

## 선박작업 생산성 향상을 위한 갠트리 크레인의 고장분석 및 예방보전 주기 결정에 관한 연구

김환성\* · 김영호\*\* · 잔록황선\*\*

\*한국해양대학교 물류시스템공학과 교수, \*\*한국해양대학교 동북아물류시스템학과 대학원

### A Study on Determination of Optimal Prevention Maintenance Interval for Gantry Crane in Container Terminal

Hwan-Seong Kim\* · Young-Ho Kim\*\* · Tran Ngoc Hoang Son\*\*

\*Department of Logistics, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

\*\*Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 컨테이너 터미널의 생산성의 주요 지표로서 선박작업 생산성이 강조되고 있으며, 이는 갠트리 크레인의 작업에 크게 의존되고 있다. 갠트리 크레인의 작업시간에 발생하는 고장시간 및 고장수리시간에 의해 크레인의 본선작업 가동율이 결정되며, 이로서 체선시간이 좌우되고 있다. 본 연구에서는 갠트리 크레인의 예방보전 주기를 새롭게 설정함에 의하여 크레인의 고장을 감소시키며, 이로서 선박작업 생산성에 미치는 영향을 지표로서 제시하고자 한다.

**핵심용어** : 터미널 생산성, 갠트리 크레인, 예방보전, 보전주기

**ABSTRACT** : The productivity for container handling in container ship is a important role in container terminal, and it is mainly depended on the productivity of gantry crane. From the failure of gantry crane, the crane will be stopped until the repair of the failure. During the repair, the loading and/or discharging for container ship is suspended, and the productivities of the container ship and the yard is just hold. Thus, the prevention maintenance is importance to make a keep the steady state condition for all equipments in container terminal. In this paper, we deal with a optimal determination method of prevention maintenance interval for gantry crane systems. For verification, we will make a productivity of gantry crane and adapt to total container handling in each ship by simulation.

**KEY WORDS** : Terminal Productivity, Gantry Crane, Prevent Maintenance, Maintenance Period

### 1. 서 론

1980년대의 부산컨테이너부두운영공사(BCTOC)를 시작으로 우리나라는 본격적인 컨테이너 전용 터미널 시대에 들어섰다고 할 수 있다. 그 후 컨테이너 터미널은 부산항을 중심으로 하여 날로 발전하여 규모와 시설 면에서 세계 유수의 컨테이너 터미널과의 경쟁에서 유리한 지리적 여건과 서비스 강화로 경쟁력을 갖추어 왔다.

현재 전 세계적으로 무역의 규모가 날로 커지면서 2006년에는 컨테이너 물동량이 약 9% 증가 할 것으로 예측이 되고 있

다. 그러나 중국을 비롯한 여러 나라가 항만 개발을 시작하면서 우리나라의 항만의 입지가 날로 좁아지고 있으며, 총생산대비 물류비의 구성이 선진국인 미국의 7%, 일본의 11.3%보다 훨씬 많은 15.7%에 이를 정도로 열악한 현실이다. 이러한 가운데 2005년 12월 1일 중국 상하이 양산항이 1개월여 일찍 일부 개장을 하여 우리나라와의 경쟁에서 우위를 점하고자 하여 우리나라와의 항만 경쟁이 불가피 하다.

이에 대한 대책으로 자동화 터미널에 관한 연구들이 시작 되었으며, 이에 관한 국책 사업으로 부산신항, 마산항, 광양항 2 단계 공사가 활발히 진행되고 있다. 이에 대한 핵심인 하역장비의 원활한 운영을 위해 많은 제어 시스템이 개발이 이루어져 현재 제작중인 하역장비에 도입이 되고 있다.

따라서 선진 항만 컨테이너 터미널과의 경쟁을 위해서는 자

\*종신회원, kimhs@hhu.ac.kr 051)410-4334

동화 시스템과 연계하여 사전 계획에 의해 고도화된 터미널을 운영하여야 하며, 이는 항만하역장비의 고장 없이 컨테이너 터미널 전체가 한 치의 오차도 없이 운영되어야 한다. 이러한 터미널의 운영 목표에 부합하기 위한 다양한 조건을 만족시켜야 하며, 그 중 항만하역 장비의 고장이 발생하지 않는다는 전제하에 모든 계획이 수립되고 있다.

그러나 항만하역장비라는 특성상 고장은 필연적으로 발생되어질 수밖에 없으며, 이러한 고장은 무수히 많은 변수를 내포하고 있다. 작업환경이 항상 노출 되어진 상태이고, 컨테이너 화물의 중량이 일정하지 않아 부하 변동이 매우 심하다는 것과, 운전자의 운전 습관, 야드의 토목환경, 외부차량의 충돌사고, 부품의 신뢰성 등 많은 변수가 항상 잔존하는 상태에서 하역작업이 이루어지므로 고장은 언제든 발생할 수 있다.

