

# 항만 민간투자사업 유지보수비 추정모형 구축

## Formulation of the Estimation Model of Maintenance Repair Costs in Korean Port Private Participation Projects

이종필 한국해양수산개발원 부연구위원(제1저자)  
Lee Jongphil Research Fellow, Shipping, Port & Logistics  
Research Department, Korea Maritime Institute  
(Primary Author)  
(jplee@kmi.re.kr)

강동진 한양대학교 대학원 도시공학과 박사과정 수료  
Kang Dongjin Finished Ph.D. Course, Dept. of Urban Engineering,  
Hanyang Univ.  
(robo0120@paran.com)

노정현 한양대학교 도시대학원 교수(교신저자)  
Rho Jeonghyun Professor, The Graduate School of Urban Studies,  
Hanyang Univ.(Corresponding Author)  
(jhrho@hanyang.ac.kr)

### 목 차

- I. 서론
- II. 항만 민간투자사업 유지보수비 추정방법 및 현황 분석
  - 1. 유지보수비 추정방법 분석
  - 2. 사업별 유지보수비 추정결과 분석
- III. 선행 연구 검토 및 본 연구의 차별성
  - 1. 선행 연구 검토
  - 2. 본 연구의 차별성
- IV. 항만 민간투자사업 유지보수비 추정모형 설계
  - 1. 전체 및 모형 구축과정
  - 2. 운영설비 유지보수비 추정모형(다중회귀분석) 구축
  - 3. 항만시설 유지보수비 추정모형(적분법) 구축
- V. 결론

## I. 서론

국내 민간투자법의 적용을 받은 항만 민간투자사업은 모두 BTO방식으로 추진되었다. BTO방식은 사전에 건설비 및 운영경비를 확정하고 관리운영권 설정기간 동안 사업시행자가 부두를 운영한 후 국가에 시설을 귀속시키는 추진방식으로서, 건설 및 운영비용은 사업수익률을 비롯하여 정부재정지원 등에 결정적 영향을 미치고 있다. 이에 따라 정부는 민간사업자와의 협상 시 운영경비의 적정성을 중요하게 다루고 있다.

하지만 항만사업의 경우 운영경비 관련 자료가 체계적으로 수집·분석되어 자료로 축적되어 있지 않아 적정한 운영경비<sup>1)</sup>를 결정하기가 어려웠다. 특히 유지보수비는 총 운영경비의 11.7%를 차지하는 등 운영경비의 중요한 요소로 인식되어 협상 때마다 비용합의에 곤란을 겪곤 했다. 이에 따라 대부분의 유지보수비 결정은 우선협상대상자가 제시한 금액을 기초로 동종 화물을 취급하는 이전 사업의 유지보수비 수준을 고려하여 대강을 정하곤 하였다. 그러나 이러한 결정방식은 논란을 일으킬 수 있는 소지가 있는 것으로서 적정 유지보수비를 결정할 수 있는 방안의 제시가 무엇보다 시급한 실정이다. 본 논문에서는 기존의 항만 민간투자사업에서 결정된 유지보수비 자료를 토대로 적정 유지보수비 결정 모형을 구축해 보고자 한다. 이를 통하여 항만분야 민간투자사업 유지보수비 결정 이론

을 확장할 수 있는 학문적 토대를 제공하고, 정부의 유지보수비 정책결정에 활용될 수 있도록 기여하고자 한다.

## II. 항만 민간투자사업 유지보수비 추정방법 및 현황 분석

### 1. 유지보수비 추정방법 분석

#### 1) 분석대상 사업

국내 항만 민간투자사업의 유지보수비 현황을 분석하기 위하여 기 추진된 19개 사업 중 16개 사업을 대상으로 하였다. 분석에 유용한 유사한 자료의 형태로 구할 수 있는 사업은 기 추진 항만 민간투자사업뿐이고 분석에 필요한 입수 가능한 재무모델이 있는 사업이 16개 사업이기 때문이다.<sup>2)</sup> 16개 사업의 일반현황은 <부표 1>과 같다.

본 연구에서는 유지보수비 추정방법 및 결과 분석을 위해 16개 사업을 컨테이너 사업과 비컨테이너(잡화, 목재류 포함)사업으로 구분하였다. 구분 결과 컨테이너는 9개, 비컨테이너는 7개로 나타났다(<부표 1> 참조).

이울러 분석의 편의를 위하여 16개 사업의 유지보수비 불변가격 기준일을 2009년 1월 1일로 통일하였다.<sup>3)</sup> 이하에서 제시되는 모든 금액은 2009년 1월 1일 기준 금액이다.

- 
- 1) 항만 민간투자사업의 경우 운영경비를 인건비, 일반경비, 유지관리비, 대체투자비 등으로 구분하며, 유지관리비는 동력비, 점검비, 보험료, 유지보수비 등으로 세분하고 있음.
  - 2) 2010년 1월 현재, 실시협약이 체결된 국내 항만 민간투자사업은 모두 19개 사업임. 이들 항만 민간투자사업들의 항만시설(토목/건축) 및 운영설비(하역장비/항만운영정보시스템(Operating System: OS))의 유지보수비 추정방식 및 결과를 검토하기 위해서는 개별 사업들의 실시협약 체결 당시의 재무모델이 필요함. 이에 본 연구에서는 우선적으로 기 추진 항만 민간투자사업들의 실시협약 재무모델을 수집하였고, 16개 사업들에 대한 재무모델을 획득할 수 있었음.
  - 3) 분석대상 사업들의 공사비, 유지보수비 등 비용항목과 수입 항목들에 대해 해당 사업의 불변가격 기준일에서 2009년 1월 1일까지의 월별 실적 소비자물가지수(Consumer's Price Index: CPI) 상승률을 한국은행 경제통계시스템(<http://ecos.bok.or.kr>)에서 구하여 적용하였음.

표 1\_ 항만 민간투자사업의 유지보수비 추정대상 시설 구성요소

구분		시설
항만시설	토목시설	안벽, 방층재, 차막이/모서리, 계선주/직주 크레인레일, 아스팔트 포장, 오배수 시설, 급수 및 소화시설, 조경시설, 호안, 방진망 ATC레일, 쇄석포장 등
	건축시설	운영 및 관리건물, 전기설비, 기계설비 등
운영설비	하역장비	Quay Crane(Container Crane, Harbour Crane), RTGC, RMGC, Yard Tractor, Yard Chassis, Reach Stacker, Forklift, Top Handler, Pickup Truck 등
	OS	Hardware, Software, Network 등

2) 기 추진 사업의 유지보수비 추정방법

항만 민간투자사업의 유지보수비 추정대상 시설은 크게 항만시설 및 운영설비로 구분되며 각각은 <표 1>과 같이 세부 시설로 구성된다.

<표 1>에서 제시된 세부시설은 시설별로 사용 목적과 빈도가 상이함에 따라 시설별 유지보수비도 상이하다. 그러므로 정확한 유지보수비 추정을 위해서는 <표 1>에 제시된 각 세부시설의 유지보수비를 추정하는 것이 합리적일 것이다. 그러나 실제로는 16개 사업 모두가 세부 시설별로 유지보수비를 추정하지는 않은 것으로 나타났다. 즉, 일부 사업들은 시설별 세부 구분 없이 유지보수비 총액만을 추정하고 있으며, 그 경우 재무모델상에서 유지보수비 총액의 추정 근거에 대한 별도의 제시가 없는 경우가 많았다.

항만시설(토목/건축시설)의 경우, 컨테이너 사업 중에서는 A, C, E, F, I 등 5개 사업이, 비컨테이너 사업 중에서는 M, O 등 2개 사업이 재무모델에서 시설별 구분 없이 유지보수비 총액만을 산정하여 제시하였다. 반면, 운영설비의 경우 컨테이너 사업 중 A, C, I의 3개 사업이, 비컨테이너 사업 중 J, K, M, N, O 등 5개 사업이 유지보수비 총액

만을 제시하였다. 결론적으로, 16개 사업 중 A, C, I, M, O 등 5개 사업은 재무모델에서 항만시설 및 운영설비 모두 시설 구분 및 추정 근거 없이 유지보수비 총액만을 제시하고 있었다.

세부시설별로 유지보수비를 추정하여 제시하고 있는 사업의 경우에도, 사업들 간 유지보수비 추정 방법이 상호 불일치하는 것으로 나타났다. 항만시설 유지보수비의 경우 컨테이너 사업은 연도별로 동일한 유지보수비를 적용한 후 대수선비를 추가하거나, 2차식 적분법을 준용한 유지보수비 총액을 구하고 대수선비 총액을 추가한 값을 연도별로 평균하여 적용하거나 연도별로 동일한 평균 유지보수비를 적용한 후 내용연수에 따른 대수선비를 추가한 경우, 2차식 적분법에 의한 연도별 유지보수비 추정 후 내용연수에 따른 대수선비를 추가한 사례 등이 있었다.

