

컨테이너 크레인 최적 운전시간의 시뮬레이션을 위한 의사결정지원시스템

신 재 영*

A Decision Support System for Simulation of the Container Crane Cycle Time

J. Y. Shin

Key Words : 컨테이너크레인(Container Crane), RMGC(Rail Mounted Gantry Crane), RTGC (Rubber Tyred Gantry Crane), OHBC(Over Head Beam Crane), 의사결정지원시스템(Decision Support System), 모의실험(Simulation)



Abstract

The purpose of this paper is to develop the cycle time simulation system for the various types of container cranes - container cranes, RMGC, RTGC, OHBC. First, the paper describes the derivation of the cycle time formula for crane simulation and the development of the simulation logic. And, the paper includes details on the design and implementation of the computer simulation system.

1. 서 론

본 논문에서는 컨테이너를 취급하는 크레인들의 운전시간을 시뮬레이션하기 위한 공식을 유도하고, 실제 컴퓨터 시뮬레이션을 할 수 있도록 설계하고 구현한 시스템을 소개하고자 한다. 크레인을 제작하는 기업에서는 구매자가 요구하는 가격대의 크레인을 제작할 때 크레인의 성능을 알아보는 것을 매우 중요하게 생각한다. 크레인의 전체 성능을 크게 좌우하는 요소중의 하나는 모터의 성능이다. 일반적으로 크

레인에는 수직 운동을 위한 모터와 수평 운동을 위한 모터 2 개가 장착되며, 이들 성능의 조합에 의하여 크레인 전체의 성능이 결정된다. 그러나 이러한 모터의 성능이 크레인 전체의 성능에 어떻게 영향을 미치는 지를 알기 위해서는 단순한 공식으로는 파악하기 어렵다. 따라서, 각 과정들을 시뮬레이션해보고 전체의 성능을 결정할 수 밖에 없다. 실제 현업에서 수작업으로 모터 및 크레인 사양에 따른 운전시간의 시뮬레이션을 하고 있는데, 시간이 매우 오래 걸리고, 그 정확도도 떨어진다고 한다.

* 정희원, 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

더욱이 사용하는 시물레이션 공식과 로직이 단순하며, 복잡한 과정을 고려할 때는 사용할 수가 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 효율적인 컴퓨터 시물레이션 시스템을 개발하기 위해서 다양한 상황에 따른 공식들을 유도하고, 이를 기초로 실제 시스템을 개발하였다.

외국의 경우 크레인과 관련하여 이론적인 연구가 진행되고 있으나 크레인 자동제어 시스템에 관한 연구가 대부분이고, 운전시간과 관련된 경우는 미미하다. 소프트웨어와 관련하여서는 상업적으로 가용한 것은 없는 실정이다. 물론 항만 전체 차원에서의 효율적 관리 및 생산성 시물레이션 연구에서 크레인의 운전이 다루어진 연구(Daganzo et al(1989, 1990, 1993), Van Hee et al(1988a, 1988b))는 있지만 전반적인 크레인의 효율적인 작업 스케줄을 정하는 해법을 제시하거나 아니면 크레인 운전을 매우 단순화하여 다루고 있다. 본 개발 연구에서 고려하는 시스템과는 상당한 차이가 있다 하겠다.

본 논문에서 제안하는 시스템을 활용할 경우 기대되는 효과는 현업에서 수작업으로 수행 중인 계산 부담을 경감할 수 있고, 시물레이션을 통하여 효율적인 크레인 운전시간을 찾을 수 있으며, 크레인 수주시 기계의 성능을 보다 잘 소개할 수 있는 프로그램으로 활용될 수 있고, 총체적인 항만의 관리 및 시물레이션을 위한 프로그램 개발시 중요한 한 부분으로 이용될 수 있다는 점이다.

2. 시물레이션 모형 설계

2.1 대상 크레인의 특성

본 연구에서 대상으로 하는 컨테이너 크레인은 컨테이너크레인(Container Crane), RMGC(Rail-Mounted Gantry Crane), RTGC(Rubber-Tyred Gantry Crane)이다. 이외에도 컨테이너를 취급하는 크레인으로서 공장 크레인과의 유사한 콩크리트 구조물로 만든 OHBC(Over-Head Beam

Crane)가 있는데, 이 크레인의 시물레이션 과정은 RMGC와 같으므로 위의 3 가지 크레인을 연구의 대상으로 하였다. 각 크레인의 기능과 작업과정은 다음과 같다.