이 중에서 분석작업을 수행하는 갠트리 크레인의 고장 요소는 크게 전기 분야와 기계 분야로 나누어진다. 전기 분야는 주 동작 전동기를 비롯한 전동기류, 전동기 속도를 제어하는 속도 제어기, 갠트리 크레인 전체 동작을 관리하고 제어하는 PLC, 고압을 필요한 전원으로 바꾸는 변압기 등 다양하다. 기계분야는 전기 분야와 같은 주 동작 전동기, 실제 구동을 담당하는 기어박스, 와이어 드럼, 휠, 시브, 브레이크와 각 유압 시스템으로 동작하는 경전장치, 스프레더와 로프 텐서너 장치가 대표적인 장치이다.

갠트리 크레인을 포함한 항만하역장비는 일정한 주기로 장비의 예방점검을 행하고 있으며 점검결과 이상이 발생한 경우는 이를 수리 및 유지보수를 행하고 있다. 또한, 주기적인 부품교체가 예상되는 부품에 대해서는 일정주기마다 부품 교체를 통하여 고장을 미연에 방지토록 해야 하나, 현재의 터미널의 사정으로 인하여 적시에 부품교체가 이루어지지 않고 있다.

따라서, 본 논문에서는 현실적으로 부품교체 및 예방보전주기를 결정하는 방안을 제시하며, 시뮬레이션을 통하여 생산성 향상과의 관련성을 제시하고자 한다.

## 2. 갠트리 크레인의 정비내용 및 점검항목

갠트리 크레인은 컨테이너 전용 터미널에서 본선작업에 투입되는 하역장비로서 본선에서 육지로, 육지에서 본선으로의 양하 및 적하 작업을 행하는 가장 중요한 하역장비이다.

갠트리 크레인 고장 발생 시 하역 작업 중단이 필연적이며, 터미널 전체에 미치는 영향뿐만 아니라 본선의 출항이 늦어지거나, 긴급 컨테이너의 경우 터미널 외부로 반출이 늦어져 화주에게 큰 손실은 물론 터미널 전체의 신뢰도를 떨어뜨리는 결과를 초래하기도 한다. 따라서 갠트리 크레인의 고장으로 인한 영향은 매우 크다고 할 수 있다.

갠트리 크레인 고장발생 시 짧게는 몇 분에서 길게는 몇 시간까지, 야간에 발생하는 고장은 매우 긴 시간을 하역 작업이 중단되는 경우도 볼 수 있다. 갠트리 크레인은 이와 같은 이유로 정비의 특성은 예방정비, 수시점검과 같이 매우 빈번하게 이루어진다. 그리고 가동 중 상시 점검을 하여 이상소음이나 진동을 점검한다. 즉, 전동기의 경우 고속 회전 시 발생하는 이상소음이

나 과전류가 흐를 때 발생하는 이상소음이 주 점검항목이다.

