

컨테이너 터미널 장비의 RAM 향상을 위한 관리 시스템

Management System for Improving Reliability, Availability and Maintainability of Equipments in Container Terminals

윤원영¹, 김귀래¹, 하영주¹, 손범신¹

Abstract

컨테이너 터미널 장비들은 많은 부품들이 매우 복잡하게 구성되어 있으며, 고장 발생 시에 막대한 비용이 발생하게 된다. 본 연구에서는 컨테이너 터미널 장비의 신뢰도, 가용도, 정비도 향상을 위한 관리 시스템을 개발한다. 개발 시스템은 장비 구성 모듈, 장비 운영 관리 모듈, 정비 관리 모듈, 예비품 관리 모듈, 분석 모듈로 구성되어 있다. 장비의 신뢰도, 가용도, 정비도 향상을 위한 기술로 FMEA, 고장현황 분석, 수명 모수 추정법을 사용한다. 또한 산출된 수명 모수와 객체지향 시뮬레이션 모형으로 최적 예방 정비 주기를 결정하고 이를 이용하여 정비인원과 하루 최대 정비 가능 장비대수를 고려한 연간 최적 예방정비 일정을 결정한다.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

국내 컨테이너 터미널에서 취급하고 있는 컨테이너의 물동량은 매년 증가하고 있으며, 이러한 물동량 취급에 있어서 생산성 향상을 위한 중요한 역할을 담당하고 있는 것은 컨테이너 터미널의 장비라고 할 수 있다. 따라서 각 작업을 담당하고 있는 개별 장비들의 고 신뢰성을 보존하는 활동이 필요하며, 이들 장비의 신뢰도, 가용도, 정비도를 높이기 위해서는 각 장비에 맞는 최적의 정비계획이 실시되어야 한다. 이러한 계획적인 정비 활동의 효과로 고장이 발생하는 현상을 최소로 할 때 비로소 컨테이너 터미널에서의 생산성 향상을 가져다 줄 수 있다.

본 연구에서 제안한 시스템은 기본적인 데이터 관리와 예방정비 주기를 최적화할 수 있는 시스템이다. 이를 위하여 실제 터미널의 고장 및 예방정비 데이터를 최대한 반영하여 현실적인 터미널 운영에 근접한 시스템을 개발하였다. 개발도구로써 범용 프로그램인 Visual Basic 6.0, Visual C++, Oracle 9i를 사용하였으며, 트랜스퍼 크레인(TC)을 대상 장비로 선정하여 정비 및 고장 표준화와 최적 예방정비 주기를 결정하였다.

이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학 육성사업(차세대 물류 IT 기술연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음

1 부산대학교 산업공학과

1.2 연구현황

과거 컨테이너 터미널에 관한 연구는 많이 진행되어 왔다. 특히 운영최적화에 관한 연구가 활발히 시행되어 왔다. 왕승진[3]은 자동화 터미널에서 장치장 운영 규칙에 관한 연구를 했으며, 특히 수직 배치 장치장의 한 블록을 대상으로 ATC의 운영 전략과 컨테이너 장치 위치 결정에 대한 시뮬레이션을 실시하여 최적 전략을 제시하였다. 이주호[5]는 자동화 컨테이너 터미널에서 터미널에 적재된 컨테이너를 터미널내의 체류시간을 기준으로 ATC를 이용하여 장치 위치를 작업에 용이하게 하기 위해 재할당하는 이적 작업 운영 규칙을 연구하여 효율적인 작업을 위한 이적작업 운영규칙을 제시하였다.