비컨테이너 사업의 경우 연도별로 동일한 유지보수비를 적용하거나, 2차식 적분법에 의한 연도별 유지보수비를 추정하거나, 2차식 적분법을 준용한 유지보수비 총액 추정 후 연도별로 동일한 평균 유지보수비를 적용한 사례 등이 있었다. 한편, 동일한 유지보수비 추정 방식을 적용하고 있는 경우<sup>4)</sup>에도 시설별 내용연수, 보수율 등 유지보수비

4) 예를 들면, <표 2>에서 L사업과 P사업의 경우를 말함.

표 2\_ 사업 간 유지보수비 추정방법 비교

구분	컨테이너 사업	비컨테이너 사업
항만시설 유지보수비	<ul style="list-style-type: none"> <li>연도별로 동일한 유지보수비 적용(유지보수비 산정 근거 미제시) 후 대수선비 추가 [B사업]</li> <li>2차식 적분법을 준용한 유지보수비 총액을 구하고 대수선비 총액을 추가한 값을 연도별로 평균하여 적용 [D사업]</li> <li>2차식 적분법을 준용한 유지보수비 총액을 추정하여 연도별로 동일한 평균 유지보수비를 적용한 후, 내용연수에 따른 대수선비 추가 [G사업]</li> <li>2차식 적분법에 의한 연도별 유지보수비 추정 후 내용연수에 따른 대수선비 추가 [H사업]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연도별로 동일한 유지보수비 적용(유지보수비 산정 근거 미제시) 후 대수선비 추가 [J, K사업]</li> <li>2차식 적분법에 의한 연도별 유지보수비 추정(대수선비는 별도 항목으로 고려) [L, P사업]</li> <li>2차식 적분법을 준용한 유지보수비 총액 추정 후 연도별로 동일한 평균 유지보수비 적용(대수선비는 별도 항목으로 고려) [N사업]</li> </ul>
운영설비 유지보수비	운영설비 대수 × 대당 취득단가 × 연평균 유지보수율 [B, D, E, F, G, H사업]	운영설비 대수 × 대당 취득단가 × 연평균 유지보수율 [L, P사업]

주: 표의 내용 중 '2차식 적분법'의 개념에 대해서는 본 논문의 'III. 선행 연구 검토'의 관련 내용 참조.

추정에 적용되는 기준이 서로 상이하였다.

운영설비 유지보수비의 경우 사업 종류에 상관 없이 운영설비 대수에 대당 취득단가, 연평균 유지보수율을 곱하여 유지보수비를 산정하였다. 하지만 운영설비 유지보수비의 산정에 결정적인 영향을 미치는 연평균 유지보수율은 사업 간에 차이가 발생하였다. 이상의 내용을 정리하면 <표 2>와 같다.

## 2. 사업별 유지보수비 추정결과 분석

분석 결과 국내 항만 민간투자사업의 항만시설 및 운영설비 유지보수비 추정방법은 사업 간 편차가 큰 것으로 나타났다. 따라서 유지보수비 추정결과도 사업별로 격차가 존재할 것으로 예상할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 항만시설과 운영설비의 유지보수비 추정결과를 총액 측면에서 사업별로 비교·분석해 보았다<sup>5)</sup>. 먼저 항만시설 유지보수비 추정결과를 사업들 간에 비교한 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3>에서 알 수 있듯이 유지보수 공사비 대비 연평균 유지보수비율은 컨테이너 사업의 경우 0.18%~1.06%, 비컨테이너 사업의 경우 0.09%~1.11%로 사업 간 격차가 크다.

운영설비 유지보수비는 운영설비비 대비 연평균 유지보수비의 비율을 기준으로 사업별로 비교해 보았는데, 사업별로 2.41~6.00%의 격차를 보이고 있었다.

종합하면, 기 추진 항만 민간투자사업의 유지보수비<sup>6)</sup>는 유지보수비의 추정방법상 사업별로 격차

5) 사업들 간 유지보수비 추정결과와 비교 분석은 항만시설 및 운영설비의 세부 시설별로 유지보수비를 산정한 사업들에 한정하여 수행하였음.

6) 여기서 '유지보수비'라 함은 '항만시설(토목/건축) 유지보수비'와 '운영설비(하역장비/OS) 유지보수비'를 통틀어서 말하며, 이하 동일함.

**표 3\_ 항만시설 유지보수비 추정결과 비교 분석**  
(단위: 억 원)

구분	컨테이너 사업				
	B	D	G	H	
유지보수 공사비(A)	3,073	769	314	1,152	
연평균 유지보수비(B)	5.0	1.3	0.6	12.2	
B / A	0.16%	0.17%	0.18%	1.06%	
구분	비컨테이너 사업				
	J	K	L	N	P
유지보수 공사비(A)	184	333	853	280	302
연평균 유지보수비(B)	0.6	0.3	9.5	1.0	2.5
B / A	0.34%	0.09%	1.11%	0.35%	0.83%

주: 1) 2009.1.1. 불변가로 환산된 금액임.  
 2) 유지보수 공사비(A)는 개별 사업별 전체 항만시설 중 유지보수의 필요성이 있는 시설에 대한 공사비를 의미함.  
 3) 연평균 유지보수비(B)는 운영기간 중 총 유지보수비/운영기간으로 산정.

**표 4\_ 운영설비 유지보수비 추정결과 비교 분석**  
(단위: 억 원)

구분	컨테이너 사업					
	B	D	E	F	G	H
운영설비비(A)	6,270	330	346	344	206	1,224
연평균 유지보수비(B)	200.8	11.7	20.8	15.6	9.1	29.5
B / A	3.20%	3.55%	6.00%	4.54%	4.44%	2.41%
구분	비컨테이너 사업					
	L		P			
운영 설비비(A)	146		117			
연평균 유지보수비(B)	4.7		3.9			
B / A	3.22%		3.34%			

주: 2009.1.1. 불변가로 환산된 금액임.

가 크며, 추정 결과도 차이가 큰 것으로 나타났다. 사업 간에 일관된 유지보수비 추정 방식과 기준이 부재(不在)하다는 점을 알 수 있는데, 이에 따라 항만 민간투자사업 사업계획서를 작성하는 사업참여자나 사업계획서의 평가 및 협상에 임하는 주무관청 모두에게 필요 이상의 노력과 시간이 소요되고 있다.

본 논문은 이러한 현실적 어려움을 감안하여 항만 민간투자사업 추진 시 일관적으로 적용할 수 있는 적정 유지보수비 추정방법과 기준을 고안하여 제시하고자 한다. 이를 위해 항만시설 유지보수비 추정 관련 선행 연구를 검토하고, 이를 감안하여 적정 유지보수비 추정방법을 제시하고자 한다.

### III. 선행 연구 검토 및 본 연구의 차별성

#### 1. 선행 연구 검토

국내에서 항만시설에 대한 종합적인 유지보수비 산정 방법을 제시한 것은 해운산업연구원(1993)의 연구가 처음이었다. 해운산업연구원(1993)은 일본의 유지보수비 산정 자료를 활용하여 세부시설별로 유지보수율 계수, 내용연수 등을 구하여 유지보수비 산정 방정식을 제시하였다.<sup>7)</sup> 동 연구에서 제시한 시설 유지보수비 산정 방식은 2차 함수 형태의 적분법 식(式)이다. 동 연구에서는 시설의

7) 김우호·이종필. 2007a. 항만시설 민자사업 재정절감효과 분석 기준 연구. p47.

유지보수비가 시간이 경과함에 따라 급격하게 증가한다고 가정하고, 유지보수비 산정식을 2차 함수 형태의 함수식으로 만들어 제시하였다.<sup>8)</sup>

$$y_t = apt^2 \quad \text{<식 1>}$$

여기서,  $y_t$ : 운영개시 이후  $t$ 연도의 유지보수비  
 $a$ : 연도별 보수율 계수  
 $p$ : 시설물의 신규 구입가격(공사비)  
 $t$ : 시간(운영개시 이후 연수)

그런데 시설물의 내용연수 기간 동안 전체 보수비는 보수율을 2차 함수로 가정하거나, 매년 일정한 평균보수율을 가정하거나 동일하므로 상술한 위 식은 다음의 관계식으로 바꿀 수 있다.

$$\int_0^n apt^2 dt = npr \quad \text{<식 2>}$$

여기서,  $n$  : 시설물의 내용연수  
 $r$  : 매년 일정한 평균보수율

<식 2>에서  $a \left[ \frac{1}{3}pt^3 \right]_0^n = npr$  이므로,  $a = \frac{3r}{n^2}$  이 되며, 도출된  $a$ 의 관계식을 <식 1>에 대입하면 2차 함수 형태의 적분법 식은 다음과 같이 전환된다.

$$y_t = \frac{3r}{n} pt^2 \quad \text{<식 3>}$$

이후 국내 항만 민간투자사업의 사업시행자들이 산정한 항만시설 유지관리비는 대부분 해운산업연구원(1993)에서 제시한 <식 3>과 같은 2차 함수 형태의 적분법 식이 활용되어 산정되었다. 하지만 사업자에 따라 당해 연구의 산정방식을 서로 다르게 적용하거나 연간 유지관리비를 정액으로 일괄적으로 적용하기도 하였다.

