한국항해항만학회지 제33권 제5호, pp. 339~344, 2009 (ISSN-1598-5725)
Journal of Navigation and Port Research

컨테이너크레인(C/C)의 효율적인 예방보전에 관한 연구

나웅수* · 유주영** · 남기찬†

*부산신항만(주) **인천발전연구원 ***한국해양대학교 물류시스템공학과

A Study on the Effective Maintenance of Container Cranes in Container Terminals

Ung-Su Na · Ju-Young Yoo** · Ki-Chan Nam†*

** Pusan Newport Co.,Ltd, Busan 618-821, Korea*
*** Incheon Development Institute, Incheon 404-109, Korea*
† Dept. of Logistics Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 본 연구에서는 부산항 컨테이너터미널을 대상으로 컨테이너크레인(C/C)의 예방보전과 관련된 실증자료를 분석하여 장비 정비 실태를 파악하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 하역장비를 효율적으로 관리하기 위한 정비성 계획과 정비성을 나타내는 정비성 지표를 제시하였다. 이어서 실증 자료를 바탕으로 하여 장비 정비 실적을 주요 지표를 중심으로 분석하고, 예방정비율(PM)과 장비 고장 간 평균 처리물량(MMBF)의 상관관계를 분석하여 예방정비의 필요성을 밝혔다.

핵심용어 : 컨테이너크레인, 예방보전, 정비성 지표, 예방정비율, 고장 간 평균 처리량

Abstract : *This paper aims at identifying the effectiveness of the maintenance of container cranes in two typical container terminals in Pusan Port based on the empirical data. For this the key performance indicator(KPI) was introduced with some information on world class standard level. Then, an empirical analysis was conducted with respect to the interaction of equipment maintenance KPI such as MMBF, PM, EM, and Breakdown ratio.*

Key words : *Container Crene, Preventive maintenance, Key performance indicator, Mean moves between failure*

1. 서 론

현재 부산항은 연간 약 1,300만TEU(2007년)의 컨테이너를 처리하는 세계 5위 항만으로서 규모와 시설을 갖추고 있으며 중국 상해 등 주변국 경쟁 항만과 동북아 허브 항만 위상 확보를 위하여 경쟁하고 있다. 항만의 생산성과 서비스 수준은 항만 경쟁력을 결정하는 주요 요소이다. 서비스 수준을 결정하는 핵심 요인 중 하나는 하역장비의 안전한 운영과 높은 생산성 확보이며 이를 달성하기 위해서는 하역장비의 효율적인 운영이 뒷받침되어야 한다. 항만하역 장비의 효율적인 운영을 위해서는 하역장비의 가동률(utilization ratio)과 가용율(availability ratio)을 높이고 고장률(break-down ratio)을 낮출 수 있도록 장비가 관리되어야 하며 고장 발생 시 신속하게 수리되어야 한다.

점점 첨단화, 시스템화 되어가는 최신 하역장비들을 효율적으로 정비하는 것 또한 항만의 경쟁력을 좌우하는 중요한 요소가 되어가고 있으며, 장비의 정비 방법 또한 과거의 방식에서 벗어나 과학적인 시스템 관리가 이루어지고 있다. 특히, 선박이 대형화 되면서 항만에서의 단위생산성을 높이고 선박체항시간을 단축하기 위하여 하역장비가 대형화되고 1회 1개 컨테이너를 하역하던 방식에서 벗어나 2개(twin lift) 또는 4개(tandem lift) 컨테이너를 하역할 수 있는 장비가 국내에도 보급되면서 장비의 효율적인 정비를 통한 운영의 최적화가 중요하게 되었다.

학술적인 측면에서 볼 때 항만 하역장비의 정비에 관한 연구는 극히 부진한 실정이다. 산업 공정 과정의 작업 장비를 대상으로 한 연구는 다수 발표되고 있으나(Charles et. al., 2003; Sachdeva et. al., 2008) 항만 부문은 극히 일부가 수행되었다(최, 1996; 김, 2006). 연구 방법 측면에서 볼 때 대부분의 연구는 이론을 중심으로 한 연구이며, 실제 정비 자료를 바탕으로 한 실증연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 부산항의 대표적인 컨테이너터미널의 안벽하역장비인 컨테이너크레인(Container Crane ; C/C)의 예방보전과 관련된 실증자료를 분석하여 장비 정비 실태를 파악하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 컨테이너항만의 하역장비를 효율적으로 관리하기 위한 정비성 계획과 정비성을 나타내는 정비성 지표를 제시하였다. 이어서 실증 자료를 바탕으로 하여 장비 정비 실적을 주요 지표를 중심으로 분석하고, 예방

* 대표저자 : 나웅수(정회원), usna@pncport.com 051) 601-8573
** 정회원, skalet79@idi.re.kr 032)260-2785
† 교신저자 : 남기찬(종신회원), namchan@hhu.ac.kr 051)410-4336

정비율(PM)과 장비 고장 간 평균 처리물량(MMBF)의 상관관계를 분석하여 예방정비의 필요성을 밝혔다.

