

건설기계 시간당작업량(Q) 산정 개선방안 -펌프준설선 작업효율(E)을 중심으로-

The estimating method of construction workable-quantity per unit time
- Focused on Pump-Dredge -

안 방 룰*
Ahn, Bang-Ryul

태 용 호**
Tae, Yong-Ho

서 상 욱***
Suh, Sang-Wook

요 약

국내 공공건설공사 예정가격작성기준에서 제시하는 건설기계의 시간당 작업량(Q)의 중요한 부분을 차지하는 작업효율(E)은 현장여건 등에 따라 차이가 발생하기 때문에 적용기준이 명확해야 한다. 그러나 국내 기준은 정성적인 표현이 사용되며, 이를 판단할 수 있는 기준 또한 포괄적이고 모호하여 설계자의 주관적이고 자의적인 판단에 따라 설계가 이루어지고 있는 실정이다. 본 연구에서는 펌프준설선을 대상으로 국내·외 관련 문헌조사 및 현장실사를 통하여 합리적인 작업효율(E) 제시방법을 제안하고 이로 인해 건설기계의 시간당 작업량 산정방법을 개선하고자 하였다. 문헌조사를 통해 국내기준 또한 일본기준의 형태로 작업효율(E)을 공사구분별, 흙두께, 평면형상, 단면형상, 해상조건 등으로 세분화 시킬 것을 제시하였으며, 이를 판단할 수 있는 기준도 객관화 시킬 수 있는 형태로 개선되어야 할 것을 제시하였다. 또한, 현장조사를 통해 얻어진 산출량을 일본의 예정가격작성기준을 적용하여 계산된 산출량과 비교하여 일본기준의 적정성을 검토하였다. 펌프준설선(4,476kW)은 배송거리 3,600~6,000m의 시간당 준설량(Q)을 실측하여 표준값인 전동환산(q)을 비교하여, 일본대비 102.3% 수준으로 거의 유사한 결과값을 얻었다. 본 연구를 통해 제시된 각종 자료 및 수치들은 건설기계와 기술의 급속한 발전을 예정가격작성기준에 적용할 수 있는 기초가 될 수 있을 뿐 아니라, 관련 연구의 토대가 될 수 있으리라 기대한다.

키워드 : 시간당작업량(Q), 작업효율(E), 건설기계, 예정가격작성기준, 펌프준설선

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설공사의 대형화 및 복합화로 인하여 인력중심에서 건설기계사용으로의 변화는 지속적으로 증가하고 있다. 특히 공사비 구성면에서 건설기계의 사용에 수반되는 기계경비는 총 공사비의 5~6%, 대규모 토목사업인 경우에는 20~25% 정도를 차지하고 있으며 매년 이 비중은 증가하고 있는 추세이다(한국건설기술연구원 1986년).

현행 건설공사의 기계경비는 시간당 작업량(Q)과 기계손로계수 및 건설기계가격, 재료량(주연료, 잡재료), 조종원을 이용하

여 산출되고 있으며 이는 건설공사 예정가격작성기준 중 하나인 건설공사표준품셈에서 일반적인 기준을 제공하고 있다. 시간당 작업량(Q)은 기계의 이상적인 표준작업량이 아닌 실제작업에서 발생하는 손실을 고려한 실제 작업량을 의미하며, 이는 기계의 이상적인 표준작업량에 일정한 계수를 곱하여 산출하게 되는데 이 계수를 작업효율(E)이라 한다.

그러나 현재 건설공사표준품셈에서 작업효율(E)의 제시방법이 양호, 보통, 불량 등으로 지극히 정성적인 표현을 사용하고 있어 예정가격산정시 혼돈의 우려가 있으며, 설계자의 자의적인 판단에 의존할 수 밖에 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내·외 관련 문헌조사를 통하여 합리적인 작업효율(E) 제시방법을 제안하고 이로 인해 건설기계의 시간당 작업량(Q) 산정방법을

* 일반회원, 한국건설기술연구원 건설코스트연구실 연구원, brahn@kict.re.kr

** 일반회원, 한국건설기술연구원 건설코스트연구실 책임연구원, yhtae@kict.re.kr

*** 종신회원, 경원대학교 건축공학과 정교수, 공학박사(교신저자), suh@kyungwon.ac.kr

개선하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 건설기계 중 항만준설 및 골재채취에 가장 많이 활용되고 있는 준설선인 펌프준설선을 대상으로 하였으며, 연구의 진행 방법은 다음과 같다.

