

항만시설 유지관리 전략수립을 위한 비용모델연구

A Study on Maintenance Cost Model for Establishing a Strategies of Port Facility Maintenance

박미연^{1*} · 이정훈² · 박상우³ · 임종권⁴Miyun Park^{1*}, Jeonghun Lee², Sangwoo Park³, Jonggwon Lim⁴¹CEO, S.H Tech&Policy Institute, Seongnam, Republic of Korea²Senior Manager, S.H Tech&Policy Institute, Seongnam, Republic of Korea³Assistant Manager, S.H Tech&Policy Institute, Seongnam, Republic of Korea⁴President, S.H Tech&Policy Institute, Seongnam, Republic of Korea

*Corresponding author: Miyun Park, momo6238@hanmail.net

ABSTRACT

Purpose: The construction history of domestic port facilities has been more than 100 years, and until recently, modern facilities have been continuously built and expanded. However, it is not easy to keep the required performance conditions at the time of initial construction due to changes in the marine environment and increase in volume. In particular, in the case of harbor structures that have a long service life, safety performance and function management are becoming very important due to the increase in the size of ships, the increasing frequency of use, and the increase in the scale of natural disasters. **Method:** Therefore, this study investigates the state change by structural type of port facilities and analyzes the rehabilitation activities and the history that contribute to the performance improvement and life extension activities. **Result:** Through this, we distinguished between performance improvement cost (CAPEX) and repair maintenance activity (OPEX) that can be used to establish port facility maintenance strategy, and suggested cost model that can be used to establish maintenance strategy. **Conclusion:** These studies are expected to contribute greatly to mid- to long-term investment decisions.

Keywords: Maintenance Cost Model, Maintenance Strategies of Port Facility, Capex, Safety, Performance

요약

연구목적: 국내 항만시설의 건설역사는 100년 이상 되었으며 최근 까지 현대적 시설이 지속적으로 건설되어 확장되고 있다. 그러나, 해양환경의 변화 및 물동량의 증가 등으로 초기 건설당시의 요구 성능 조건을 유지하기는 쉽지 않다. 특히, 사용년수가 오래된 항만구조물의 경우, 선박의 대형화와 사용빈도 증가, 자연재해의 규모 증가등으로 안전성과 기능관리가 매우 중요해져 가고 있다. **연구방법:** 이에 본 연구는 항만시설의 구조형식별 상태변화를 조사하고 이를 기반으로 성능개선 및 수명연장활동에 기여하는 보수보강활동과 그 이력을 분석하였다. **연구결과:** 항만시설 유지관리전략수립에 활용 가능한 성능개선비용(CAPEX)과 수선유지활동(OPEX)을 구별하고 이를 통한 유지관리전략수립에 활용 가능한 비용모델을 제시하였다. **결론:** 이러한연구는 향후 시설물 중장기 투자 의사결정에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

핵심용어: 유지관리비용모델, 항만시설유지관리전략, 자본적지출, 수익적 지출, 안전, 성능

Received | 19 December, 2019

Revised | 20 December, 2019

Accepted | 9 June, 2020

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

서론

최근 늘어나는 태풍과 기상이변, 자연재해 등으로 인한 시설물의 손상 및 노후화가 급속도로 진행되고 있어 시설물의 안전 뿐만 아니라 사용성, 성능유지를 위한 추가적인 비용규모 또한 비례하여 증가하고 있다.

특히, 항만시설의 경우 선박의 대형화에 따라 기존 구축된 항만시설에 대한 활용도와 안전성에 대한 여러 가지 문제점이 부각되고 있다. 이에 정부는 국가 경제 성장 수준에 맞는 적합한 시설의 확충과 서비스 수준의 향상을 고려한 시설물 관리 필요성이 증가함에 따라 관리자와 사용자의 요구수준을 반영하여 안전성능, 사용성능, 내구성능의 세분화된 성능평가를 가능하게 하는 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(약칭 ‘시설물 안전법’)을 개정하였고(시행 2019.02.15., 개정 2018.08.14.), 2018년 12월 지속가능한 기반시설관리법(시행 2020.01.01., 제정 2018.12.31.)을 전격 제정되면서 기반시설 관리에 대한 최소유지관리기준 수립과 보수보강 개선 대책 등의 시설유지관리 및 자산관리의 중장기적 전략을 수립하는 것을 요구하고 있다.

항만시설의 경우, 정밀안전진단 등의 주기적 수행이 이루어져 왔으나, 과거 보수보강 이력데이터가 세부적으로 관리되고 있지 않아, 성능개선활동의 주요인자인 구조물별 또는 시설물별 보수보강 내용과 주기, 보수시기 및 보수율 등의 내용파악이 어려운 실정이다.

따라서 세부적인 시설물별 보수보강활동과 그와 관련된 성능개선이력을 파악하고 분석하여 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 정확하게 조사·평가하고, 적절한 성능확보를 위한 예산 투입규모 결정 등의 항만시설의 과학적 유지관리 전략을 유도할 수 있는 기반구축이 시급하다.

이에 본 연구에서는 항만시설 성능개선과 연관된 비용모델개발의 기반 확보를 위해 시설물 상태평가자료분석을 통해 기존 성능개선 이력들을 분석하고 이를 통해 성능개선과 연계된 주요 보수보강활동-투입비용특성을 분석하여 시설물의 노후화에 선제적으로 대응 가능한 유지관리전략을 제시하고자 하였다.