2. 항만 장비의 정비성 관리

2.1 항만장비의 정비성 관리 일반

1) 정비성 계획 개요

컨테이너터미널의 항만장비는 입항선박의 컨테이너와 게이트를 통하여 항만에 반입되는 컨테이너를 계속해서 처리해야 하므로 장비의 예방정비는 장비의 가동효율을 높이는데 중요한 요소라 하겠다. 일반적으로 컨테이너 하역작업은 주간 단위의 선석 스케쥴에 준하여 이루어지므로 장비의 정비 주기도 주간을 기초로 하여 이루어지며 물동량 규모와 주간 선박 집중도에 따라 장비 정비 스케쥴은 관리되어야 한다.

항만장비의 정비성은 장비의 기본성능을 유지하면서 운영에 치명적인 고장이 발생되지 않도록 하기 위해 적절한 시기에 정비를 하는 것이 목적이다. 선진 항만에 있어서 장비 정비는 고장발생시 전체 운영에 미치는 영향을 안전성, 운용성 및 경제성 관점에서 분석하여 안전성에 영향을 미치는 고장은 예방정비를 실시하고, 안전성에 영향을 적게 미치는 고장은 경제성을 고려하여 고장정비를 실시한다.

정비 종류 및 방법은 Table 1과 같이 현상정비, 확인정비, 수리 및 분해정비, 시간주기정비 등으로 구분된다. 정비의 대상은 안전계통 장치와 위험계통 장치로 대별되어 필요한 정비를 수행한다.

Table 1 Maintenance Type

구분	정비방법
현상정비 (On-condition)	-고장징후나 성능저하 상태를 정기적으로 확인하여 수행 -고장 발생을 사전 예측하여 대응
확인정비 (Monitoring)	-사용 중 상태를 조기 발견하여 수행 -고장을 사전 검출 고장발생 방지
수리/분해정비	-규정된 시간 사용 후 고장률 유지를 위해 실시 -규정기간 경과 후 고장위험 대비 수리
정기정비	-성능 유지를 위한 정기적인 정비 -고장 위험 저하
시간주기정비	-장비의 누적 가동시간에 규정된 정비 수행 -고장을 낮추고 안전운영 보장

2) 정비성 척도

경쟁이 치열해지는 최근 항만 환경 하에서 주요 터미널들은 장비의 체계적인 정비를 통하여 장비 가용율을 높이고 장비 고장률을 최소화하려는 노력을 경주하고 있다. 항만 하역장비의 정비는 고장정비(Emergency Maintenance; EM: Corrective Maintenance; CM)와 예방정비(Preventive Maintenance; PM)의 두 가지의 범주로 구분 된다. 전자는 장비의 고장을 규정된 성능까지 복구하기 위한 비 계획정비를 말하여 긴급정비(EM)와 고장정비(CM)를 포함한다. 후자는 고장 예방 및 성능유지를 위한 체계적인 검사, 진단, 조정 및 교체 등을 통하여 규정된 성능을 유지하도록 하는 계획정비를 말한다.

항만에서 운영되는 장비의 정량적 정비도를 나타내는 척도로서는 정비성 척도(Key Performance Indicator; KPI)가 사용된다.

Table 2 KPI Index

Major KPI Index	척도
MMBF (mean moves between failure)	고장 간 평균 처리물량
MTTR(mean time to repair)	평균 고장수리시간
Utilization, U%	장비가동율
Equipment Aviailability,A%	장비 가용성
Breakdown percentage, B%	장비고장률
Planned Maintenance, PM%	예방정비율
Corrective Maintenance, CM%	고장정비율
Emergency Maintenance, EM%	긴급정비율
Total downtime, TDT%	총 정비시간율
Net cycle time(min. / lift)	순 사이클 시간
Gross cycle time(min./lift)	순 사이클 시간

정량적으로 나타나는 이들 주요 지표는 Table 2와 같으며, 고장 간 평균 처리물량(MMBF), 장비 가동율(utilization), 장비 가용율(availability) 등이 대표적인 지표로 사용된다.