- 기존 관련 문헌조사를 통해 작업효율의 정의 및 작업효율의 영향요인을 파악하였다.
- 국내 · 외 예정가격작성기준을 검토하여 차이점을 고찰하였다.
- 현장실사를 통해 국내 · 외 작업조건의 차이에 따른 실측값을 비교하였다.

현장조사는 국내에서 운영되고 있는 총 출력8,592kW(이상)이며 펌프준설용량을 측정하는 주기출력 4,476kW이상인 대형 펌프준설선 11기중 4기를 2009년 6월~10월에 각 15일~30일 동안 실적자료를 수집하였다.

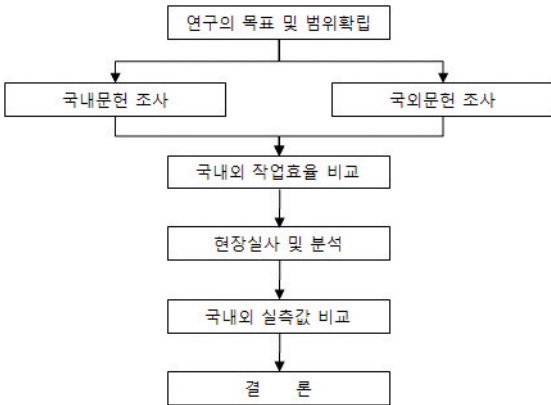


그림 1. 연구의 절차

2. 이론적 고찰

건설기계 작업효율(E)은 건설기계의 시간당 작업량(Q)을 산정하기 위한 일부 요소이며, 시간당 작업량(Q)은 다시 건설기계경비를 산정하기 위한 일부분이다. 즉, 기계경비를 산정하기 위해서는 건설기계의 시간당 작업량(Q)을 산정하게 되고, 구해진 시간당 작업량(Q)에 의해서 해당작업 물량의 소요시간을 추출하게 된다. 해당작업 물량의 소요시간은 기계경비를 구성하는 재료비, 노무비, 경비로 투입되어 전체적인 기계경비를 산정하게 된다. 따라서 건설기계의 작업효율(E)은 기계경비를 산정하기 위한 원천적인 요소로 적용된다고 볼 수 있다. 건설기계의 작업효율(E)을 이해하기 위해선 기계경비 및 건설기계 시간당 작업량(Q)의 개념이해가 필요하며, 이러한 상관관계의 전체적인 흐름은 그림2.와 같다.

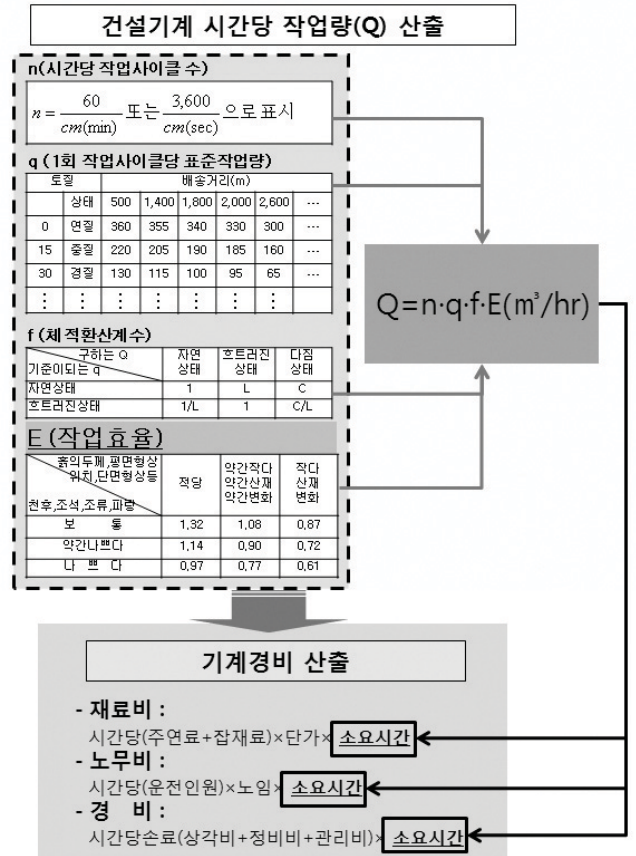


그림 2. 건설기계경비 산출

2.1 선행연구 고찰

1960년대 말 이후 국내건설공사에 건설기계가 본격적으로 도입되었으며, 현재 그 비중이 차지하는 비율이 점차 확대되는 시점인 반면, 이에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 특히 건설기계의 작업효율을 개선하기 위한 시도는 더욱 미비하다고 볼 수 있다.