터미널운영에 관한 시뮬레이션 연구로서 최용석[6]은 수평배치하의 터미널에서 운영계획의 타당성 검증 및 터미널 설계 대안의 효율성 측정을 목적으로 대상 터미널의 모형화가 용이하고 시스템의 변경 시 유연성을 제공하는 시뮬레이션 시스템의 개발에 관한 연구를 하였다. 서정훈[1]은 SIMPLE++ 을 이용하여 컨테이너 터미널의 장치장 평가를 위한 시뮬레이터 개발에 관한 연구를 하였다. 송진영[2]은 컨테이너 터미널의 계획, 설계 및 능률분석에 있어서 중요한 요소인 컨테이너 크레인(CC)의 하역 능력을 추정함에 있어 대기 모형으로 접근하여 시뮬레이션 모델을 제시하였고, 이 과정에서 고장 현상을 반영하여 연구하였다. 이유환[4]은 객체지향 언어인 VC++ 를 사용하여 수출 장치장에서 트랜스퍼 크레인의 예방정비 정책을 시뮬레이션을 이용하여 제시하였다.

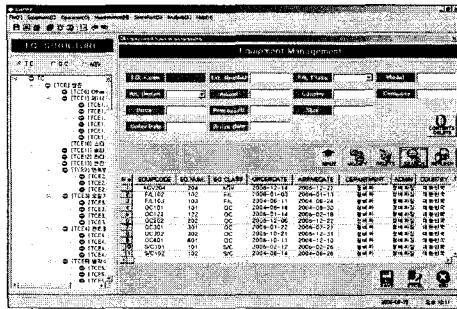
정비정책에 관한 시뮬레이션 연구로서 Ivy와 Nembhard[9]은 불확실성하의 열화시스템에 대한 의사결정 방법론을 SQC(Statistical Quality Control)와 POMDPs(Partially Observable Markov Decision Processes)의 통합적인 기법을 사용한 휴리스틱적 방법을 개발하여 시뮬레이션을 통한 정비 정책에 대한 방법론을 제시하고자 하였다. 그 외 제조업체에서의 생산량의 최대화를 목표 지표로 삼은 정비정책에 관한 연구로써 Savsar[10]는 SIMAN 언어를 이용해서 시뮬레이션을 구현하여 FMC(Flexible Manufacturing Cells) 제조 시스템에서의 최적 정비 정책을 제시하는 연구를 수행하였다. Dekker와 Rijn[7]은 작업에 영향을 주지 않는 장비의 최적 유희시점의 정비(Opportunity-Based PM) 실시에 관한 연구를 위해 PROMPT라는 의사결정 시스템을 개발하여 정비 운영에 관한 방법론을 제시하였다. 그 외 정비정책의 재검토 및 분석에 관한 연구로서 Dekker[8]는 정비 최적화 모델에 관한 재검토 분석 연구를 하였으며 Wang[11]은 열화 시스템에서의 정비 정책에 관한 조사를 하였다.

2. RAMMS 구성

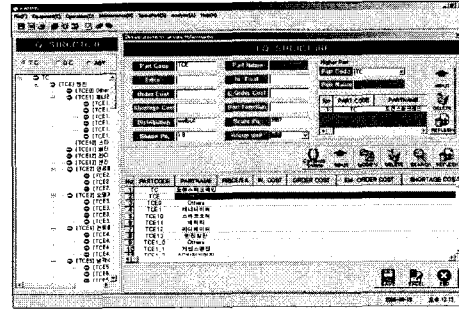
RAMMS (Reliability, Availability, Maintainability Management System)는 장비의 기본사양 및 구조를 정의하는 구성정보 모듈과 장비 운영 및 중단, 정비원 정보를 관리하는 운영관리 모듈, 정비표준과 요청, 실적 그리고 예방정비 일정을 관리하는 정비관리 모듈, 예비품의 등록과 출고, 입고, 재고 내역을 관리하는 예비품 관리 모듈, 그리고 마지막으로 FMEA 분석, 고장현황, 수명정보, 핵심부품, 최적예방정비 주기 결정을 지원하는 분석 모듈로 구성되었다. 본 장에서는 각 모듈별 주요 기능과 입력 내용 및 출력 내용을 설명한다.