정비성 척도(KPI)의 목표 관리는 터미널의 특성 및 처리량의 규모 등에 따라 차이가 있으며, 시스템이 체계화되어 있는 선진항만의 경우 그 수준이 높고 질적으로 우수한 결과를 나타내고 있다.

컨테이너 전용터미널의 장비 이용 현황을 파악하기 위한 대표적인 지표는 장비의 부하에 의한 사용율을 나타내는 장비 가동율(utilization)과 장비가 고장 없이 준비된 상태를 나타내는 장비 가용율(availability)이 있다.

목표 지표의 국제적인 수준은 다음과 같다

- 장비 유용성 60% 이상
- 장비 가용성 96% 이상
- 고장 간 평균처리물량 1,200개 이상[1)]

3. 컨테이너크레인(C/C) 정비 사례분석

3.1 컨테이너크레인

컨테이너크레인은 1960년대에 처음 개발된 이후 대형 컨테

1) UNCTAD "Operating and maintenance features of container handling systems Aug. 1989 기준

이너항만의 개발과 선박의 대형화에 맞추어 첨단화된 기술과 시스템을 적용함으로서 항만의 생산성을 제고하도록 기술적인 진전이 이루어지고 있다. 특히, 종래에는 20피트(ft) 컨테이너를 1개씩 하역(single lift)하였으나 20피트 2개를 동시에 하역할 수 있는 트윈리프트(twin lift)가 개발되어 보편화되었으며 최근에는 컨테이너 4개(20피트)를 동 수 있는 텐덤리프트(tandem lift)가 개발되어 신설항만을 중심으로 운영되고 있다. 이러한 컨테이너크레인의 전체적인 구조는 접안선박의 크기와 규모에 맞춰 설계되며, 주요 사양은 Table 3과 같다.

Table 3 Specification of Latest Container Crane

구 분		주요사양		
		Single Lift	Twin Lift	Tandem Lift
사이클당 처리량(20ft)		1개	2개 동시	4개 동시
정격하중(톤)		50	65	80
해측 도달거리 (Outreach)[m] (20열 선박)		65	65	65
육측 도달거리 (Backreach)[m]		16m	20m	20m
권상고도 (Hoist) [m]	상방/ 하방	36/18	40/19	42/21
주행 레일간격 (Span)[m]		30.5	30.5-42	42
운전속도	권상[m/min]	90-180	90-180	90-180
	트롤리[m/min]	240	240	240
	갠트리[m/min]	45	45-60	60
	붐 권상하[min]	5	5	5
전체중량(톤)		1,200	1,700	2,100

3.2 정비율 및 고장률 분석

1) 정비율 분석

항만하역 장비의 정비 실태는 터미널의 보유장비 및 운영기준에 따라 서로 다른 측면이 있으나 장비들이 규격 컨테이너를 취급하는 동질성이 있기 때문에 정비 역시 유사하게 유지 관리되고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 대표적인 컨테이너터미널의 정비 실적을 기준으로 장비 정비 사례 분석을 실시하였다.

대상 터미널은 북항의 H-터미널과 신항의 P-터미널이며, 정비 관련 자료는 2007년 1년치와 2008년 7월까지 총 19개월의 실적치를 월단위로 집계하여 사용하였으며 대상 장비는 H-터미널의 경우 11기(평균사용연수:5-12년), P-터미널의 경우 15기(평균사용연수:2-3년)를 대상으로 하였다.

정비율은 각 장비의 정비내용을 예방정비와 고장정비로 분리하여 정비실적을 집계하여 분석하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 예방정비가 계획대로 수행될 경우 고장정비율이 낮고, 예방정비율이 낮은 2008년5월의 경우는 고장정비율이 가장 높게 나타났다. 이는 장비의 고장률을 낮추기 위해서는 예방정비를 계획대로 실시해야 함을 의미한다.

예방정비율을 높이면 고장정비율은 낮아지지만 과도한 예방정비는 장비운영의 가동율을 낮춰 터미널의 장비운영에 지장을 초래할 수 있으므로 터미널의 정비 통계를 기준으로 적정한 수준의 예방정비율을 정하고 원활한 하역 작업에 지장이 발생하지 않도록 최적의 정비를 실시해야 한다.