박희성(2008)은 건설기계의 토공 장비 중 현장에서 많이 활용되고 있는 굴삭기, 로더, 덤프트럭을 대상으로 현장조사 실시하여, 굴삭기와 로더는 현재 활용중인 표준품셈의 작업효율보다 다소 높게, 덤프트럭은 낮게 나타남을 제시하였다. 허영기(2008)는 건설공사 표준품셈의 기계경비를 해외사례인 일본과 미국의 자료를 수집·분석하여 비교하였으며, 비교를 통해 건설기계의 성능에 대한 올바른 이해 정립 및 이를 바탕으로 표준품셈의 기계경비 산정기준이 개정되어야 함을 주장하였다. 이중석(2008)은 건설기계경비 산정의 중요한 요소인 건설기계의 연간표준가동시간을 현실적으로 산출하기 위하여, 2004~2006년의 서울과 부산의 기상자료를 분석하고, 기상조건 및 법정공휴일에 의해서 연간 각 작업이 불가능한 일수를 산출하였으며, 이를 토대로 건설기계의 개선된 연간표준가동시간을 제시하였다.

2.2 건설기계경비

건설공사표준품셈 기계경비산정편에서 기계경비란 “기계손료, 운전경비 및 수송비의 합계액으로 하되 특히 필요하다고 인정될 때에는 조립 및 분해조립비용을 포함한다.”라고 정의하며 미국의 Construction Equipment Ownership and Operating Expense Schedule 에서는 “건설기계를 소유·운전하는데 필요한 비용”이라 정의하고있다(허영기 2008년).

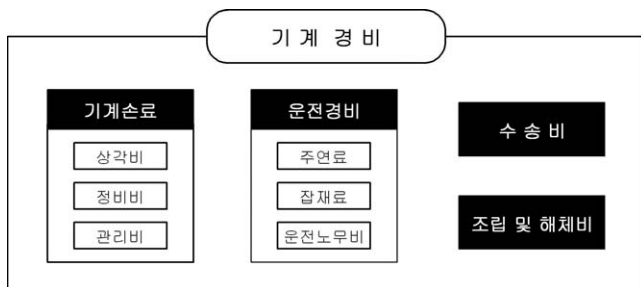


그림 3. 기계경비의 구성요소

2.2.1 기계손료의 산정

기계손료는 상각비, 정비비, 관리비의 합계액으로 정의하고 있으며, 현행 품셈에서는 상각비계수, 정비비계수, 관리비계수의 합에 장비가격을 곱하여 산정토록 하고 있다. 이러한 계수들을 산정하기 위한 요소들을 정의하면 다음의 표1.과 같다.

표 1. 기계손료 산정식

항목	산정식
시간당 기계손료	= 상각비 + 정비비 + 관리비
시간당 상각비	$= \text{취득가격} \times \text{시간당 상각비계수}$ $= \text{취득가격} \times \left(\frac{\text{상각비율}}{\text{내용시간}} \right)$ $= \text{취득가격} \times \left(\frac{1 - 0.1}{\text{내용시간}} \right)$ <p>(단 0.1 = 잔존율 = $\frac{\text{잔존가치}}{\text{취득가격}}$)</p>
시간당 정비비	$= \text{취득가격} \times \text{시간당 정비비계수}$ $= \text{취득가격} \times \left(\frac{\text{정비비율}}{\text{내용시간}} \right)$
시간당 상각비계수시간당 관리비	$= \text{평균취득가격} \times \text{시간당 관리비계수}$ $= \text{평균취득가격} \times \left(\frac{\text{관리비비율}}{\text{내용시간}} \right)$ $= \left(\frac{1.1 \times \text{경제적내용년수} + 0.9}{2 \times \text{경제적내용년수}} \right) \times \left(\frac{\text{관리비비율}}{\text{내용시간}} \right)$

1) 장비가격(취득가격)

건설기계의 장비가격은 한국건설기술연구원에서 매년 적용할 건설기계가격을 원화와 외화(USD)로 발표하고 있으며, 원화는 천원으로 외화표시는 년도 초 환율(2,000년부터는 환율적용의

통일을 기하기 위하여「외국환거래법에 의한 기준환율」외국환거래법에 의하여 서울외국환중개(주)가 외국환은행의 장 등에게 통보하는 환율, 즉 매매기준율)을 적용하여 천원미만을 절사하고 적용하고 있다.