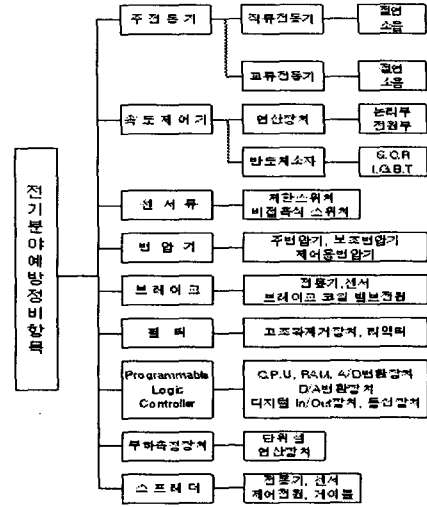


그림 1 전기 분야 예방정비 항목

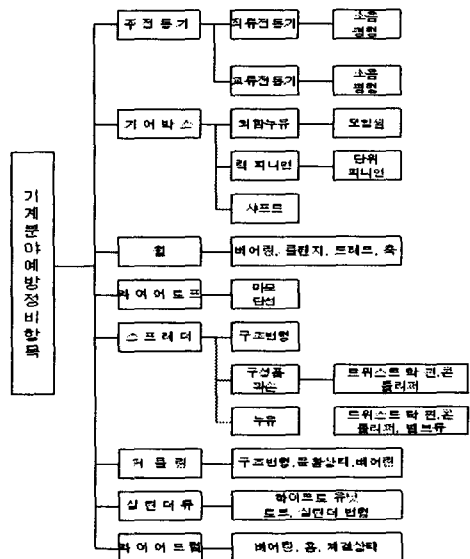


그림 2 기계분야 예방정비 항목

### 2.1 크레인의 정비내용 및 특징

갠트리 크레인의 예방정비는 전기와 기계분야로 나누어진다. 전기, 기계분야 예방정비는 갠트리 크레인이 작업을 하지 않는 시간동안 이루어지며 전기 분야는 Hoist Motor, Trolley Motor, Boom-hoist Motor, Gantry Motor와 같이 주 동작 전동기, 빈번한 동작을 하는 전동기 속도제어기, 대용량 전자접촉기, 부하측 정장치, 고압반, 보조전동기, 비상정지장치 등을 위주로 정비를 하게 된다 (그림 1 및 그림 2 참조). 각각 주 동작 전동기의 냉각필터 교체, 전동기 절연 상태와 전동기 자체의 문제점 위주로 정비가 이루어진다.

직류전동기는 특성상 브러시로 인한 오염이 전동기 내부에서 필연적으로 발생하기 때문에 매우 정밀한 예방정비와 점검이 이루어진다. 전동기 내부 오염을 제거해야하고 정류자면의 상태를 면밀히 점검을 해야 한다. 하역 작업 중에는 주로 Hoist,

Trolley 전동기가 가장 많이 사용된다. 하역 작업 중 전동기의 손상이 발생할 경우, 전동기 교체 시간은 매우 많은 시간이 소요되고, Hoist 전동기의 경우 절연저항이 낮을 경우 운전 중 전류가 갠트리 크레인 몸체를 타고 흘러서 충분한 토크를 발생 시키지 못해 상승 운전 명령이 주어져도 컨테이너가 아래로 떨어져 화물의 손상은 물론 인명 사고로 연결 될 수도 있다. 그러므로 전동기의 점검과 예방정비는 매우 중요한 부분을 차지하고 있다.

표 1 갠트리 크레인 전기부분 예방점검항목

번호	예방정비품목	예방정비점검항목	비고
1	주동작 전동기 (Main Motor)	온도, 소음, 진동, 절연, 아크, 윤활유, 내부오염 상태 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
2	보조 전동기 (Aux Motor)	소음, 절연상태 점검	"
3	조명(Lighting)	점등불량조명, 안경기 및 램프 점검	미 점등 시 교체
4	속도제어기 (Speed Controller)	반도체 소자, 내부 PCB 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
5	대용량 M/C (Magnet Contactor)	Tip 마모 상태 점검	이상 발생 시 교체
6	부하측정장치 (Weighting System)	부하 연산값 측정	이상 발생시 교체 후 실부하 측정
7	스프레더(Spreader)	동작 및 케이블 소손 점검	이상 발생 시 교체
8	센서류(Sensors)	동작상태 점검	"
9	케이블류(Cables)	외피 소손 점검	"
10	슬립링(Slip Ring)	아크 발생 여부 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
11	주 변압기(Main T/R)	애자청소	"
12	보조 변압기(Aux T/R)	애자청소	"
13	고조파제거장치 (Harmony Filter)	애자청소	"
14	항공등 (Air-Craft Lighting)	전원, 축전지 상태, 조도센서 점검	"
15	엘리베이터 (Elevator)	진동, 소음, 브레이크 점검	"
16	전자브레이크 (Magnetic Brake)	전원, 간극 점검	"
17	캘리퍼디스크브레이크 (Caliper Disc Brake)	동작여부, 디스크 편 마모, 간극점검	"
18	유무선 통신장치 (Wire & Wireless Communication)	통신상태 점검	"
19	냉난방기 (Aircon & Heating)	냉 난방 상태 점검	"
20	PLC 단위모듈 (PLC Unit Module)	단위모듈별 이상여부 점검	"

기계분야의 예방정비는 윤활유 급유와 와이어로프 점검이 많은 부분을 차지하고 있다. 윤활유 급유는 계획된 일정에 따라서 급유를 하지만, 정해진 기간이나 조건보다는 자체적인 계획에 따라 행하여진다. 특히 와이어로프는 와이어로프 제작사의 교체 권장시간 보다는 수시 육안점검과 실제 사람의 촉감에 의한 점검이 이루어지는 경우가 대부분을 차지한다. 그리하여 시간과 위험성을 많이 내포하고 있고, 감속기, 시브, 등 회전운동을 하는 장치들은 하역 작업 중에 파손 등이 발생할 경우 하역 작업 중단은 물론 교체 시간에 매우 많은 시간이 소요되므로 수시점검이 매우 중요하다고 할 수 있다. 전기 분야의 점검과 정비는 각종 계측기기의 사용이 많고, 기계 부분은 육안 점검이 가능한 부분이 많기 때문에 점검이 용이하다는 장점이 있는 반면에 고장 시 정비소요 시간이 상당히 많은 시간이 소요된다.