항만 성능 및 비용모델관련 유사연구 현황

항만구조물의 경우 대형선박의 접안, 잦은 자연재해, 그리고 물동량 증가에 따른 외부 충격하중 등의 영향으로 방충체의 떨어져나감에서부터 구조물의 파손과 이격에 이르기까지 많은 손상이 수시로 발생하고 있다. 그러나 현재까지 구조물의 노후화와 관련된 상태변화와 생애주기 관점의 LCC 측면의 연구는 많이 이루어졌으나, 실제 사례분석을 통한 연구는 미미한 수준이며 특히 성능개선과 관련된 비용모델 연구(자본적 가치)는 거의 이루어지지 않았다.

항만시설에 대한 유지관리비용 추정 연구로 안종필(2007)은 항만구조물 중 방파제의 열화성능을 평가한 후 퍼지·신뢰성 해석에 따른 생애주기비용으로 가치를 분석할 수 있는 VE/LCC 분석모델을 개발하고, 실제 대상 구조물에 적용한 결과 기존의 확정론적 방법보다 효율성이 있다고 보고하고 있다. 그러나 이 논문에서는 구체적인 손실비용의 발생근거가 제시되지 않아 결과값의 타당성 확보가 어렵다는 판단이다

또한 해양수산부에서는 항만시설에 대한 LCC 분석기술 확보를 위한 연구의 일환으로 항만시설의 관리현황과 구조형식, 그리고 주요 관리상태 및 각 항만시설의 전반적인 현황을 분석하고 진단하는 연구를 수행하였다. 2012년까지 3년간 항만시설 분류체계연구 및 LCC비용모델 개발연구와 이를 통한 설계단계 LCC분석 프로그램 개발 및 고도화 연구가 진행되었다.

항만시설에 대한 LCC 분석 연구가 거의 없었던 상황에서 분석에 필요한 기준 설정과 자산관리추진을 위한 위계설정, 주요 항만시설에 대한 유지관리이력 및 진단자료를 조사 분석하여 단위 비용항목 설정연구가 진행되었다. 특히, 국내 국가관리대상 항만시설 이력관리의 통합성과 일관성 확보를 위한 항만이력 DB 구축이 이 연구를 통해 상당부분 구축되었다.[2]

Kim et al.(2012)은 ‘열화요인을 고려한 항만구조물 잔고식의 상태등급 열화모델 개발’에서 생애주기 관리시스템 관점에 기초하여 항만시설물의 상태성능을 예측할 수 있는 항만시설물 열화모델에 대한 연구를 수행하였다. 대상항의 정밀안전진단 상태등급DB를 이용하여 부재별 단변수 회귀분석을 수행하고, 열화인자를 이용하여 다변수 회귀분석을 수행하여 전체 열화모델을 산출하였다. 충분한 DB를 이용하여 열화모델 산출이 가능했다면 더 정확한 열화모델 수립이 가능했을 것으로 보인다.[3]

상태기반 유지관리전략수립을 위한 비용모델 연구

상태기반 노후도 패턴 연구

항만시설에서의 상태기반 열화모델은 시설물의 시간이력에 따른 상태변화추이를 평가하는 기준으로 상태등급의 변화를 시간이력에 따라 통계적 기법을 적용하여 도식화 한 것이다. 프로젝트 수준별 시간 이력에 따른 도식화는 전체적인 경향성을 파악할 수 있어 효과적이거나 세부적이고 구체적인 구조물의 문제점을 판단할 수 없는 단점을 가지고 있다(Fig. 1).

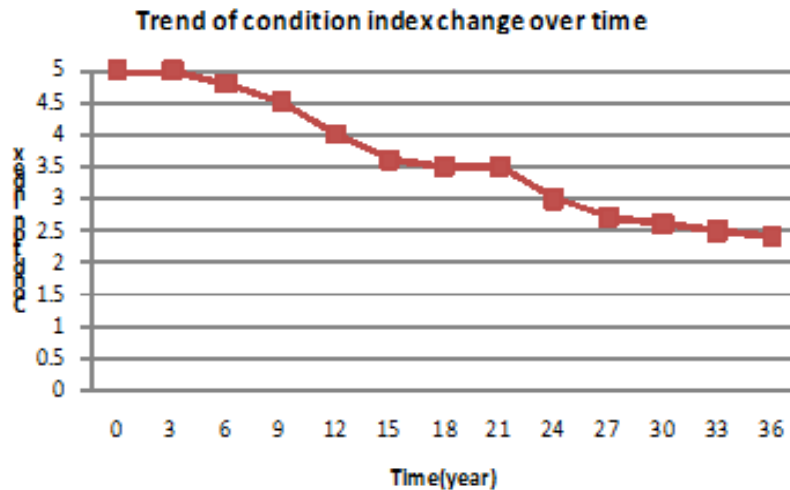


Fig. 1. The trend of condition index in change of the time

이러한 단점을 해결하기 위해서는 세부 부재별 상태등급의 변화특성을 파악하여 구조물의 안전에 치명적인 요소를 미리 발견하고 선제적인 부위별, 부재별 보수보강이 이루어질 수 있도록 해야 한다. 이러한 부재별, 부위별 상태기반 열화모델개발을 위해서는 세부적인 손상정보 및 보수보강 정보확보와 주변 해역의 환경적 특징, 그리고 취급화종에 대한 분석이 중요하다. 구조물에 미치는 다양한 특성을 파악함으로써 부위, 부재별 보수보강 공법등과 같은 유지보수전략개발의 의미 있는 개발이 가능하다.

상태기반열화모델은 전 생애(Whole Life)동안에 시설물의 상태변화를 검토하면서 실제적인 장수명화를 확보하기 위해 어떤 시기에 얼마의 비용투입이 필요한지를 파악하는데 큰 도움이 된다. 즉 상태등급과 같은 성능지표를 활용함으로써 사용자가 목표로 하는 한계상태/성능 (Marginal Condition/Performance) 관리 수준에 도달하기 전에 선제적인(Proactive)유지보수나 보강을 수행하여 최적의 비용으로 최대의 성능개선 효과를 확보하는데 기여한다.

