컨테이너터미널 계획을 위한 시뮬레이션 통합관리시스템의 설계

배종욱* · 양창호* · 김갑환** · 윤원영** · 김영훈*

요 약

지금까지 컨테이너터미널을 계획하면서 시뮬레이션을 이용하여 소요자원의 규모나 생산성 등을 분석하려는 연구는 많이 진행되어왔다. 그렇지만 컨테이너터미널의 구성 요소에 대한 전제 조건이 부족한 경우에 도입 가능한 다양한 컨테이너 취급 시스템과 그에 관련된 배치안 및 운영 알고리즘의 조합으로 구성되는 모든 대안들을 시뮬레이션하여 비교 평가하기 위해서는 많은 비용과 시간이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 상세 분석이 필요한 대상을 선정하기 위해 개발 조건을 고려한 컨테이너터미널의 적정 처리능력, 대안별 시설 규모 및 위치 그리고 하역 장비의 종류 및 운영대수 등을 대략적으로 계획하고 시뮬레이션 분석과 운영정보가 이에 체계적으로 연결되어 효율적인 의사결정을 할 수 있게 정보와 흐름을 통합 관리하는 시스템을 설계하는 것이다. 통합관리시스템은 수행 역할에 따라 프로젝트 관리, 운영정보 관리, 능력계획, 배치계획 그리고 시뮬레이션의 모듈들로 구성된다.

본 논문에서는 각 구성모듈의 기능과 모듈간의 입출력 정보를 정의하였고 시뮬레이션에서 필요한 주요 객체 및 제어 흐름을 설계하기 위해 개체지향방법론의 표준인 UML을 이용하였다.

Key Words: 컨테이너터미널, 통합관리시스템, 객체지향, Unified Modeling Language

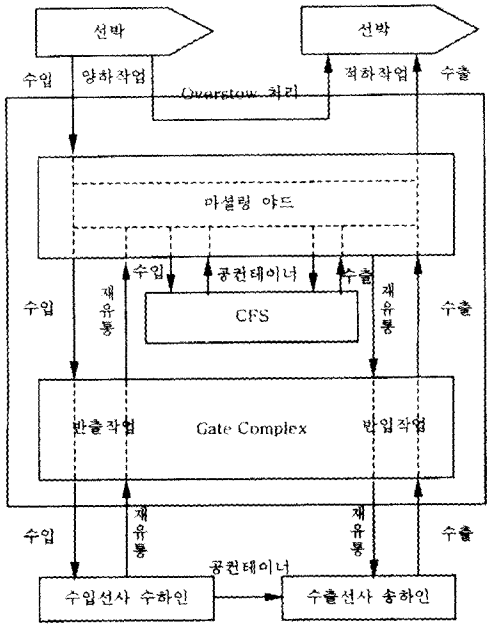
1. 서론

해운산업에서 대량운송과 단위화의 조류는 컨테이너 화물을 크게 증가시켰다. 컨테이너 화물을 위한 신속하고 효율적인 해상운송과 육송운송의 연결점으로서 컨테이너터미널은 하역, 보관, 집적, 혼재의 기능을 수행하는 항만물류시스템이다[1]. 컨테이너터미널에서의 화물 흐름과 수행작업을 <그림 1>에 간략히 묘사하였다. 컨테이너터미널은 선석에 접안한 선박으로부터 수입 컨테이너를 내려 화주에 의해 반출 또는 다른 선박에 실려지기까지 장치장에 보관하거나 화주로부터 반입한 수출 컨테이너를 장치장에 보관 후 선박에 실어준다.

최근 컨테이너터미널간의 경쟁이 심화되면서 점차 대형화 및 합리화됨으로써 개발에 따른 투자가 증가되고 있다. 따라서 개발에 따른 위험을 최소화하기 위한 충분한 사전 검토가 더욱 중요하게 되었다.

* 한국해양수산개발원 항만시스템연구실

** 부산대학교 산업공학과



<그림 53> 컨테이너터미널 내의 화물 흐름

다양한 입지조건과 개발환경이 고려되는 개발 단계에서 대기모형 등의 수리적 분석만으로는 복잡한 취급과정을 가지는 컨테이너터미널 시스템을 충분히 묘사하기 힘들다. 따라서 최근에는 현실과 유사한 모델을 통한 시뮬레이션이 컨테이너터미널 개발에 많이 적용되고 있다[3, 4, 7]. 이들 연구에서는 운영전략이나 알고리즘을 단순화하거나 구성요소의 관계를 통해 변동되는 사항들을 입력변수로 가정한 단순한 모델을 이용하고 있다. 하지만 점차 대상 컨테이너터미널이 채택하는 운영전략이나 운영 알고리즘에 따른 중요성이 인식되면서 개발 단계에서도 이에 따른 영향을 검토할 필요가 있다.