2.2 크레인의 점검항목 및 특징

표 1은 갠트리 크레인 전기 분야 예방정비항목을 그룹별로

나타 낸 것이다. 주 전동기는 절연측정과 고속 회전 시 이상소음을 주로 점검하여 절연파괴 등으로 나타나는 과전류의 소음을 확인하기 위함이다. 주 전동기의 속도를 제어하는 속도제어기는 연산장치와 입·출력 값이 오차 범위 내에서 작동 여부와 각 파라미터(Parameter)의 설정치 확인, 통신상태, 반도체 소자의 고유 저항 값을 주로 점검하게 된다. 변압기 역시 절연측정이 최우선으로 이루어진다. PLC(programmable Logic Controller)에는 각 외부장치에서 들어오는 연산 정보가 일정한 형태로 전송이 되는지 여부, 부하 측정 장치는 실제 컨테이너 화물의 중량을 나타내는지 여부를 확인한다.

표 2 갠트리 크레인 기계부분 예방점검항목

번호	예방정비품목	예방정비점검항목	비고
1	감속기(Reducer)	외합, 기어, 키, 축, 베어링, 오일셀, 작동유 누유, O-ring, 트, 너트 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
2	와이어로프 (Wire Rope)	로프 클램프, 마모, 단선 상태 점검	이상 발생 시 교체
3	시브(Sheave)	소음, 진동, 마모점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
4	로프텐셔너 (Rope Tentioner)	프레임, 휠, 베어링, 작동유 누유, 오일셀 하이드로 유닛 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
5	엘리베이터 (Elevator)	택 연결부위 윤활 상태, 진동, 소음, 브레이크 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
6	붐 힌지 (Boom Hinge)	윤활상태, 조립체 진동 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
7	스프레더 (Spreader)	유압필드진동, 소음, Twist Lock 간 거리, 헤드볼러 균열, 변형 하이드로 유닛점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
8	붐 얹혀 힌지 (Boom Hingde) Upper	조립체 이상진동, 소음 점검	이상 발생 시 교체
9	휠 (Wheel)	플랜지, 트레드, 축, 베어링 마모, 진동, 소음 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
10	캘리퍼디스크브레이크 (Caliper Disc Brake)	토크 설정치 이상 유무, 편마모 점검,	이상 발생 시 교체
11	윤활유(Grease)	윤활유 주입상태 점검(약 400 톤)	정기 주유
12	커플링(Coupling)	조립체 이상유무, 소음, 진동, 윤활상태 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
13	경전장치(T/L/S)	소음, 진동, 누유, 위치 값 실린더, 하이드로 유닛 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
14	와이어 드럼 (Wire Drum)	흙, 용접부, 베어링 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
15	페스톤시스템 (Festoon System)	고무벌레, 와이어로프, 행거, 배어링 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
16	포스테이(Fore Stay)	링크 핀, 볼트 너트, 윤활유 주입 상태 점검	이상 발생 시 교체
17	휠 브레이크(Wheel Brake)	디스크라이닝, 레버 로드 핀, 볼트 너트 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
18	트롤리범퍼 (Trolley Bumper)	본체 변형파손, 볼트 너트, 윤활유 누유 점검	이상 발생 시 교체
19	붐 비상 브레이크 (Boom EMG Brake)	압력저하, 작동유 누유, 디스크 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전
20	케이블 릴 시스템 (Cable Reel System)	릴 변형, 파손, 롤러 점검	이상 발생 시 교체 후 시운전

표 2는 갠트리 크레인의 기계분야 예방정비항목을 그룹별로 나타 낸 것이다. 주 전동기는 전기 분야와 동일한 부분도 있다. 기계 분야의 주 전동기 점검은 이상소음으로 전동기 수평유지에 문제여부를 확인하기 위함이다. 기어박스, 휠, 커플링, 와이어 드럼은 여러 가지 고장 발생 시 소음으로 주로 나타난다. 와이어로프는 단선과 마모율을 가지고 교체 여부를 판단하게 된다.

3. 갠트리 크레인의 고장분석

갠트리 크레인의 고장 현황은 위 2절에서 설명한 내용과 같이 매우 다양한 형태로 나타난다. 본 절에서는 1개 선박의 본선작업에 대한 결과를 위주로 나타내도록 한다. 먼저, 부산 H 컨테이너 전용 터미널의 2005년도 5개월 작업내용을 표 3과 같이 조사되었다.