유지관리전략수립을 위한 비용모델현황분석

유지관리전략이란 시설물의 성능과 수명을 향상시키기 위해 취해지는 실제적이고 구체적인 방안이다. 즉, 언제, 어떤 공법으로, 얼마의 비용을 들여 유지관리활동을 할 경우, 최적의 효과를 가져 올 수 있는지의 의사결정을 내리는 것이다.

기존의 개발 프로세스는 항만 시설물의 정밀점검 및 정밀안전 진단보고서로부터 상태등급 데이터를 수집하고, 부재별 상태변화곡선을 개발하는 순으로 구성되었다.

유지관리전략 성능모델에서는 공용 중 어느 시기에 시설물의 성능(상태)을 진단 및 점검하고, 유지보수 유/무 및 언제 어떤 공법으로 수행하는 것이 생애주기비용 관점에서 최적일 것인가에 대한 분석모델이다. 즉, 유지관리의 개념을 성능개선과 자본적 가치 향상의 개념으로 연계하여 특정공법과 특정 보수보강활동이 성능개선에 얼마나 기여하게 되며 그런 활동이 시설물의 잔존수명 연장에도 기여함을 평가하여 일상 수선유지활동과 성능보수보강활동을 구별하는 기준과 활동이 전략적으로 구현되어야 한다.

본 연구에서는 기존 연구에서 개발된 다변수회기분석에 의한 열화곡선 방법론을 활용[3]하였으며 유지관리전략수립이 가능할 수 있도록 직선보간 열화모델을 반영한 상태기반 성능모델을 개발하고자 하였다. 다음 그림은 본 연구의 전체적인 개발흐름을 요약한 것이다.

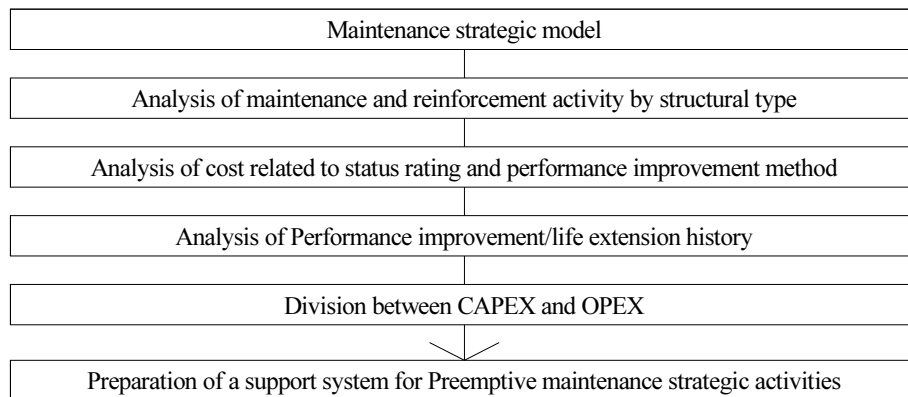


Fig. 2. Process for condition-based performance model development in establishing maintenance investment strategy

보수보강활동과 성능개선 수준 연계방법론 검토

항만시설의 유지관리활동이 그 실효성을 가진다는 말은 보수보강조치가 향후 성능개선 및 장수명화에 기여하고 있다는 것을 증명하는 것이다.

현재 이루어지고 있는 보수보강 조치는 정밀안전진단이 이루어지고 그에 따라 보수보강 할 물량과 위치가 정해지면 이를

기반으로 관리기관은 차후 유지관리계획을 실천하기 위해 예산을 편성하고 시설물의 상태나 성능을 개선하기 위한 공사발주를 시행하게 된다.

그러나, 시설물의 보수보강 공사가 끝나고 성능개선 효과검증 과정이 이루어지지 않다보니 보수보강활동의 적합성과 성능개선의 연계성을 확인할 수가 없는 상황이다.

이러한 문제점을 개선하고자 기존 보수보강활동이 시설물의 성능개선에 어떤 역할을 하였는지를 조사분석하였다. 이 조사분석에서는 주로 정밀진단 및 정밀안전진단보고서상의 상태평가 및 내구성 평가 결과들이 활용되었다.

종합성능개선 대상시설 분석

상태등급이 명확하게 개선된 항만시설의 정보를 정리하면 다음과 같다. 광양항의 A부두의 잔교식 안벽은 2013년 상태등급이 C로 평가되었으나, 시설물 보수보강을 추진하여 2015년 상태등급B로 개선된 것으로 진단결과 분석되었다.

Table1. The case of port facility information with clearly improved status

Survey year	Port Name	Wharf name	Name of Facilities	Survey Unit	Evaluation Grade	Management agency	Classification of inspection
2013	Gwangyang-Port	Wharf A	Landing pier	Total	c	Yeosu Gwangyang Port Authority	Precision Safety diagnosis
2015				Total	b		
2017		Total	b				
2012		Total	c	Precision Check			
2015		Wharf B(1)	Landing pier	Total	d		
2016				Total	d		
2017				Total	d		
2013	Busan-Port	Wharf C #3 Berth	Landing pier	Total	c	Busan Port Authority	Precision Safety diagnosis
2016				Total	b		Precision Check
2010	Donghae-Port	Wharf D (Stage 2)	Landing pier	Total	c	Donghae Regional Office of Oceans and Fisheries	Precision Safety diagnosis
2015				Total	b		
2017				Total	b		
2010		Total	c				
2015		Wharf E			Total		b
2017					Total		b

마찬가지로 부산항 C 부두#3선석의 경우도 2013년 상태등급 C였으나 2016년 정밀점검결과 B등급으로 개선된 것을 보고되었다. 이들 보고서 자료를 기반으로 어느 부재에 어떤 보수보강활동이 성능개선이 기여했는지를 분석하였다.