유지보수비 적정성을 본격적으로 검토한 것은 항만 민간투자사업에 대한 사전 타당성 분석이 시행된 2002년부터였다. 해양수산부(2003)의 연구는 사전에 민간투자사업 비용 산정을 위하여 전체적인 비용구조를 파악하고 그 산정 기준을 제시하였다. 하지만 여러 가지 자료조사 및 분석의 한계 상 당해 기준을 참조용으로만 활용할 것을 제안하였다.

그후 해양수산부(2005)는 해운산업연구원(1993)의 유지보수비 산정방법을 검토하여 수정안을 제시하였다. 동 연구에서는 기 추진 민간투자사업의 유지보수율을 구하여 화종과 공종 구분 없이 동일한 값을 적용하도록 제시하였다. 하지만 항만 시설별, 공종별, 화종별 유지보수율의 차이를 감안하지 못한 한계가 있었다. 이후 김우호·이종필(2007a)의 연구에서는 항만시설 민간투자사업 재정절감효과 산출 시 유지보수비 적용방법과 관련하여 생애주기비용(Life Cycle Cost: LCC)의 관점에서 보수보강비용, 교체비용, 점검비용 등을 고려한 산정식을 제시한 바 있다.<sup>9)</sup>

항만시설 유지보수비의 산정과 관련한 해외 연구 사례로는 일본의 운수성항만기술연구소(1999)의 연구가 있다. 운수성항만기술연구소(1999)의 연구에서는 기 운영 중인 항만시설 운영 주체들에게 설문조사를 실시하여 30개 종류의 시설에 대한 공사비, 유지보수비, 유지보수 내역 자료 등을 수집하였다. 수집된 자료를 바탕으로 개별 시설 종류마다 초기 공사비 대비 유지보수비율을 종속변수(dependent variable)로, 운영연도를 독립변수(independent variable)로 하여 단순회귀분석(simple regression) 모형 식을 구축하였다.<sup>10)</sup>

8) 해운산업연구원, 1993. 항만시설 관리 및 유지보수 합리화 방안 연구. pp230-231.

9) 김우호·이종필, 2007b. "항만민자사업 유지관리비 적용의 문제점과 개선방안". 월간 해양수산 제279호. p26.

## 2. 본 연구의 차별성

위에서 살펴본 대로 국내 항만시설 유지보수비 산정 관련 연구는 대부분 해운산업연구원(1993)에서 제시된 2차식 형태의 적분법 식과 관련된 것이었다. 특이하게 김우호·이종필(2007a)은 생애주기비용(LCC) 관점에서 유지보수비 산정식을 제시하기는 했지만, 식의 개념 소개 정도에 그쳤을 뿐, 제시된 식을 유지보수비 추정에 직접적으로 활용할 수 있도록 하기 위한 식의 정산(calibration)과정 및 결과 등은 제시하지 않았다. 또한 국내 관련 연구들에서는 해양수산부(2005) 연구를 제외하고는, 항만시설 유지보수비 현황 데이터(data)를 이용한 유지보수비 추정식 설정 및 정산을 시도한 연구는 없었다.

반면, 본 연구에서는 제한적이긴 하지만 항만시설 유지보수비 관련 현황 데이터를 획득하여 직접 유지보수비 추정식의 설정 및 정산을 시도하였다. 또한 국내 관련 연구들에서는 고려된 적이 없는 다중회귀분석(multiple regression) 모형을 설정하여 유지보수비 추정이 가능하도록 하되, 설정된 모형에 대한 철저한 통계적 검증(validation) 단계를 거쳐 모형의 적용여부를 결정하였다. 아울러 연구 진행 과정상 해운산업연구원(1993)에서 제시된 적분법 식을 준용하였는데, 본 연구에서는 기존 국내 연구들에서 검토되었던 2차식 형태의 적분법 식 대신 직선(Linear)식, 로그(Log)식, 로지스틱 곡선(Logistic Curve)식 등의 변형된 형태도 새로이 고안하였다는 점과 기존에 고려되지 않았던 운영설비(하역장비/OS) 유지보수비 추정모형을 구축하

고자 한 점도 차별성을 지니는 요소다.

## IV. 항만 민간투자사업 유지보수비 추정모형 설계

### 1. 전제 및 모형 구축과정

#### 1) 모형 구축 전제

##### (1) 현황 데이터(Data)의 사용

모형(model)이란 분석 대상 체계인 현실체계의 일부분을 단순하게 표현<sup>11)</sup>하는 것으로 정의될 수 있다. 항만 민간투자사업의 적정 유지보수비 추정모형의 경우에도, 모형 구축을 위해서는 항만사업에서의 시설별 유지보수비에 관련된 현황 데이터가 필요할 것이다.

가장 바람직한 데이터는 국내에서 운영 중인 항만사업에서 실제 집행된 연도별 항만시설 유지보수 이력 데이터라고 할 수 있다. 하지만 국내 항만사업 여건상 연구 과정에서 실제 유지보수비 집행 내역을 구하는 것은 매우 어려운 일이었다. 우선적으로는 항만협회에서 관리하고 있는 항만시설관리시스템(CALS) 자료를 이용하는 방안을 생각할 수 있다. 그런데 이 항만시설관리시스템(CALS)에는 유지보수 이력 데이터 관련 적용기준이 없으며, 이에 따라 유지보수 이력이 불충분하여 유지보수 주기에 대한 패턴을 찾을 수 없고 공사비 대비 유지보수 비율에 대한 이력관리도 이루어지고 있지 않은 상황이다.<sup>12)</sup> 다음으로 지방청별로 현재 항만시설 관리대장 등이 있으나, 본 연구목적에 맞는 연도별 유지보수비 이력을 찾아내기는 어려운 상황이었다. 이 외

10) 해양수산부. 2005. 민간투자사업의 체계적·효율적 추진을 위한 관리운영지침 수립 연구. pp190-194.

11) 노정현. 1999. 교통계획-통행수요 이론과 모형. p28.

12) 김우호·이종필. 2007a. p46.

에 실제 운영 중인 항만을 대상으로 설문조사 등을 통해 유지보수비 자료를 수집하는 방법도 있으며 본 연구 과정에서 실제 설문조사를 추진하려 했으나, 예비조사(pilot survey) 결과 국내 항만 운영사들이 경영상의 기밀과 통계자료 작성의 어려움 등을 이유로 구체적인 유지보수비 집행 자료를 제공하는 것을 기피한다는 점을 파악하였다.

따라서 본 연구에서는 대안으로 항만 민간투자사업의 실시협약 체결 당시 재무모델에 제시된 연도별 유지보수비를 현황 데이터로 가정하여 모형을 설계하였다. 여기서 실시협약 재무모델상의 유지보수비를 현황 데이터로 사용한 이유는 두 가지를 들 수 있다. 첫째, 위에서 언급한 대로 국내 항만 유지보수시설 관리실태 및 유지보수비 자료를 기존 실적으로 이용하기 어렵다는 점이다. 둘째, 그동안 19개 항만 민간투자사업이 추진되면서 사업계획서 작성과정에서 여러 전문가들이 참여하여 제시한 시설 유지보수비가 어느 정도 현실성을 유지하고 있을 것으로 가정할 수 있기 때문이다.

## (2) 모형 선정

이와 같이 실시협약이 체결된 재무모델에 제시된 유지보수비를 현황 데이터로 가정하여 사용할 경우, 적정 유지보수비 추정을 위한 모형 선정에는 제약이 따른다.

위에서 살펴보았듯이 국내 항만 민간투자사업에서 세부 항만시설(토목/건축)별 유지보수비의 경우 해운산업연구원(1993)에서 제시된 2차식 적분법을

적용하고 있으나, 구체적으로 적용할 경우에는 많은 차이를 보이고 있다(<표 2> 참조). 이에 따라 연도별 유지보수비 총액의 변화 양상도 사업별 재무모델 간에 많은 차이를 보이고 있다. 이와 같이 사업들 간에 서로 다른 양상을 보이는 연도별 유지보수비를 대표하기 위해서는 회귀분석 모형이 적합<sup>13)</sup>할 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 우선적으로 회귀분석 모형을 적용하되, 유지보수비에 영향을 미칠 수 있는 여러 독립변수들을 고려할 수 있는 다중회귀분석 모형을 현황 데이터로부터 구축하고 정산<sup>14)</sup>하였다. 또한 정산된 다중회귀분석 모형의 적합도(goodness of fit) 및 통계적 유의도(significance)를 구하여 모형의 적용 가능성을 검증(validation)<sup>15)</sup>한 후, 적용 가능성이 낮을 것으로 판단될 경우에는 대안(代案)모형을 선정하여 모형 추정 및 적용 가능성을 판단하는 과정을 거쳤다.