표 3 1개 선박작업시 평균 작업내용

항목	내용
총 작업시간	2,534 [min]
본선작업 가동율	74.9 [%]
본선작업 중단율	25.1[%]
투입 G/C	4 기
투입 T/C	8.4기
투입 Y/T	10.7 기
H/C 수량	29.6 [TEU]
미 반입 컨테이너 수량	55.1 [TEU]
반입수량	337.4 [TEU]
반출수량	458.0 [TEU]
구내이적	50.7 [TEU]
장치율	73.5 [TEU]

이때, 본선작업 중단율 25.1%에 대한 상세 비율 및 내역은 그림 3 및 이에 대한 내역은 표 4와 같이 나타낸다.

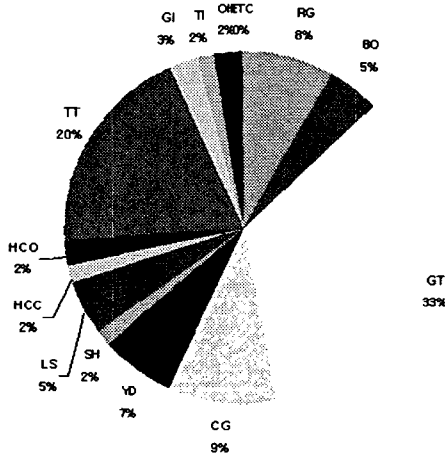


그림 3 본선작업시의 작업 중단비율

컨테이너 전용 부두에서 작업 중단 사유 중 갠트리 크레인의 이동시간, 봄 상승, 하강 시간과 같이 고장이 아닌 외적인 문제에 대해서는 또 다른 문제이다. 그리고 기상악화, 반입 지연, 관련 서류 등과 같은 문제 또한 외적인 문제이다. 그림 3에서 나타낸 것과 같이 일반적으로는 갠트리 크레인과 트랜스퍼 크레인의 고장으로 인한 중단 사유가 가장 많다. 그중에서도 갠트리 크레인은 작업 중단과 바로 연결된다.

표 4 본선작업시 작업정지 코드

번호	작업중단 코드	내용
1	RG	Rigging Time ( G/C 이동시간)
2	BO	Boom Up & Down 후 이동시간

3	GT	G/C Trouble (G/C 고장에 따른 작업지연)
4	CG	Not Arrive Cargo on the G/C(화물 미도착)
5	YD	Yard Work Delay(야드 작업 지연)
6	BB	Break Bulk 작업
7	ML	Meal Time (식사시간)
8	WE	Weather (기상악화로 인한 작업지연)
9	SH	Ship Trouble(선제이상으로 인한 작업지연)
10	WD	Waiting Documentation(서류지연)
11	EF	Electric Power Failure(정전)
12	LS	Lashing Delay(래싱작업 지연)
13	FC	Floating Crane 작업지연
14	HCC	Hatch Cover Closed (해치카버 닫음)
15	HCO	Hatch Cover Open (해치카버 열림)
16	TT	T/C Trouble (T/C 고장에 따른 작업지연)
17	GI	G/C Interference(G/C 간섭으로 인한 작업지연)
18	TI	T/C Interference(T/C 간섭으로 인한 작업지연)
19	OH	Over Dimension (장척화물로 인한 작업지연)
20	ETC	기타 작업 지연

갠트리 크레인의 작업 중단 비율 33%중 전기와 기계분야의 고장비율은 그림 4로, 이에 대한 수리시간 소요비율은 그림 5에 나타내었다.

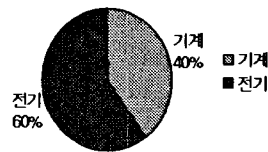


그림 4 G/C의 기계 및 전기의 고장비율

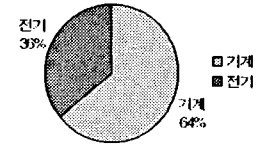
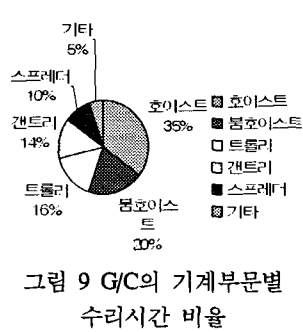
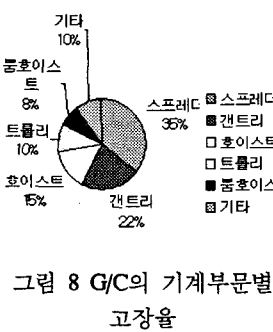
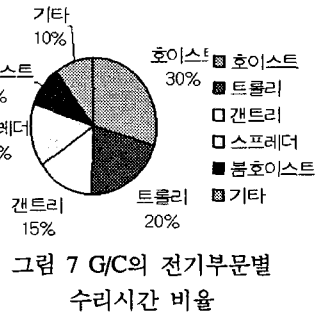
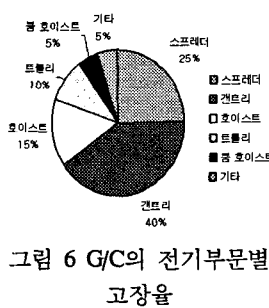


