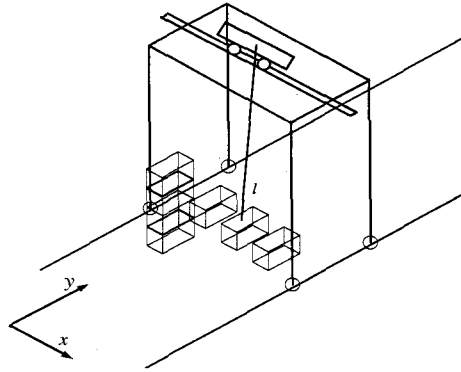


Fig. 1 Transfer crane in container terminal

위의 (1)식에서 갠트리, 트롤리, 호이스트 속도제어가 가능하다고 가정하면 다음 관계를 고려할 수 있다.

$$\ddot{x} = u_x \quad (2a)$$

$$\ddot{\theta} = -\frac{\ddot{x}}{l} - \frac{g\theta}{l} \quad (2b)$$

$$\ddot{l} = -C_l\dot{l} + u_l \quad (2c)$$

$$\ddot{y} = -C_y\dot{y} + u_y \quad (2d)$$

위의 식을 이용하여 (1)식으로부터 다음과 같이 변환된다.

$$\dot{x}_1 = \dot{x} = x_2 \quad (3a)$$

$$\dot{x}_2 = u_x \quad (3b)$$

$$x_3 = \theta = x_4 \quad (3c)$$

$$\dot{x}_4 = -a u_x - b x_3 \quad (3d)$$

$$x_5 = \dot{l} = x_6 \quad (3e)$$

$$\dot{x}_6 = -C_l x_5 + u_l \quad (3f)$$

$$x_7 = \dot{y} = x_8 \quad (3g)$$

$$\dot{x}_8 = -C_y x_8 + u_y \quad (3h)$$

단, K_y 는 공기에 의한 탄성으로서 무시하였으며, a, b 는 트롤리 이동에 발생하는 요소로서 상수로 가정하였다.

(3)식으로부터 ARMC의 상태방정식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} \quad (4a)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} \quad (4b)$$

여기서 \mathbf{x} 는 상태벡터, \mathbf{u} 입력벡터 및 \mathbf{y} 는 출력벡터를 각각 나타내며 다음과 같다.

$$\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ x_8]^T$$

$$\mathbf{u} = [u_x \ u_l \ u_y]^T$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -C_l & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -C_y \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3. ARMC 가속도 특성

본 연구에서는 ARMC의 가속도 특성을 파악하기 위해 가속도를 변경하면서, 이동거리 및 에너지소비량을 분석하였으며 그 결과는 Table 1과 같이 나타난다.

Table 1 Acceleration Characteristics for ARMC

| | case1 | case2 | case3 | case4 | case5 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Acceleration[m/s ²] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Position[m] | 0.445 | 0.940 | 1.438 | 1.936 | 2.434 |
| Average energy consumption | 0.909 | 1.904 | 2.903 | 3.902 | 4.902 |

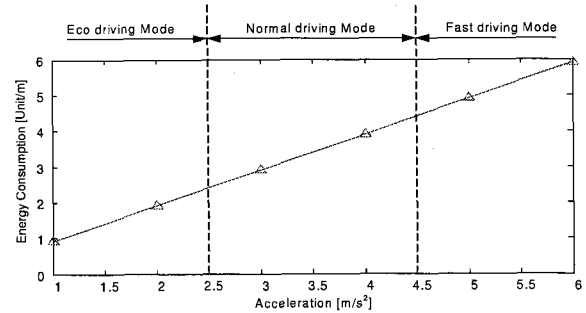


Fig. 2 Driving mode considering acceleration

Fig. 2에서는 가속도 특성에 따른 운전모드를 분류하였으며, 운전에 따른 에너지소비량에 대한 시간특성이 구해질 수 있다.

4 결론

본 연구에서는 ARMC에 대한 3차원 비선형모델 및 선형화를 통한 상태모델을 도출하였다. 또한 ARMC 가속 특성을 고찰하였으며, 이로서 경제적 운전모드를 고찰할 수 있었다. 향후 에너지 효율을 위한 새로운 제어기 개발에 활용될 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 홍금식, 손성철, “크레인 진자운동의 시간최적제어에 대한 단계적 접근”, 대학기계학회 춘계학술대회, pp. 453-457, 1996.