

컨테이너 터미널 장비의 RAM 향상을 위한 관리 시스템

윤원영[†] · 김귀래 · 하영주 · 손범신 · 김혜정

부산대학교 산업공학과

Management System for Improving RAM of Equipment in Container Terminals

Won Young Yun · Gui Rae Kim · Young Ju Ha · Bum Shin Son · Hey Jeong Kim

Department of Industrial Engineering, Pusan National University,
Changjeon-dong San 30, Gumjeong-ku, Busan 609-735, South Korea

Equipments in container terminal have a lot of parts, and an equipment breakdown affects the productivity of terminal. In this paper, we develop a maintenance management system for improving reliability, availability and maintainability of equipments in container terminals. The developed system consists of five modules : equipment structure module, equipment operation management module, maintenance control module, spare part control module and data analysis module. The system supports reliability engineers to manage and improve RAM of equipments in container terminals. For example, FMEA, failure state analysis and life distribution parameters estimation are easily or automatically done by the system. This system also provides optimal preventive maintenance intervals by simulation and optimal yearly PM schedules for equipments in container terminal are recommended.

Keyword: Maintenance management system; Optimal preventive maintenance; Simulation system

1. 서론

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 유지하는 활동이 필요하다. 즉, 이들 장비의 신뢰도, 가용도, 정비도를 높이기 위해서는 각 장비에 맞는 최적의 정비가 실시되어야 한다. 이러한 계획적인 정비 활동의 효과로 고장이 발생하는 현상을 최소화 할 때 비로소 컨테이너 터미널에서의 생산성 향상을 가져다 줄 수 있다. 컨테이너 터미널 장비와 같이 다 부품으로 구성된 시스템의 체계적이고 효율적인 보전 활동을 위해서는 최적의 예방

정비 일정을 수립하여야 한다. 이를 위해서는 과거의 고장 및 예방 정비 데이터를 수집/분석하고 구성 부품이 가지는 수명 정보를 이용하여 장비의 최적 보전 활동을 지원해 줄 수 있는 통합 보전 관리 시스템이 필요하다.

현재까지 장비의 최적 보전 활동에 관한 연구는 지금까지 많은 저자들에 의해 제시되어 왔다. 복잡한 시스템의 RAM 향상을 위한 보전 정책에 관한 연구로 Ivy(2005)는 불확실성하의 열화시스템에 대한 의사결정 방법론을 SQC(Statistical Quality Control)와 POMDPs(Partially Observable Markov Decision Processes)의 통합적인 기법을 사용한 휴리스틱 방법을 개발하여 시뮬레이션을 통한 정비 정책에 대한 방법론을 제시하고자 하였다. 그 외 제조업체에서의 생산량의 최대화를 목표 지표로 삼은 정비정책에 관한 연구로써 Savsar(2006)는 SIMAN 언어를 이용

본 연구는 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(차세대물류IT기술연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

[†]연락처: 윤원영 교수, 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지 부산대학교 산업공학과, Fax : 051-512-7603, E-mail : wonyun@pusan.ac.kr
2006년 7월 접수, 2006년 8월 게재확정.

해서 시스템을 구현하여 FMC(Flexible Manufacturing Cells) 제조 시스템에서의 최적 정비 정책을 제시하는 연구를 수행하였다. Dekker와 Rijn(2005)은 작업에 영향을 주지 않는 장비의 최적 유휴 시점의 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 Wang(2002)은 열화 시스템에서의 정비 정책에 관한 조사를 하였고, Cho와 Parlar(1991)은 다 부품으로 구성된 시스템에서 최적 보전 정책에 관한 문헌을 조사하였다. 지금까지의 다 부품 시스템 정비에 관한 이러한 연구는 일반 시스템에 관한 연구였으며 특히 제한된 조건하에서의 수리적 모형 개발에 집중되었다.

컨테이너 터미널에 관한 연구는 운영 최적화를 중심으로 많이 진행되어 왔으며 장비의 고장 및 정비 활동에 관한 연구는 활발히 이루어 지지 못하였다. 컨테이너 터미널 장비의 보전 정책에 관한 연구로서 윤원영 등(2001)은 컨테이너 터미널의 계획, 설계 및 능률분석에 있어서 중요한 요소인 컨테이너 크레인(CC)의 하역 능력을 추정함에 있어 고장 현상을 반영한 대기 모형으로 접근하여 시뮬레이션 모델을 제시하였다.

기존의 연구에서는 컨테이너 터미널의 운영 시스템에 관한 최적화 설계 및 분석에 관한 연구가 대부분이며, 반면 장비의 신뢰도, 가용도, 정비도 향상에 관한 연구는 제조 현장에 관한 연구가 대다수를 이루며 컨테이너 터미널의 장비 보전에 관한 연구는 미비한 상태이다. 뿐만 아니라 국내 대다수 컨테이너 터미널에서 운영 중인 정비관리 시스템은 단순 데이터 관리에 제한되어 있으며, 심지어는 수작업으로 고장 및 정비 데이터를 관리하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 장비를 운영하는데 있어서 고장 및 정비 데이터의 체계적인 관리와 통계적인 분석, 그리고 각 장비에 맞는 최적의 정비 계획을 결정해줄 수 있는 장비 RAM(Reliability, Availability, Maintainability) 향상 지원 프로그램을 개발하였다.

본 연구에서는 기본적인 데이터 관리와 예방정비 주기를 최적

화할 수 있는 통합 정비 관리 시스템을 개발하였다. 이를 위하여 실제 터미널의 고장 및 예방정비 데이터를 최대한 반영하여 현실적인 터미널 운영에 근접한 시스템을 개발하고자 하였다. 개발도구로써 범용 프로그램인 Visual Basic 6.0, Visual C++, Oracle 9i를 사용하였으며, 트랜스퍼 크레인(TC : Transfer Crane)을 대상 장비로 선정하여 정비 및 고장 표준화와 최적 예방정비 주기, 연간 예방 정비 일정을 결정하였다.

2. 통합 보전 관리 시스템 (RAMMS)

장비 통합 보전 관리 시스템(RAMMS : Reliability, Availability, Maintainability Management System)은 <그림 1>과 같이 구성되어 지속적으로 장비의 신뢰성을 향상시킨다.