① 컨테이너크레인

컨테이너크레인은 부두의 안벽에 접안한 선박으로부터 컨테이너를 양하하거나 또는 선박으로 컨테이너를 선적하는 작업을 수행한다. 컨테이너가 크레인의 하단에 위치하면 크레인이 컨테이너를 집어 상하 또는 좌우로 움직여 갑판위(Deck)나 선창내(Hold)의 정해진 위치로 옮기게 된다. 선창내의 작업인 경우에는 작업의 안정을 위해 컨테이너가 Hatch를 통과할 때 크레인 속도를 줄이게 된다.

② RMGC

이 크레인은 컨테이너 야드상에서 컨테이너를 이동하거나 장치하는 작업을 수행한다. 크레인의 구조는 컨테이너들이 보관되어 있는 블록들 외곽으로 레일이 설치되어 있고, 그 레일을 따라 크레인이 움직이게 설계되어 있다. 컨테이너 운반 차량은 크레인 레일 바깥쪽에 위치하여 작업한다. 따라서 작업 과정에서 고려해야 하는 점은 컨테이너 운반차량이 크레인 바깥쪽에 위치하게 되어 컨테이너를 차량으로 옮기거나 반대로 차량에서 야드에 보관하려고 할 때 크레인 다리의 Seal Beam 부분을 넘어가야 한다는 점이 다르다고 하겠다.

③ RTGC

기능은 RMGC와 같으며, 단지 구조가 다른 크레인이다. RMGC는 레일 위를 움직이는데 반해 RTGC는 일정한 레일이 없이 바퀴로 움직이게 설계되어 있다. 작업과정도 RTGC는 RMGC와 거의 같으며, 단지 컨테이너 보관 블록과 차량 이동로(Lane)의 위치에 따라 크레인의 작업 형태가 달라지는데, 이러한 형태들로는 차량 이동로가 중앙에 있고 블록이 이동로 양쪽에 위치하는 양측 적재 형태와 차량 이동로가 양측 끝에 있고 중앙에 컨테이너 보관 블록이 있는 단측 적재 형태가 있다.

2.2 운전시간 계산 공식 유도

본 절에서는 크레인 시뮬레이션 과정에서 필요한 거리 및 시간들을 계산하는 기본 공식을 유도한다.

2.2.1 가감속 시간 및 거리 공식

크레인이 위로(Hoisting) 또는 아래로 이동(Lowering)하거나 수평방향(Traversing)으로 일정한 거리를 운동하는 경우 가감속 시간을 계산해야 할 필요가 있다. 크레인의 가감속 운동이 정지 상태에서 등가속도로 일정 속도 수준까지 가속하고 계속 속도를 유지하다 등가속도로 감속하여 다시 정지 하는 것으로 가정하면 가감속 거리 및 시간 공식은 다음과 같이 유도된다. 공식에서 사용하는 모수(Parameter)는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} v &= \text{정상주행속도} \\ t_a &= \text{정지상태에서 } v \text{ 까지 가속시간} \\ t_d &= v \text{ 에서 정지상태까지 감속시간} \\ l &= \text{총 운행거리} \end{aligned}$$

[계산 공식]

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad l &\geq \frac{1}{2} \cdot v \cdot (t_a + t_d) \text{ 일 경우} \\ \text{가속시간} &= \text{감속시간} = t_a \\ \text{정속시간} &= l/v - (t_a + t_d)/2 \\ \text{가속거리} &= \text{감속거리} = 0.5 \cdot v \cdot t_a \\ \text{정속거리} &= l - \text{가속거리} - \text{감속거리} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad l &< \frac{1}{2} \cdot v \cdot (t_a + t_d) \text{ 일 경우} \\ \text{감속시간} &= \sqrt{\frac{2 \cdot l}{v(t_a + t_d)}} \times t_d \\ \text{가속시간} &= \text{감속시간} \times \frac{t_a}{t_d} \\ \text{정속시간} &= 0 \\ \text{가속거리} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{t_a} \cdot \text{가속시간}^2 \\ \text{감속거리} &= l - \text{가속거리} \\ \text{정속거리} &= 0 \end{aligned}$$