2.1 구성 정보 모듈

구성정보 모듈은 장비 사양 관리와 장비 구조 관리를 포함하고 있으며, 구현된 화면은 각각 [그림 1], [그림 2]와 같다. 장비 사양 관리는 장비의 기본 제원 및 크기, 단가, 구입 날짜 등 장비에 대한 기본 정보를 관리하는 것이며, 장비 구조 관리는 장비 구성하는 부품의 코드 및 부품명을 부품간의 상하 관계로 입력받아 전체적인 장비의 구조를 도식화 해주는 모듈이다. 모든 화면 좌측에 나타나는 장비구조도는 장비 구조 관리의 입력으로 나타난다.



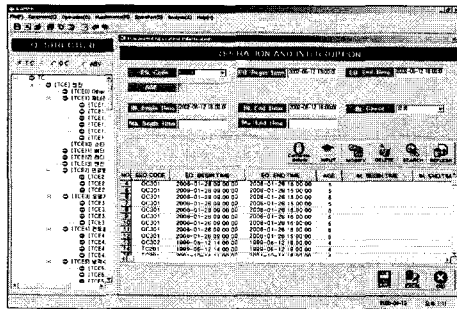
[그림 1] 장비 사양 관리



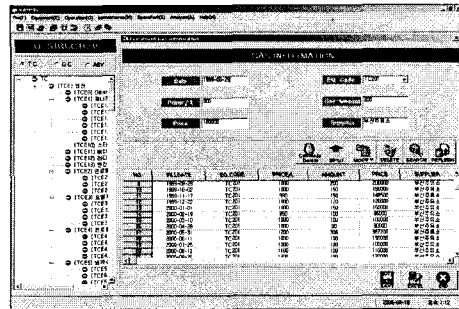
[그림 2] 장비 구조 관리

2.2 운영 관리 모듈

운영관리 모듈은 장비 가동/중단 정보, 장비 주유 정보, 정비원 정보, 공급업체 정보로 구성되어 있다. 장비 가동/중단 정보([그림 3])와 장비 주유정보([그림 4])는 입력된 가동/중단 데이터와 장비 주유데이터 내용으로 연간 및 월간 장비별 가동률과 주유량을 조회할 수 있다. 장비 가동률과 유류 소비량은 컨테이너 터미널 생산성 및 비용 산출의 기본정보가 된다.



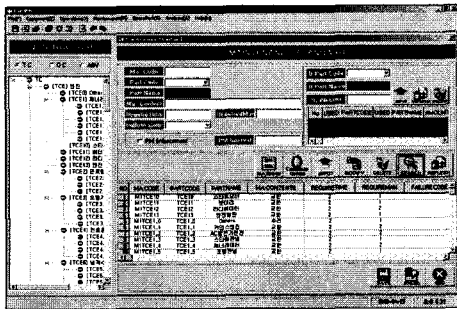
[그림 3] 장비 가동/중단 정보



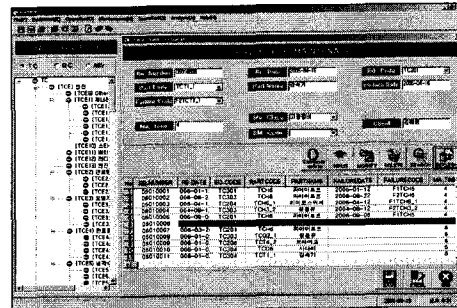
[그림 4] 장비 주유 정보

2.3 정비 관리 모듈

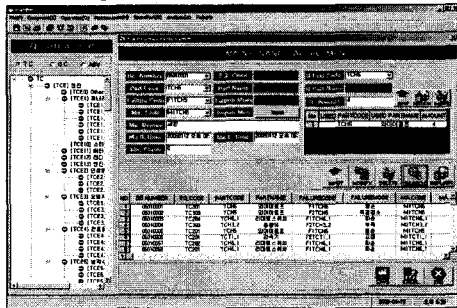
정비 관리 모듈은 정비 표준 관리, 예방정비 일정관리, 정비요청, 정비 실적 관리로 구성되어 있다. 정비 표준 관리([그림 5])는 특정 정비에 대해 필요한 예비품, 정비원, 소요시간을 표준화시켜 코드화하여 관리한다. 정비요청([그림 6])은 고장 발생 및 예방 정비 필요시 해당 장비 및 부품명, 고장현상 등을 입력하여 정비 요청한다. 요청된 정비에 대해 실제 정비가 이루어지면 정비기록을 정비 실적 관리([그림 7])에 입력한다.