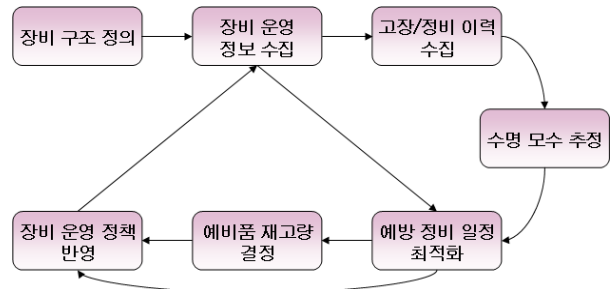


그림 1. 통합 보전 관리 시스템의 구성 요소.

RAMMS는 장비의 구조를 정의하고, 초기에 수집된 장비 운영 정보 및 고장/정비 이력 데이터를 통계적인 분석을 통하여 개별 부품의 수명 모수를 추정한다. 그 추정치를 반영하여 장비 가용도를 최대로 하는 예방 정비 일정을 산출하여, 예비품 재고량 및 장비 운영 정책을 결정한다. 이러한 과정을 반복하면서 점진적으로 장비의 신뢰도, 가용도 및 정비도를 향상시킬 수 있다.

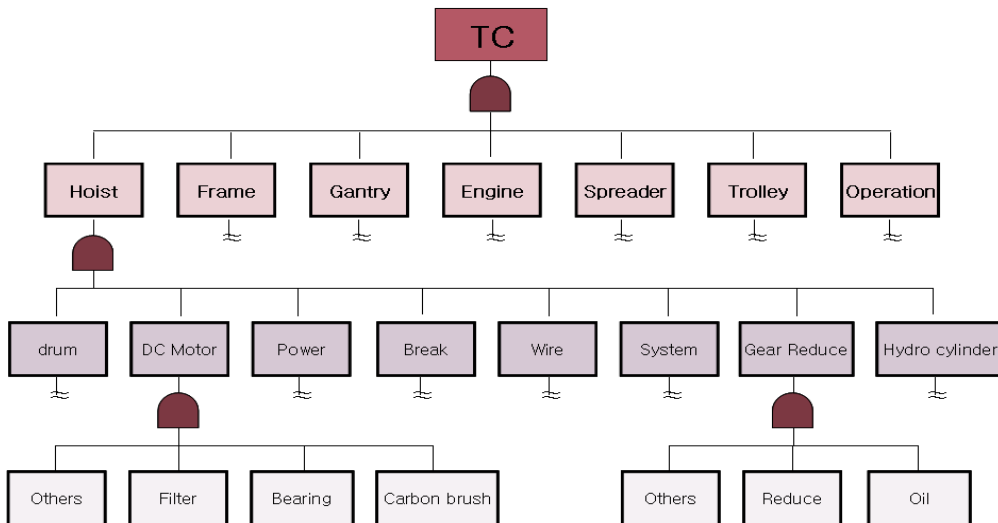


그림 2. 장비의 4단계 구조.

2.1 장비 구조 정의

다 단계 다 부품으로 구성된 복잡한 시스템을 정의하기 위한 모형으로는 트리구조가 가장 적합하다. 따라서 본 연구에서는 컨테이너 터미널의 장비를 <그림 2>와 같이 최대 4단계 다단계의 구조로 정의하였다. 부품간의 상하관계를 입력 받아 전체적인 장비의 구조를 도식화하고 부품명을 코드화하여 트리구조형태로 나타낼 수 있으며, 이러한 장비 구조 정의를 통하여 다단계 다부품으로 구성된 시스템의 신뢰도를 보다 명확하게 분석할 수 있다.

2.2 장비 운영 정보 수집

장비가 운영될 시에는 작업을 하기 위해 가동되거나 또는 작업이 없어서 유휴가 발생하기도 한다. 이러한 장비의 운영 상태를 기록하여 가동과 중단 시간의 정보를 수집한다. 그리고 이 가동 및 중단 정보는 장비의 작업 분포를 추정하기 위해 이용된다. 장비의 작업 시간과 중단 시간의 분포를 추정하여 예방 정비 주기 산출 시뮬레이션 시스템에 보다 현실적인 장비 작업 상황을 반영하였다. 또한 장비 가동 및 중단 정보는 컨테이너 터미널 생산성 평가 지표중의 하나인 장비 가동률 산출에 없어서는 안 되는 중요한 정보 중에 하나이다.

RAMMS에서는 장비의 운영 상황을 관리하여 장비의 현재 상황 및 월간 및 연간 장비 가동률을 산출해 준다.

2.3 고장 정보 수집 및 수명 모수 추정

장비는 유휴로 인하여 가동이 중단되는 경우를 제외하고, 그 외 다른 이유로 가동이 중단 되는 경우는 크게 두 가지로 구분 된다. 첫 번째 경우는 고장으로 인하여 가동이 중단되는 경우와 다른 하나는 고장의 예방을 위해 정비를 하는 경우이다. 전자의 경우에는 장비의 상태를 복원시키기 위하여 고장 정비를 수행하게 되며, 이러한 고장은 장비의 가동을 정지시키고 이로 인하여 컨테이너 터미널에서는 막대한 비용이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위하여 각 컨테이너 터미널들은 다양한 예방정비 활동을 수행하고 있다.

본 연구에서는 모든 예방 정비들은 주기적으로 수명(Age)을 기준으로 각 부품별로 실시한다고 가정한다. 이러한 고장 발생 시간 및 예방 정비 실시 시간은 각 부품의 실제 수명 분포를 추정 하는데 사용된다. 예방 정비 주기 결정을 위해서는 각 부품별 수명 분포가 주어져야 한다. 모든 부품은 와이블 분포를 따른다

고 가정하며, 수집된 고장 발생 시간 및 예방 정비 실시 데이터를 이용하여 고장률 타점법으로 추정하였다. 이때 예방 정비 데이터는 임의 중단 데이터가 된다. 장비의 수명에 대한 분포 추정에서 고장 발생 시점과 예방 정비 시점이 데이터로 주어 져야만 한다. 이러한 고장 발생 시점과 예방 정비 시점은 실사 용 시간에 근거한 수명이다. 본 연구에서는 장비가 가동 중에만 수명이 누적되고 유휴 중이거나, 또는 정비 중에는 수명이 누 적되지 않는다고 가정하였다. 따라서 장비 가동률이 1이 아닌 장비는 <그림 3>과 같이 수명이 카렌더 시간과 일치하지 않 게 된다. 그러므로 카렌더 시간인 고장 발생/수리완료 시점과 예방 정비 시작/종료 시점에서 수명으로의 변환이 요구된다.

이러한 수명의 변화를 주는 사건은 고장 발생, 고장 수리 완 료 및 예방 정비 시작 및 종료 그리고 장비의 가동 시작이다. 따 라서 각 사건 발생 시간으로부터 한 장비의 한 부품의 수명은 <그림 4>와 같이 계산될 수 있다.