시뮬레이션에 상세한 운영알고리즘과 구성요소들 간의 관계를 포함시키면 장기의 통계량 분석을 위해 소요되는 시간과 비용이 적지 않다. 그렇지만 개발과정에서도 적절한 운영전략 및 알고리즘을 적용시켜 작업량이 급증하는 시기에 목표하는 생산성이나 작업진행이 가능한 지를 검증할 필요도 있다. 다양한 시설규모와 장비대수 그리고 배치 등을 고려하는 모든 대안들에 대해 상세한 시뮬레이션을 실시하여 개발에 필요한 의사결정을 한다면 많은 비용과 시간이 소요된다. 시뮬레이션을 이용한 소요자원 규모 예측에서 실험에 소요되는 시간과 시행착오를 줄이기 위해 Mahadevan[5]과 Shang[6]는 시뮬레이션 기법과 반응표면방법론을 적용하였다.

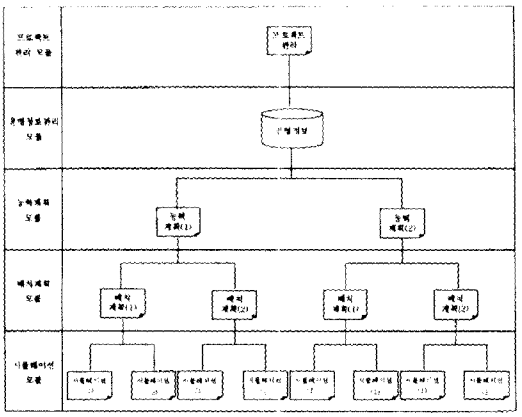
요구사항으로부터 상세 분석이 필요한 적용 가능한 대안들을 도출하고 이에 대한 상세한 검증을 수행함으로써 의사결정의 시간과 노력을 줄이는 것이 중요하다. 또한 그 과정에서 사용되는 정보와 결과들은 체계적으로 관리되어 재사용과 보완이 용이해야 한다.

본 연구의 목적은 컨테이너터미널의 계획 단계에서 소요자원의 규모 및 운영전략을 평가하기 위해 시뮬레이션을 이용할 경우에 효율적인 의사결정이 이루어 질 수 있도록 관련 정보와 기능들을 통합 관리할 수 있는 시스템을 설계하는 것이다. 시스템의 확장성과 유연성을 고려하여 구성 모듈의 역할과 그들간의 정보 흐름을 분석하여 의사결정의 프로세스와 각 구성 모듈이 수행하게 될 기능을 정의하고 주요 기능에 대해서는 객체지향 방법론을 적용하여 객체와 제어 흐름을 설계하고자 한다.

2. 통합관리시스템의 구성

2.1 구성 모듈

시뮬레이션 통합관리시스템을 프로젝트 관리, 운영정보 관리, 능력계획, 배치계획 그리고 시뮬레이션의 5개 모듈로 구성하였다. 구성 모듈들의 의사결정을 통해 생성되는 시나리오 흐름을 <그림 2>에 나타내었다.



<그림 54> 프로젝트의 모듈별 기능

프로젝트 관리 모듈에서는 시스템에서 검토되는 대안들의 계층적 정보와 비교를 담당하고 운영정보 관리

모듈에서는 장비정보와 운영 알고리즘의 데이터베이스를 관리한다. 능력계획 모듈에서는 상세한 시뮬레이션 분석이 필요한 검토 가능 대안을 도출하게 되고 배치계획 모듈에서는 터미널 내 소요시설을 배치한 다음 시뮬레이션에 필요한 수치정보를 생성한다. 시뮬레이션 모듈에서는 선정된 검토안을 상세 분석하여 생산성 및 서비스 수준을 제시한다.

2.2 프로젝트 관리 모듈

상세 분석이 필요한 적용 가능한 대안들을 도출하여 시뮬레이션을 통해 대안 비교가 가능한 생산성과 서비스 수준을 통해 판단할 수 있는 단계별 의사결정 과정을 지원한다. 이때 다양한 검토 시나리오별 관련 정보를 체계적으로 관리·운영함으로써 보다 효율적인 판단이 이루어지도록 지원한다.

프로젝트 관리 모듈을 통해 구현되는 특징은 다음과 같다.

프로젝트 내의 운영정보, 능력계획, 배치계획 그리고 시뮬레이션은 다중 계층적 구조로 연결된다. 따라서 입력자료의 수준과 단위 모듈의 의사결정 내용에 따라 프로젝트 내에서는 복합적인 시나리오가 구성되고 각 시나리오에 따른 분석이 이루어진다. 단계별 주요 입출력 자료를 독립적인 관리함으로써 사용의 용이성을 높인다. 시나리오별 관리를 함으로써 사용자의 다양한 요구사항을 반영하면서도 효과적으로 그 내역을 추적할 수 있게 한다.