[그림 5] 정비 표준 관리



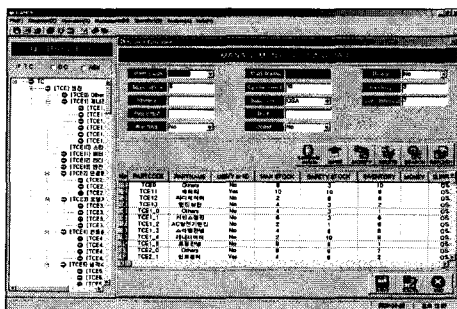
[그림 6] 정비 요청



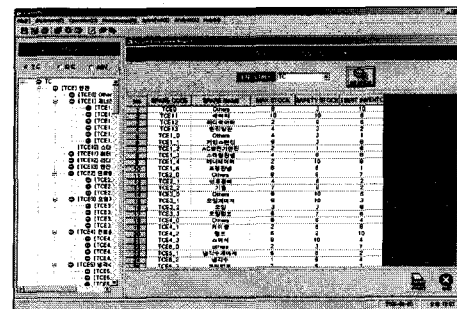
[그림 7] 정비 실적 관리

2.4 예비품 관리 모듈

예비품 관리 모듈은 예비품의 등록, 입고관리, 출고관리, 발주관리, 재고내역 조회로 구성되어 있다. 예비품 등록([그림 8])에서 예비품의 코드, 단가, 소모성 여부 등과 같은 기본 정보를 입력하고 예비품을 등록한다. 재고 부족 시 예비품의 발주가 이루어지면 발주코드를 부여하여 발주관련 정보를 입력하고 발주된 예비품이 입고되면 입고현황에서 발주코드로 입고를 확인한다. 정비활동으로 소모된 예비품은 출고 관리에서 출고처리하면 재고내역([그림 9])에서 자동 삭감된다.



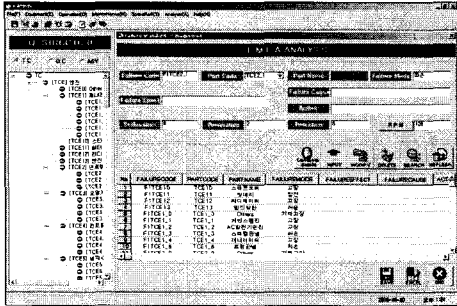
[그림 8] 예비품 등록



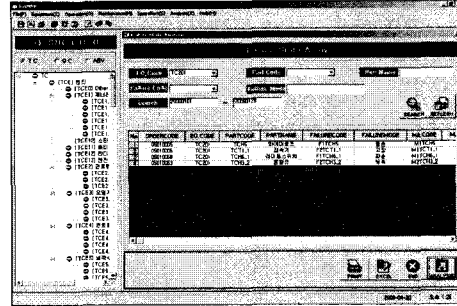
[그림 9] 재고 내역 조회

2.5 분석 모듈

분석 모듈은 FMEA, 핵심부품 관리, 개선관리, 고장 현황 조회, 수명 모수 추정, 최적 예방정비 주기 결정, 연간예방 일정 결정으로 구성되어 있다. FMEA([그림 10])를 통하여 주요 부품 및 RPN을 산출하고, 핵심부품을 선정한다. 선정된 핵심 부품을 중심으로 개선활동을 실시하고, 개선 이력을 관리한다. 또한 고장 현황 분석([그림 11])을



[그림 10] FMEA

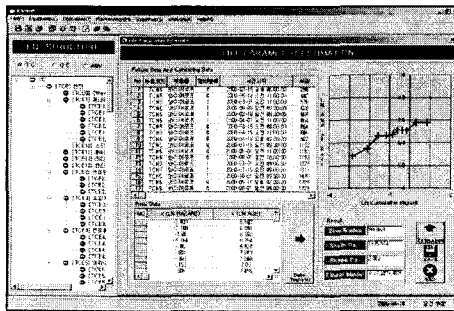


[그림 11] 고장 현황 분석

통하여 특정 기간 동안의 장비별 고장 현황을 확인할 수 있다.

