

항만 시스템의 자동화를 위한 시뮬레이션 방법론 : 컨테이너 터미널의 예 이 장 세†

(원고접수일 : 2009년 12월 7일, 원고수정일 : 2010년 1월 4일, 심사완료일 : 2010년 1월 15일)

Simulation Methodology for Automation of Port Systems : Example of Container Terminal

Jang-Se Lee†

요 약 : 시뮬레이션 기법은 성능분석을 위하여 다양한 공학 분야에서 활용되는 유용한 방법 중의 하나이다. 항만 시스템의 자동화를 위하여 다양한 장비의 구성 및 운영 등의 효과를 분석할 수 있는 시뮬레이션이 요구된다. 본 논문에서는 항만 자동화를 위한 평가, 분석, 계획 등에 적용 가능한 시뮬레이션 방법론을 제안한다. 이를 위하여 모델링 및 시뮬레이션 환경으로서 이산사건시스템 형식론을 기반으로 한 SES/MB 프레임워크를 적용하여 항만 시스템의 구성원에 대한 모델링 및 시뮬레이션을 수행한다. 제안된 방법론은 항만 시스템의 구성 및 운영 전략 등에 대한 시뮬레이션에 효과적으로 적용될 수 있는 장점을 갖는다. 사례연구를 통하여 제안한 방법론의 타당성을 검토한다.

주제어 : 항만 시스템, 컨테이너 터미널, 항만 자동화 시뮬레이션, 이산사건시스템 형식론

Abstract: A simulation technique is very useful method to analyze the performance on various engineering area. To automate port systems, we have need of simulation to analyze an effect of assigning and operating devices. Thus we propose simulation methodology to be applied to an analysis, evaluation, planning for port automation. To do this, we have adopted the discrete event system specification based system entity structure / model base framework for modeling and simulation environment. We have performed modeling and simulation on entities of port systems such as container crane, yard tractor, transfer crane, etc. The proposed methodology has an advantage being able to effectively simulate on alternatives of composition and operation strategy for port systems. Some case studies will show the validity of proposed simulation methodology.

Key words: Port systems, Container terminal, Port automation simulation, DEVS methodology

1. 서 론

항만 자동화는 항만에서의 물류 공정에 있어서 자동화를 의미하는 것으로 컨테이너 터미널의 자동화가 대표적인 예이다. 자동화를 도입한 터미널의

경우 전체 운영비에 대한 인건비 비중이 채래식 터미널은 49%인데 반해 27%로 줄어든다고 보고된 바 있다[1]. 이에 국내의 주요 컨테이너항인 부산항은 원활한 하역 및 보관이 가능하도록 신항만과

† 교신저자(한국해양대학교 IT공학부, E-mail:jslee@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4577)

항만배후단지 개발에 노력하고 있으며 광양항은 자동화 시스템을 갖춘 자동화 터미널로 운영 중이다 [2]. 국외의 경우 네덜란드 로테르담의 ECT 항만과 독일의 CTA 항만이 자동화 터미널로서 벤치마킹의 대상이 되고 있다. 그러나 이들 항만의 구체적인 운영 알고리즘은 공개되지 않아 효율적인 운영을 위하여 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 이와 같은 자동화 컨테이너 터미널은 기반 시설과 자동화 장비, 이들의 운영 및 통제를 위한 통합정보 시스템으로 구성되며 이들 각각의 유기적인 통합 운영을 토대로 생산성을 극대화 할 수 있다. 따라서 많은 자동화 장비를 효율적으로 활용할 수 있게 해 주는 운영시스템의 개발이 중요한 과제가 되고 있다[3].

한편, 모델링과 시뮬레이션은 현존하는 시스템 또는 개발하고자 하는 시스템에 대하여 성능평가 또는 타당성 분석 등을 위하여 공학의 다양한 분야에서 활용되고 있으며 항만 시스템의 기존 장비들과 자동화 장비들에 대한 성능분석 및 운영의 타당성 분석을 위하여 시뮬레이션 연구가 필수적이다. 이에 수리적 모델을 개발하거나 범용의 시뮬레이션 도구를 활용하고 있으나 수리적 모델의 경우 항만 시스템과 같은 다양한 구성요소의 상호 연관된 동적 특성을 반영하기에는 어려움이 있다. 또한, 범용의 시뮬레이션 도구의 경우 사용에 편리성은 있으나 융통성이 결여되는 단점이 있어 목적에 따른 다양한 요구조건을 반영할 수 있는 시뮬레이션 방법의 개발이 요구된다[4-6].