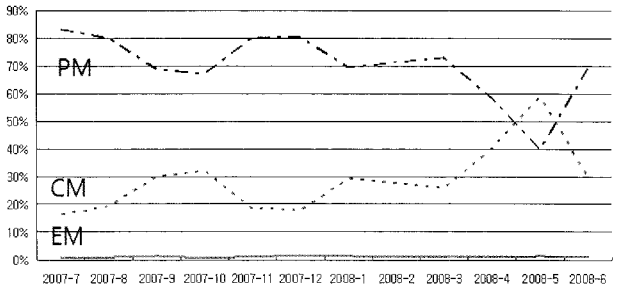

Fig. 1 C/C Maintenance Ratio

2) 장비 가용율 분석(P-터미널, 2007-2008)

장비 운영 현황을 파악하기 위해서는 장비 가동율과 장비 가용율 분석이 필요하다. 장비 가동율은 장비 운영 수급균형 여부를 파악할 수 있는 지표로서 장비가 실제로 가동한 시간을 이론상의 총 작업 가능시간으로 나눈 비율이다. 장비 가용율은 장비가 투입되어 작업을 할 수 있는 비율이며 총 작업 가능시간을 장비의 이용가능시간으로 나누어서 구한다.

Fig. 2의 컨테이너크레인 가용율은 99%를 넘어 기준 이상이나 가동율은 전체적으로 아주 낮은 수준을 보이고 있다. 이것은 해당 터미널이 운영 초기 단계에 있어서 컨테이너화물이 시설능력에 크게 못 미치는 현실 때문이다.

3) 장비 고장률 분석

장비 고장률은 고장으로 인하여 장비를 운영할 수 없는 시간을 나타내는 것으로 장비의 정비성을 판단하는 척도이다. P터미널의 컨테이너크레인 고장률은 Fig. 3과 같이 국제적 기준(2% 미만)보다 낮은 1% 미만으로 나타나고 있어서 장비가 잘 관리되고 있음을 알 수 있다. 2007년 9월의 고장률이 높은 것은 장비의 운영사고에 의해 고장이 발생한 결과이다.

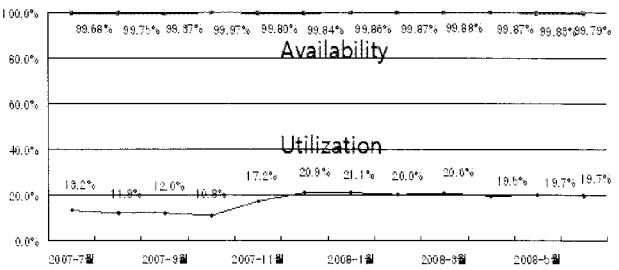

Fig. 2 C/C Utilization and Availability

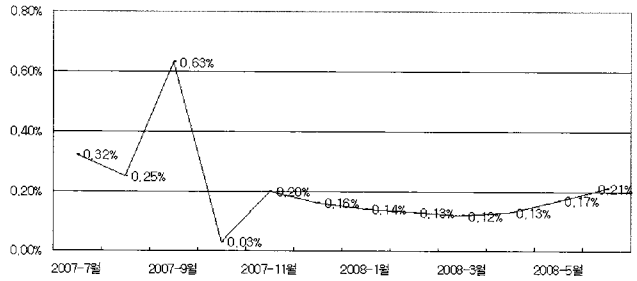

Fig. 3 C/C Breakdown Ratio

3.3 장비 고장건수 및 고장시간 분석

장비 고장건수 및 고장시간 통계는 장비의 정비 목표를 수립하고 실행하는데 중요한 요소이다. P 터미널 컨테이너크레인의 경우 최근 1년간 통계를 장치의 Emergency시스템 에러인 Safety센터 에러는 6%정도의 비중을 차지하는 것으로 분석되었다. 따라서 장비 고장 빈도를 기준으로 정비를 효율적으로 수행하기 위하여 정비 고장을 줄이기 위한 대책을 수립하고 대응할 필요가 있다.

컨테이너크레인 고장시간 통계 분석 결과 Fig. 5와 같이 보조 트롤리(Catenary Trolley) 장비에 가장 많은 정비 시간을 투입하였고 주행 휠브레이크, 호이스트 스내그 장치 등이 많은 정비시간을 사용한 것으로 나타났다. 따라서 이를 기준으로 장비 고장을 근본적으로 개선하거나 줄이기 위한 설계단계에서의 개선과 예방정비 측면에서의 개선 방안 수립이 필요하다.