2.2.2 운행거리에 따른 운행시간 계산공식
크레인이 일정 거리를 가감속 운동을 하며

이동할 때, 시뮬레이션 과정에서 전체 이동거리 중 일부 구간까지의 운행시간을 알아야 할 필요가 있다. 이러한 계산은 수직 이동과 수평 이동이 일부 동시에 이루어지는 경우 사용되는데 모수와 계산 공식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} v &= \text{정상주행속도} \\ t_a &= \text{정지상태에서 } v \text{ 까지 가속시간} \\ t_d &= v \text{ 에서 정지상태까지 감속시간} \\ d &= \text{운행거리} \\ s_r &= \text{운행 마지막 속도에서 정지상태까지의 시간} \\ s_l &= \text{운행 마지막 속도에서 정지상태까지의 거리} \end{aligned}$$

[계산 공식]

① $d \leq$ 가속거리

$$\text{운행시간} = \sqrt{\frac{2 \cdot d \cdot t_a}{v}}$$

② 가속거리 $< d \leq$ 가속거리 + 정속거리

$$\text{운행시간} = \frac{d}{v} + \frac{t_a}{2}$$

③ $d >$ 가속거리 + 정속거리

운행시간

$$\begin{aligned} &= \text{가속시간} + \text{정속시간} + \text{감속시간} + s_r - \\ &\sqrt{\frac{2 \times t_d \times (\text{가속거리} + \text{정속거리} + \text{감속거리} + s_l - d)}{v}} \end{aligned}$$

최종 속도가 0가 아닌 경우에는 계산을 위하여 s_r, s_l 이 필요한데 이 모수들은 현재 상태에서 등가속도로 감속을 계속하여 정지 상태에 이를 때까지의 시간과 거리를 나타낸다. 크레인이 하강시 안전을 위해 특정 속도까지 낮추어서 다시 등속 운행하게(Slowdown) 되는데, 이때 최종속도가 0가 아닌 공식이 필요하다.

2.2.3 저속 운행(Slowdown) 계산공식

크레인이 수직 하강할 때, 목표 지점이 가까워지면 작업의 안전을 위하여 크레인 운행 속도를 줄이게 된다. 이와 같이 저속운행을 할 경우에는 일반 속도로 운행시의 가속, 등속, 감속 시간과 거리, 저속운행시의 가속, 등속, 감속 시

간과 거리를 계산할 필요가 있다. 만약 저속 운행을 하지 않는 것으로 하면 하강시의 가감속 공식은 앞에서 설명한 가감속 계산공식을 이용하면 된다.

- x = slowdown 비율
- y = slowdown 높이
- v = 정상주행속도
- t_a = 정지상태에서 v 까지 가속시간
- t_d = v 에서 정지상태까지 감속시간
- l = 총 운행거리

[계산 공식]

$$\textcircled{1} \quad l-y \geq \frac{1}{2} \cdot v \cdot (t_a+t_d) - \frac{1}{2} \cdot (x \cdot y) \cdot (x \cdot t_d)$$

$$\text{가속시간} = t_a$$

$$\text{감속시간} = t_d - x \cdot t_d$$

$$\text{정속시간} = \frac{l-y}{v} + \frac{1}{2} \cdot x \cdot (x \cdot t_d) - \frac{1}{2} (t_a+t_d)$$

$$\text{가속거리} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t_a$$

$$\text{정속거리} = v \cdot \text{정속시간}$$

$$\text{감속거리} = l-y - \text{가속거리} - \text{정속거리}$$

$$\text{slowdown 가속시간} = 0$$

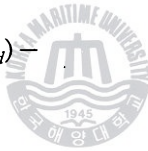
$$\text{slowdown 감속시간} = x \cdot t_d$$

$$\text{slowdown 정속시간} = \frac{y}{x \cdot v} - \frac{1}{2} \cdot x \cdot v$$

$$\text{slowdown 가속거리} = 0$$

$$\text{slowdown 감속거리} = \frac{1}{2} \cdot x \cdot v \cdot x \cdot t_d$$

$$\text{slowdown 정속거리} = y - \text{slowdown 감속거리}$$



$$\textcircled{2} \quad \frac{1}{2} v (t_a+t_d) - \frac{1}{2} (x \cdot v) \cdot (x \cdot t_d) >$$