따라서 본 논문은 항만 자동화를 위한 다양한 요소 및 운영에 대한 분석, 평가, 계획 등에 효과적으로 활용할 수 있는 모델링 및 시뮬레이션 방법의 제시를 주목적으로 한다. 이를 위하여 시뮬레이션 기반 환경으로 객체지향, 모듈러 특성을 갖는 SES/MB(System Entity Structure/Model Base) 프레임워크를 기반으로 요소들을 분석하고 해당 요소에 대한 이산사건 시스템 모델링 및 시뮬레이션을 수행한다. 제안된 방법론은 항만 시스템의 구성 및 운영 전략 등에 대한 시뮬레이션에 효과적으로 적용될 수 있는 장점을 갖는다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다.

1장의 서론에 이어 2장에서 관련연구로서 SES/MB 프레임워크에 대하여 소개하고 3장에서 항만 자동화를 위한 시뮬레이션 방법론을 제시한다. 4장에서는 사례연구로서 장비구성 및 운영방법에 따른 시뮬레이션 적용 결과를 보임으로써 제안하는 방법론을 검증하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 SES/MB 프레임워크

시스템의 모델링 및 시뮬레이션을 위하여 시스템의 구조와 행위에 대한 모델링 방법이 요구된다. Zeigler에 의해 제안된 SES/MB 프레임워크 [7,8]는 시스템의 구조와 행위에 대한 체계적인 모델링 방법을 제공한다. SES/MB는 시스템의 구조 모델링을 위한 수단을 제공하는 System Entity Structure(SES)와 시스템의 동역학적 특성을 나타내는 모델들로 구성되어 시스템을 구성하는 요소들에 대한 행위 모델링을 위한 수단을 제공하는 Model Base(MB)로 구성된다.

SES는 구성관계, 구성원의 종류, 구성원들의 결합구조 그리고 제약조건 등의 시스템에 대한 구조적 지식을 특정한 형식으로 표현한다. SES는 기본적으로 엔티티와 3가지 모드 즉, aspect (decomposition), specialization, multiple로 구성된다. 엔티티는 어떤 개체를 나타내는 모델에 해당하며 여러 개의 aspect와 specialization을 가질 수 있다. aspect는 엔티티의 분할구조로서, 여러 개의 자식 엔티티를 가질 수 있다. Specialization은 엔티티의 분류로서 종류들을 나타낸다. Multiple은 같은 종류의 다수 엔티티의 집합을 나타낸다. SES로 표현되는 여러 가능한 구조 중에서 하나의 대안 구조를 선택하는 과정을 가지치기(pruning)라고 하며 이 결과로 Pruned Entity Structure(PES)가 생성된다. SES와 PES에 대한 예는 4.1절에서 제시한다.

MB는 절차적 특징을 가지며, 동역학적 그리고 기호적인 표현 수단을 제공하는 모델들로 구성된다. MB의 각 모델들은 SES를 구성하는 단말 엔티티들로서, 시뮬레이션을 위하여 선택된 PES의 해당 엔티티와 주어진 결합(coupling)관계에 의해 상호 결합됨으로써 전체 시뮬레이션 모델을 구성하게 된다.

2.2 DEVS 형식론

앞서 언급한 MB를 구성하는 모델의 동역학적 행위의 표현을 위하여 본 논문에서는 Zeigler가 제안한 이산사건 시스템 형식론(DEVS : Discrete Event System Specification)을 기반으로 한다[7]. 이산 사건 시스템 형식론은 연속적인 시간상에서 이산적으로 발생하는 사건에 대한 시스템의 행위를 표현한다. DEVS모델은 대상 시스템의 동작을 기술하는 원소(atomic)모델과 연결(coupled) 모델로 구분되며, 이 두 가지 모델을 사용하여 계층적이고 모듈화 된 형태로 모델을 구성할 수 있다. DEVS의 원소모델은 다음과 같이 표현된다.

$$M = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle$$

여기에서 X 는 입력 집합, S 는 상태 집합, Y 출력 집합, δ_{int} 는 외부의 사건이 없는 경우 시간 진행에 따른 모델의 상태 전이를 나타내는 함수, δ_{ext} 는 시스템 외부에서 발생한 사건에 의한 모델의 상태 전이를 나타내는 함수, λ 는 출력 함수, ta 는 시간 진행 함수를 의미한다. DEVS에 의하여 모델링 한 Pseudo 코드의 예는 4.2.1절에서 제시한다.