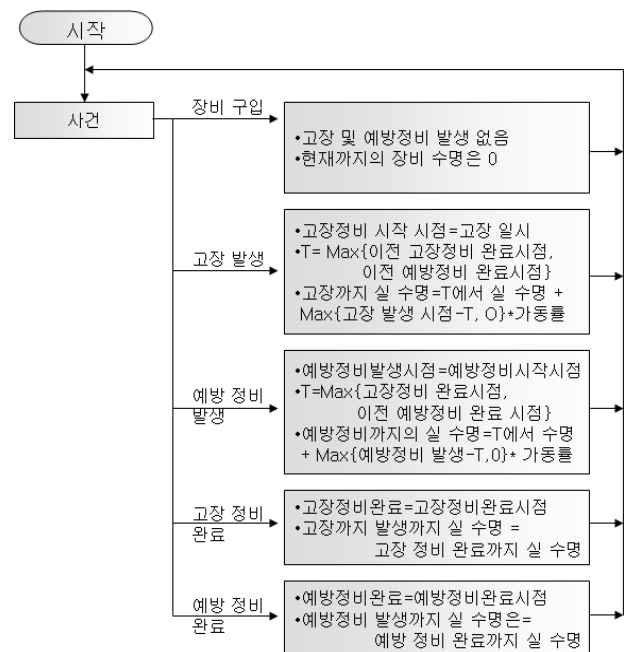


그림 4. 발생 사건에 따른 수명 계산 절차.

장비의 고장 발생과 정비 완료의 시간에 대한 정보는 정비 요청과 실적의 입력으로부터 얻을 수 있다. 터미널에는 다수의 장비와 한 장비 내에는 많은 부품들이 존재하므로 이 모든 수명정보를 관리하기 위하여 본 시스템에서는 데이터베이스

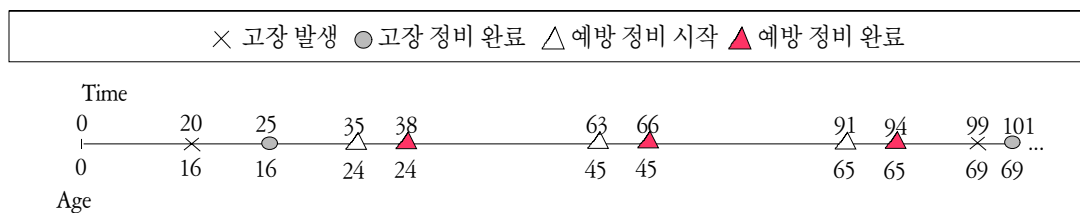


그림 3. 한 부품의 운영 (가동 시작 시점=0, 작업율=80%).

를 사용하고 있다. 데이터베이스는 데이터 저장에는 편리하나 수명을 계산하기 위한 절차는 보다 복잡해진다. 정비 요청과 정비 실적의 입력으로 수집되는 정보는 <표 1>과 같다.

표 1. 수명 계산을 위한 데이터 목록

정비요청	정비실적
장비 코드	장비 코드
부품 코드	실제 정비된 부품 코드
고장 발생 시점	고장 코드
고장/예방 정비 분류	고장 모드
고장 코드	정비 코드
예방 정비 코드	고장 정비 완료 시점
요청인	예방 정비 시작 시점
	예방 정비 완료 시점

2.4 최적 예방 정비 주기 및 예비품 소모량 결정

장비의 가용도는 컨테이너 터미널의 생산성과 직결되어있다. 따라서 장비의 가용도를 최대로 하기 위한 정비 활동이 요구 된다. 본 연구에서는 한 장비에 여러 종류의 예방 정비가 있을 때, 이 장비의 가용도를 최대로 하는 각 예방 정비의 주기를 시뮬레이션을 이용하여 동시에 결정한다. 또한 최적으로 제안된 주기를 바탕으로 정비 정책을 운영하였을 때 소모 예비품의 연간 소모량을 시뮬레이션을 통하여 추정하여 평균과 분산을 제공한다.

2.4.1 시뮬레이션 시스템

시스템 상태는 작업과 유희, 고장 정비, 예방 정비 상태로 구분한다. 작업시간은 지수분포, 유희시간은 지수분포, 고장 정비 소요시간은 지수분포로 가정한다. 고장은 시스템의 최하위 부품에서만 발생하고 모든 최하위 부품의 고장은 와이블 분포에 따른다고 가정하나, 분포의 형태는 시뮬레이션 시스템에 특별한 제약은 아니다. 각 부품의 고장은 작업 중에만 발생하고 유희 중에는 고장이 발생하지 않는다. 고장 및 예방 정비 모두 교체

실시하고 예비품 및 정비원은 항상 가용하다고 가정한다. 이런 경우에 각 부품의 예방정비는 수명기반교체정책(Age Based Replacement Policy)을 따르며 <그림 5>와 같이 기준시점(예방 정비 계획시점) T_i 보다 큰 첫 유희시간(예방정비 실시시점)에 실시한다. 여러 작업들이 해당되면 동시작업들은 동시에 시작하고 동시 가능 작업이 아닌 경우 순차적으로 실시한다.

주어진 기간 동안 시뮬레이션 수행 후 장비의 가용도 및 가동률은 다음과 같이 산출된다.

$$\text{가용도} = \frac{\text{총 가동시간}}{\text{총 작업시간}} \quad (1)$$

$$\text{가동률} = \frac{\text{총 가동시간}}{\text{시뮬레이션 수행 시간}} \quad (2)$$

시뮬레이션의 입력 값 및 출력 값은 <표 2>에 나타내었다.