그림 5 G/C의 기계 및 전기부문 수리시간 비율

전기 분야와 기계분야의 고장율과 수기시간은 정반대라 할 수 있다. 전기 분야는 작업 중 발생하는 고장은 주 동작 전동기나 반도체 소자 또는 위치센서등 복잡한 연산과 시간을 나타내는 부분이 아니면 간단한 온 오프(On/Off) 센싱(Sensing) 문제이거나, PLC로의 입·출력 부분이 대부분을 차지하여 오랜 수리시간이 소요되지 않지만, 기계분야는 기계부분의 특성상 고장은 단순교체를 하는 부분이 그리 많지가 않거나, 일부는 그대로 작업을 진행 하는 경우도 빈번히 발생 한다. 특히 작동유 누유 같은 문제는 작동유를 보충하면서 그대로 사용하는 경우가 대부분이다. 그림 6은 전기 분야 고장의 동작별 분류를 나타 낸 것이다. 특히 주행부분과 스프레더에 많은 고장이 발생하는 것으로 나타난다. 주행부분은 많은 주행 주 전동기와 전동기마다 부착되어 있는 전기 브레이크, 휠 브레이크의 수가 많기 때문에 그만큼 고장 포인트가 많다는 것을 의미한다. 그 외에 주행부분은 고압 케이블에 의해 고압의 전원이 공급되기 때문에 안전을 고려하여 고압 케이블을 보호하기 위한 안전장치가 매우 많기 때문이다. 스프레더는 직접 화물과 본선 안에서 셀 가이드등과 같이 직접적인 충격을 매우 많이 받는 부분이기 때문일 것이다.

그림 7은 전기 분야의 고장수리 시간별 분류를 나타 낸 것이다. 호이스트와 트롤리 부분이 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 권상·권하 부분인 호이스트와 횡행이 많은 비율을 차지

하는 것은 동작 시간이 많기 때문에 마모와 피로도가 그 만큼 많이 싸인다는 반증이기도 하다. 특히 권상 부분은 많은 잦은 동작으로 인한 속도의 가·감속과 부하의 중량 변동에 따른 대 전류가 흐르기 때문에 반도체 소자와 주 전동기 그리고 위치제어를 하는 부분에서 누적 공차가 그만큼 크다는 것을 의미한다. 기타 부분은 갠트리 크레인의 직접적인 가동을 멈추게 하는 부분은 많이 없다. 그러나 가동은 되지만 생산성에 직접적인 영향을 주는 부분이 많이 존재한다.



기계분야의 고장비율은 그림 8에 나타난 것과 같이 구조 변형을 가져오는 스프레더 부분이 가장 많다. 스프레더는 직접 컨테이너 화물과 접촉을 하는 부분으로 충격을 가장 많이 받는 가장 크기가 큰 단품 부품이다. 두 번째는 전기 분야와 마찬가지로 갠트리 부분이다. 많은 진장품이 설치되어 있는 부분이므로 고장 빈도수가 높은 부분에 속 한다. 기계분야 고장 수리 시간별 분류는 그림 9에 나타난 것과 같이 권상·권하 부분이 가장 많다. 가장 많은 구동을 하는 부분이므로 마모율이 가장 높은 부분이다. 두 번째는 붐 호이스트 부분이다. 붐 호이스트는 운전시간은 그리 많지는 않지만 붐이란 구조물 자체 중량이 대략 200~250[Ton]에 이른다. 이렇게 무거운 중량물을 작은 힘으로 들기 위해서는 소용량의 전동기로 기어비(Gear Ratio)가 큰 감속기를 통해 최대의 토크로 들어 올리고 내려야 하기 때문이다. 중량이라는 점 때문에 관련 구조물이 매우 크기 때문에 고장 수리에 많은 시간을 소요하게 된다.

갠트리 크레인의 고장비율을 위 그림 4에서 그림 9까지를 살펴보면 고장 횟수는 전기부분이 많은 빈도수를 차지하고 있고, 기계분야는 시간에서 많은 빈도수를 차지하고 있다. 그리고 기계와 전기분야가 포함되는 경우도 발생하고, 기타 사항은 직, 간접적인 영향을 주는 부분이 발생하기도 한다.