2) (경제적)내용시간

잔존율이 취득가격의 10%인 경우에 경제적 사용이 가능하다고 인정되는 운전시간을 말한다. 건설기계의 경제적내용시간은 회계상 감가각각 시간과 의미가 다르다. 이는 회계상 감가상각 시간은 시간의 경과에 따른 물리적 감가만 고려한 반면 건설기계의 경제적 내용시간은 물리적 감가와 기능적 감가를 고려한 시간이기 때문이다. 따라서 경제적 내용시간은 건설기계의 경비가 최적인 경우의 시간을 의미한다(허영기 2008년).

3) 잔존율

(경제적)내용시간이 끝날때의 기계잔존가치의 취득가격에 대한 비율을 말하며 0.1로 한다.

4) 경제적 내용년수

(경제적)내용시간을 연간표준가동시간으로 나눈값이다.

5) 평균취득가격

$$\text{평균취득가격} = \frac{1.1 \times \text{경제적내용년수} + 0.9}{2 \times \text{경제적내용년수}} \quad (1)$$

6) 상각비

건설기계의 감가상각이란 경제적인 가치소모를 말하며 감가를 비용으로 계산한 것을 뜻한다. 감가상각의 방법에는 정액법, 연수정률법, 산고비례법 등이 있고 어떠한 방법으로 감가상각 하여도 상각비의 누계액은 동일하다. 건설기계의 잔존율은 1964~65년에는 기준가격의 15%이고 1966년부터 현재까지 현행 건설공사표준품셈에서는 모든 건설기계에 대한 잔존율을 10%로 일정하게 적용시키고 있다(한국건설기술연구원 1990년). 시간당 상각비는 취득가격에 상각비계수가 곱해져서 구해지며, 상각비계수는 상각비율을 내용시간으로 나눈값이다. 상각비율은 기계의 사용에 따르는 가치의 감가비율이며, 우리나라는 잔존가치 0.1을 공제한 “1-0.1=0.9”가 내용시간중에 상각이 되도록 일률적으로 규정하고 있다.

7) 정비비

정비비는 그 기계를 항상 가동상태로 유지하기 위하여 사용하는 비용을 말하며 “기계를 사용함에 따라 발생하는 고장 또는 성능저하부분의 회복을 목적으로 하는 분해수리 등의 정비와 기계 기능을 유지하기 위한 정기 또는 수시정비에 소요되는 비용을 말한다.”라고 정의하고 있다(한국건설기술연구원 2009년). 시간당 정비비는 취득가격에 정비비계수가 곱해져서 구해지며, 정비

비계수는 정비비율을 내용시간으로 나눈값이다. 정비비율은 기계의 경제적내용시간 동안에 소요되는 정비비 누계액의 기계취득가격에 대한 비율이며, 기계에 따라 별도의 비율이 적용된다.

8) 관리비

관리비는 건설기계를 소유하고 있는데 따른 필요로 하게 되는 비용을 말하며 격납보관비, 금리, 보험료, 세금 등으로 구성되고 격납보관비는 기업의 형태와 관리방법에 의하여 상이하고, 기업 경영의 규모에 따라 많은 차이가 있을 수 있다. 시간당 관리비는 평균취득가격에 관리비계수가 곱해져서 구해지며, 관리비계수는 관리비율을 내용시간으로 나눈값이다. 관리비율은 연간소요되는 기계관리비의 평균취득가격에 대한 비율이며, 우리나라는 기계에 특성에 따라 0.1 또는 0.14로 일률적으로 규정하고 있다.

2.2.2 운전경비의 산정

운전경비는 기계를 사용하는데 필요한 재료비 및 인건비로서 주연료 및 잡재료(연료 · 전력 · 윤활유 · 정비비에 포함되지 않는 소모품비), 운전사의 급여 또는 임금과 기타의 운전 노무비의 합계액으로 구성된다. 주연료는(휘발유 및 경유, 전력) 시간당 소비량을 의미하며, 엔진부하율(Load Factor) 70~80%, 실작업 시간은 50/60을 각각 기준으로 하여 산정되며 보조엔진에 사용되는 유류를 포함한다. 잡재료는 삼날, 타이어, 엔진유, 그리스, 냉매 등의 소모품을 포함하며 시간당 소비량을 주연료의 비율로 표기한다.(한국건설기술연구원, 2009년)

2.3 건설기계 시간당 작업량(Q)

건설기계의 시간당 작업량(Q)은 기계의 운전시간당 작업량으로 이 운전시간은 기계의 주기관이 회전하거나 주작동부가 가동하는 시간을 말하며 주목적의 작업을 하는 실작업시간외에 작업 중의 기계이동, 기관 또는 주작동부의 예비가동, 운전시간중의 점검 또는 조정, 주유 조합때의 대기 등이 포함된다. 이러한 건설기계의 시간당 작업량은 시공능력(Q값)이라고도 표현되며, 토공사에 있어서 일반적으로 m³/hr로 표시된다. 자연상태의 토량, 흐트러진 상태의 토량, 다져진 후의 토량의 세가지 표시방법이 있으며 기계종류에 따라 “ton/hr, m³/hr, m/hr 등”으로 작업량을 표시할 때도 있다.