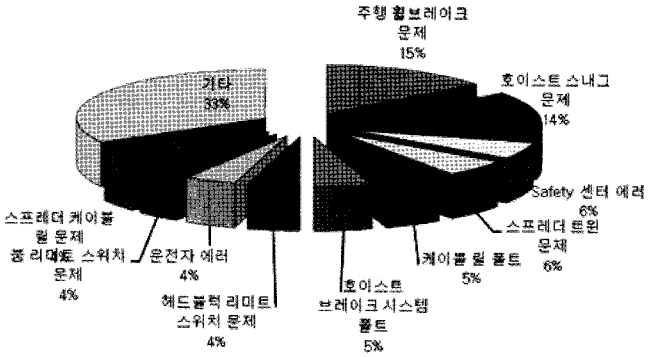

Fig. 4 C/C Breakdown Distribution by Parts

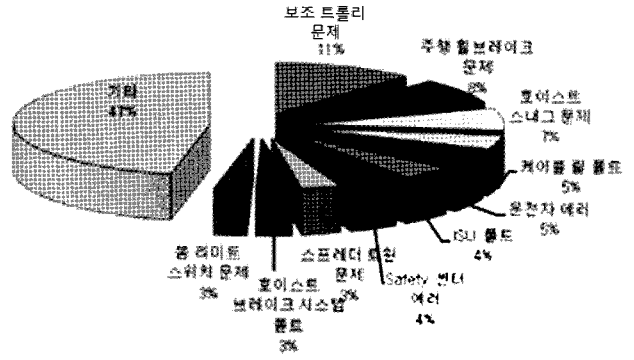

Fig. 5 C/C Maintenance Time Distribution

3.4 주요장비의 정비실적 분석

Table 4는 P-터미널과 H-터미널의 연간(2007-2008년) 컨테이너크레인의 정비성 척도(KPI) 실적을 분석한 결과로서 장비의 정비성 지표인 MMBF, MTTR, 고장률 등을 나타낸다. P 터미널의 경우 전반적으로 국제적인 평균 관리 지표보다 훨씬 우수한 결과를 나타내고 있다. 특히, 장비 관리 절대 지표라 할 수 있는 고장 간 평균처리물량(MMBF)의 경우 국제 기준이 평균 1500개 수준인데 비하여 P-터미널의 경우 3,300개로서 국제 기준이나 H-터미널(1700개)과 비교 시 우수한 정비성을 나타나고 있음을 알 수 있다.

Table 4 C/C key performance indicator

Terminal	P-(2008)	H-(2007)
MMBF	3,308	1,697
MTTR	8.45	17.7
Utilization(%)	17.21	38.39
Availability Per Occupied Time A(%)	99.79	99.79
BreakDown(%)	0.24	0.57
PM(%)	4.96	4.56
EM(%)	0.03	0.31
Total Down Time(%)	5.99	4.87

또한, 예방정비율이 4.96(%)로서 높고 고장정비율은 상대적으로 낮다. 이것은 예방정비율이 높으면 고장률이 낮아지고 고장 간 평균 처리량이 높아진다는 사실을 입증한다. 높터미널의 경우 예방정비율이 4.56(%)로 P높터미널과 유사한 수준이나 고장 간 평균처리량은 1,697개로 낮다. 이는 장비의 수명 및 작업 부하 정도의 차이에 기인한 것으로 보이며 예방정비율이 증가되는데 따라 상승하는 비용을 고려하여 터미널 특성에 맞는 적정 정비율을 결정해야 함을 의미한다.

4. 상관관계 분석

앞 장의 자료 분석 결과 예방정비와 고장 간 평균 처리량은 긍정적인 관계가 있음이 입증되었다. 본 장에서는 고장률과 고장 간 평균처리물량 그리고 예방정비율과 고장 간 평균처리물량의 관계를 파악하기 위하여 관련 지표를 대상으로 상관관계 분석을 실시하였다.