표 2. 시뮬레이션 입력 값 및 출력

입력 값	출력 값
최하위 부품의 고장 분포	장비의 총 작업 시간
작업 시간 분포	총 가동시간
유희 시간 분포	총 고장 시간
고장 정비 시간 분포	총 유희 시간
예방 정비 시간 분포	총 예방 정비 시간
예방 정비 기준(T_i)	총 고장 회수
시뮬레이션 수행 시간	가동률, 가용도
반복 회수	정비 단위별 최적주기
동시 정비 가능 작업 목록	예비품 연간 소모량

2.4.2 유전 알고리즘 이용한 최적화

모든 부품에 대하여 1년에 한번 이상은 예방 정비가 이루어진다고 가정하여 해의 범위를 1~9999시간으로 정하였다. 따라서 한 정비 주기의 유전자(Gene)는 4자리의 정수가 되고 한 염색체(Chromosome)의 자리 수는 4 * 총 정비 작업 수로 구성하였다. 전체 모집단의 수는 100으로 설정하였고, 교차는 이점교차(Two-Point

q_{ij} : j번째 부품의 i사건 시간($i=1, \dots, 4$: 1=작업, 2=유희, 3=고장정비, 4=예방정비)

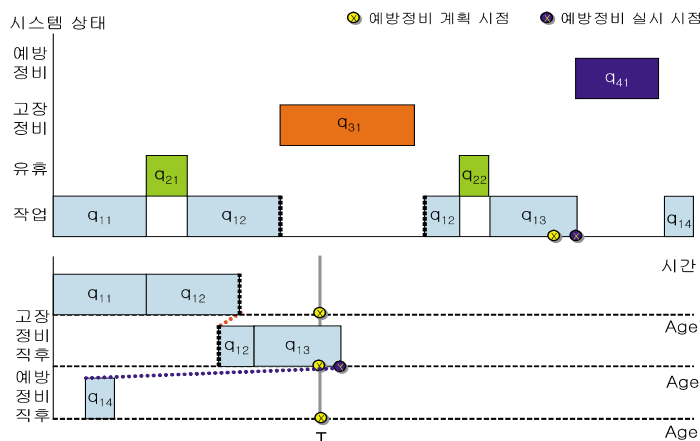


그림 5. 한 부품의 작업 및 정비와 수명과의 관계.

Crossover), 돌연변이는 각 비트단위로 수행된다. 해의 0값 방지를 위해 수행 후 한 장비의 주기가 0인 경우 마지막 비트의 값은 1이 되도록 설정하였고, 각 발생율(Rate)은 입력받도록 하였다. 부모와 자식들 중 가장 우수한 것(적합도가 큰 것)들만 모집단 수만큼 선택하여 100세대를 진화한다. 최적해는 시뮬레이션 종료 시점의 적합도가 가장 큰 염색체(Chromosome)가 선택된다. 한 염색체의 적합도는 시뮬레이션을 이용하여 다음과 같이 추정한다.

$$\text{적합도} = \frac{\text{각 시뮬레이션에서의 가용도}}{\text{시뮬레이션 반복 회수}} \quad (3)$$

최적해가 결정되면 최적 수명(Age)을 작업시간의 비율을 가지고 다음과 같이 달력주기로 변환한다.

$$\text{최적해} \times \frac{\text{평균 작업시간} \times \text{평균 유휴시간}}{\text{평균 작업시간}} \quad (4)$$

2.5 연간 예방 정비 일정 계획

2.4절에서 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. 터미널에는 동일 장비가 다수 있으므로 동일한 예방정비주기를 그대로 적용하면 일일 과도한 예방정비 작업의 중복으로 정비원의 수를 초과하는 작업이 발생할 수 있으며, 동일 장비 모두 하루에 예방정비 활동이 적용될 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 일일 과다 예방정비 활동에 대해서 조정이 요구된다.

예방 정비 환경은 보통 정비소요 인원과 소요 시간은 정비 단위 별로 정해져 있으며, 총 정비기사의 수도 제한되어 있다. 따라서 일일 작업량은 정비기사 총원 이내로 할당해야 하며, 동시 작업이 가능한 작업은 되도록 같이 해야 한다. 예방정비 시간은 09:00시~18:00시 일 때, 연간 예방 정비 일정 조정을 예방 정비 주기의 변동과 정비 작업 시간의 가중합을 최소로 하는 예방 정비 작업의 평균화를 통해 실시 될 수 있다. 연간 예방 정비 일정을 조정하기 위한 알고리즘은 <그림 6>에 나타나 있다. 초기 정비일정 생성은 식(4)에서 구한 예방정비 주기를 사용한다. 중복 중요도의 계산은 식(5)와 같이 i 장비의 id 와 jd 작업을 동시 작업할 경우 예방 정비 시간의 변경 정도와 절약 가능한 정비 시간에 가중치를 준다.

$$\alpha \cdot \frac{100}{PMS(i, id, k_1) - PMS(i, jd, k_2)} + \beta \cdot Min(H_{i,id}, H_{i,jd}) \quad (5)$$

[기호]

α, β : 가중치

$PMS(i, j, k)$: i 장비 j 번째 부품의 k 번째 예방 정비 시작시간

$H_{i,j}$: i 장비 j 번째 부품의 정비 소요 시간

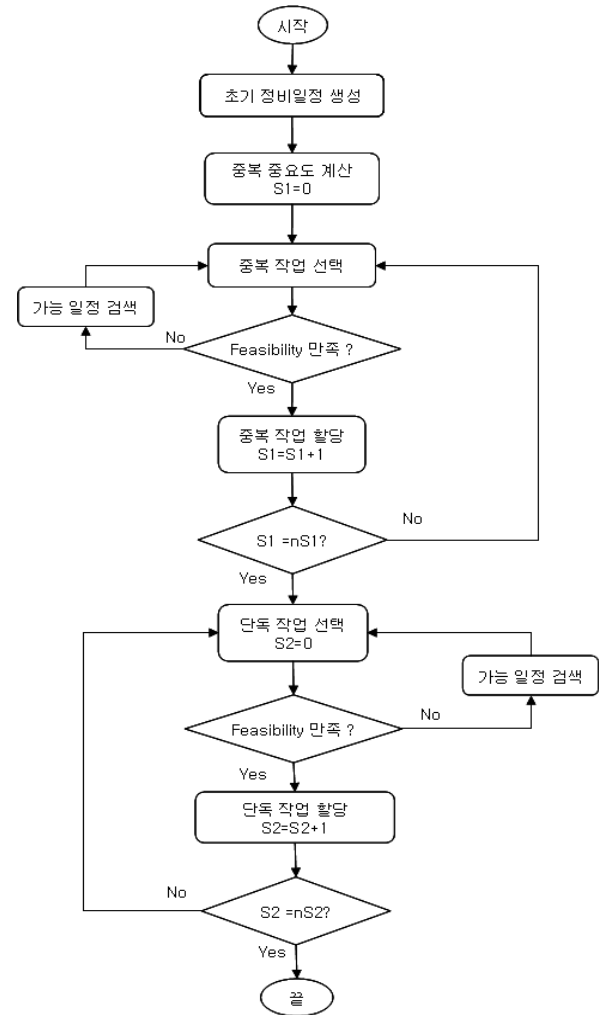


그림 6. 연간 예방정비 일정 계획 알고리즘.