광양항 A부두의 상태등급개선효과분석

성능개선과 보수보강 활동 간의 연계성을 검토하고 성능개선비용간의 적절성을 분석하기 위해 광양항의 A부두를 대상으로 세부적인 손상현황과 개선현황을 2013년과 2015년 진단자료를 기반으로 분석을 수행하였다. A항만의 구조형식은 잔교식으로 1997년 준공되어 22년차에 접어들었다. 준공 된지 16년차와 18년차 안전진단결과를 기준으로 분석을 수행하였다. 16년차에는 상태등급이C였으나 18년차에는 일정 부분 손상에 대한 보강공사가 이루어진 상태였으며 상태등급이 B로 개선되어 있었다.

Table 2. Detailed analysis of damage and improvement activities (Between 2013 and 2015)

Division	Type of Damage (Damage scale)	Amount (Year)		Unit	Cause of damage
		2013	2015		
Floor deck	Crack (CW: less 0.2mm)	1157.9	1090.6	m	Dry shrink, Hydration fever etc.
	Bottom	Crack (CW:over 0.3mm)	469.9	28.7	
Cross beam	No forwork removed	0.5	0.5	m ²	Not removed after construction
	Partial delamination	0.66	0	m ²	Rebar corrosion by salt damage
Stringer	Crack (CW: less 0.2mm)	261.4	253.9	m	Dry shrink, Hydration fever etc.
	Crack (CW: over 0.3mm)	49	1.6	m	
	Cracks & Efflorescence (CW: less 0.2mm)	7.8	3.9	m	Dry shrink, Moisture penetration etc
	Corrosion cracking	74	0	m	Rebar corrosion by salt damage
	Partial peeling	17.93	0	m ²	Rebar corrosion by salt damage
	Damage	0.48	0.48	m ²	External shock

손상부위별 보수보강 활동에 대한 물량의 변화를 그래프로 나타내면 Fig. 2과 같다.

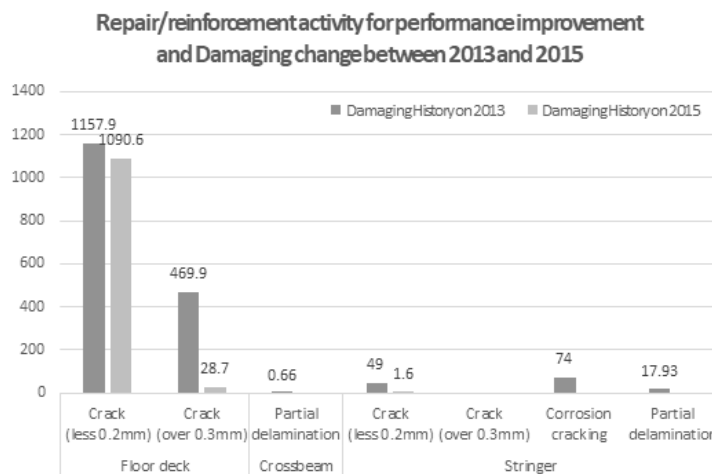


Fig. 2. Repair reinforcement activity and change of damage (performance improvement with C→B)

부재별 손상물량의 변화를 비교해 보면 2015년에 주로 균열의 크기가 큰 부분에 대한 보수가 이루어진 것으로 보인다. 0.3mm이상의 균열과 부식균열이 부재의 부위별로 이루어졌다. 다음 표는 진단이 이루어진 2년간의 손상물량의 변화를 정리한 것이다.(증감의 ‘-’는 손상물량의 감소를 의미함)

Table 3. Changes in damage volume through diagnostic history of pier A

Division	Type of Damage (Damage scale)	Amount (Year)		
		2013 (A)	2015 (B)	Increase or Decrease (C) (=B-A)
Floor deck Bottom	Crack (CW: less 0.2mm)	1157.9	1119.5	-38.4
	Crack (CW: over 0.3mm)	469.9	34.1	-435.8
	Crack & Efflorescence (CW: less 0.2mm)	42.5	43	0.5
	Efflorescence	1.5	1.5	0
	Radical crack	4	4	0
Stringer	Partial delamination	0	0.1	0.1
	Corrosion crack	0	1.5	1.5
	Material separation	8	8	0
	Crack (CW: less 0.2mm)	261.4	308.1	46.7
	Crack (CW: over 0.3mm)	49	4.1	-44.9
	Crack & Efflorescence (CW: less 0.2mm)	7.8	3.9	-3.9
	Crack & Efflorescence (CW: over 0.3mm)	0.5	0.5	0
Pile cap	Corrosion crack	74	1.6	-72.4
	No formwork removed	0.5	0.2	-0.3
	Damage& rebar exposure	0	0.24	0.24
	Partial delamination	17.93	1.08	-16.85
Fender Base	Damage	0.48	0.48	0
	Crack (CW: less 0.2mm)	85.8	106.3	20.5
	Crack (CW: over 0.3mm)	151.4	14.7	-136.7
	Crack & Efflorescence (CW: less 0.2mm)	0	0.5	0.5
	Corrosion crack	10.5	4.9	-5.6
	Partial delamination	0.25	0.08	-0.17
	Corrosion crack	19.6	1.7	-17.9
	Partial delamination	0.09	0.1	0.01

보수보강활동과 성능개선비용의 관계

시설물의 성능을 개선한다는 것은 현재의 시설물이 가진 내구성이나 내하력, 그리고 안전등에 대한 수준을 상승시키는 것으로 이러한 활동으로는 부재를 교체하거나, 보강하거나 또는 구조물 전체를 개량, 개축하는 방법들이 있다. 항만 구조물의