3. SES/MB 프레임워크 기반 항만 시스템 시뮬레이션 방법론

3.1 항만 시스템 개요

항만 시스템은 선박에서 컨테이너를 양/적하하고 이송/적재 및 화물과 컨테이너의 인수, 인도가 일어나는 장소로서 **그림 1**과 같이 시설배치 및 작업 영역에 따라 안벽시스템, 이송시스템, 야드시스템, 게이트시스템으로 나눌 수 있다[9].

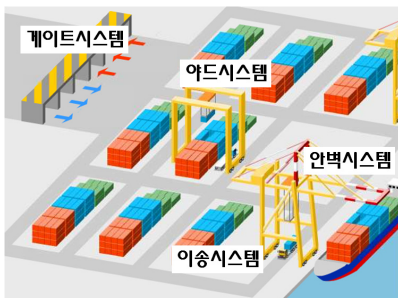


그림 1: 항만 시스템 개념도

안벽시스템은 선박에 적재된 컨테이너를 싣거나 내리는 역할을 담당한다. 대표적인 작업 장비는 컨테이너 크레인(CC)으로 일반적으로 선박 당 몇 대의 CC가 할당되며 시간당 작업개수를 지표로 평가한다. 이송시스템은 안벽과 야드 간의 컨테이너를 운반하는 역할을 담당하며 야드 트랙터(YT) 또는 AGV(Automated guided vehicle)를 주요한 작업 장비로 사용한다. 일반적으로 안벽과 야드 사이에서 타 장비에 대한 수동적인 형태의 작업이 이루어짐으로써 효율적인 작업을 위하여 적절한 수의 이송 장비가 투입되어야 한다. 야드시스템은 터미널 내의 공간에 컨테이너를 장치하여 일정기간 보관하는 역할을 담당한다. 대표적인 장비는 트랜스퍼 크레인(TC)으로서 기계적 성능, 장치공간의 활용 및 비용 측면에서 성능이 평가된다. 게이트시스템은 컨테이너의 반입과 반출을 담당하는 외부차량의 입출구에 해당하며 다양한 정보처리를 위하여 출입시에 비하여 진입시에 많은 시간이 소요된다. 따라서, 항만 시스템은 이와 같은 서브시스템의 각종 장비의 성능과 장비들 간의 유기적인 운용을 통하여 전체 생산성이 향상될 수 있으며 이에 대한 효과적인 분석 및 평가가 요구된다[10].

3.2 SES/MB를 이용한 항만 시스템 시뮬레이션 방법론

항만 시스템 시뮬레이션은 **그림 2**에서와 같이 계층적으로 접근된다.

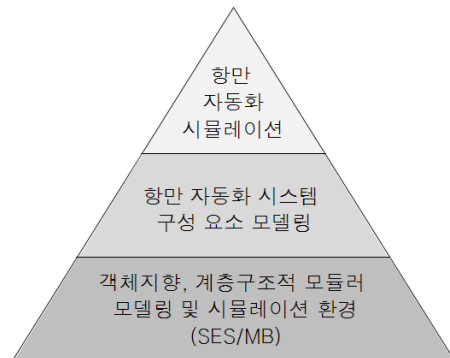


그림 2: 계층적 접근방법

첫 번째 계층은 모델링 및 시뮬레이션을 위한 기반환경을 제공하는 계층으로서 SES/MB 프레임워크

크를 적용함으로써 객체지향적이고 계층구조적 모델화된 모델링 및 시물레이션이 가능한 장점을 갖는다. 두 번째 계층인 항만 시스템 구성요소 모델링은 첫 번째 계층의 기반 환경으로부터 항만 자동화를 위한 시스템의 구성요소 즉 하역, 운송, 이송장비 등에 대한 구조적 모델링과 동적 특성에 대한 DEVS 형식론 기반 모델링을 수행한다. 마지막 계층에서는 앞서 언급한 계층의 통합으로 항만 자동화를 위한 시물레이션을 수행한다. 즉, 이전 계층에서 수행된 SES/MB를 기반으로 장비구성, 운영, 신규 장비 도입 등에 따른 다양한 시물레이션을 수행하고 시물레이션 결과를 피드백하여 항만 자동화를 위한 시스템들의 설계, 운용, 의사결정 등에 효과적으로 활용한다.

본 논문에서는 **그림 2**의 계층적 접근을 토대로 **그림 3**과 같은 단계적 접근 방법론을 제안한다.