## 4. 갠트리 크레인의 고장율이 터미널 생산성에 미치는 영향

### 4.1 컨테이너 터미널의 생산성 측정모형

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 생산성 측정모형을 1개 선박작업을 기준으로 다음과 같이 고려하였다.

$$1\text{개선박당 생산성}(S_p) = \frac{\text{본선처리실적}(S_n)}{\text{총작업시간}(T_T)} \quad (1)$$

$$1\text{개선박당순 생산성}(S_{np}) = \frac{\text{본선처리실적}(S_n)}{\text{순작업시간}(W_T)} \quad (2)$$

$$\text{장비 생산성}(E_p) = \frac{\text{본선처리실적}(S_n)}{\text{크레인순작업시간}(W_T)} \quad (3)$$

단,  $T_T = W_T + H_T + E_T$  이며  $H_T$ 는 고장으로 인한 정지시간을 나타내며 표 4에서 GT 및 TT의 합으로 나타낸다. 또한  $E_T$ 는 기타 준비시간으로서 표 4에서 GT 및 TT를 제외한 나머지 항목의 총합으로 편의상 일정하다고 가정한다.

위의 터미널 생산성 측정모형에서 1개 선박 당 생산성이 높기 위해서는 총 작업시간( $T_T$ )가 적어야 하며, 이 중에서 최소한 순작업시간은 장비 성능과 관련된 항목이므로 쉽게 줄어들 수 없는 것을 고려한다면 고장( $H_T$ ) 및 기타시간( $E_T$ )가 줄어들어야 한다. 즉, 장비의 고장시간( $H_T$ )의 감소로 인하여 1개 선박당 생산성이 높아져 터미널내의 체선시간이 감소하게 된다.

### 4.2 고장율이 터미널의 생산성에 미치는 영향

갠트리 크레인의 고장율이 터미널 생산성에 미치는 영향을 계산하기 위해서는 (1)식을  $H_T$ 에 대해서 미분을 취함으로써 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dS_p}{dH_T} &= \frac{d}{dH_T} \left( \frac{S_n}{W_T + H_T + E_T} \right) \\ &= - \frac{S_n}{(W_T + H_T + E_T)^2} = - \frac{S_h}{T_T^2} \end{aligned} \quad (4)$$

단, 이때  $W_T$  및  $E_T$ 는 일정하다고 가정한다.

1 선박당 생산성( $S_{p0}$ )에서 생산성이  $S_p$ 로 변하는 경우에 대한 민감도는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{S_p}{S_{p0}} = \frac{\frac{S_h}{W_T + H_T + E_T}}{\frac{S_h}{W_T + H_{T0} + E_T}} = \frac{W_T + H_{T0} + E_T}{W_T + H_T + E_T} \quad (4)$$

위의 식에서 고장율이  $H_{T0}$ 에서  $H_T$ 로 증가하는 경우는 분모부분이 커지므로 상대적으로  $S_p$ 는 감소하게 된다. 따라서  $S_p$ 를 증가시키기 위해서는  $H_T$ 를 감소시켜야 함을 알 수 있다.

## 5. 갠트리 크레인의 예방보전 주기 개선법

### 5.1 일반적 예방보전 주기 결정법

일반적으로 시간기준 예방보전(TBM)은 설비의 구성 레벨 별 보전주기 및 교환주기의 설정과 깊은 관련이 있다. 이 경우 최적의 부품 교환주기를 설정하여 예방보전을 실시하는 것이 고려되고 있다. 예방보전주기의 설정 및 관리 측면에서 볼 때 마모 부품인 경우 어느 정도 교환주기 예측이 가능하나, 여러 부품들로 이루어진 단위설비(Component)와 보조 기구류는 보전주기 MTBF를 기준으로 하여 평균수명보다 짧게 관리하고 있다. 즉, 보전주기( $t_p$ )가 평균값  $\mu$ 에서 표준편차  $\sigma$ 의 3배를 뺀 값보다 작은  $t_p \leq (\mu - 3\sigma)$ 가 되도록 설정하여 관리하는 것이 바람직하나, 단위 부품의 경비의 재정적인 한계로 인하여 실현에 어려움이 있는 실정이다.

보전비가 최소화 될 수 있도록 설비의 최적수리(정비)주기의 설정에 대한 결과는 다음과 같이 정리된다.

- ① 설비의 보전비와 열화손실비와의 합계를 최소화 하는 것이 가장 경제적인 방법이다.
- ② 단위기간당의 열화 손실비는 시간(또는 작업량)이 증가하면 같이 증가한다.
- ③ 단위기간당의 보전비는 수리주기를 길게 하면 할수록 감소한다.
- ④ 두 가지 비용곡선의 합계곡선으로부터 최소 비용점을 구할 수 있다.
- ⑤ 최소비용점까지의 주기로 수리 하는 것이 가장 경제적이다. 이를 최적수리주기라고 한다.