3. 시스템 구현 및 적용 사례

본 연구에서 개발된 장비 통합 보전 관리 시스템을 실제 부산의 컨테이너 터미널에서 운영하기 위해서 현장에서 사용 중인 시스템의 운영 체제 및 데이터베이스와의 호환성이 중요하다. 이를 위하여 범용 언어인 Visual Basic 6.0과 범용 Data Base인 Oracle 9i를 사용하였고, Windows XP환경에서 개발하였다. 본 연구에서는 터미널 장비의 고장 및 정비 활동에 관한 현실성 있는 정확한 자료를 수집/ 분석하여 연구 활동에 반영해야 할 것이므로 부산의 한 컨테이너 터미널의 고장 및 정비데이터와 트랜스퍼 크레인을 대상 장비로 선정하여 시스템에 적용해 보았다.

3.1 RAMMS의 구성

지속적인 개선 활동을 통하여 장비의 신뢰성을 향상시키기 위한 통합보전 관리 시스템은 5가지 관리 모듈로 개발되었다. 각 모듈에 대한 세부 기능은 아래 <표 3>에 나타난다.

표 3. RAMMS 구성 모듈별 세부 기능

구성 모듈	기능
장비 구성 모듈	하역 장비 사양 및 성능 공급 업체 관리 장비 구조 관리
장비 운영 모듈	장비 가동 및 중단 관리 정비원 관리 기본 코드 관리
정비 관리 모듈	예방 정비 기준 관리 정비 요청 및 실적 관리 정비 및 고장 표준화
예비품 모듈	예비품 기본 정보 관리 입/출고 관리 발주 현황 관리 재고 내역 조회
분석 모듈	FMEA 고장 현황 분석 핵심 부품 분석 수명 모수 추정 예방 정비 최적 주기 결정 연간 예방 정비 일정 계획

장비의 구성 정보와 초기 운영 정보 데이터 수집 목적을 위한 구성 관리 모듈과 운영관리 모듈, 고장/정비 이력 데이터 수집을 위한 정비 관리 모듈, 수집된 각종 데이터를 분석하여 정비 정책 및 예비품 정책, 장비 운영 정책에 반영하기 위한 분석 모듈이 있다. 체계적인 예비품 정책을 운영하기 위한 예비품 관리도 하나의 구성 모듈로 분류하여 발주, 입고 및 출고 현황을 실시간 관리한다.

3.2 구성 정보 모듈

구성정보 모듈은 장비 사양 관리와 장비 구조 관리를 포함하고 있으며, 구현화면은 <그림 7>, <그림 8>과 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.

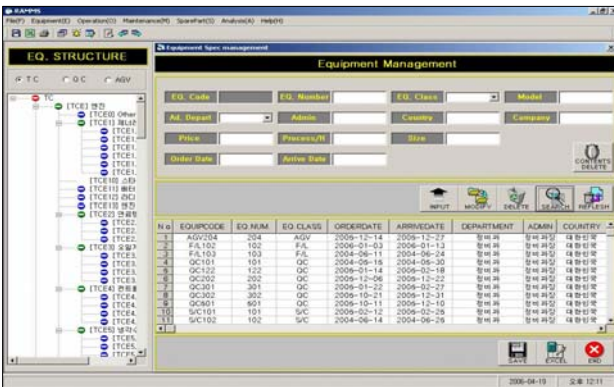


그림 7. 장비 사양 정보.

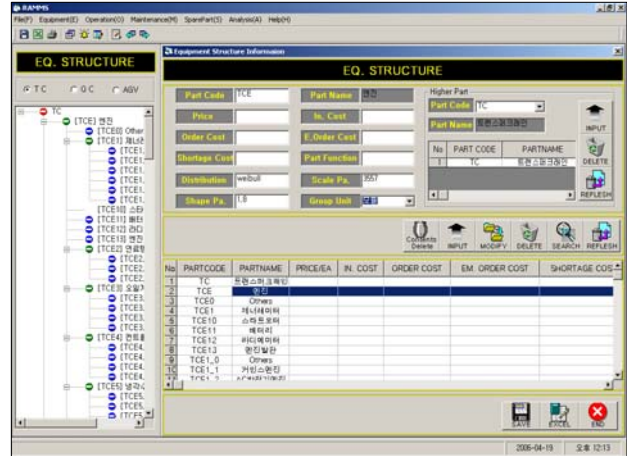


그림 8. 장비 구조 정보.

3.3 운영 관리 모듈

운영관리 모듈은 장비 가동/중단 정보, 장비 주유 정보, 정비원 정보, 공급업체 정보로 구성되어 있다.

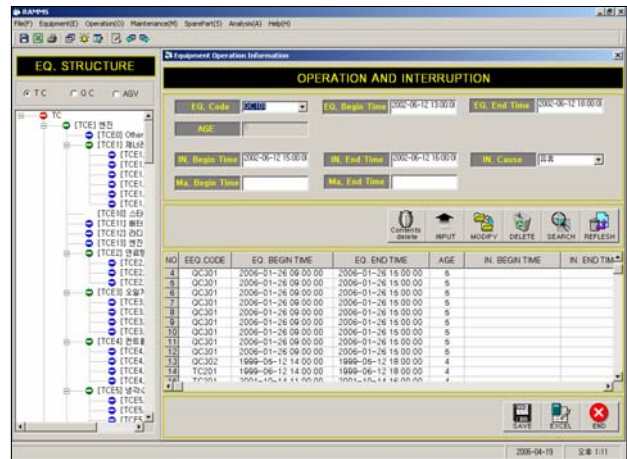


그림 9. 장비 가동/중단 정보.

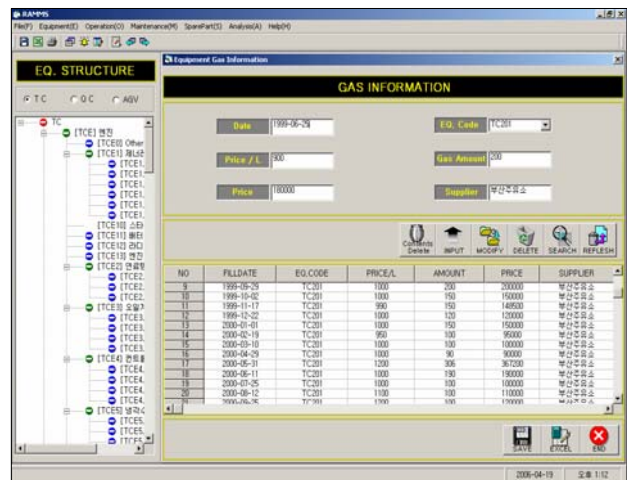


그림 10. 장비 주유 정보.