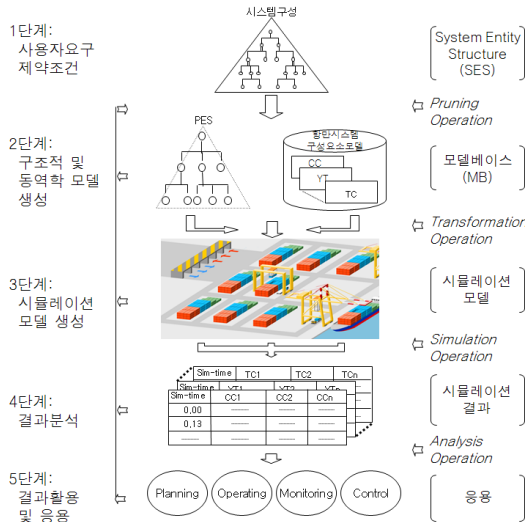


그림 3: SES/MB 기반 항만 시스템 시물레이션 방법론

그림 3에서 1단계는 시물레이션의 사용자 요구 및 제약사항 등에 대한 명세화 단계로서, SES를 이용하여 각 장비 및 환경 등에 대한 제약조건과 요구사항 등을 입력받아 대상 시스템에 대한 구조적 모델링 및 시물레이션 초기조건을 부여한다. 2단계는 SES에 의해 표현된 항만 시스템의 구조에 가지치기를 적용하여 PES 즉, 시물레이션의 대상

이 되는 시스템 구조를 생성한다. 또한 DEVS 형식론에 의하여 항만 시스템의 구성요소인 CC, YT, TC 등에 대한 모델을 구축하여 MB에 저장한다. 3단계에서는 2단계에서 얻어진 시물레이션을 위한 항만 시스템 구조 PES와 MB의 동역학적 모델들을 변환(transformation operation)하여 합성시킴으로써 최종적인 시물레이션 모델을 생성하고 시물레이션을 수행한다. 4단계에서는 시물레이션 수행 결과에 대한 통계 자료를 도표나 테이블 등 다양한 방법을 통하여 제공함으로써 마지막 5단계에서 안벽시스템, 이송시스템, 야드시스템, 게이트시스템 및 운영 통제시스템의 계획, 운용, 감시, 제어를 위하여 다양한 활용이 이루어질 수 있다.

4. 사례연구

제안된 방법론의 적용 가능성을 검토하기 위한 사례연구로서 간단한 항만 시스템에 대한 모델링 및 시물레이션을 수행하였다.

4.1 구조적 모델링

그림 4는 항만 시스템의 컨테이너 터미널 전반에 대한 구조[10]를 SES로 도식화한 것이다. 그림에서 최상위 엔티티인 항만 시스템 시물레이션은 항만시스템과 EF로 분할된다(decomposition). 먼저, 항만 시스템을 살펴보면 게이트장비, 운송장비, 야드장비, 안벽장비 등의 네 종류로 분할되며 각각은 multiple 엔티티로서 다수의 장비들로 구성될 수 있음을 의미한다. 또한 게이트장비는 Bar code, DSRC(Dedicated Short Range Communications), RFID(Radio Frequency Identification), 영상인식 등으로 분류(specialization)될 수 있으며, 운송장비는 YT, AGV, SHC(Shuttle Carrier)와 ALV(Automated Lifting Vehicle)로 분류된다. 야드장비는 TC의 일종인 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)와 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane), 그리고 OHBC(Over Head Bridge Crane), SC(Straddle Carrier) 등으로 분류되고 안벽장비는 single, dual, double trolley CC, Supertainer CC로 분류될 수 있

다. 한편, EF는 실험틀로서 작업을 발생시키는 Generator와 시뮬레이션의 결과를 분석하는 Transducer로 분할된다.

항만 시스템에 대한 시뮬레이션 모델 구조를 나타낸다.

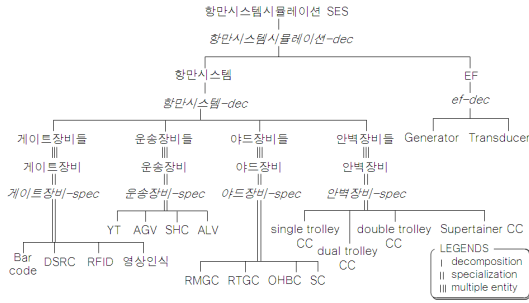


그림 4: 항만 시스템의 구조적 표현(SES)

그림 4와 같이 구축된 SES에 가지치기를 적용하여 얻은 하나의 항만 시스템 시뮬레이션 구조 (PES)의 예는 그림 5와 같이 표현될 수 있다. 그림 5는 본선하역을 위한 항만 시스템에 대한 간단한 PES로서 항만 시스템은 3개의 single trolley CC, 안벽장비와 6개의 RMGC, 야드장비, 그리고 9개의 YT, 운송장비로 구성된다. 또한 실험틀은 선박의 양하작업을 발생시키는 Generator와 야드에 장치가 완료된 결과를 수집하는 Transducer로 구성된다.