운영설비(하역장비/OS)의 경우, 재무모델상 세부 시설별 유지보수비 추정방식은 사업들 간에 유사하지만(<표 2> 참조), 유지보수비의 산정 결과에 결정적인 영향을 미치는 세부 시설별 연평균 유지보수율은 사업 간에 상이하여 연도별 운영설비의 유지보수비 총액의 양상도 사업들 간에 차이를 보였다.

항만시설의 경우와 달리 운영설비는 세부시설별 유지보수비 추정방법이 유사하므로, 기준에 사용되던 산정 방법을 그대로 적용하여 세부시설별로 유지보수비를 추정하는 것이 가능할 수도 있다. 하지만

13) 'III. 선행 연구 검토'에서도 살펴보았듯이, 일본에서도 단순회귀분석(Simple Regression) 모형을 이용하여 항만 사업의 유지보수비를 추정한 바 있음.

14) 모형의 '정산(Calibration)'이란, 설정된 모형식에 표현된 각 계수(또는 파라미터) 값을 현장조사를 통한 조사치 또는 실험치를 이용하여 통계적 방법으로 결정하는 과정임(노정현, 1999: 30).

15) 모형의 '검증(validation)'이란, 정립된 모형이 현실체계를 얼마나 잘 설명하고 있는지 통계적 검증을 통하여 평가하는 과정임(노정현, 1999: 31). 즉, '검증' 과정에서는 정립된 모형의 통계적 유의도(significance), 모형의 적합도(goodness of fit) 등을 산정하여 검토함.

기존 방식에 의해 세부 시설별 유지보수비를 추정하기 위해서는 물동량 추이 등을 감안하여 연도별 운영설비(하역장비/OS) 세부시설의 종류와 대수, 취득단가를 우선 결정해야 한다. 이 과정은 특히 우선협상대상자와의 실시협약 체결을 위한 협상 과정에서 적정 유지보수비의 규모를 가늠해줘야 하는 주무관청의 입장에서는 매우 어려운 작업이다.

기본설계가 완료되면 필요한 시설의 종류와 규모가 설계결과에 따라 결정되는 항만시설(토목/건축)과 달리, 운영설비의 경우에는 동일한 물동량을 처리하기 위해 필요한 하역장비와 운영정보시스템(OS)의 종류, 사양, 대수의 조합(combination)에 대한 경우의 수가 수십 또는 수백 가지가 나올 수도 있기 때문이다.

따라서 주무관청의 입장에서 특정 세부시설의 종류와 대수 등을 일일이 결정하여 전체 운영설비의 유지보수비를 정하기는 매우 어렵다. 또한 민간투자사업 도입의 근본 취지 중의 하나가 민간의 창의와 효율성의 활용임을 감안할 때, 주무관청의 입장에서는 연도별 운영설비 유지보수비 총액만을 제시하고, 제시된 총액 수준의 범위 내에서 민간 사업시행자가 사업 추진 목적 및 사업시설의 기능에 부합할 수 있는 세부 시설의 종류, 사양, 대수 등을 자율적으로 검토하여 제시한 후, 사업시행자와 주무관청 양측이 검토하도록 유도하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 따라서 운영설비의 경우에도 연도별 유지보수비 총액에 대한 다중회귀분석 모형을 설계하고 정산한 후, 통계적 유의도 및 모형의 적합도를 검증하였다.

## 2) 모형 구축과정

상술한 바와 같은 항만시설(토목/건축) 및 운영설비(하역장비/OS)의 유지보수비 추정모형 구축의 전제하에서 구체적인 모형의 구축과정은 아래와 같이 진행되었다.

우선 다중회귀분석 모형을 구축하고 그 적용 타당성을 검증하였다. 이 과정에서는 항만 민간투자사업 실시협약 재무모델상 연도별 항만시설 유지보수비와 운영설비 유지보수비 총액을 종속변수로 하는 다중회귀분석 모형을 구축하였다. 구축된 다중회귀분석 모형의 정산 및 검증 결과, 운영설비(하역장비/OS) 유지보수비는 통계적 유의도와 모형의 적합성을 일정 부분 확보하여 해당 시설에 대해서는 다중회귀분석 모형을 적용하는 것이 가능할 것으로 판단되었다. 그러나 항만시설(건축/토목) 유지보수비의 다중회귀분석 결과는 통계적 유의도와 모형의 적합도가 매우 낮아 추정모형을 사용하기 어려웠다<sup>16)</sup>.

이에 따라 항만시설 유지보수비에 대해서는 별도로 적분법에 따른 모형 구축 및 타당성 검증을 수행하였다. 이 과정에서 기존 항만 민간투자사업의 유지보수비 산정에 주로 활용되었던 해운산업연구원(1993)의 2차 함수형태의 적분법 식은 운영연도가 후반기로 갈수록 유지보수비가 기하급수적으로 증가되도록 예측되는 문제점이 있음을 감안하여, 2차 함수 형태의 적분법 이외에 직선식, 로그식, 로지스틱 곡선식 등 다양한 형태의 함수식을 새로이 도출하여 연도별 유지보수비를 예측하였다.

마지막으로 예측 결과치가 기존 재무모델의 유지보수비에 가장 근접한 모형을 최적의 항만시설(건축/토목) 유지보수비 산정 모형으로 선택하였다.

16) 다중회귀분석 모형의 추정과 관련한 자세한 내용은 '2. 운영설비 유지보수비 추정모형(다중회귀분석) 구축' 절을 참조.

## 2. 운영설비 유지보수비 추정모형(다중회귀분석) 구축

### 1) 분석자료와 기준시점

다중회귀분석 모형의 구축 및 정산을 위한 대상사업은 본 연구과정에서 재무모형을 획득한 16개 사업들 중 C, L, M, P 사업 등 4개 사업을 제외한 12개 사업으로 하고, 이들 사업의 재무모형 데이터를 이용하여 모형을 정산하였다. 제외 이유는 이들 사업이 항만시설(토목/건축)의 연도별 유지보수비와 운영설비(하역장비/OS)의 연도별 유지보수비에 대한 회귀분석을 수행하기 위한 기초 데이터가 재무모형에서 누락되어 있었기 때문이다. 그리고 다중회귀분석 모형 정산과정에서는 2009년 1월 1일 불변가격 기준으로 금액을 조정하여 분석을 수행하였다.

### 2) 분석방법

#### (1) 대체투자비 고려여부

분석대상 사업 중 많은 사업이 재무모형에서 항만시설(토목/건축) 대체투자비를 별도 항목으로 구분하지 않고 유지보수비 항목에 함께 포함시켜 금액을 제시하고 있다. 반면에 운영설비(하역장비/OS)는 분석대상 사업들이 연도별 유지보수비와는 별개로 대체투자비 항목을 설정하여 금액을 제시하고 있다.

이런 자료구조를 감안하여 본 연구의 분석과정에서는 운영설비 유지보수비 금액에 대체투자비를 포함하는 경우와 포함하지 않는 경우 등 각각에 대해 회귀분석 모형의 통계적 유의성을 비교해보는 방식으로 운영설비 대체투자비를 감안하였다. 항만시설 대체투자비의 경우에는 본 연구에서 별도로 고려하

지 않되, 항만시설 유지보수비에 대한 다중회귀분석 시 대체투자비를 유지보수비 금액에 포함한 사업과 포함하지 않은 사업을 구분할 수 있는 가변수(Dummy Variable)를 고려하여 분석하였다.

#### (2) 회귀분석 모형의 설정

회귀분석 모형 설정을 위한 종속변수 측면에서는 항만시설 유지보수비 추정의 경우 ‘항만시설 유지보수비’와 ‘항만시설유지보수비/공사비’ 등 복수로 하여 각각의 경우에 대해 수행하였으며, 그 결과의 통계적 유의성을 검토하여 통계적 유의도가 높은 종속변수를 이용하여 적정 유지보수비 추정모형을 설정하였다.

운영설비 유지보수비 추정의 경우, 종속변수는 대체투자비를 포함한 운영설비 유지보수비와 대체투자비를 포함하지 않은 유지보수비 등 두 개의 대안으로 대별하고, 각각에 대하여 ‘운영설비 유지보수비’와 ‘운영설비유지보수비/운영설비비’의 세부 대안을 설정하였다. 이와 같은 방식으로 종속변수에 총 네 가지의 대안을 설정하여 각각에 대해 회귀분석 후, 통계적 유의성을 상호 비교하여 통계적 유의성이 높은 종속변수를 이용하여 적정 유지보수비 추정모형을 설정하였다.