3. 수명 모수 추정

예방 정비 주기 결정을 위한 입력 요소 중 하나인 각 부품별 수명 모수를 추정한다. 모든 부품은 직렬로 구성되었다고 가정고 실제 현장의 상황을 적극 반영하기 위하여 트랜스퍼 크레인 한 대의 1993년 1월부터 2004년 8월까지 고장 및 예방정비 내역 데이터를 분석하였다. 수명 모수는 고장률 타점법으로 추정하였으며, 추정의 편의성을 위하여 수명 분포는 와이블 분포로 가정한다.



[그림 12] 수명 모수 추정

[그림 12]는 트랜스퍼 크레인의 핵심 부품중 하나인 와이어로프의 분석 결과이다. 고장 및 예방정비 데이터를 크기순으로 나열하고 고장 데이터만 고장률을 계산하여 누적하여 타점해 회귀식을 찾음으로서 모수를 결정한다. 이에 대한 상세한 절차와 사용기호는 아래와 같다.

[기호]

n : 고장 정비 데이터 수

t_i : 고장데이터

\hat{H}_i : 누적고장률

n : 척도모수

β : 형상모수

[모수추정절차]

$$\text{Step1) } \log(t_i) = \log(n) + \frac{1}{\beta} \cdot \log \hat{H}_i$$

Step2) $(\log(\hat{H}_i), \log(t_i))$ 를 (X, Y) 로 타점

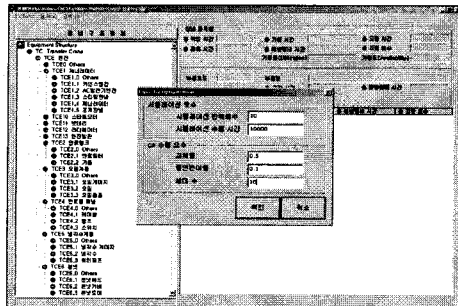
Step3) 선형회귀계수 \hat{a}, \hat{b} 추정

Step4) $\hat{\beta} = \frac{1}{\hat{b}}, \hat{\eta} = e^{\hat{a}}$

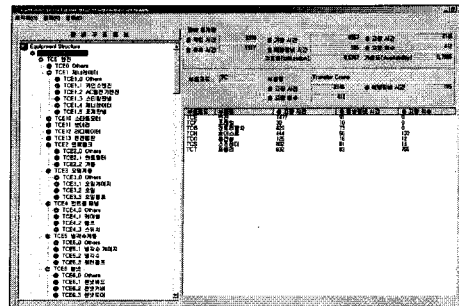
트랜스퍼 크레인 와이어로프의 수명 모수 추정 결과는 척도모수 1375.9, 형상모수 2.082로 나타났으며, 이를 검증하기 위해 통계분석 전용 패키지인 MiniTab을 이용한 결과 척도모수 1442, 형상모수 2.179로 유사한 것으로 나타났다.

4. 최적 예방정비 주기 결정

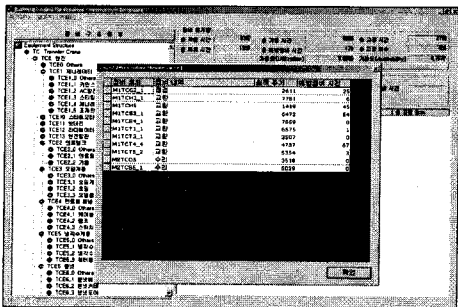
다 부품 복합구조로 이루어진 컨테이너 터미널 장비의 최적 예방정비 주기를 결정하기 위한 도구로 시뮬레이션 시스템과 유전자 알고리즘을 사용한다. 시스템 상태는 작업과 유휴, 고장 정비, 예방 정비 상태로 구분한다. 작업시간은 정규분포, 유휴시간은 정규분포, 고장 정비 소요시간은 지수분포로 가정한다. 고장은 시스템의 최하위 부품에서만 발생하고 모든 최하위 부품은 와이בל 분포로 가정한다. 각 부품의 고장은 작업 중에만 발생하고 유휴 중에는 고장이 발생하지 않는다. 고장 및 예방 정비 모두 교체를 실시하고 예비품 및 정비원은 항상 가용하다고 가정한다. 예방정비는 수명기반교체 정책(Age Based Replacement Policy)을 따르며, 기준시점은 T이고 수명이 T보다 큰 첫 유휴시간에 실시한다.