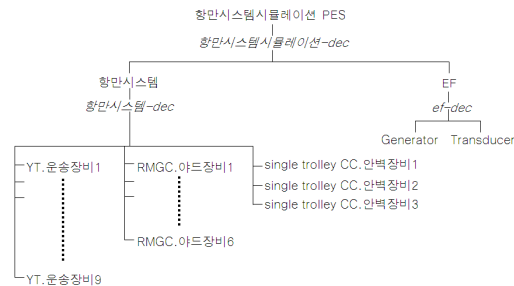


그림 5: 그림 4에 대한 PES의 예

이와 같이 생성된 대상 시뮬레이션 구조 즉, 항만 시스템 시뮬레이션 구조상의 각 단말 노드에 MB에 저장된 해당 동역학 모델(CC, YT, TC 등)이 합성됨에 의해 최종적인 시뮬레이션 모델이 생성된다. 그림 6은 그림 5의 PES에 의해 생성된

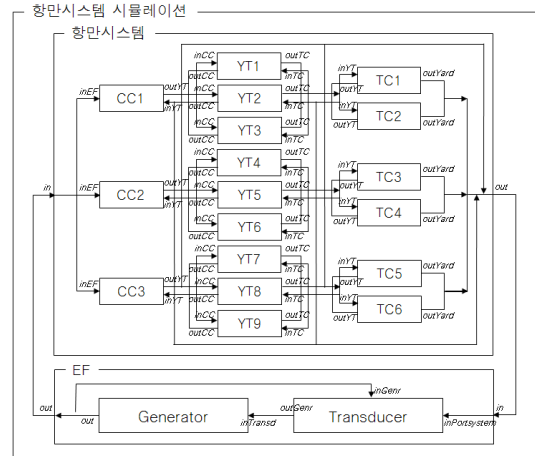


그림 6: 그림 5에 대한 시뮬레이션 모델 구조

4.2 동역학적 모델링

항만 시스템 시뮬레이션은 앞 절의 SES에서 설명한 바와 같이 다양한 구성원 즉, Bar code, RFID, YT, AGV, RMGC, RTGC, CC, Generator, Transducer 등으로 구성된다. 따라서 이와 같은 SES의 단말 노드들에 대한 동역학적 모델링이 요구되며, 본 논문에서는 사례연구로서 CC, YT, TC, Generator, Transducer에 대한 양하작업[11]에 대한 DEVS모델링을 수행하였다.

4.2.1 CC(Container Crane)

컨테이너 크레인(Generator)은 부두의 안벽에 설치되어 선박으로부터 컨테이너를 부두로 하역(양하)하고 부두에 있는 컨테이너를 배에 선적(적하)하는 기능을 갖는 대표적인 안벽장비이다.

그림 7은 CC모델의 상태전이도를 나타낸다. 자세히 설명하면, CC는 Generator로부터 선박의 양하작업 지시(start)를 받으면 'lifting'상태로 전이하여 선박의 컨테이너를 옮긴다. 도착한 YT가 없는 경우 YT들에게 준비(ready)를 알리고 'wait'상태에서 YT를 기다린다. YT가 도착하여 YT로부터 도착(arrived_YT)이 입력되면 'assigning'상태로 전이하여 YT를 할당하고 해당

되는 YT에게 작업시작(assigned_YT)을 알리며 'load'상태로 전이하여 컨테이너를 싣는다. 한편 CC가 'lifting'상태에서 이미 도착한 YT가 있는 경우 바로 'assigning'상태로 전이하여 해당 YT에게 컨테이너를 싣는다. 싣는 작업이 완료되면 해당 YT에게 완료됨(done_YT)을 알리고 'checking'상태로 전이하여 다음 작업의 유무를 판단하며 작업이 있을 경우 'lifting'상태로 전이하여 다음 작업을 진행한다. 작업이 없을 경우 'idle'상태로 전이하여 작업을 종료한다. 표 1은 그림7의 상태전이도를 토대로 작성된 CC모델에 대한 DEVS기반 pseudo 코드의 예를 나타낸 것으로 YT, TC, Generator, Transducer 모델도 동일한 방법으로 간단하게 코드화 될 수 있다.