경우, 잘 축조된 경우 100년 이상을 무리없이 사용할수 있도록 건설되기에 특별한 자연재해가 없는 한 그구조물의 수명과 내 구성은 매우 신뢰할 만 하다. 그러나, 최근 전 지구적인 기상변화로 해수면의 상승과 수온의 상승, 그리고 태풍강도의 크기가 매우 커져 과거 기록으로 유추하기 어려울 정도의 변화가 감지되고 있다. 이리다 보니 구조물의 초기설계시의 안전을 또한 더 높게 책정되어야 하는 요구사항이 발생하고 있다. 현재 축조되어 운영되고 있는 구조물의 경우, 자연재해 빈도의 증가로 시설물의 안전 및 유지관리가 수월하지 않은 상황이다.

일상유지활동과 성능개선활동

일반적으로 유지관리는 성능개선활동과 일상유지관리활동으로 나눌 수 있다. 일상유지관리활동은 실시간으로 이루어지는 민원해결성 활동, 청소, 주변정리, 그리고 소소한 보수 및 점검등의 활동이라 규정할 수 있다. 즉, 현 상태를 유지하기 위해 행해지는 활동이라 말한다. 성능개선 활동이란 공사성격이 강하며 손상 규모에 따라 보수보강 할 물량을 분석하고 설계하고 일정 계획에 따라 예산을 잡아 시행하는 시간을 필요로 하는 활동 등이 여기에 속한다. 예를 들어 에이프론에 포트홀이 생겼다면 현상유지수준의 보수 활동을 수행하게 된다. 하지만, 처짐이 생겨 물이 고이고 균열 등이 발생하게 된다면 이는 성능을 원래 이상으로 개선하는 공사를 해서 개선을 하게 되며 이러한 활동이 성능개선활동이다. 이러한 유지관리활동의 정의를 기반으로 매년 행해지고 있는 보수보강공법을 분석하였으며 이를 기반으로 성능개선활동과 일상유지관리활동을 구분할 필요가 있다. 이러한 성능개선 활동은 재무적 측면에서 자본적투자(CAPEX¹)로 분리관리되어야 하며 시설물의 수명 연장과 자산가치 상승에 기여하는 것으로 분류되어야 한다. 반면, 일상 유지관리활동은 수익적 지출(OPEX²)로 손실처리되어 자산가치 상승에는 기여하지 않는다.

자본적 투자관련 보수보강활동의 정의 및 공법의 설정

보수보강활동에 대한 정의를 명확한 기준으로 정의를 내리기는 쉽지 않다. 도장공법이 수행한다고 가정하면 그 도장이 단순히 매년 덧칠해지는 수준의 도장이라면 일상 수선수준의 활동이 된다. 그러나 방청이나 방수를 목적으로 행해지는 도장은 시설물의 수명을 연장하는 데 기여할뿐 만 아니라 부재의 성능을 개선하는 역할을 하므로 성능개선 활동으로 분류할수 있다.

콘크리트 볼록에 미세한 균열이 발생한 것과 0.3mm 이상의 균열이 발생해 있고 물이 고여 향후 철근 부식을 가져올수 있는 균열이 있다면 적용할수 있는 보수보강공법이 달라져야 한다

손상의 정도와 그에 따른 원인을 기반으로 보수보강수준을 결정하는 과정이 정밀진단 보고서와 정밀안전진단 보고서등에 잘 반영되어 있다. 다음 Table 4는 발생한 손상에 따른 손상원인과 그 이유를 설명한 예이다.

1) 자본적투자(CAPEX)는 Capital Expenditure의 약어로 성능개선에기여한 모든 활동(보수보강활동)과 연계된 비용지출을 의미함
2) 수익적 지출(OPEX)은 Operational Expenditure의 현상대를 유지시키기 위해 행해지는 활동과 연계되는 비용지출을 의미하며 이들 비용은 자산의 수명연장이나 성능개선이 기여하지 않는다고 보고 회계적으로 손실 처리하는 비용임

Table 4. Cases of damage analysis according to damage status

Division	Type of Damage	Cause of damage
Analysis of damage contents and their causes	Crack (CW: less 0.2mm)	Dry shrink, Hydration fever etc.
	Crack (CW: over 0.3mm)	
	Radical crack	
	Crack & Efflorescence (CW: less 0.2mm)	Dry shrink, Moisture penetration
	Efflorescence	Moisture penetration
	Partial delamination	rebar corrosion by salt damage
	Corrosion crack	
	Material separation	Poor compaction during construction
	Damaged&rebar exposure	External shock

진단 보고서를 분석하면 손상의 내용과 수준에 따라 보수보강활동과 공법이 다름을 파악할 수 있다. 아래의 표는 성능개선기여한 공법내용을 정리하여 도시한 것이다.

Table 5. Review of methods for linking daily maintenance activities with performance improvement activities

Construction method linked to routine maintenance activities	Performance improvement activities
Coating (Surface treatment)	Steel girder reinforcement
Concrete section maintenance	Reinforcement (reinforcement plate)
Surface repair (=Surface treatment)	External tension
Crack prevention method	Adhesion method
Railing repair	Injection&filling method
Curb repair	Concrete girder reinforcement
Surface repair (=Surface treatment)	Section extension
Crack prevention method	External tension
Drainage facility repair	Adhesion method
Drainage facility cleaning	Injection method
Expansion joint repair	Pedestal reinforcement
후타재 repair	Welding
Asphalt patching	상판증후공법
Asphalt surface treatment	Joint end reinforcement
Concrete patching	Asphalt cutting overlay
Concrete surface treatment Surface cleaning	Concrete cutting overlay Remodeling & renewal etc.