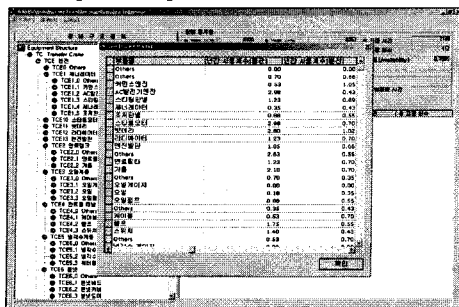
[그림 13] 시뮬레이션 초기 입력창



[그림 14] 장비/부품의 통계량



[그림 15] 제안된 최적 주기



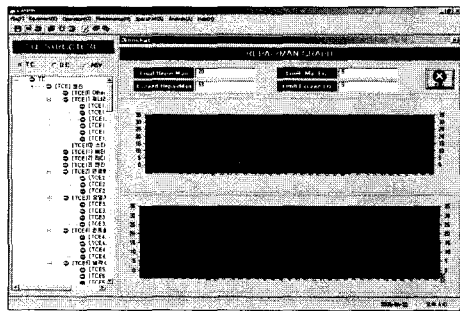
[그림 16] 예비품 평균 소모량/분산

[그림 13]은 시뮬레이션 기간 및 반복수 등 실험에 필요한 입력데이터를 입력하는 화면이다. [그림 14]는 시뮬레이션 결과로 대상 장비 및 부품의 총 작업시간, 가동시간, 고장 시간, 가동률과 가용도 등 시뮬레이션 기간 동안의 통계량을 산출한 결과 화면이

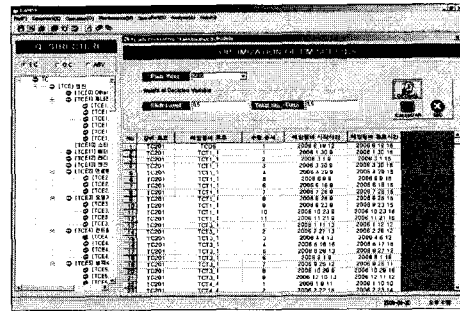
다. [그림 15]는 시스템에서 제안한 최적 예방 정비 주기이다. [그림 16]은 시뮬레이션 기간 동안의 예비품의 평균 사용량 및 분산을 산출한 화면이다.

5. 연간 예방정비 일정 계획

4장에서 결정한 예방정비 주기는 개별 부품의 수명 모수와 장비의 작업, 유휴, 고장, 정비만 고려하여 산출된 결과이다. 실제 예방정비를 실시하는데 있어서 위의 결과를 그대로 적용하기에는 몇 가지 문제점이 있다. 일일 과도한 예방정비 작업의 중복으로 정비원의 수를 초과하는 작업이 발생할 수 있으며, 전 장비 모두 하루에 예방정비 활동이 적용될 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 일일 과다 예방정비 활동에 대해서 일정한 규칙에 따라 앞당겨 실시하거나, 뒤로 미루어 실시해야 한다. 따라서 본 장에서는 예방정비 일정 조정 방안에 대해 제안하고자 한다. 예방 정비 환경에서 정비소요 인원과 소요 시간은 정비 단위별로 정해져 있으며, 총 정비기사의 수도 제한되어 있다고 가정한다. 매일의 작업량은 정비기사 총원 이내로 할당해야 하며, 동시 작업이 가능한 작업은 되도록 같이 하도록 한다. 예방정비 시간은 09:00 - 18:00이며, 앞서 결정한 최적 예방정비 주기의 변경이 최소화되도록 한다.