2.3 운영정보 관리 모듈

이 모듈은 컨테이너터미널 개발에서 검토될 수 있는 여러 하역 장비의 설계능력에 관한 정보, 컨테이너 취급 시스템 그리고 자원배정에 관한 운영 알고리즘 등의 운영정보를 등록·관리함으로써 운영정보가 능력계획이나 시뮬레이션에서 재사용 및 변경이 용이하도록 지원한다.

사용자의 편리성을 고려하여 데이터베이스를 이용하여 운영정보의 효율적인 관리를 수행하며 하역 장비의 사양으로부터 시뮬레이션을 위한 정보의 해석이 내부적으로 처리됨으로써 직관적인 자료의 입력이 가능토록 한다.

2.4 능력계획 모듈

컨테이너터미널의 전제조건 및 요구사항을 입력받아 적정 처리능력, 소요 자원 규모 그리고 시설의 배치계획을 제공한다. 적정 처리 능력은 안벽의 처리능력, 장치장의 보관능력 그리고 장치장의 처리능력을 종합적으로 검토 애로자원을 분석하여 산정한다. 능력계획의 결과는 사용자의 확인을 거쳐 상세 시뮬레이션 분석의 주요 입력 자료로 활용된다.

능력계획 모듈은 단계별 과정을 거쳐 상세 시뮬레이션이 필요한 대안들을 산출한다. 단계별 기능에 대한 입출력 정보와 구현 방법은 <표 1>에 정리하였다.

<표 1> 능력계획의 주요 기능별 입출력과 구현방법

기능 \ 항목	주요 입력물	주요 출력물	구현방법
안벽 처리능력 산정	• 입항예정 선형정보 • C/C의 총 작업 생산성	• 연간 하역 물동량 • C/C 투입대수	시뮬레이션
화물 재고량 산출	• 연간 하역 물동량 • C/C 투입대수 • 선박 입항계획 • 화물별 장치기간	• 유지 재고량	시뮬레이션
장치장 소요공간	• 유지 재고량 • 화물별 구성비율	• 소요 부지 면적 • 블록의 형태 및 수	수리적모델
게이트 계획	• 연간 처리 물동량 • 외부 트럭 구성 비율 • 외부 트럭 작업시간	• 반입 게이트 수 • 반출 게이트 수 • 반출입 물동량	시뮬레이션
장비 사이클 타임 추정	• 장치장 블록 형태 • 작업 물동량 • 장비의 설계능력	• 장비의 사이클 타임	시뮬레이션
장치장 취급 능력	• 장비의 사이클 타임 • 장치장 블록 형태 • 작업 물동량 • 장비의 설계능력	• 적정 이송장비 대수 • 적정 하역장비 대수	시뮬레이션

안벽 처리능력과 장치장 소요공간 산정을 통해 대안의 범위를 줄인 다음 게이트 처리능력을 산정한다. 배치계획 모듈으로부터 구한 배치정보와 앞 단계까지에서

검토된 처리 물동량을 전제로 하역 장비의 처리능력을 감안한 장치장 취급 능력을 산출한다.

2.5 배치계획 모듈

마셜링 야드의 단수, 열수, 베이수, 블록수를 설정하여 배치함으로써 소요공간에 대해 공간적인 제약이 만족되는 지를 확인하고 주요 시설에 대해 하역 장비의 동선을 설정함으로써 장치장 처리능력과 상세 시뮬레이션 분석에 필요한 수치 및 그래픽 정보를 생성·관리한다.

배치계획 모듈에서는 사용자의 선택에 따라 정방형의 공간 내에 기본 시설을 배치하는 자동모드와 각 필요 시설이 등록되어진 템플릿을 이용하여 하나씩 배치시키는 수동모드를 사용할 수 있다. 또한 시뮬레이션의 애니메이션 구현에 필요한 정보를 생성할 뿐만 아니라 하역장비를 위한 네트워크의 연결성을 사전 분석하여 입력 자료의 검증이 가능케 한다.

2.6 시뮬레이션 모듈

화물이 집중되는 시기를 중심으로 안벽, 장치장, 게이트 영역 등 터미널에서 발생하는 모든 활동들을 시뮬레이션하여 하역 장비와 시설들에 대한 상세한 통계량을 구하여 컨테이너터미널의 생산성과 서비스 수준을 분석한다. 시뮬레이션 실행의 주요 단계별 기능으로는 분석 자료의 입력과 검증, 물동량 자료 생성, 장비별 초기 배치, 시뮬레이션의 수행, 분석 통계량 제시 등이 있다.