P-터미널의 컨테이너크레인은 장비의 고장률과 고장 간 평균처리물량이 일치되는 산포를 나타내고 고장률이 올라가면 고장 간 평균처리물량은 낮아지는 것으로 나타났다. 또한, 예방정비율과 고장 간 평균처리물량의 상관관계를 분석한 결과 예방정비율을 높이는 경우에도 고장 간 평균처리물량은 거의 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 이것은 터미널의 작업 부하가 지나치게 낮은 경우 장비 예방정비를 정상적으로 실시하지 못하는 결과로 분석된다.

H-터미널의 컨테이너크레인의 장비 고장률과 고장 간 평균처리물량의 상관관계는 P-터미널보다 높게 나타났다.

또한, 예방정비율과 고장 간 평균처리물량의 상관관계도 기대치와 같은 결과를 나타내고 있다(Fig. 9). 즉, 장비의 예방정비를 철저히 실시한 경우 고장 간 평균처리량도 비례하여 증가한다.

위의 분석 결과를 종합하여 P-터미널과 H-터미널의 컨테이너크레인 정비 실적과 고장률의 회귀분석 결과는 다음과 같이 나타났다. 고장률에 반비례하여 장비의 고장 간 평균처리물량이 증가하는 일관된 추세를 나타내고 그 정도는 두 터미널 사이에 차이가 있다. 이는 각 터미널의 장비 정비 지표는 장비의 작업 부하량 정도 등의 터미널 특성을 고려하여 적정하게 설정될 필요가 있고 이 때 정비비용과 정비율 수준의 상관관계를 고려할 필요가 있다.