$$l-y \geq \frac{1}{2} \cdot (x \cdot y) \cdot (x \cdot t_a)$$

$$t_{dec} = \sqrt{\frac{2 \cdot (l-y + \frac{1}{2} \cdot x \cdot v \cdot x \cdot t_d)}{v (t_a+t_d)}} \times t_d$$

$$\text{가속시간} = t_{dec} - x \cdot t_d$$

$$\text{감속시간} = t_{dec} \cdot \frac{t_a}{t_d}$$

$$\text{정속시간} = 0$$

$$\text{가속거리} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{t_a} \cdot \text{가속시간}^2$$

$$\text{감속거리} = l-y - \text{가속거리}$$

$$\text{정속거리} = 0$$

$$\textcircled{3} \quad l-y > \frac{1}{2} (x \cdot v) (x \cdot t_a)$$

$$\text{감속시간} = \text{정속시간} = \text{가속시간} = 0$$

$$\text{감속거리} = \text{정속거리} = \text{가속거리} = 0$$

$$\text{slowdown 가속시간} = x \cdot t_a$$

$$\text{slowdown 감속시간} = x \cdot t_d$$

$$\text{slowdown 정속시간} = \frac{y}{x \cdot v} - \frac{1}{2} \cdot x \cdot (t_a+t_d)$$

$$\text{slowdown 가속거리} = \frac{1}{2} \cdot x \cdot v \cdot x \cdot t_a$$

$$\text{slowdown 감속거리} = \frac{1}{2} \cdot x \cdot v \cdot x \cdot t_d$$

$$\text{slowdown 정속거리} = l - \text{slowdown 가속거리} - \text{slowdown 감속거리}$$

2.2.4 선박의 선창내에서의 저속운동 계산공식
크레인이 갑판을 지나 선창으로 하강할 때는 갑판을 지나갈 때 저속운행을 한 뒤 지나고 나서는 일반속도로 다시 운행하게 되고, 최종 목표 지점이 가까워지면 다시 저속운행을 하게 된다. 따라서 선창 내에서의 저속운동 공식은 2회의 저속 운동을 고려해야하는 점이 일반 저속 운동 공식과 다르다. 모수와 계산 공식은 다음과 같다.

- x = slowdown percent
- y = slowdown 높이
- v = 정상주행속도
- t_a = 정지상태에서 v 까지 가속시간
- t_d = v 에서 정지상태까지 감속시간
- l = 총 운행거리

[계산 공식]

$$\begin{aligned} \text{slowdown 가속거리} &= 0 \\ \text{slowdown 가속시간} &= 0 \\ \text{slowdown 감속시간} &= x \cdot t_d \\ \text{slowdown 감속거리} &= \\ &= \frac{1}{2} \cdot (x \cdot v) \cdot (x \cdot t_d) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad l \geq y + \frac{1}{2} v (t_a + t_d) - \\ \frac{1}{2} \cdot x \cdot y \cdot x \cdot (t_a + t_d) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{가속시간} &= t_a - x \cdot t_a \\ \text{감속시간} &= t_d - x \cdot t_d \\ \text{정속시간} &= \\ &= \frac{(l-y)}{v} + \frac{1}{2} \cdot x \cdot x \cdot (t_a + t_d) - \frac{1}{2} (t_a + t_d) \\ \text{가속거리} &= \frac{1}{2} \cdot v \cdot t_a - \frac{1}{2} (x \cdot v) \cdot (x \cdot t_a) \\ \text{정속거리} &= v \cdot \text{정속시간} \\ \text{감속거리} &= l - y - \text{가속거리} - \text{정속거리} \\ \text{slowdown 정속시간} &= \frac{y}{x \cdot v} - \frac{1}{2} \cdot x \cdot t_d \\ \text{slowdown 정속거리} &= y - \text{slowdown} \\ & \quad \text{감속거리} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad y \leq l < y + \frac{1}{2} v (t_a + t_d) - \\ \frac{1}{2} x \cdot v \cdot x \cdot (t_a + t_d) \\ tdec = \sqrt{\frac{2 \cdot (l - y + \frac{1}{2} \cdot x \cdot v \cdot x \cdot (t_a + t_d))}{v (t_a + t_d)}} \times t_d \\ \text{가속시간} &= tdec \times \frac{t_a}{t_d} - x \cdot t_a \\ \text{감속시간} &= tdec - x \cdot t_d \\ \text{정속시간} &= 0 \\ \text{가속거리} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{t_a} \cdot \text{가속시간}^2 - \\ & \quad \frac{1}{2} (x \cdot v) (x \cdot t_a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{감속거리} &= l - y - \text{가속거리} \\ \text{정속거리} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{slowdown 정속시간} &= \frac{y}{x \cdot v} - \frac{1}{2} x \cdot t_d \\ \text{slowdown 정속거리} &= y - \text{slowdown} \\ & \quad \text{감속거리} \end{aligned}$$