독립변수 측면에서는 항만시설과 운영설비 모두 회귀분석을 위한 독립변수 후보에 운영개시 이후의 경과연수와 물동량을 우선적으로 고려하였다. 본 논문의 ‘선행 연구 검토’ 부분에서도 언급되었듯이 국내외 항만시설의 유지보수비 산정을 위한 기존 연구들에서는 운영개시 이후 경과연수가 기본 독립변수로 고려되고 있으며, 특정 시설의 유지보수비는 사용시간의 경과에 따라서 영향을 받는다는 것이 일반적인 인식이기 때문이다.

또한 특정 항만의 물동량 규모에 따라서 항만시설과 운영설비의 사용 강도는 달라질 것이며, 이에

따라 소요되는 유지보수비도 크게 달라질 것임을 감안하였다. 아울러 항만시설 유지보수비에 대체 투자비를 포함한 사업과 그렇지 않은 사업을 구분할 수 있는 가변수를 설정하여 대체투자비 포함 여부에 따른 유지보수비의 변화 양상을 감안하였다.

이 외에도 공사비 규모에 대한 가변수를 고려하여 공사비 증가에 따른 유지보수비 증가 효과를 감안하였다. 가변수 값 부여 기준 금액<sup>17)</sup>은 컨테이너 사업은 2천억 원, 비컨테이너 사업은 600억 원<sup>18)</sup>을 설정하였는데, 이들 금액은 분석 대상 컨테이너

표 5\_ 다중회귀분석 모형의 변수 설정 내역

분석대상	구분	변수명		변수 설명
항만시설 (토목/건축) 유지보수비	종속 변수	대안1	Inf	연도별 항만시설유지보수비(백만 원)
		대안2	Inf_mait	연도별 항만시설 유지보수비 / 공사비(공사비=100으로 가정)
	독립 변수	Year		운영개시 이후 경과연수
		Ln(year)		운영개시 이후 경과연수의 Log함수값
		Cargo		연도별 물동량(컨테이너: 천TEU, 비컨테이너: 천Ton)
		Ln(cargo)		연도별 물동량의 Log 함수값
		Mait_Dum		시설 대수선비 고려에 대한 가변수 - 항만시설유지보수비에 대수선비 고려 시=1, 아니면=0)
	Const_Dum		공사비 규모에 대한 가변수 - 컨테이너: 공사비가 2천억 원 이상=1, 아니면=0) - 비컨테이너: 공사비가 600억 원 이상=1, 아니면=0)	
운영설비 (하역장비/OS) 유지보수비	종속 변수	대안1-1	Equ_y	연도별 운영설비유지보수비(대체투자비 포함)(백만 원)
		대안1-2	Equi_mai_y	연도별 운영설비유지보수비(대체투자비 포함) / 운영설비비(운영설비비=100으로 가정)
		대안2-1	Equ_n	연도별 운영설비유지보수비(대체투자비 미포함) (백만 원)
		대안2-2	Equi_mai_n	연도별 운영설비유지보수비(대체투자비 미포함) / 운영설비비(운영설비비=100으로 가정)
	독립 변수	Year		운영개시 이후 경과연수
		Ln(year)		운영개시 이후 경과연수의 Log함수값
		Cargo		연도별 물동량 (컨테이너: 천TEU, 비컨테이너: 천Ton)
		Ln(cargo)		연도별 물동량의 Log함수 값
		Equi_Dum		운영설비비 규모에 대한 가변수 - 운영설비비가 300억 원 이상=1, 아니면=0 - 운영설비비가 150억 원 이상=1, 아니면=0

17) 본 연구에서 가변수값 부여 기준 금액이라 함은 해당 금액 이상인 사업에 대해서는 가변수값을 “1”로 부여하고, 해당 금액 이하인 사업들에 대해서는 가변수값을 “0”을 부여하였음을 의미함.

18) 이 금액은 모두 2009년 1월 1일 불변가 기준 금액임.

및 비컨테이너 사업 각각의 평균 공사비다.

또한 운영설비 유지보수비 추정을 위한 회귀분석 과정에서 운영설비비 규모에 대한 가변수(dummy variable)를 고려하여 운영설비비 증가에 따른 운영설비 유지보수비의 증가 효과를 감안하였다. 여기서 가변수값의 부여 기준 금액은 컨테이너 사업의 경우 300억 원, 비컨테이너 사업은 150억 원을 설정하였는데, 이들 금액은 분석 대상 컨테이너 및 비컨테이너 사업 각각의 평균 운영설비비 금액이다.

(3) 모형의 정산(Calibration)

다중회귀분석 모형의 정산을 위해 본 연구에서는 항만시설 유지보수비, 운영설비 유지보수비 각각에 대해 설정된 독립변수(independent variable)

중 ‘Year’(운영개시 이후 경과연수 값) 또는 ‘Ln(year)’(운영개시 이후 경과연수의 Log함수 값)을 기본변수로 설정하였다.

그리고 모형의 통계적 유의성을 감안하여 독립변수를 선택적으로 적용하는 단계적 회귀분석(stepwise regression) 방식에 의해 두 가지 비용별로 통계적 유의성이 가장 높은 회귀분석 식을 도출하였다. 여기서 기본변수를 ‘Year’ 또는 ‘Ln(year)’로 설정하였다는 것은, 두 가지 비용 각각에 대해 기본변수가 ‘Year’인 경우와 ‘Ln(year)’인 경우를 구분하여 회귀분석 식을 정산하고, 그중 통계적 유의도가 높게 도출되는 기본변수를 이용하여 추정모형을 도출하였음을 의미한다.

항만시설 유지보수비와 운영설비 유지보수비에 대한 다중회귀분석을 위한 변수의 설정 내역은 <표

표 6\_ 다중회귀분석 결과

구분	컨테이너 사업				비컨테이너 사업			
	항만시설 유지보수비		운영설비 유지보수비		항만시설 유지보수비		운영설비 유지보수비	
종속변수	Inf		Equ_n		Inf		Equ_n	
독립변수	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
회귀상수	-931.3	-1.070	-1,946.0	-6.957**	-3,388.7	-2.339*	243.1	10.093**
Year	46.7	1.749	11.2	1.189				
Ln(Year)					181.0	2.169*	10.5	1.631
Cargo	2.8	6.983**	5.6	46.606**			-0.017	-2.450*
Ln(Cargo)					440.9	2.339*		
Const-Dum	-1,102.5	-1.241						
Equi-Dum							503.4	36.717**
관측치 수	350		350		147		147	
adj. R <sup>2</sup>	14.3%		86.2%		5.4%		92.8%	
F-Value	20.323**		1,092.79**		5.174**		631.20**	
모형의 적용 여부	×		○		×		○	

주: 1) 각 모형별 종속변수와 독립변수들은 단계적 회귀분석 과정을 통해 선정된 것들임.

2) \*는 유의수준 5% 이내에서 유의함, \*\*는 유의수준 1% 이내에서 유의함을 의미.

5>와 같다.

3) 분석 결과 및 모형의 적용 여부

(1) 회귀분석 결과

상기에 언급된 과정에 따라 컨테이너 사업과 비컨테이너 사업에 대한 회귀분석 결과, 시설 종류별 유지보수비에 대해 통계적 유의도가 가장 높은 회귀식은 <표 6>과 같이 도출되었다.

(2) 모형의 적용 여부

컨테이너 및 비컨테이너 사업 모두 운영설비(하역장비/OS) 유지보수비의 회귀분석 결과가 통계적 유의도(t-값, F-value) 및 모형의 적합도(adj.R<sup>2</sup>)가 높아 도출된 회귀분석 식으로 항만 민간투자사업의 적정 운영설비 유지보수비를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 도출된 회귀분석 식은 시설 대체투자비를 제외한 유지보수비를 종속변수로 하여 도출된 것이므로, 실제 운영설비의 대체투자비는 해당 시설의 초기 구입비와 내용연수를 감안하여 별도로 산정할 필요가 있다.

한편 컨테이너 및 비컨테이너 사업 모두 항만시설(건축/토목) 유지보수비의 회귀분석 결과는 모형의 적합도(adj.R<sup>2</sup>)가 매우 낮고 통계적 유의도(t-값, F-value)도 상대적으로 낮아, 도출된 회귀식을 사용할 수 없을 것으로 판단된다. 특히 모형의 실제 데이터에 대한 설명력을 의미하는 모형의 적합도(adj. R<sup>2</sup>) 측면에서 컨테이너 사업은 14.3%, 비컨테이너 사업은 5.4%로 매우 낮은 것으로 나타났다.

따라서 항만시설 유지보수비 추정모형은 통계적 유의도와 모형의 적합도가 낮아 그 대안으로 적분법을 이용한 적정비용 추정방식을 추가 고려하였다.