P 터미널: MMBF(P) = 4479 - 4875*BreakDown

H 터미널: MMBF(H) = 3833 - 3721*BreakDown

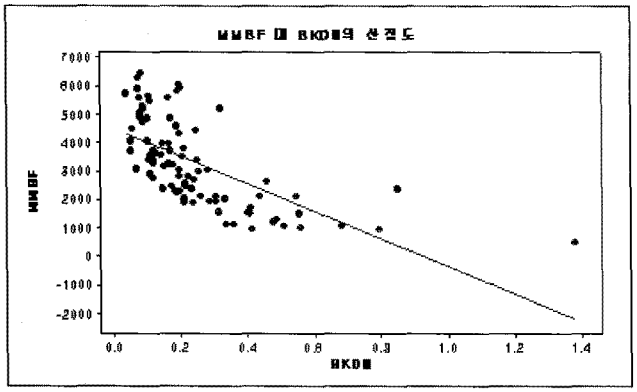

Fig. 6 The relationship between MMBF and BreakDown for P-terminal

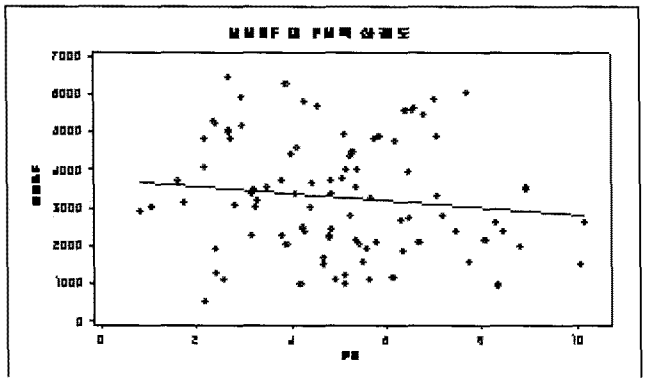

Fig. 7 The relationship between MMBF and PM for P-terminal

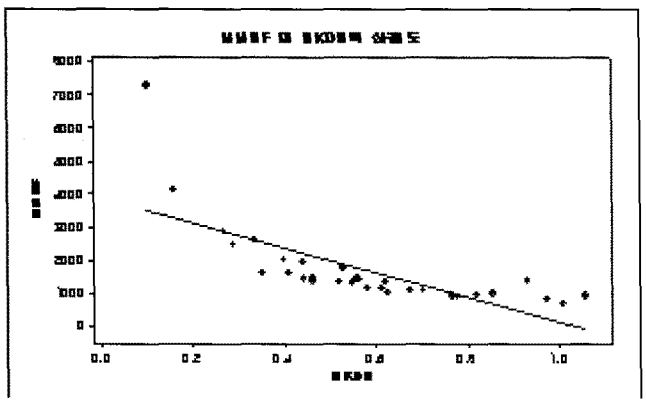

Fig. 8 The relationship between MMBF and BreakDown for H-terminal

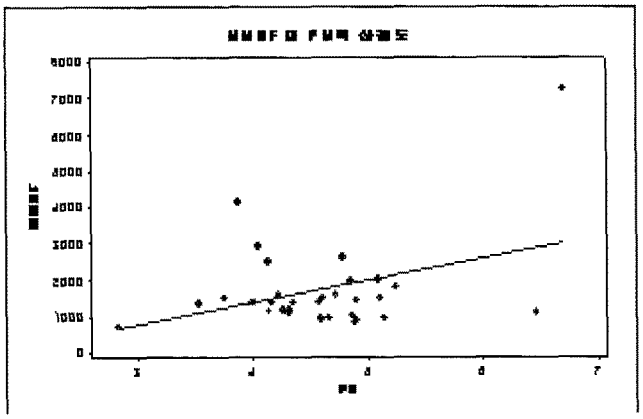

Fig. 9 The relationship between MMBF and PM for P-terminal

5. 결 론

본 연구에서는 컨테이너항만에서 핵심장비인 컨테이너크레인의 정비성을 나타내는 각종 지표를 실증 자료를 분석하여 장비의 고장률과 고장 간 평균처리물량의 상관관계를 분석하여 장비 고장을 줄이기 위한 예방정비율 결정에 필요한 기본적인 가이드라인을 제시하였다. 그리고 장비 정비성을 나타내는 정비율, 고장률, 가동율과 가용율 등을 사례 분석을 통해 이해할 수 있도록 하고 각 장비의 고장건수별, 고장빈도별 및 고장시간별 고장유형을 분석하여 장비의 예방보전 관리를 효과적으로 하기 위한 기초 자료를 제시하였다.

본 논문은 항만 장비의 예방보전을 위한 구체적인 대안을 제시하지는 못하였으나 부산항의 사례분석을 통하여 하역 장비의 과학적이고 체계적인 예방보전을 위한 기초를 제시하였다고 생각하며 다음의 사항이 향후 지속적으로 연구 검토되어야 할 것으로 사료된다.

첫째, 예방정비를 위한 유지보수 비용의 적정성 연구이다. 장비는 예방보전을 많이 하면 고장률이나 장비의 정비성 지표는 향상되지만 비용이 증가하게 되므로 정비유지비용에 관한 체계적인 연구와 비용분석을 바탕으로 한 최적 정비 수준을 결정하는 연구가 필요하다.

둘째, 정비의 실적 분석을 통한 효과적인 정비 대안 제시가 필요하다. 국내의 다양한 터미널의 사례분석을 통하여 객관적인 정비 실적이 도출되고 이를 바탕으로 한 예방정비의 효율적인 대안연구가 체계적이고 과학적으로 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

[1] 권오운, 이홍철(2003), "설비예방보전을 위한 TMB의 최적보전주기 설정모델 연구", 한국경영과학회, pp.105-117.

[2] 김영호(2006), "컨테이너터미널 생산성 향상을 위한 항만하역장비의 예방보전에 관한 연구" 한국해양대학교 박사학위 논문.

[3] 김우선, 최용석(2006), "고생산성 컨테이너 이송차량 모델연구", 한국항해항만학회지 제30권 8호 pp.691-697.

[4] 김우선, 남기찬(2006), "자동화터미널의 ATC 운영전략개발", 한국항해항만학회지, 제30권 3호 pp.235-240.

[5] 임진수, 신승식(1993), "컨테이너터미널 하역시스템 연구", 해운산업연구원.

[6] 최상희, 심기섭, 김우선, 하태영(2007) "국내 컨테이너 항만기술개발 로드맵 수립연구" 한국해양수산개발원.

[7] 최상희(1996), "부산항 컨테이너터미널 하역장비의 효율적 유지보수방안" 해운산업연구 통권 제145호.

[8] 하태영(2003), "컨테이너 크레인 생산성 향상과제", 월간 해양수산 통권 제231호.

[9] 허장욱, 백순흠, 양성현(2004), "정비성 설계기술" 웅보출판사, pp.22-24.

[10] Anne-Sylvie Charles, Ioana-Ruxandra(2003), "Optimization of preventive maintenance strategies in a multipurpose batch plant", computers and chemical engineering 27, pp.449-467.

[11] Anish, S. (2008), "Planning and optimizing the maintenance of paper production systems in a paper plant", computers & industrial engineering.

원고접수일 : 2008년 11월 18일
심사완료일 : 2009년 4월 15일
원고채택일 : 2009년 6월 30일