### 5.2 예방보전 주기개선법 제안

예방정비는 항만하역장비의 휴지시간에 이루어지므로 시간적인 여유가 있지만, 본선작업 중에 발생한 고장에 대한 정비는 피할 수 없다. 따라서 본선작업 중 발생하는 고장은 신속한 고장원인진단과 조치 및 시운전이 이루어져야 하는 특성을 가진다. 그러나 이러한 빠른 조치를 하는 데는 상당한 경험과 노하우(Know How)가 필요하며, 이러한 인력은 단 시간에 갖추기는 매우 어려운 실정이다. 그러나 이러한 장비의 고장의 원인으로서 무리한 작업자의 작업을 제외하면 장비의 사소한 유지보수 및 부품교체의 미비로부터 발생됨을 알 수 있다.

그러므로 각 부품의 고장특징을 면밀히 파악하여 이에 대한 적절한 부품 교체주기를 설정하여야 한다. 또한, 항만하역장비의 특징상 작업은 특정 시간, 즉 선박이 부두에 접안하면서 작업이 시작되며 선박이 출항함으로써 작업이 끝나는 특징을 지니고 있다.

따라서 선박이 출항함으로써 다음 선박이 입항하기에는 약간의 시간이 발생하며(휴지시간), 이를 이용하여 유지보수 및 점검이 행해져야 한다.

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} M_{ij} W_{ij} + |t_{pij} - a_{pi}| V_i \right\} \quad (5)$$

$$\text{s.t. } t_{pij} \leq (\mu_{ij} - 3\sigma_{ij})$$

단,

- $C_{ij}$  :  $i$  갠트리 크레인의  $j$  부품의 부품비용
- $M_{ij}$  :  $i$  갠트리 크레인의  $j$  부품의 교체비용
- $V_{ij}$  :  $i$  갠트리 크레인의  $j$  부품에 대한 하중함수
- $a_{pi}$  :  $i$  갠트리 크레인의 평균 작업시간
- $V_i$  :  $i$  갠트리 크레인의 작업시간에 대한 하중함수

### 5.3 결과 및 고찰

본 연구에서는 표 3의 선박작업 데이터를 근거로 하여 생산성 증대에 관하여 시뮬레이션을 행하였으며, 그 결과는 표 5과 같다.

표 5 예방점검 주기 개선 결과

항목	종래법	개선법	개선효과
G/C 고장률	33%	0%	-
T/C 고장률	20%	0%	-
기타 정지	47%	47%	-
작업정지시간	10.6[hr]	4.98[hr]	▽53.1[%]
순작업시간	31.72[hr]	31.72[hr]	-
총작업시간	42.32[hr]	36.7[hr]	▽13.28[%]
본선처리량	795.4[TEU]	795.4[TEU]	-
선박당 생산성	18.79[TEU]	21.67[TEU]	+15.3[%]

위의 결과에서와 같이 G/C 및 T/C의 고장율이 전혀 발생하지 않는 경우는 작업정지시간이 53.1[%] 감소하며, 이로써 총작업시간이 13.28[%] 감소하고 선박당 생산성은 15.3[%] 증가함을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 컨테이너 터미널에서의 본선작업시의 터미널 생산성을 1 선박당 생산성을 기준으로 설정하였으며, 하역장비의 고장이 생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 하역장비의 고장을 방지하기 위한 예방점검기간의 주기설정에 대한 최적 모델을 구현하였으며, 이를 이용하여 생산성 향상 효과가 있음을 보였다. 추후연구로서는 예지보전을 통한 능동적인 고장진단 및 생산성 효과의 관계를 보이고자 한다.

## 참고 문헌

- [1] 이상용(1999), 신뢰성 공학, 형설출판사
- [2] 이선용외 4인(2004), DEA 기법을 이용한 컨테이너터미널 생산성 측정에 관한 연구, 한국항해항만학회, 제28권, 제2호, 추계학술대회논문집, pp. 331~226.
- [3] 유명중, 남기찬, 송용석(2003), 컨테이너 터미널 유형 평가, 한국항해항만학회 제27권, 제5호, pp. 577~584.
- [4] 권오운, 이흥철(2003), 설비예방보전을 위한 TBM의 최적보전주기 설정모델 연구, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, pp. 105~117.
- [5] 정영배(1994), 불완전보전을 고려한 시스템의 최적 정기 예방보전 시기, 공업경영학회지 제17권, 제32, pp. 221~226.
- [6] 유희한의 3인(1999), 동적계획법을 이용한 선박용기기 및 부품의 최적 보전시기 결정에 관한 연구, 한국선용기관학회지 제23권, 제6호, pp. 63~71.