3. 항만시설 유지보수비 추정모형(적분법) 구축

1) 모형식(式)의 설정

기 추진 항만 민간투자사업에서 항만시설 유지보수비 추정 시 주로 활용된 적분법 식은 <식 3>과 같은 2차 함수의 형태였다. 그런데 2차 함수 형태의 적분법 식은 운영기간이 누적될수록 유지보수비가 기하급수적으로 증가하게 되는데, 실제로는 항만시설 유지보수비가 이러한 양상으로 증가하지는 않는다는 점을 감안한다면, 모형의 적용에 한계점을 내포하고 있다.

그래서 본 연구에서는 이러한 2차 함수 형태의 적분법 식의 문제점을 감안하여 선형식, 로그식, 로지스틱 곡선식 등 다양한 형태의 적분법 식(式)의 변형식을 새로이 고안하였으며, 식 도출 과정은 각각 아래와 같다.

(1) 선형(Linear)식 도출

각 변형식의 도출을 위한 가정 및 식의 도출 과정은 <식 3>의 2차 함수의 경우와 유사하다. 먼저 선형식 형태의 적분법 식을 도출하기 위하여 시간의 함수관계로 설정되는 보수율 함수는 다음과 같은 선형식으로 설정하였다.

$$y_t = apt \tag{식 4}$$

여기서,  $y_t$ : 운영개시 이후  $t$  연도의 유지보수비  
 $a$ : 연도별 보수율 계수  
 $p$ : 시설물의 신규구입가격(공사비)  
 $t$ : 시간(운영개시 이후 연수)

선형식 형태의 보수율 함수를 설정하였을 경우, 시설물의 내용연수 기간 동안 전체 유지보수비는 보수율을 선형식으로 가정하거나 매년 일정한 평

균보수율을 가정하거나 동일할 것이므로, 동 식은 다음과 같이 전환될 수 있다.

$$\int_0^n apt dt = npr \quad \text{<식 5>}$$

여기서,  $n$ : 시설물의 내용연수  
 $r$ : 매년 일정한 평균보수율

위의 <식 5>를 풀어  $a$ 에 대해 정리하면,  $a$ 에 대한 관계식은 다음과 같다.

$$a = \frac{2r}{n} \quad \text{<식 6>}$$

그리고 <식 6>의  $a$ 를 <식 4>에 대입하여 정리하면, 선형식 형태의 적분법 식은 다음과 같이 도출된다.

$$y_t = \frac{2r}{n} pt \quad \text{<식 7>}$$

(2) 로그(Log)식 도출

로그식 형태의 적분법 식은 시간의 함수관계로 설정되는 보수율 함수를 다음과 같이 설정할 때 도출될 수 있다.

$$y_t = ap \text{Ln}(t) \quad \text{<식 8>}$$

여기서,  $\text{Ln}(t)$ : 시간(운영개시 이후 연수)의 Log함수값

<식 8>의 보수율 함수로부터 선형식 형태일 때와 유사한 과정을 거쳐서 도출되는 적분법 식은 다음과 같다.

$$y_t = \frac{r}{\text{Ln}(n)-1} p \text{Ln}(t) \quad \text{<식 9>}$$

(3) 로지스틱 곡선(Logistic Curve)식 도출

로지스틱 곡선식 형태의 적분법 식을 도출하기 위해서는 우선 보수율 함수식의 파라미터와 관련된 가정이 필요하다. 인구예측 등에 많이 이용되는 로지스틱 곡선식은 특정 상한선을 가지며, S자 형태의 대칭곡선(symmetrical curve) 형태에 해당한다.<sup>19)</sup> 로지스틱 곡선식 형태의 보수율 함수를 설정을 위해 가정하는 파라미터는 두 가지다.

첫 번째 파라미터는 로지스틱 곡선식의 상한선으로서, 본 연구에서는 시설물별로  $p/n$ (시설물의 신규구입가격(공사비)÷시설물 내용연수)를 상한선으로 가정하였다.

두 번째 파라미터는 로지스틱 곡선의 변곡점이다. 로지스틱 곡선에서는 곡선 자체의 기울기가 점차 증가하다가 어느 순간 감소하는 변곡점이 있으며, 이러한 변곡점이 상한선과 함께 로지스틱 곡선의 형태를 결정짓는 주요 파라미터에 해당한다. 본 연구에서는 시설물별 로지스틱 곡선의 변곡점은 해당시설 내용연수의 절반( $n/2$ )이 되는 시점에 발생하는 것으로 가정하였다.

이러한 가정하에서 설정한 로지스틱 곡선 형태의 보수율 함수식은 다음과 같다.

$$y_t = \frac{p/n}{1 + \exp[a(\frac{n}{2} - t)]} \quad \text{<식 10>}$$

<식 10>의 보수율 함수로부터 도출되는 로지스틱 곡선식은 다음과 같다.

$$y_t = \frac{p/n}{1 + \exp[\sqrt{(rn)}(\frac{n}{2} - t)]} \quad \text{<식 11>}$$

2) 분석과정

19) 윤대식·윤성순. 2004. 도시모형론-분석기법과 적용. 제3판. pp416-417.

이와 같이 기준에 준용되어 오던 2차 함수 적분법 식과 본 연구에서 새로이 고안된 선형식, 로그식, 로지스틱 곡선식 형태의 적분법 식을 적용하여, 본 연구에서는 기 추진 항만사업들의 항만시설(토목/건축)에 대한 유지보수비를 추정하고, 실제 재무모델에 제시된 유지보수비와의 차이를 평가하여 최적의 적분법 식을 선정하였다.

적분법 모형의 적용 및 평가를 위해 본 연구에서는 재무모델을 확보한 16개 사업 중 적분법 모형의 적용에 필요한 세부 항만시설별 공사비, 평균보수율, 내용연수 데이터가 재무모델에 제시되어 있는 사업만을 분석대상으로 선정하였다. 이에 따라 적분법 모형의 적용대상에 포함된 사업은 컨테이너 사업의 경우 B, D, G, H의 4개 사업이며, 비컨테이너 사업은 J, L, N 3개 사업 등 총 7개 사업이다.

이들 7개 사업에 대해 적분법에 의한 유지보수비의 추정은 사업별로 14개 세부 공종을 대상으로 하였다. 세부적으로 토목시설에 대해서는 안벽상치콘크리트, 방충재, 차막이 및 모서리, 계선주 및 직주, 크레인레일, 아스팔트 포장, 오배수 시설, 급수 및 소화시설, 조정시설, 울타리, 전기 및 통신, 쇄석 포장 등 12개 공종을 대상으로 하였다. 그리고 건축시설에 대해서는 운영 및 관리건물, (건축시설 내)전기 및 기계설비 등 2개 공종을 대상으로 하였다.

한편 적분법 식 적용을 위해 사전에 결정되어야 할 파라미터로는 평균 보수율( $r$ ), 내용연수( $n$ ), 최초 시설공사비( $p$ )의 세 가지가 있다. 여기에 추가적

으로 고려해야 할 요소에 시설별 하자담보 기간이 있다. 특정 항만시설의 설치(준공) 이후 또는 시설의 내용연수가 경과하여 시설을 교체(대수선)한 이후 하자담보 기간에 해당 시설에 대한 보수보장의 필요성이 발생할 경우에는 시설 설치(공사) 주체가 보수보장을 해주게 되므로, 민간투자 사업자의 입장에서는 별도의 유지보수비가 소요되지 않는다. 따라서 시설별로 준공 이후 및 내용연수 경과에 따른 교체(대수선) 이후 하자담보 기간에는 해당 시설에 대한 유지보수비가 소요되지 않는 것으로 가정하기 위하여 하자담보 기간을 시설별로 설정할 필요가 있다.

내용연수( $n$ )는 적분법 적용대상 7개 사업의 재무모델상 시설별 내용연수와 UNCTAD(1985)에서 제시하고 있는 내용연수를 기준으로 판단하였다. 우선, 7개의 기 추진 민간투자사업들의 시설별 내용연수를 검토한 결과, 특정 시설에 대해 사업들 간 내용연수가 서로 상이하고 그 격차가 10년 이내 일 경우에는 최소의 내용연수 값으로, 격차가 10년 이상일 경우에는 중위값(Median)으로 정하였다.<sup>20)</sup> 이렇게 정해진 내용연수와 UNCTAD(1985)에서 제시하고 있는 내용연수를 비교한 결과 큰 차이가 없음을 확인하고, 기 추진 민간투자사업에서 정해진 내용연수를 적분법 식에 적용하였다.