3. 시뮬레이션의 설계

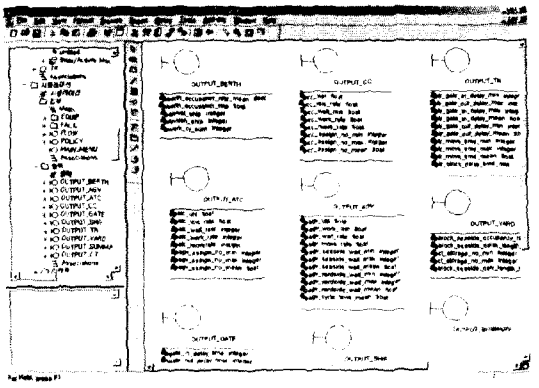
3.1 UML을 이용한 모델링

*UML(Unified Modeling Language)*은 그래픽 언어로서 소프트웨어 중심 시스템의 산출물을 가시화하고, 명세화하며, 구축하고, 문서화하는데 사용되며 사물, 관계, 도해의 세 가지 구성요소로 객체지향방법론을 적용하는데 적절한 것으로 알려져 있다[2].

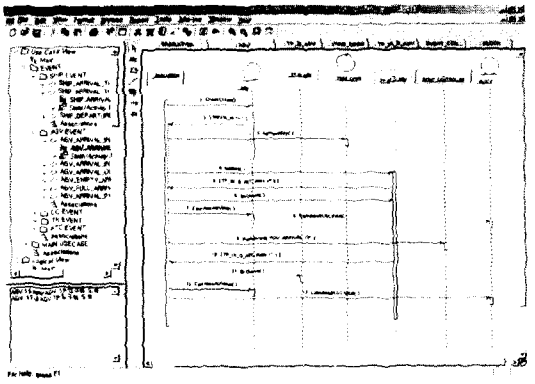
본 연구에서는 UML을 이용하여 시뮬레이션 모델과 관련된 부분을 설계함으로써 컨테이너터미널의 개발에서 고려될 수 있는 다양한 컨테이너 취급 시스템 또는 운영전략에 따라 모델의 변경이나 재사용이 간편하도록 하였다.

3.2 다이어그램을 이용한 모델링

시스템의 정적인 관점에서 모델링하기 위해 <그림 3>과 같이 주요 객체에 대한 클래스다이어그램을 작성하였다. 그리고 시간적 순서에 따른 객체들간의 메시지를 보여주는 동적인 관점에서는 <그림 4>와 같이 시퀀스 다이어그램을 작성하였다.



<그림 55> 클래스 다이어그램의 작성예



<그림 4> 시퀀스 다이어그램의 작성예

4. 결론

필요 자원의 규모나 생산성을 분석하기 위해 시뮬레이션을 이용할 경우에 모든 대안들을 비교 평가하기 위해서는 많은 비용과 시간이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 개발 조건을 고려하여 컨테이

너터미널의 주요 구성요소를 대략적으로 계획하는 능력계획과 상세 모델이 필요한 시뮬레이션 분석으로 이원화시키고 그와 관련된 정보와 의사결정 흐름이 체계적으로 연결될 수 있는 통합관리시스템을 다루었다.

통합관리시스템을 프로젝트 관리, 운영정보 관리, 능력계획, 배치계획 그리고 시뮬레이션의 모듈로 구성되며 각 모듈의 기능과 특징 그리고 각 구성모듈간의 입출력 정보를 정의하였다. 그리고 시뮬레이션 모델의 추후 확장과 보수 유지가 용이하도록 개체지향방법론의 표준인 UML을 적용한 사례를 제시하였다.

참고문헌

[1] 이철영, 항만물류시스템, 효성출판사, 1998.

[2] Booch, G., Jacobson, I., and Rumbaugh, J., *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison-Wesley Pub Co(Sd), 1999.

[3] Frankel, E. G., *Port Planning and Development*, John Wiley & Sons, 1987.

[4] Luca, M. G. et al., "Simulation and Planning of Intermodal Container Terminal", *Simulation*, Vol. 70, No. 4, pp. 213-223, 1998.

[5] Mahadevan, B. and Narendran, T. T., "Buffer levels and choice of material handling device in Flexible Manufacturing System", *European Journal of Operational Research*, Vol. 69, 1993, pp. 166-176.

[6] Shang, J. S., "Robust Design and Optimization of Material Handling in an FMS", *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 9, 1995, pp. 2437-2454.

[7] UNCTAD, *Port Development*, 2nd ed., United Nations, 1985.