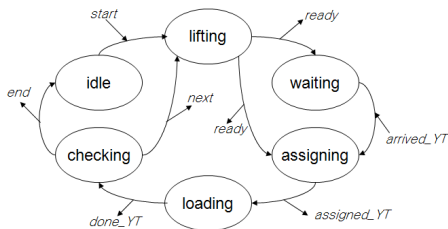


그림 7: CC모델의 상태전이도

표 1: CC모델의 DEVS기반 pseudo 코드의 예

```

state variables
    lifting time, loading time, waiting list
external transition function
    If input from Generator model and current state is idle,
        Then set state as lifting during lifting time
    Else If input from YT model and current state is waiting,
        Then set state as assigning during 0
internal transition function
    If current state is lifting,
        Then If waiting list is an empty,
            Then set state as waiting until during
            Else change state for assigning
        Else If current state is assigning,
            Then set state as loading during loading time
        Else If current state is loading,
            Then set state as checking during 0
        Else If current state is checking,
            Then If CC has a job,
                Then set state as lifting during lifting time
            Else set state as idle during Infinite
output function
    If state is lifting, Then send ready to YT model
    Else If state is assigning,
        Then send assigned_YT to YT model
    Else If state is loading, Then send done_YT to YT model
    Else If state is checking,
        Then If CC has a job,
            Then send end to Generator Model
        Else send next to YT model
    
```

4.2.2 YT(Yard Tractor)

야드 트랙터는 선석의 CC와 야드의 TC 사이에서 컨테이너를 운반하는 가장 보편적인 운송장비이다. 그림 8은 YT모델의 상태전이도를 나타낸다. YT는 CC(TC)사이를 이동하여 CC(TC)의 작업을 대기하고 작업이 완료('loading'상태)되면 TC(CC)로 이동하여 작업을 대기하고 작업이 완료('unloading'상태)되면 남은 작업의 유무를 검사하여 상태전이를 한다.

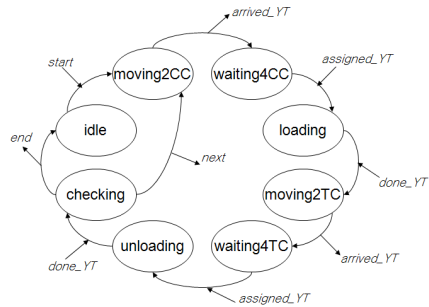


그림 8: YT모델의 상태전이도

4.2.3 TC(Transfer Crane)

트랜스퍼 크레인 은 컨테이너를 야드에 장치하거나 적치된 컨테이너를 야드에 실어주는 작업을 하는 야드장비의 하나이다. 그림 9는 TC모델의 상태전이도를 나타낸다. 컨테이너를 내리기 위하여 이동하여 YT로부터 컨테이너를 내리고('unloading'상태) 야드에 장치한다('loading'상태). 남은 작업의 유무에 따라 이동하거나 종료한다.

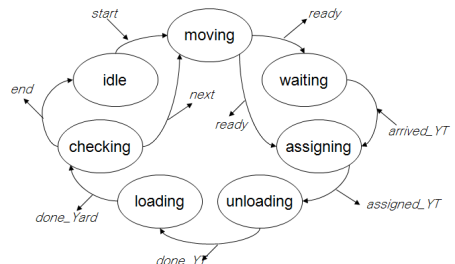


그림 9: TC모델의 상태전이도

4.2.4 Generator

Generator는 실험틀을 구성하는 요소로서 실험

을 위한 데이터를 발생시키는 역할을 담당하도록 다양하게 표현될 수 있다. 예를 들어 선석에서의 배의 도착 또는 게이트에서의 차량의 진입 등으로 모델링하여 시뮬레이션을 위한 데이터를 발생시킨다. **그림 10**은 Generator모델의 양하작업 발생에 대한 상태전이도를 나타낸다. 양하작업의 지시를 발생하고(start), transducer로부터 종료 명령(stop)을 받으면 항만 시스템에 종료 명령(stop)을 발생시킨다.

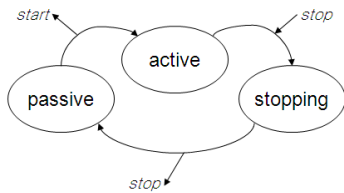


그림 10: Generator모델의 상태전이도

4.2.5 Transducer

Transducer는 시뮬레이션의 시작과 종료를 관리하며 시뮬레이션의 결과를 분석하는 기능을 수행한다.