시설별 평균보수율( $r$ )은 내용연수와 관련이 높다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 위에서 결정된 내용연수를 기준으로 평균 보수율을 정하고, 정해진 평균보수율과 UNCTAD(1985)에서 제시하고 있는 평균보수율 값을 비교하는 과정을 거쳤

20) 김우호·이종필(2007a)에서는 항만시설 유지보수비를 산정하기 위한 시설별 내용연수를 사업들 간 내용연수에 차이가 있을 경우 시설 구조물의 안정성 및 내구성을 확보하기 위하여 최소수명을 적용하여 설정하였음. 본 연구에서도 이러한 논리에 따라 사업 간 내용연수의 차이가 크지 않을 경우, 즉 10년 이내일 경우에는 최소값의 내용연수를 적용하였음. 그러나 특정 시설에 대해 사업 간 내용연수의 격차가 10년 이상인 경우는 사업의 위치 및 특성, 사업 운영 구도 내에서 해당 시설물의 사용목적 등이 감안된 결과인 것으로 판단하고, 사업별 특성을 평균적으로 감안하고자 하는 의도에서 해당 사업의 내용연수의 중위값(Median)을 적용하였음.

다.

하자담보 기간과 관련해서는 「국가를당사자로 하는계약에관한법률시행규칙」<sup>21)</sup> 별표 1에서 도로, 철도, 교량, 항만 등의 공사 종류별 하자담보 기간을 규정하고 있기는 하지만, 본 연구에서 필요한 항만 내 세부시설별 하자담보 기간은 규정에 없다. 따라서 하자담보 기간도 기 추진 항만 민간투자사업에서 설정했던 하자담보 기간을 감안하여 적용하였다.

다만, 2000년대 초반에 실시협약이 체결되었던 항만 민간투자사업은 국가계약법의 규정을 일률적으로 적용하여 전체 항만시설들에 대한 하자담보 기간을 단일 값(7년)으로 적용하였다. 그러나 2000년대 중반 이후에 추진된 사업들은 그 동안의 사업 추진 경험을 토대로 세부 항만시설별로 실질적인 하자담보 기간들을 적용하기 시작하였다. 이에 본 연구에서는 2000년대 중반 이후 추진된 항만 민간투자사업에서 제시된 시설별 하자담보 기간을 검토하여 적용하였다.

이 방식으로 적분법 식에 적용된 시설별 내용연수( $n$ ), 평균 보수율( $r$ ), 그리고 하자담보 기간은 <표 7>과 같다.

### 3) 분석 결과 및 적용 모형

본 연구에서 상술한 과정에 의해 적분법 식을 적용한 사업별·시설별 유지보수비 추정결과, 식의 유형별로 추정결과와 실제값(재무모델상 값) 간 일치 정도를

계량적으로 도출하여, 실제값에 가장 근접한 추정값을 도출하는 유형의 식을 최적 유지보수비 추정식으로 선정하였다.

특히 항만시설(건축/토목) 유지보수비 추정을 위한 최적 모형의 선정 과정에서는 네 가지(2차식, 직선식, 로그식, 로지스틱 곡선식)의 적분법 식 이외에 회귀분석식도 포함하여 추정값과 실제값<sup>22)</sup>

표 7\_ 시설별 내용연수, 평균보수율, 하자담보기간 적용

구분	내용연수 (년)	평균 보수율	하자담보 기간(년)
<b>토목시설</b>			
(1) 안벽 상치콘크리트	50	0.60%	7
(2) 방층재	10	10.00%	1
(3) 차막이/모서리	25	4.00%	5
(4) 계선주/직주	30	3.33%	7
(5) 크레인레일	40	1.50%	5
(6) 아스팔트 포장	10	10.00%	2
(7) 오배수 시설	30	3.30%	3
(8) 급수 및 소화시설	20	5.00%	3
(9) 조정시설	30	3.33%	2
(10) 울타리	20	5.00%	2
(11) 호안(상치+피복석)	50	0.60%	5
(12) 방진망	50	2.00%	7
(13) 전기 및 통신	30	3.33%	3
(14) ATC 레일	25	4.00%	5
(15) 채석 포장	50	2.00%	2
<b>건축시설</b>			
(1) 운영 및 관리건물	50	1.50%	5
(2) 전기설비	22	4.55%	2
(3) 기계설비	15	6.66%	2

의 근접 정도를 기준으로 평가하였다.

21) 이하 본 논문에서는 「국가계약법」이라고 함.

표 8\_ 사업별, 추정식별 평균절대오차율(MAPE) 측정 결과

사업 구분		컨테이너				비컨테이너		
		B	D	G	H	J	L	N
적분법	2차식	5.0	6.2	11.4	1.8	7.7	1.0	2.5
	직선식	5.3	6.1	11.7	3.0	8.0	1.5	3.3
	로그식	5.9	6.4	12.8	4.5	8.7	2.0	4.2
	로지스틱곡선식	2.9	3.4	5.6	1.0	4.4	0.8	1.3
다중회귀분석		16.7	0.3	14.4	71,325	14.6	3.2	3.6

주: 음영 부분은 각 사업별로 도출된 최소의 MAPE값임.

이 과정에서 모형의 추정값과 실제값의 근접 정도를 평가하는 지표로 평균절대오차율(Mean Absolute Percentage Error: MAPE)을 사용하였다. 일반적으로 시계열 모형(time series model) 또는 교통수요 예측 분야에서는 모형의 정확도<sup>23)</sup>를 측정하기 위한 지표로 평균제곱근오차(Mean Square Error: MSE), 평균절대추정편차(Mean Absolute Deviation: MAD)와 평균절대오차율 등을 많이 사용하고 있다. 이 중에서 현황 데이터의 범위가 광범위할 경우, 평균절대오차율이 특히 데이터의 변동성(variability)에 의한 효과를 제대로 감안할 수 있는 지표임이 교통수요 예측 분야 관련 연구들에서 증명되었다.<sup>24)</sup> 이러한 점을 감안하여 본 연구에서도 평균절대오차율 지표를 사용하여 추정모형의 정확도를 측정하였으며, 평균절대오차율(MAPE)의 산정식은 다음과 같다.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad \text{<식 12>}$$

여기서,  $A_t$ : 사업별, 시설별 특정 연도 t의 실제 유지보수비  
 $F_t$ : 모형에 의한 사업별, 시설별 특정 연도 t의 추정 유지보수비  
 $n$ : 사업별 운영기간

<식 12>에 의한 사업별, 추정식별 평균절대오차율(MAPE)의 측정결과는 <표 8>과 같다.<sup>25)</sup>

<표 8>의 평균절대오차율 측정결과에 의하면, 7개 사업 중 D사업을 제외한 나머지 사업에서 모두 로지스틱 곡선식에 의한 추정값의 평균절대오차율 값이 가장 적게 도출되었다. 따라서 항만시설(토목/건축) 유지보수비 추정을 위한 모형으로는 로지스틱 곡선식의 적분법 모형을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

## V. 결론

본 연구에서는 기 추진 항만 민간투자사업의 재무 모델에 제시된 유지보수비 금액을 현황 데이터로

22) 모형의 정확도를 측정하는 ‘실제값’에는 항만시설의 세부 시설별로 대체투자비를 제외한 순수한 유지보수비만을 대상으로 하였음.

23) ‘모형의 정확도’란 예측모형에 의한 예측값과 실제 현황 데이터 값 사이의 일치성 또는 적합도(Goodness of Fit)를 일컫음.

24) Washington, S. P., Karlaftis, M. G. and Mannering, F. L. 2003. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. pp189-190.

25) 네 가지 유형의 적분법 식에 의한 사업별 평균절대오차율 값은 각 사업의 시설별 평균절대오차율 값을 우선 도출한 후, 이들 값을 시설 간에 산술평균하여 도출하였음.

하여, 적정 항만시설(토목/건축) 유지보수비와 운영설비(하역장비/OS) 유지보수비를 추정하기 위한 모형을 설정하였고, 통계적 기법에 의해 모형의 유용성 및 적합성을 검증하는 과정을 거쳤다. 이러한 과정을 거쳐 본 연구에서 도출된 두 가지 유지보수비의 최적 추정모형은 <표 9>와 같다.

본 연구결과는 다음과 같은 의의를 갖는다고 할 수 있다.

첫째, 항만분야에서는 처음으로 항만시설 유지보수비 산정방법을 계량화된 모형으로 제시하였다는 점이다. 따라서 기본 데이터를 가지고 쉽게 유지보수비를 산정할 수 있다.

둘째, 본 연구에서 제시한 유지보수비 추정모형을 통하여 정책적으로 정부차원에서 특정 항만을 민간투자사업으로 추진하는 과정의 적정 유지보수비를 가늠할 수 있다. 본 모형을 통하여 연도별 유지보수비 총액 수준을 결정하고, 결정된 유지보수비 총액을 민간 사업신청자가 제출한 사업계획서의 평가 또는 우선협상대상자와의 실시협약 체결을 위한 협상 과정에서 근거자료로 활용할 수 있다.

셋째, 민간투자사업자는 본 모형을 활용하여 효율적으로 유지보수비를 산정함으로써 사업계획서 작성에 도움을 받을 수 있으며, 정부와의 협상추진에도 합의에 도달할 가능성을 높일 수 있다.

넷째, 이론적 차원에서 본 연구결과는 현재 추진된 항만분야 민간투자사업의 운영기간이 지나면서 관련 자료가 축적될수록 더욱 정교한 모형을 만들 수 있는 토대를 제시하고 있다고 할 수 있다.