장비 가동/중단 정보(<그림 9>)와 장비 주유정보(<그림 10>)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.

3.4 정비 관리 모듈

정비 관리 모듈은 정비 표준 관리, 예방정비 일정관리, 정비 요청, 실적 관리로 구성되어 있다. 정비 표준 관리(<그림 11>)는 특정 장비에 대해 필요한 예비품, 정비원, 소요시간을 표준화시켜 코드화하여 관리한다. 정비요청(<그림 12>)은 고장 발생 및 예방정비 필요시 해당 장비 및 부품명, 고장현상 등을 입력하여 정비 한다.

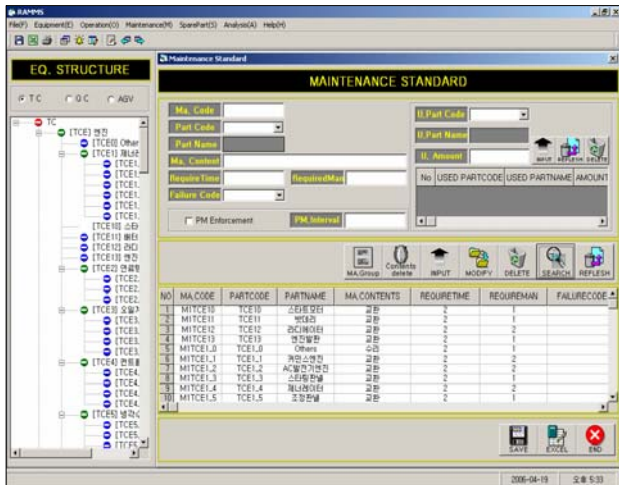


그림 11. 정비 표준 관리

요청된 정비에 대해 실제 정비가 이루어지면 정비기록을 정비 실적 관리(<그림 13>)에 입력한다.

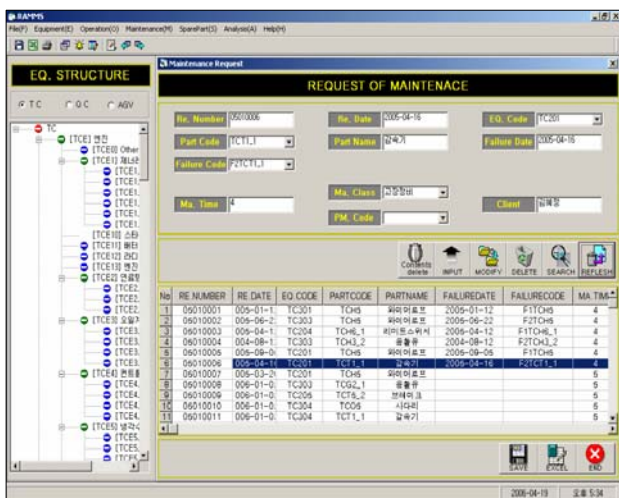


그림 12. 정비요청.

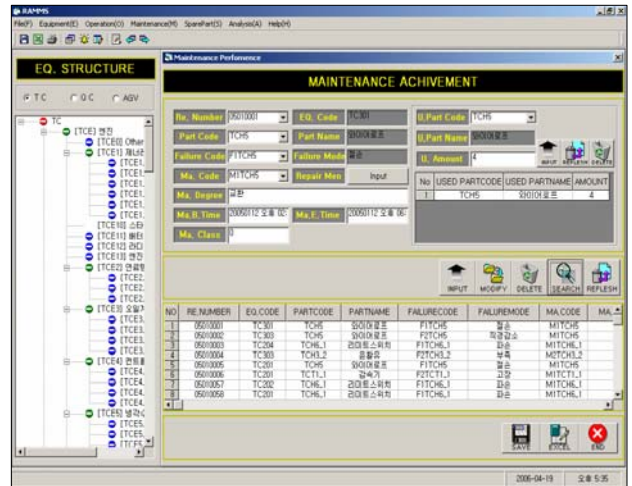


그림 13. 정비 실적 관리.

정비 실적에 입력되는 정보로는 실제 정비가 이루어진 부품과 소모된 예비품과 정비 시간, 그리고 정비 인원에 대한 정보가 있다. 그리고 개별 부품의 수명을 자동으로 데이터베이스에 저장하여 수명 모수 추정에 있어서 중요한 정보로 이용된다. 실제 트랜스퍼 크레인의 데이터로 1993년 1월부터 2004년 8월까지 자료를 수집하여 적용하였다.

3.5 예비품 관리 모듈

예비품 관리 모듈은 예비품의 등록, 입고관리, 출고관리, 발주관리, 재고내역 조회로 구성되어 있다. 예비품 등록(<그림 14>)에서 예비품의 코드, 소모성 여부 등과 같은 기본 정보를 입력하고 예비품을 등록한다. 예비품의 발주가 이루어지면 발주코드로 발주관련 정보를 입력하고 발주된 예비품이 입고되면 입고현황에서 발주코드로 입고를 확인한다. 정비활동으로 소모된 예비품은 출고 관리에서 출고 처리하면 재고내역(<그림 15>)에서 자동 삭감된다.

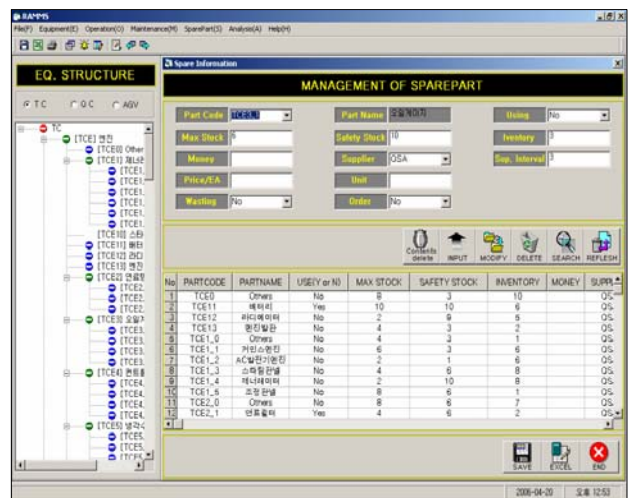


그림 14. 예비품 등록.



그림 15. 재고 내역 조회.

3.6 분석 모듈

분석 모듈은 FMEA, 핵심부품 관리, 개선관리, 고장 현황 조회, 수명 모수 추정, 최적 예방정비 주기 결정, 연간예방 일정 결정으로 구성되어 있다.