구하는 방법은 n:시간당 작업사이클 수, q:1회 작업사이클당 표준작업량(m³, m², m, ton 등), f:체적환산계수, E:작업효율이 각각 곱해져서 산출되고, 기계에 따라 조금씩 변형되어 적용되기도 하며, 다음과 같이 정의되고 있다.(한국건설기술연구원, 2009년)

$$Q = n \cdot q \cdot f \cdot E \tag{2}$$

Q: 시간당 작업량(m³/hr)
 n: 시간당 작업사이클 수
 q: 1회 작업사이클당 표준작업량(m³)
 f: 체적환산계수
 E: 작업효율

1) 시간당 작업사이클수(n)

$n = \frac{60}{cm(\text{min})}$ 또는 $\frac{3,600}{cm(\text{sec})}$ 으로 표시, cm은 사이클시간으로서 기계의 작업속도나 주행속도에 따라 분(min) 또는 초(sec)로 표시한다.

2) 1회 작업사이클당 표준작업량(q)

기계는 일련의 동작을 되풀이 하는 작업을 하게 되고 이때의 1회 사이클의 동작으로 이루어지는 표준적인 작업조건과 작업관리 상태에 있어서의 작업량을 1회 작업 사이클당 표준작업량이라고 하며 토량인 경우에는 흐트러진 상태에서 취급되는 것이 일반적이고 보통 (m³) 또는 (ton)으로 표시한다.

3) 체적환산계수

체적환산계수는 토질의 상태변화(흐트러진상태, 자연상태, 다져진상태)에 따른 체적의 변화량을 구하기 위한 계수로서 다음과 같이 적용된다.

체적의 변화 (3)

$$L = \frac{\text{흐트러진 상태의 체적 (m}^3\text{)}}{\text{자연상태의 체적 (m}^3\text{)}}$$

$$C = \frac{\text{다져진 상태의 체적 (m}^3\text{)}}{\text{자연상태의 체적 (m}^3\text{)}}$$

표 2. 체적의 변화율

종 별	L	C
경암(硬岩)	1.70~2.00	1.30~1.50
보통암(普通岩)	1.55~1.70	1.20~1.40
연암(軟岩)	1.30~1.50	1.00~1.30
풍화암(風化岩)	1.30~1.35	1.00~1.15
페콘크리트	1.40~1.60	별도설계
호박돌(玉石)	1.10~1.15	0.95~1.05
력(礫)	1.10~1.20	1.05~1.10
력질토(礫質土)	1.15~1.20	0.90~1.00
고결(固結)된 력질토(礫質土)	1.25~1.45	1.10~1.30
⋮	⋮	⋮
점토(粘土)	1.20~1.45	0.85~0.95
력이 섞인 점질토	1.30~1.40	0.90~0.95
암괴(岩塊)나 호박돌이 섞인 점토	1.40~1.45	0.90~0.95

표 3. 체적환산계수(f)

기준이 되는 q	구하는 Q	자연상태의 체적	흐트러진상태의 체적	다져진상태의 체적
자연상태의 체적		1	L	C
흐트러진 상태의 체적		1/L	1	C/L

4) 작업효율(E)

기계의 시간당 작업량은 그 기계고유의 일정한 값이 아니고 작업현장의 제반조건에 따라 변화하는 것이므로 표준적인 작업 능력에 작업현장의 여러가지 여건에 알맞는 효율을 고려하여 산정함이 필요하며 이 작업효율은 일반적으로 능력적 요소와 시간적 요소로 구분된다.

$$\text{작업효율}(E) = \text{현장 작업 능력계수} \times \text{실작업 시간율} \quad (4)$$

5) 현장작업 능력계수

기계의 표준적인 작업능력에 영향을 미치는 기상, 지형, 토질, 공사규모, 시공방법, 기계의 종류, 기계 조정원의 기능도, 해상에서는 파도 및 풍향 등의 작업현장 여건을 고려한 계수를 말한다.