성능개선활동과 관련된 비용단가 분석

항만시설물의 위치별, 부위별로 보수보강활동의 수준과 종류는 매우 많지만, 성능개선과 관련된 보수보강활동은 사전 설계를 통해 계획적으로 이루어지는 것이라 예산산정의 중요한 요소이다.

특히, 현재 관리청 차원에서는 이러한 진단평가결과를 반영하여 보수보강 및 개선활동을 위한 단기적 예산계획을 수립하

고 있어 이러한 비용단가의 현실적인 기준은 매우 중요하다.

상태등급별 보수보강 등급 및 비용단가 적용방안 설정

항만시설물에 대한 정밀안전진단 등이 수행되게 되면 각 부재별, 부위별, 균열이나 마모, 철근부식 등 개별 시설의 안전성과 내구성에 대한 상태등급 진단이 이루어진다. 이들 진단내용은 일상적인 보수나 수선유지를 요하는 내용도 있지만, 좀 더 구체적인 처방을 내려주는 경우도 있어 이런 평가기준이나 내용에 대해 세부적인 분석을 수행할 필요가 있다. 즉, 현재의 상태가 어떤 수준인데 어떤 보수보강이 필요한지, 그리고 비용단가를 적용할 필요가 있는지를 손상의 종류별로 조사 분석하였다.

다음 표는 이러한 분석을 수행한 내용의 예시이다.

Table 6. Cases of analysis for applying reinforcement level and cost unit price by condition

Repair & reinforcement location	Type of Damage	Facilities status rating standard		Repair/reinforcement grade & Unit price									
				Repair			Reinforcement						
				Top	Medi-um	Bot-tom	Top	Medi-um	Bot-tom				
Gravity quay-wall/ Block or Cell-block	Settlement	B	over 5cm ~ less 8cm	over 2cm ~ less 5cm	- A state of partial minor settlement but no fundamental repair is required			-	-	-	-	-	-
		C	over 8cm ~ less 12cm	over 5cm ~ less 8cm	- A state of medium settlement. Required continuous monitoring			-	-	-	-	-	-
		D	over 12cm~ less 16cm	over 8cm ~ less 12cm	- A state of severe settlement. A condition that can seriously affect the structural stability of quaywall			-	0	-	Cap concrete raising & Pavement overlay		
	E	over 16cm	over 12cm	- A state of very severe and extensive settlement. A hazardous state that could result in loss of structural stability.			0	-	-				
	Substructure	incline /toppling	B	over 2% ~ less 3%	over 1% ~ less 2%	- A state of Partially minor incline/toppling existing. but no fundamental repair is required.			-	-	-	-	-
C			over 3% ~ less 4%	over 2% ~ less 3%	- A state of medium incline/toppling. Required continuous monitoring			-	-	-	-	-	-
D			over 4% ~ less 6%	over 3% ~ less 4%	- A state of severe incline/toppling. A condition that can seriously affect the structural stability of quaywall			-	0	-	Foundation reinforcement required		
E			over 6%	over 4%	- A state of very severe and extensive incline/toppling. A hazardous state that could result in loss of structural stability.			0	-	-			

손상특성별로 그 상세현황을 파악하고 이에 해당할 경우, 적용 가능한 보수 보강의 수준을 가림하여 성능개선과 관련 있는 항목을 도출하고 적절한 비용단가를 매취하는 과정을 진행하였으며 이를 기반으로 각 손상에 적합한 공법을 연계하는 작업을 수행하였다.

Table 7. The case of no-codes take into consideration the status level and damage level

Repair / reinforcement location	Type of damage	Facilities status rating standard	Repair/reinforcement rating & Unit price					
			Repair			Reinforcement		
			Top	Medium	Bottom	Top	Medium	Bottom
Gravity quaywall:Block or cell-block substructure	Damage (rebar) D	A poor condition in which partial damage occurs to the main part of the facility, which reduces the safety of the body or risks expanding the damage scale as the damage progresses.	t=10cm, Above the water	-	Table 55 ~ 61		Table 55 ~ 61	-
			t=20cm, Above the water		Table 62 ~ 68		Table 62 ~ 68	
			t=30cm, Above the water		Table 69 ~ 75		Table 69 ~ 75	
			t=10cm, underwater		Table 109 ~ 112		Table 109 ~ 112	
			t=20cm, underwater		Table 113 ~ 116		Table 113 ~ 116	
			t=30cm, underwater		Table 117 ~ 120		Table 117 ~ 120	

상태등급평가 결과를 반영한 보수보강활동관련 비용단가 모델제시

항만시설물에 대한 보수보강 댓가지준은 현재 시설물의 상태가 어느 수준에 와 있으며 이를 개선하기 위해 어떠한 공사계획이 만들어져야 하는지를 알아야 한다. 예를 들어, 0.3mm균열이 발생하여 1m가량 벌어져 있으나, 향후 내부철근부식까지 영향을 줄 수 있다고 판단한다면 단순히 콘크리트 덧씌우기 수준의 보수가 아니라, 균열 발생 지역주변의 콘크리트를 절삭하여 깨어내고 철근 분식이 발생할 수 없도록 주입공법이나 방청 후 단면 복구를 수행하는 방법을 사용해야 한다.

이처럼 개별 손상의 사안별로 적용 가능한 공법을 정리하고 이에 대한 비용단가를 분석해 둬으로써 유지관리 의사결정시 최적의 비용투자계획을 만들어낼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 공법과 연계된 비용단가를 일위대가 총괄표를 작성하여 실제 적용에 활용할 수 있도록 개발하였다.