③ $l < y$

$$\begin{aligned} \text{가속시간} &= \text{정속시간} = \text{가속시간} = 0 \\ \text{감속거리} &= \text{정속거리} = \text{가속거리} = 0 \\ \text{slowdown 정속시간} &= \frac{l}{x \cdot v} - \frac{1}{2} x \cdot t_d \\ \text{slowdown 정속거리} &= \frac{l}{x \cdot v} - \\ & \quad \text{slowdown 감속거리} \end{aligned}$$

2.3 시뮬레이션 설계

크레인의 시뮬레이션 과정을 본 절에서는 컨테이너 크레인을 중심으로 소개하겠다. 다른 크레인의 경우는 컨테이너 크레인과의 유사하며 단지 선창내의 작업이 없다는 점만 다르다. 시뮬레이션에서 고려하는 컨테이너 크레인의 동작은 다음과 같은 순서로 이루어진다.

- (1) Hoisting 가속, 정속, 감속 운동.
- (2) Traversing 가속, 정속, 감속 운동. Hoisting 동작 중에 Traversing 동작이 동시에 시작될 수 있음.
- (3) Lowering 가속, 정속, 감속 운동. Traversing 동작 중에 Lowering 동작이 동시에 시작될 수 있음.
- (4) 목표 지점 위에 도착하면 크레인 위치 잡기(Positioning)를 위하여 정지 동작.
- (5) Lowering 가속, 정속, 감속 운동.
- (6) Lowering 저속운행(Slowdown)의 가속, 정속, 감속 운동
- (7) 선창 내의 컨테이너의 경우 Lowering 정상 속도의 가속, 정속, 감속 운동.
- (8) 선창 내의 컨테이너의 경우 Lowering 저속 운행(Slowdown) 가속, 정속, 감속 운동.
- (9) Hoisting 가속, 정속, 감속 운동.
- (10) Traversing 가속, 정속, 감속 운동. Hoisting 동작 중에 Traversing 동작이 동시에 시

- 작될 수 있음.
- (14) Lowering 가속, 정속, 감속 운동. Traversing 동작 중에 Lowering 동작이 동시에 시작될 수 있음.
 - (16) 목표 지점 상공에서의 크레인 위치 잡기 (Positioning)를 위한 정지 동작.
 - (17) Lowering 가속, 정속, 감속 운동
 - (18) Lowering 저속운행(Slowdown)의 가속, 정속, 감속 운동

위의 과정은 컨테이너 크레인 시뮬레이션 과정으로 상세한 시뮬레이션 설계와 공식들은 현대중공업 최종보고서(1995)를 참조하기 바란다.

3. 시스템의 구현

3.1 시스템의 설계

현장 사용자들의 요구사항을 기본으로 하여 크레인 운전시간 시뮬레이션 프로그램을 설계하였다. 본 연구에서 제안하는 시스템은 크게

- (1) 기초자료 입력 모듈
- (2) 크레인 운전시간 시뮬레이션 모듈
- (3) 크레인 운전 애니메이션 모듈
- (4) 계산결과 화면 출력 모듈
- (5) 계산결과 보고서 및 도표 프린터 출력 모듈

로 구성된다. 기초자료 입력 모듈에서는 크레인의 사양에 관한 정보와 사용자 정의에 의한 작업순서 결정등과 관련된 자료를 입력하는데 사용자의 편의성을 고려하여 단순한 문자(Text) 형태의 입력방식 뿐만 아니라 도면상에서의 입력이 가능하도록 하였다. 크레인 운전시간 시뮬레이션 모듈에서는 각 컨테이너 크레인별로 최대 적재시의 자동순서에 따른 운전시간 시뮬레이션, 사용자가 정의한 순서에 따른 운전시간 시뮬레이션, 그리고 모터의 사양변화에 대한 모터 파워 계산 시뮬레이션을 수행한다. 각 모듈별로 상세한 기능은 Table 3.1과 같다.