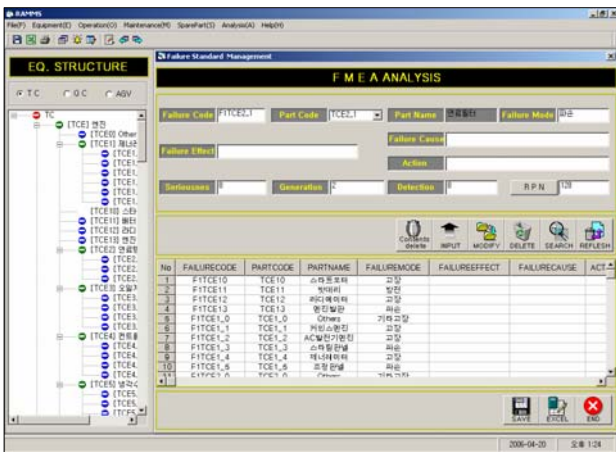


그림 16. FMEA.

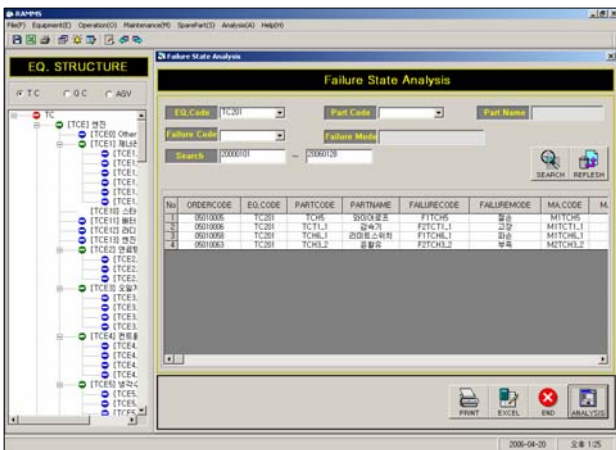


그림 17. 고장 현황 분석.

FMEA(<그림 16>)를 통하여 주요 부품 및 RPN을 산출하고, 핵심부품을 선정한다. 선정된 핵심 부품을 중심으로 개선활동을 실시하고, 개선 이력을 관리한다. 또한 고장 현황 분석(<그림 17>)을 통하여 특정 기간 동안의 장비별 고장 현황을 확인할 수 있다.

트랜스퍼 크레인의 FMEA 및 핵심부품 분석 실시결과 호이스트 와이어 로프가 선정되었다. 핵심 부품인 호이스트 와이어 로프의 본 시스템의 추정치는 통계 분석 패키지 MiniTab에서의 추정치와 <표 4>과 같이 유사한 결과를 보였다. 수집된 고장 데이터로부터 <그림 18>과 같이 추정해 보았다. 이때 122개의 데이터로부터 고장률 타점법을 사용하였다.

표 4. RAMMS 추정치와 MiniTab 추정치의 비교

	RAMMS 추정치	MiniTab 추정치
척도 모수	1375.9	1442
형상 모수	2.082	2.179

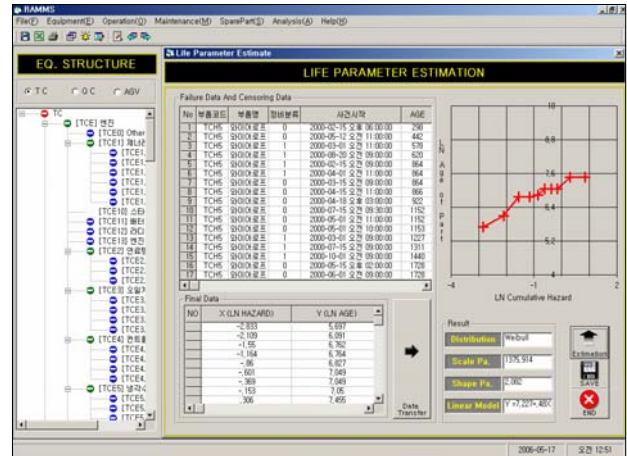


그림 18. 수명 모수 추정.

최적 예방 정비 주기 결정은 시뮬레이션과 유전자 알고리즘을 이용하여 결정한다.

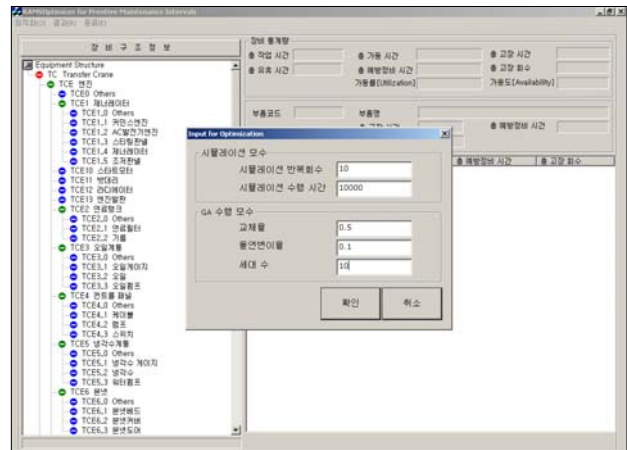


그림 19. 시뮬레이션 초기 입력 창.

<그림 19>는 시뮬레이션 기간 및 반복수 등 실험에 필요한 데이터를 입력하는 화면이다.



그림 20. 장비/부품별 통계량.

<그림 20>은 시뮬레이션 기간 동안의 각종 통계량을 산출한 결과 화면이다.

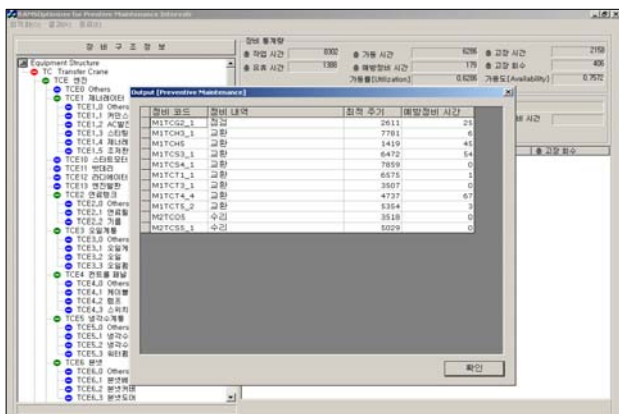


그림 21. 제안된 예방 정비 주기.

<그림 21>은 부품 수행하는 예방정비 코드별로 시스템에서 제안한 최적 예방 정비 주기이다.