Table 8. Examples of standard product linked to performance improvement activities (Unit: Won)

code	Item	Specification	Quantity	Unit	Material Cost	Labor Cost	Miscellaneous
No.3 code	Damage (1.0×1.0)		m	1,055,974	229,944	765,066	60,964
No19 code	Block Damage (Plane0.5×0.5)	Underwater	ea	1,106,273	106,269	976,237	23,767
No.20 code	Block Damage (Plane, 1.0×1.0)	On the water	ea	999,095	225,379	716,170	57,546
No21 code	Block Damage (Plane, 1.0×1.0)	Underwater	ea	3,005,988	373,682	2,492,965	139,341
No24 code	Block Damage (Rebar, 0.1×0.1)	Transparent grid,Underwatert =10cm	ea	917,707	358,646	545,021	14,040

Table 8. Examples of standard product linked to performance improvement activities (Unit: Won) (Continue)

code	Item	Specification	Quantity	Unit	Material Cost	Labor Cost	Miscellaneous
No25 code	Block Damage (Rebar, 0.1×0.1)	URA, Underwatert=10cm	ea	803,092	579,868	217,233	5,991
No129 code	fender replacement	OV 800H-2,000L	ea	14,983,601	14,100,146	804,671	78,784
No130 code	fender replacement	BP 400H-2,000L	ea	6,250,354	5,340,146	829,042	81,166
No151code	mooring post reinstall	mooring post, 70TON	ea	9,781,682	6,800,331	2,934,446	46,905
No152 code	mooring post reinstall	bollard, 70TON	ea	5,870,783	5,154,681	673,110	42,992
No166code	Damage (Rebar, 0.1×0.1)	Flame Retardant FREP, Underwatert=10cm	ea	885,687	505,215	376,505	3,967
No129 code	Damage (Rebar, 0.1×0.1)	Transparent grid, Underwatert=10cm	ea	1,065,468	441,283	609,710	14,475
No167code	floating pier crack repair/rehabilitation (Middle)	L=0.7m, Transparent grid, Underwater	ea	2,275,983	591,112	1,652,641	32,230
No198 code	floating pier crack repair/rehabilitation (Middle)	L=0.7m, URAMethod, Underwater	ea	3,825,740	1,080,276	2,665,504	79,960

Table 9. Sample of making details according to the general table

code	Item	Specification	Quantity	Unit	Total		Material cost		Labor Cost		Miscellaneous costs		note
					Unit Cost	Sum	Unit Cost	Sum	Unit Cost	Sum	Unit Cost	Sum	
No.3 code Table	Damage (1.0×1.0)		1	m		1,055,974		229,944		765,066		60,964	
	Plain Concrete Breaking	Labor	1	m ³	372,421	372,421	16,303	16,303	356,118	356,118	0	0	Unit price output# 1
	Boring	∅19mm, 20cm	25	EA	9,868	246,700	3,355	83,875	6,513	162,825	0	0	standard of estimate252
	Anchor Hole Epoxy Filled	Underwater	25	EA	5,983	149,575	600	15,000	5,383	134,575	0	0	standard of estimate255
	Deformed bar(SD300), Total	D=16mm	0.062	Ton	665,000	41,230	665,000	41,230	0	0	0	0	
	Rebar processing and assembly	Simple	0.06	Ton	688,818	41,328	10,900	654	672,827	40,369	5,091	305	standard of estimate258
	Euro Form	Wall	1	m ²	28,132	28,132	3,816	3,816	24,316	24,316	0	0	standard of estimate259

Table 9. Sample of making details according to the general table (Continue)

code	Item	Specification	Quantity	Unit	Total		Material cost		Labor Cost		Miscellaneous costs		note
					Unit Cost	Sum	Unit Cost	Sum	Unit Cost	Sum	Unit Cost	Sum	
	Ready Mixed Concrete (Seoul) -Quality	25-24-12	1.01	m ³	68,086	68,766	68,086	68,766	0	0	0	0	
No.3 code	Ready-mixed concrete	Rebar: Mechanical	1	m ³	47,192	47,192	300	300	46,863	46,863	29	29	Unit price output# 3
Table	Temporary installation and dismantling		1	EA				0		0		0	Others
	Waste concrete		2.3	ton	26,361	60,630	0	0	0	0	26,361	60,630	standard of estimate256

산 출 근 거	합 계	재료비	노무비	경 비
1. 무근콘크리트배기(인력) [㎡]	372,421	16,303	356,118	0.
1. 인력배기 활석공 : 163,030 × 2. 인 = 326,060.	326,060.		326,060.	
2. 잡재료비 (인건비외!) 326,060. × 0.05 = 16,303.	16,303.	16,303.		
3. 소운반 (리어카 L = 20 m) q = 250 kg T = 4회분 - 3회분 = 450. L = 20 m t1 = 5. V = 2,500. $N = \frac{V \times T}{12L \times L + V \times t1} = \frac{2,500 \times 450}{12 \times 20 \times 20 + 2,500 \times 5} = 75.5$ Q = N × q / 2,400 = 75.5 × 250 / 2,400 = 7.86 보통인부 : 118,130 × 2 / 7.86 = 30,058.5	30,058.5		30,058.5	
4. 합 계 노무비 : 326,060 + 30,058.5 = 356,118 재료비 : 16,303 경 비 : 계 : 372,421	372,421	16,303	356,118	

Fig. 3. The detail calculation of material, labor costs for standard of estimate

Table 6, Table 7 과 Fig. 4은 성능개선과 관련된 보수보강 활동중심의 일위대가 총괄표와 그에 대한 상세 공사 활동, 그리고 산출근거를 보여주고 있다. 이들 비용내역의 작성원칙은 시설물의 안전진단시 상태평가결과를 바탕으로 할 수 있도록 구성하였다. 즉, 상태 평가의 결과가 C나 D 등급으로 표현되는 내용을 보면 외형으로도 손상의 두드러진 특성이 보일뿐만 아니라, 전문학적 견해로 보면 향후 어떤 심각한 문제를 야기할 수 있는지도 확인이 가능하다. 시설물의 손상에 대한 보수보강공법의 수준을 상태평가결과와 연계해 둠으로서 비용과 상태평가 수준에 대한 객관적인 인식과 유지관리가 가능하도록 구축하였다.