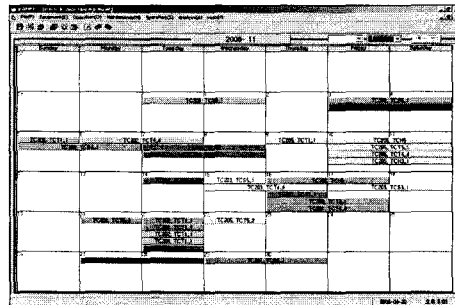


[그림 17] 예방정비 일정 그래프



[그림 18] 예방정비 일정 데이터

[그림 17]은 정비기사의 인원을 입력 값으로 받아 예방정비 작업을 평균화하는 화면이다. 화면 상단 그래프는 4장에서 결정한 예방정비 주기를 적용한 일정이고, 아래 그림은 평균화 작업을 통하여 수정된 예방정비 일정이다. [그림 18]은 평균화된 예방정비 일정을 데이터베이스 입력 형태로 나타낸 화면이다. 평균화된 예방정비 일정은 [그림 19]와 같이 연간 예방정비 일정에서 달력형태로 확인할 수 있다.



[그림 19] 연간 예방정비 일정 출력

6. 결론

컨테이너를 통한 물류 이동이 증가되고 있고, 이에 컨테이너 물류의 중요성이 대두되면서 운영 최적화에 관한 연구뿐 아니라 항만 장비의 고 신뢰성을 위한 연구 또한 중요시 되고 있다. 본 연구에서는 컨테이너 터미널 생산성에 직접적인 영향을 미치는 장비의 신뢰도, 가용도, 정비도 향상을 위한 관리 시스템을 개발하였다. 기본적인 데이터 관리에서부터 장비의 운영 및 중단, 통계적 방법의 수명 모수 추정, 그리고 실제 운영되고 있는 터미널의 작업 운영 규칙을 반영하여 장비의 예방정비 주기를 시뮬레이션과 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화하고 일일 과다 예방정비 작업을 조정하였다. 추후 자동화 컨테이너 터미널의 선석 계획 및 장비 할당을 고려한 최적 예방정비 정책에 관해 연구할 것이다.

참고문헌

- [1] 서정훈, "컨테이너 터미널의 장치장 평가를 위한 시뮬레이터 개발", 석사학위논문, 부산대학교, 1998
- [2] 송진영, "컨테이너 크레인의 하역능력 추정에 관한 시뮬레이션 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 2000
- [3] 왕승진, "자동화 컨테이너 터미널에서 장치장 운영 규칙에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 2002
- [4] 이유환, "트랜스퍼 크레인 정비 활동에 관한 시뮬레이션 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 2006
- [5] 이주호, "자동화 컨테이너 터미널에서 이적 운영규칙에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 2002
- [6] 최용석, "컨테이너 터미널의 객체지향 시뮬레이션 시스템", 박사학위논문, 부산대학교, 2001
- [7] Dekker, R. and Rijn, C. V., "PROMPT, A Decision Support System for Opportunity-Based Preventive Maintenance", *Computational Science and Its Applications-ICCSA 2005 Part IV*, 2005(05)
- [8] Dekker, R., "Applications of Maintenance Optimization Models : A Review and Analysis", *Reliability Engineering and System Safety* 51, 229-240, 1996
- [9] Ivy, J. and Nembhard, H.B., "A Modeling Approach to Maintenance Decisions Using Statistical Quality Control and Optimization", *Quality and Reliability Engineering International*, 2005(08)
- [10] Savsar, M., "Effects of Maintenance Policies on the Productivity of Flexible Manufacturing Cells", *Omega* 34, 274-282, 2006
- [11] Wang, H., "A Survey of Maintenance Policies of Deteriorating System", *European Journal of Operational Research* 139, 469-489, 2002