Table 3.1과 같은 프로그램 모듈들은 크레인

유형별로 각각 따로 설계하고 개발하였다. 전체 시스템의 기본적인 개념적 설계를 그림으로 표시하면 Fig. 3.1과 같다.

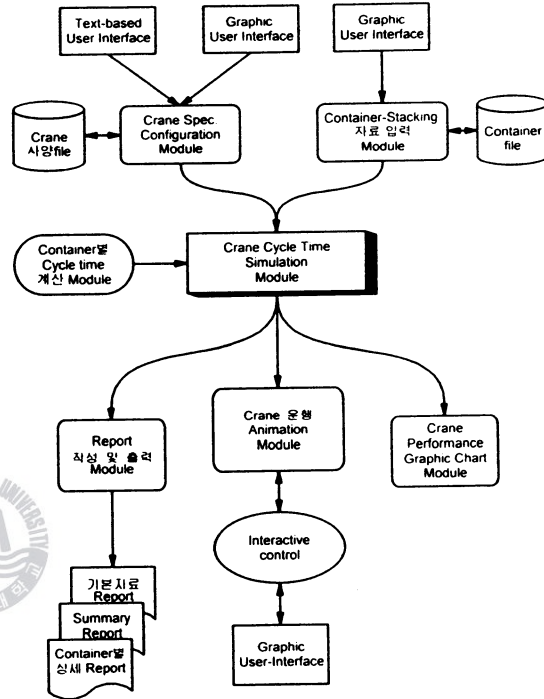


Fig. 3.1 Conceptual Framework for Crane Simulation System

3.2 시스템의 구현

본 연구에서 개발한 시스템은 GUI 환경의 Window 시스템 하에서 사용될 수 있도록 개발되었다. 본 시스템의 개발 및 사용환경은 다음과 같다.

- (1) 본체: 386-based PC(DX) 기종 이상
- (2) 주기억장치: 4M byte 이상 (8M byte 이상 추천)
- (3) 그래픽 환경: Super VGA Graphic Card와 Display Monitor (800x600모드)
- (4) 운영체제: MS-DOS 6.0 이상, MS-Windows 3.1 이상

(5) 개발언어: Visual Basic 3.0

Winodw 자체의 처리속도를 생각해서 주기역장치는 적어도 8M byte를 추천하며, 가능하다면 16M byte 이상이면 더욱 좋다. 그래픽 환경은 최소한 800x600 모드 이상이어야 하며, 1024x768 이상에서도 사용할 수 있다. 개발언어로서 Visual Basic 을 선택한 것은 GUI 환경의 Window 프로그램 제작이 용이하고, 프로그램 확장시 쉽게 변경할 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문이다.

자세한 프로그램의 소개는 현대중공업의 연구보고서(1995)를 참조하기 바란다.

4. 결 론

본 연구에서는 컨테이너를 취급하는 크레인들의 운전시간 시뮬레이션을 설계하고 이를 컴퓨터 시스템으로 구현하였다. 본 시스템은 사용자의 요구사항을 최대한 반영하여 현 실무에서 바로 사용할 수 있도록 개발하였다. 연구 결과 및 개발 시스템의 특징을 소개하면 다음과 같다.

첫째, 사용자의 선택사항에 따른 운전시간 공식을 유도하고, 이를 이용하여 시뮬레이션 과정을 설계하였다. 따라서, 다양한 상황에 대한 크레인 운전시간 시뮬레이션이 가능하다.

둘째, 자료의 입력을 사용자 편의성을 고려하여 GUI 환경에서 개발하였다. 또한 입력의 편의를 위하여 그래픽 입력 모듈을 최대한 많이 개발하였다.

셋째, 시뮬레이션 계산결과에 따른 실시간 애니메이션 모듈을 개발하였다.

넷째, 모터 파워의 시뮬레이션 논리를 프로그램으로 구현하였다.