이런 프로세스로 구축되어 있어, 시설물의 안전진단이후 손상에 대한 비용규모 추정시 활용 할 수도 있어, 진단에서 나온 평가결과와 실제 현장에서 필요한 재원의 규모를 연결하고 활용하는데 큰 도움이 될 것이다.

유지관리전략수립을 위한 성능개선 비용모델의 구현

유지관리전략수립의 최종목표는 목적하는 성능을 개선하면서 최적의 투자효과를 가져올 수 있도록 전략을 수립하는 것이다. 이러한 차원에서 성능개선활동과 관련된 보강활동을 정의하고 이를 고려한 비용단가 및 적용기반을 마련하는 것이 매우 중요하다. 상태기반 성능모델의 보다 효율적인 프로세스 표현을 위해 상태변화추이와 보수보강비용연계를 통한 성능개선을 모사하는 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 특징은 구조형식별, 손상 특성을 고려한 모델로서 주기적인 상태등급 개선활동을 고려한 성능개선 관점을 평가하도록 개발하였으며 이때 손상의 수준별 개선을 위해 투자되어야 할 비용 분석이 가능하도록 구현하였다.

그림에서 보는 것처럼 상태등급기반 열화모델을 반영하여 시간이 지남에 따라 시설물의 성능저하를 표현하였으며, 공용 성능개선활동으로 인한 상태등급 개선이 발생하는 경우, 이런 개선활동에 기여한 보수보강공법과 물량을 사용자가 선택하거나 입력함으로써 손쉽게 향후 개선활동에 들어갈 비용을 추정할 수 있다는 장점이 있다.

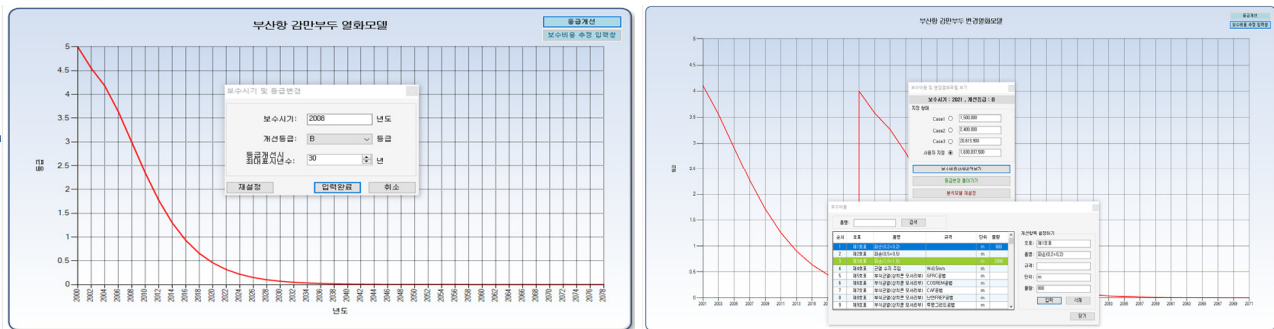


Fig. 4. Configuration examples of performance improvement activities and cost analysis system associated with it

결론

본 연구는 항만시설의 구조형식별 상태변화 이력을 조사 및 분석을 통해 성능개선 및 수명연장 활동에 기여하는 보수보강 활동을 선별하여 선제적 항만시설 유지관리전략수립에 활용 가능한 비용모델을 제시하였다. 특히, 열화모델기반 보수보강 비용 내역과 성능개선 이력을 분석하여 유지관리전략 수립에 활용 가능한 자본적 지출(CAPEX)과 수익적 지출(OPEX)로 구별하였으며, 이를 통해 시설물의 수명연장 및 자산가치 상승에 기여한 비용요소를 도출하였다. 또한, 이를 바탕으로 예상 투자비용과 적정 투자 시기를 결정할 수 있으며, 항만시설의 성능개선을 유도할 수 있다. 향후, 항만시설에 대해 자산관리체계로 관점을 확대할 경우, 항만시설 정보체계에 매우 효과적인 비용분석이 될 것으로 사료된다.

References

[1] Choi, H.H. Sun, J.W, Park, K.H. (2013). “A study on risk-based bridge performance evaluation method for asset management.” Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 14, No. 3, pp.22-32.

[2] Kim, S.W., Cha, K.H, Kim, J.H, Park, M.Y, Kong, J.S. (2012), “Development of condition state model for open type wharf considering deterioration factors.” KSCE Conference of Korean Society of Civil Engineers, Gwangju, Korea,

pp. 2138-2141.

- [3] Lim, J.G., Cho, I.U, Lee, J.H, Lee, A.R, Park, M.Y. (2018). “A study on performance model for establishing strategies of port facilities maintenance” Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 18, No. 7, pp. 359-367.
- [4] Port Association (2010). Unit Model Development for LCC Analysis Program at Port Facility Design Stage, p. 40.
- [5] Port Association (2012). Review of Applicability of LCC Analysis Program and Advanced Functionality in Port Facility Design Stage.
- [6] Port Technology Group (2010). Guidelines on Strategic Maintenance for Port Structures, ASEAN-Japan Transport Partnership,.