그림 11은 Transducer모델의 상태전이도를 나타낸다. Generator의 작업발생과 항만 시스템으로부터 전달된 결과를 저장하고 분석을 위한 시간이 경과하면 종료 명령(stop)을 Generator에 전달하여 데이터의 발생을 중지시키고 시뮬레이션을 종료한다.

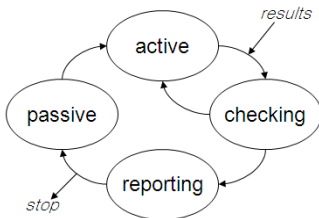


그림 11: Transducer모델의 상태전이도

4.3 시뮬레이션 실험 및 결과

항만 시스템의 자동화를 위한 시뮬레이션의 대표적인 요구인 장비구성에 대한 성능분석과 장비운영에 대한 성능 분석을 수행하였다.

4.3.1 장비구성에 따른 성능분석

선석에 접안한 선박은 Post-Panamax급의 6,000TEU선박으로 설정하고, 3개의 CC를 사용하여 6개의 야드 블록으로 1500개의 컨테이너를 양하하는 시나리오를 가정하였다. CC당 YT의 수를 1, 2, 3, 4대로 늘리면서 총 작업시간의 변화를 평가하였다. C#언어를 이용하여 구현된 DEVS 엔진을 이용하여 모델링과 시뮬레이션 수행하였다. 실험을 위한 구체적인 조건은 **표 2**와 같으며 하역 시간과 작업시간은 각각 평균 112.8, 표준편차 31.2와 평균 87, 표준편차 19.3인 정규분포로 가정하였다.

표 2: 시뮬레이션 실험 조건

		인자	값
CC	구성대수		3대
	하역시간(초)		N(112.8, 31.2)
YT	구성대수	Non-Pooling	CC당 1, 2, 3, 4대
		Pooling	3, 6, 9, 12대
	평균운행속도		20km/h
	평균운행거리		450m
TC	구성대수		CC당 2대
	작업시간(초)		N(87,19.3)

그림 12는 **표 2**에 대한 실험 결과를 나타낸다. **그림12**에서와 같이 총 3대의 CC에 대하여 YT를 CC당 1대씩 구성할 때 보다 CC당 2대씩 구성할 경우 46%정도의 총 양하시간에 감소를 보였으며

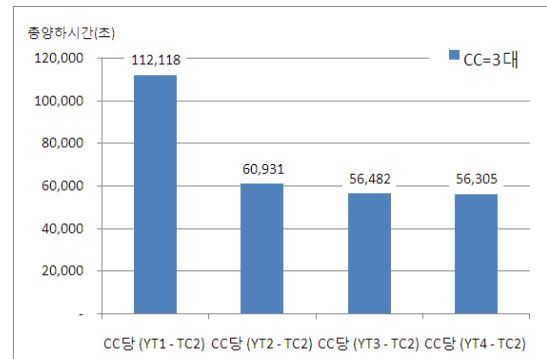


그림 12: 장비 구성별 시뮬레이션 결과

CC당 YT를 3대, 4대로 증가시켰을 경우에는 총 양하시간의 변화가 비교적 미미한 감소를 보임으로써 CC당 YT 2대, TC 2대의 장비구성이 가장 효율적인 것을 알 수 있다.

4.3.2 장비운영에 따른 성능분석

본 절에서는 장비를 운영하는 방법에 따른 성능을 분석을 위하여 CC별로 YT를 고정 할당하여 운영하는 방법(Non-Pooling)과 모든 CC를 통합하고 YT를 공유하여 할당하는 방법(Pooling)에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위하여 운영방법에 따라 모델 간의 결합관계를 변경함으로써 쉽게 시뮬레이션을 할 수 있다. 시뮬레이션을 위한 실험조건은 앞 절과 동일하게 적용하였으며 결과는 **그림 13**과 같다. **그림 13**에서 총 3대의 CC에 총 6대의 YT를 할당, 즉 CC당 2대의 YT를 고정하여 할당(np)한 경우와 YT 6대를 3대의 CC가 공유하는 풀링 할당(p)의 경우 CC의 평균대기시간이 급격히 감소함을 알 수 있으며, 모든 장비의 대기시간이 고정할당보다 풀링할당이 작음을 통하여 풀링 방식의 운영이 효율적인 것으로 판단된다.