향후 본 시스템은 컨테이너 터미널의 전체적인 시뮬레이션이나 토탈 터미널 시스템의 구현시 하나의 완성된 모듈로 사용될 수 있으며, 또한 크레인 모니터링 시스템과 연결되어 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 현대중공업의 1995년도 산학협동과제로 이루어진 연구 결과의 일부분이다. 연구비를 지원하여 주신 기업에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. Daganzo, C.F.(1989), "The Crane Scheduling Problem," Transportation Research B, Vol 23B, pp.159-175.
2. Daganzo, C.F. and R.I. Peterkofsky(1990), "A Branch and Bound Solution Method for the Crane Scheduling Problem," Transportation Research B, Vol 24B, pp.159-172.
3. Daganzo, C.F. and M. Taleb-Ibrahimi and B. de Castilho(1993), "Storage Space vs Handling Work in Container Terminal," Transportation Research B, Vol 27B, pp.13-32.
4. Van Hee, K.M., B. Huitink and D.K. Leegwater (1988a), "PORTPLAN, Decisioin Support System for Port Terminal," European Journal of Operational Research, Vol. 34, pp.249-261.
5. Van Hee, K.M., and R.J. Wijbrands(1988b), "Decisioin Support System for Container Terminal Planning," European Journal of Operational Research, Vol. 34, pp.262-272.
6. 현대중공업(1995), 컨테이너크레인 운전시간 계산 시뮬레이터 개발 최종보고서.

Table 3.1 The Function of Subsystem Modules

| 주요 Module 명 | 기 능 | 비 고 |
|-------------------------------------|---|---|
| Crane Spec. Configuration Module | <ul style="list-style-type: none"> - 크레인의 기본사양 자료 입력. - Text 방식과 Graphic 방식의 두가지 입력방식이 있음. - Text 방식은 표형식으로 자료를 입력. - Graphic 방식은 Crane 그림상에서 바로 자료를 입력함. | <p>[입력자료]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 크레인의 설계규격 - 모터의 속도 - 모터 가/감속 시간 - Slowdown거리와 시간 - Positioning Time - 기타 Loss Time - 최대 동시동작 거리 등 |
| Container Stack Data Input Module | <ul style="list-style-type: none"> - Full Stacking이 아닌 경우, 화면상에서 Graphic 방식으로 Stack 모양을 입력 및 수정할 수 있음. - Container들 작업순서를 Stack상에서 지정함. | <p>[입력자료]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stacking Area 의 사양 - Stack 배열형태 - 작업 Container 지정 |
| Cycle-time 계산 Module | <ul style="list-style-type: none"> - Crane의 종류와 그 사양에 따른 컨테이너별 운전시간(Cycle-time)과 전체 작업 소요시간을 계산하여 주는 Module. | <p>[고려한 Crane 동작]</p> <p>Hoisting, Traversing, Lowering, Slowdown, Simultaneous Moving</p> |
| Cycle-time Simulation Module | <ul style="list-style-type: none"> - 계산 및 프로그램의 전체 과정을 작업 요구에 따라 수행하고 통제하는 Main Routine. - 작업요구에 따른 적절한 해법절차를 선택하여 적용함. | <ul style="list-style-type: none"> - Full-stack Simulation - user-defined simulation - Motor power simulation |
| Crane 운전동작 Graphic Animation Module | <ul style="list-style-type: none"> - 계산 결과 내용을 이용하여 실제 운전 과정과 유사한 크레인 동작을 동화면으로 보여줌. - Display Speed는 실제 시간과 같은 Real-mode와 실제 시간 보다 빠른 Fast-mode가 있음. - 작업의 진행을 멈출 수 있음. | <p>[Auto Mode]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Real and Fast Play - 일시정지 가능 - 동작상태와 좌표출력 |
| 각종 Report 작성 및 출력 Module | <ul style="list-style-type: none"> - 계산 결과를 화면 또는 프린터로 출력할 수 있는 각종 Report를 작성하고 출력해줌. - 운전시간에 대한 상세 Report와 요약Report, 그리고 Simulation 분석결과에 대한 Report, 입력 자료에 대한 Report 등이 있음. | <ul style="list-style-type: none"> - 현재 업무에서 사용하는 각종 Report를 중심으로 결정 |
| Cycle-time Graphic Chart Module | <ul style="list-style-type: none"> - Velocity Time Curve 의 화면 출력 및 인쇄 | |