그러나 본 연구결과는 다음과 같은 한계도 있다.

첫째, 본 연구에서 제시하고 있는 유지보수비 산정 모형에 투입된 유지보수비 자료는 실적자료

표 9\_ 본 연구에서 도출된 유지보수비 추정모형

구분	항만시설(토목/건축) 유지보수비	운영설비(하역장비/OS) 유지보수비
적용 모형	로지스틱 곡선(Logistic Curve)식의 적분법 모형 (<식 11> 참조)	다중회귀분석 모형 (<표 6> 참조)

가 아닌 실시협약상 재무모델에 제시된 자료라는 점에서 일정부분 현실과 차이가 발생할 수 있다는 한계가 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위해서는 현재 운영 중인 운영사로부터 실적자료를 입수해야 하지만 사업체계가 다르고 실적자료 자체가 비밀로 유지되는 상황에서 타당성 있는 자료를 얻기가 힘들고 이런 상황은 지속될 것으로 보인다. 대안으로는 2000년대 후반기부터 운영 단계에 들어간 항만 민간투자사업의 유지보수실적을 체계적으로 관리하여 향후 5~6년 뒤에 본 연구에서 제시된 모형을 개량(Update)하는 것을 생각해 볼 수 있다.

둘째, 본 연구에서 항만시설(토목/건축) 유지보수비 추정모형으로 제시된 로지스틱 곡선 형태의 적분법 식은 당초 로지스틱식의 상한선과 변곡점을 특정한 값으로 가정하여 설정하였다. 로지스틱식의 형태는 이 상한선과 변곡점에 의해서 변화될 수 있음을 감안할 때, 추후 로지스틱식의 형태별 유지보수비 추정결과와의 관계 등에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

김대웅·김동현. 2005. 교통 통계 분석. 서울 : 형설출판사.  
 김두섭·강남준. 2000. 회귀분석-기초와 응용-. 서울 : 나남출판.  
 김우호·이종필. 2007a. 항만시설 민자사업 재정절감효과 분석 기준 연구. 서울 : 한국해양수산개발원.  
 \_\_\_\_\_. 2007b. “항만민자사업 유지관리비 적용의 문제점과 개선 방안”. 월간 해양수산 제279호. 서울 : 한국해양수산개발원. pp25-41.  
 노정현. 1999. 교통계획-통행수요 이론과 모형. 서울 : 나남출판.  
 유지성·오창수. 1995. 현대통계학. 서울 : 박영사.  
 윤대식·윤성순. 2004. 도시모형론-분석기법과 적용. 제3판. 서울 : 홍문사.  
 한국은행 경제통계시스템(<http://ecos.bok.or.kr>). [2010. 11. 30].  
 해양수산부. 2003. 인천항 민간투자사업 타당성 조사.  
 \_\_\_\_\_. 2005. 민간투자사업의 체계적·효율적 추진을 위한 관리운영지침 수립 연구.  
 해운산업연구원. 1993. 항만시설 관리 및 유지보수 합리화 방안 연구.  
 松瀨 知·横田 弘. 1999. 係留施設のライフサイクルコスト発生と維持管理意志決定支援システムの構築に関する基礎的研究. 運輸省港湾技術研究所.  
 UNCTAD. 1985. Port Development.  
 Washington, S. P., Karlaftis, M. G. and Mannering, F. L. 2003. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. London : Chapman & Hall/CRC.

- 논문 접수일: 2010. 4. 8
- 심사 시작일: 2010. 4.12
- 심사 완료일: 2010. 5. 6

---

**ABSTRACT**


---

## **Formulation of the Estimation Model of Maintenance Repair Costs in Korean Port Private Participation Projects**

Keywords: Port Projects, Maintenance Repair Cost, PPP(Port Private Participation)

The purpose of this study is to formulate the estimation model of maintenance repair costs in Korean PPP(port private participation) projects. Maintenance costs is the important factor in port PPPs, considering that those costs is 11.7% of the whole O&M(operation and maintenance) costs. But the estimation of the appropriate maintenance repair costs was difficult because of the necessary raw data shortages, etc. So this study formulated the estimation model of maintenance repair costs of port facilities(civil & architectural facilities) and port operation equipments. And the formulation was performed in two steps. The first step was to postulate, calibrate and validate the multiple regression model based on the already proposed Korean port PPP's financial model. The second step was to formulate the integration method model and this step was performed in case the regression model didn't have the sufficient statistical significance and goodness-of-fit. Following these steps, it was proved that the integration method model in the form of logistic curve is the appropriate estimation model of maintenance repair costs of port facilities(civil & architectural facilities). And in case of the maintenance repair costs of operation equipments, the multiple regression model was the appropriate model.

### **항만 민간투자사업 유지보수비 추정모형 구축**

주제어: 항만, 유지보수비, 민간투자

본 연구는 항만분야 민간투자사업의 적정 유지보수비 산정을 위한 모형 제시를 목적으로 하고 있다. 기 추진 항만 민간투자사업의 경우, 항만시설 유지보수비는 운영비용의 11.7%를 차지하는 등 사업추진상 중요한 요소를 차지하고 있다. 그럼에도 불구하고 관련 자료의 부족, 체계적 자료구축의 어려움으로 인하여 적정 유지보수비를 산정하는 데 애로가 많았으며 정부와 사업시행자 간에 의견 차이를 보여 왔다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 항만시설 중 토목 및 건축시설 유지보수비와 운영설비 유지보수비를 추정할 수 있는 모형을 구축하였다. 모형의 구축을 위해 먼저 기 추진 항만 민간투자사업의 유지보수비 자료를 토대로 다중회귀분석 모형을 구축한 후 모형의 타당성을 검증하였다. 타당성이 없을 경우 적분법 모형을 구축하여 타당성을 검증하였다. 분석결과 운영설비 유지보수비의 경우 다중회귀분석 모형식으로 산정할 수 있을 것으로 판단되었으며, 건축 및 토목시설은 별도로 구축한 로지스틱 곡선형태의 적분법 식으로 추정이 가능할 것으로 판단되었다. 본 연구는 항만분야 민간투자사업 유지보수비 산정방법을 계량모형으로 제시하였다는 점, 민간투자사업 추진 시 정부와 사업시행자 측 모두 활용이 가능하고 협상을 원활히 유도할 수 있다는 점, 추가 연구의 토대를 제시하였다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다. 그렇지만 좀 더 정교한 모형 구축을 위해서는 운영 중인 민간투자사업의 운영비용 자료를 체계적으로 관리하여 활용할 필요가 있다는 점을 제언하였다.

[부 록]

부표 1\_ 유지관리비 현황 분석 대상 기 추진 항만 민간투자사업

(단위: 억 원)

구분	사업 기호	사업명	항만규모	실시협약 체결	불변가격 기준일	불변 수익률(%)	공사비*	물가조정 계수**
컨테이너 항만사업	A	목포(1-1)	3만/2선석	2000.12	2000.1	9.62	505	1.325
	B	부산(1단계)	5만/9선석	2000.12	2001.1	9.50	12,800	1.289
	C	목포(1-2)	3만/1선석	2001.12	2001.1	8.57	249	1.289
	D	울산(1-1)	2만/6선석	2004.3	2001.6	8.87	1,745	1.254
	E	포항영일(1-1)	2만/4선석	2004.6	2001.1	8.57	2,811	1.289
	F	마산(1-1)	3만/4선석	2004.6	2001.1	8.45	2,257	1.289
	G	평택내항동부두	3만/3선석	2005.6	2003.7	8.30	1,256	1.184
	H	부산(2-3)	5만/4선석	2006.10	2004.1	7.18	4,414	1.165
	I	광양(3-3)	5만/5선석	2007.10	2003.1	7.50	4,309	1.204
비컨테이너 항만사업	J	인천북항 (현대제철)	5만/2선석	2001.8	2000.6	9.00	747	1.320
	K	인천북항 (동국제강)	2만/3선석	2001.8	2000.1	8.90	362	1.325
	L	인천북항일반 (3선석)	2만/3선석	2005.7	2003.7	8.17	1,084	1.184
	M	군산비응항	1.2km	2003.2	2001.1	8.38	1,157	1.289
	N	평택당진양곡	5만/2선석	2006.5	2004.1	7.86	1,123	1.165
	O	군장항잡화 (2선석)	3만/2선석	2006.6	2004.1	7.90	934	1.165
	P	광양항여천	2만/2선석	2006.1	2003.1	7.98	516	1.204

주: 1) 각 사업별 공사비는 소비자물가실적을 적용하여 2009년 1월 1일 불변가 기준으로 환산한 금액임.  
 2) 각 사업별 불변가격 기준일에서 2009년 1월 1일 기준 금액으로 환산하기 위해 적용된 물가조정계수.