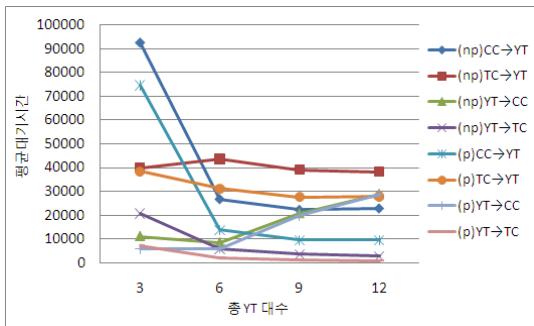


그림 13: 장비 운영별 시뮬레이션 결과

5. 결 론

성능분석을 위하여 다양한 공학 분야에서 활용되는 유용한 방법 중의 하나인 시뮬레이션 기법은 항만 시스템의 자동화를 위하여 다양한 장비의 구성 및 운영 등의 성능분석을 위하여 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 항만 자동화를 위한 다양한 요소 및 운영에 대한 분석, 평가, 계획 등에 효과적으로 활용할 수 있는 모델링 및 시뮬레이션 방법의 제시

를 주목적으로 하였다. 이를 위하여 SES/MB 프레임워크를 기반으로 요소들을 분석하고 해당 요소에 대한 이산사건 시스템 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 방법론은 객체지향, 모듈러 환경을 기반으로 항만 시스템의 구성 요소를 모델링함으로써 항만 시스템의 다양한 구성 및 운영 전략 등에 대한 시뮬레이션에 효과적으로 적용될 수 있는 장점을 갖으며 선석운영시스템, 장치장운영시스템, 게이트운영시스템, 운영통제시스템의 계획, 운용, 모니터링 및 제어를 위한 응용 연구에 적용되어질 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구로는 제안된 방법론을 기반으로 다양한 구성요소에 대한 모델의 상세화 및 항만 자동화를 위한 설계, 운영, 의사결정 등에 직접적으로 활용할 수 있는 자동화 도구의 개발이 요구된다.

후 기

본 연구는 NURI 항만물류사업단의 “산학연관 공동연구 프로그램”지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- [1] 한국 컨테이너 부두 공단, 항만 자동화, http://portal.kca.or.kr/kcaportal?id=kr_info_9, 2009.
- [2] 광양 국제 컨테이너 터미널, GICT 소개, <http://www.gict.co.kr/introduction/?code=introduction&subp=2>, 2009.
- [3] ATSUSHI FUNABASHI, et al, “Contribution to innovation of port logistics by simulation technique for automated container terminal”, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review, vol. 41, no. 1, 2004.
- [4] 윤원영, 류숙재, 김귀래, 김도형, 최홍석, “컨테이너 터미널 시뮬레이터의 객체지향 설계”, 한국항해항만학회 추계학술대회논문집, 제30권 제2호, pp. 325~330, 2006.12.
- [5] 장성용, 용운중, “자동화 컨테이너터미널의 설계 및 운용 최적화를 위한 시뮬레이션 기법의 적용”, 한국시뮬레이션학회 학술대회 논문집,

1998.

- [6] 최용석, 하태영, “지식기반 시뮬레이션에 의한 컨테이너터미널 설계 방안”, 해양정책연구, vol. 20 no. 1, 2005. 6.
- [7] Bernard P. Zeigler, Herbert Praehofer, and Tag Gon Kim, Theory of Modeling and Simulation(second edition), Academic Press, 2000.
- [8] Zeigler, B.P., Multifaceted Modeling and Discrete Event Simulation, Academic Press, 1984.
- [9] 양창호, 최종희, 최용석, 하태영, “차세대 컨테이너터미널 운영시스템의 기술개발 방향과 전략수립에 관한 연구”, 한국 해양 수산 개발원 기본연구 2003-03, 2003. 12.
- [10] 하태영, 신재영, “컨테이너 터미널의 차세대 하역시스템 성능평가”, 한국항해항만학회지, 제31권, 제3호, pp. 253-261, 2007.
- [11] 양창호, 최용석, 최상희, 최종희, “결합 생산성 분석 방법을 통한 항만시스템 취급능력 향상 방안”, 한국 해양수산개발원 기본연구 2004-11, 2004. 12.

저 자 소 개



이장세(李章世)

1997년 한국항공대학교 컴퓨터공학과 (공학사), 1999년 한국항공대학교 컴퓨터공학과(공학석사), 2003년 한국항공대학교 컴퓨터공학과(공학박사), 2004년 - 현재 한국해양대학교 IT공학부(조교수).
관심분야: 컴퓨터보안, 지능시스템, 모

델링 및 시뮬레이션