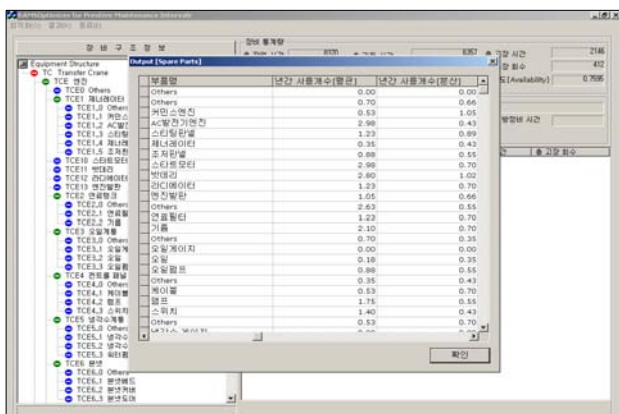


그림 22. 예비품 소모량 평균/분산.

<그림 22>는 시뮬레이션 기간 동안의 예비품의 평균 사용량 및 분산을 산출한 화면이다.



그림 23. 연간 정비 인원 그래프.

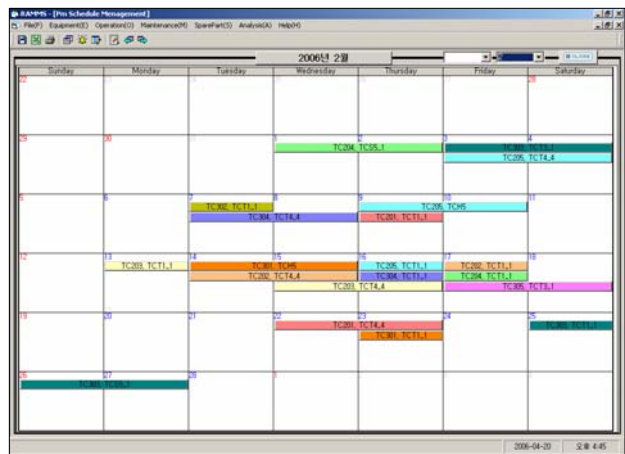


그림 24. 연간 예방 정비 일정 계획.

<그림 23>은 정비기사의 인원을 입력 값으로 받아 예방정비 작업을 평균화하여 예방 정비의 연간 일정 조정을 수행하는 기능을 보여준다. 그래프의 x축은 시간축이고 y축은 정비 인원을 나타내는 축이다. 화면 상단 그래프는 2.4절에서 결정한 예방정비 주기를 그대로 적용한 결과이며, 아래 그림은 평균화 작업을 통하여 수정된 예방정비 일정이 적용된 결과이다. <그림 24>는 평균화된 연간 예방 정비 일정을 달력 형식으로 출력한 것이다. 장비 운영 중 갑자기 발생한 제약으로 인하여 정비 일정을 변경하고자 할 경우 마우스를 이용한 드래그 앤드롭으로 예방 정비 일정을 수동으로 변경할 수 있으며, 변경된 정보는 자동적으로 데이터베이스에 저장된다.

현재 컨테이너 터미널에서 운영 중인 각 트랜스포크레인의 예방 정비 주기에 대해 가용도는 0.70정도이다. RAMMS에서 제안한 예방 정비 주기의 결과를 적용할 때 장비의 가용도는 0.85로 <표 5>와 같이 예상되며, 약 0.15의 가용도 향상이 기대된다. 만약 트랜스포크레인이 시간당 컨테이너를 20개 처리한다면 연간 약 20만개의 컨테이너 처리량 향상이 기대된다.

표 5. 기존 정비주기와 제안된 정비주기

정비 내역	기존 정비 주기	제안된 정비 주기
Hoist Wire 교환	1200시간	1500시간
Gantry 윤활유 교환	2000시간	1800시간
Spreder 유압실린더	2500시간	3400시간
Trolley 감속기	4200시간	4500시간
Availability	0.700	0.850

4. 결론

컨테이너를 통한 물류 이동이 증가되고 있고, 이에 컨테이너 물류의 중요성이 대두 되면서 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. 표준화된 데이

터의 기록과 사용으로 사용자의 편리를 증대하고, 컨테이너 터미널 장비의 신뢰도, 가용도 및 정비도 분석 방법을 제시함으로써 장비 최적화 도구로서의 활용을 기대해 볼 수 있을 것이다. 추후연구로 컨테이너 터미널의 주 하역 장비인 컨테이너 크레인의 정보 분석과 고장 및 예방정비 발생에 관련된 장비의 예비품 최적화에 관한 연구도 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

Cho, D. I. and Parlar, M.(1991) A Survey of Maintenance Models for Multi-unit Systems, *European Journal of Operational Research*, 51, 1-23.
 Dekker, R. and Rijn, C.(1996), PROMPT, A Decision Support System for Opportunity-based Preventive Maintenance, Reliability and Maintenance of Complex Systems edited by Suleyman Ozekici, Springer-Verlag, 530-549.
 Ivy, J. and Nembhard, H. B.(2005), A Modeling Approach to Maintenance Decisions Using Statistical Quality Control and Optimization, *Quality and Reliability Engineering International*, 21, 355-366.
 Savsar, M.(2006), Effects of Maintenance Policies on the Productivity of Flexible Manufacturing Cells, *Omega*, 34(3), 274-282.
 Yun, W. Y., Choi, Y. S., Song, J. Y., Yang, C. H.(2001), A Simulation Study on Efficiency of Container Crane in Container Terminal, *IE Interfaces*, 14(1), 67-78.
 Wang, H.(2002), A Survey of Maintenance Policies of Deteriorating System, *European Journal of Operational Research*, 139, 469-489.



윤원영
 서울대학교 산업공학과 졸업
 과학기술원 석·박사 학위 취득
 현재 : 부산대학교 산업공학과 교수
 관심분야 : 신뢰성, 보전성 공학, 시뮬레이션



손범신
 동서대학교 산업공학과 졸업
 현재 : 부산대학교 산업공학과 석사 과정
 관심분야 : 신뢰성 보전 관리 시스템



김귀래
 창원대학교 산업공학과 졸업
 부산대학교 대학원 석·박사 학위 취득
 현재 : 부산대학교 Post Doc. 과정
 관심분야 : 신뢰성 보전 관리, 시뮬레이션



김혜정
 현재 : 부산대학교 산업공학과 재학 중
 관심분야 : 고장 데이터 분석



하영주
 부산대학교 통계학과 졸업
 부산대학교 대학원 석사 학위 취득
 현재 : 부산대학교 산업공학과 박사 과정
 관심분야 : 신뢰성 보전 관리