6) 실작업시간율

기계의 상태, 공사규모, 시공방법 등에 의하여 변화하며 다음과 같이 표시한다.

$$\text{실작업시간율} = \text{실 작업시간} / \text{운전시간} \quad (5)$$

작업율에 영향을 미치는 요소는 크게 시간요소와 작업요소로 구분될 수 있는데 시간요소는 실작업시간율이며, 총 작업시간 대비 기계의 순수 가동시간의 비율로 표시한다. 즉 기계조정(소정비, 수리), 감독자의 지시를 받는 시간, 작업차례 준비대기, 조합기계 작업대기, 용변대기 등 총 경과시간에 대해서 손실시간을 제외한 실제 작업시간의 비율로 표시한다. 또한 작업요소는 현장작업 능력계수로서 이상적인 현장조건에서 기계의 달성능력치에 대한 실작업 시 얻어지는 기계능력의 비율이다. 작업요소는 현장의 지형, 지질, 기후, 기계의 정비 수리상태, 운전자의 숙련도와 작업의욕 등이며 작업효율을 상·중·하로 구분할 때 아래 표4.와 같이 구해진다.(권기태 2002)

표 4. 건설기계의 작업효율

작업조건	상	중	하
시간요소	0.9	0.8	0.7
작업요소	1.0	0.85	0.65
계	0.9	0.68	0.46

그러나 건설공사표준품셈(한국건설기술연구원, 2009년)에서는 작업효율을 구하기 위해서 위와 같은 방법을 제시하고 있으나, 현장작업 능력계수에 대해 정성적인 정의만을 제시할뿐 정량적인 측정방법을 명확히 하고 있지 않아 작업효율의 계수화가

곤란한 실정이다.

3. 펌프준설선의 작업효율

3.1 펌프준설선

준설공사는 하천이나 해안의 바닥에 쌓인 토사나 암반을 파헤쳐 바닥수심을 깊게 하는 수중작업으로, 준설선을 투입하여 하부토사(준설토)를 굴착하여 지정위치에 사토하는 공사를 말한다. 준설공사는 크게 3가지로 대별되는데 토질에 따라 적당한 방식을 선정하여 설계시 반영한다.

- 일반준설: 쇄암을 요하지 않고, 일반준설선을 사용하는 것으로 준설공사의 대부분을 차지한다. 예) 펌프식 준설선, 그라브 및 디퍼 준설선, 버킷식 준설선
- 쇄암준설: 쇄암선에 장착되어 있는 추를 이용하여 하천이나 해안 바닥의 암반을 부순 후 준설하는 공사라써, 사용빈도는 크지 않다. 예) 쇄암선(중추식) 준설선
- 발파준설: 바위에 착암기로 천공을 실시한 후, 화약으로 폭파하여 부순 후 준설하는 공사라써, 일반적으로 사용빈도가 거의 없다.

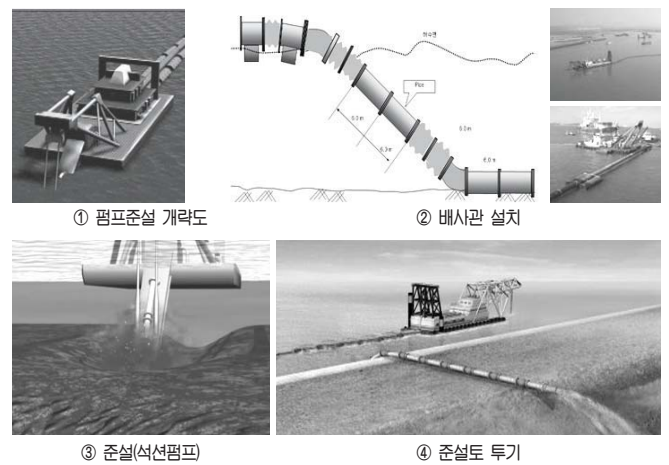


그림 3. 펌프준설선의 개요도

준설선은 크게 펌프준설선(Pump dredger), 그라브준설선(Grab dredger), 디퍼준설선(Dipper dredger), 버킷준설선(Bucket dredger), 쇄암선(Rock Cutter) 등으로 분류된다. 펌프준설선은 주로 준설토를 이용한 매립공사에 많이 적용되는 준설공법으로 그림3.과 같이 Sand pump를 장치하고, 흡입관을 수저에 거치하여 물과 토사를 함께 흡입하여 배출관을 거쳐 토출한 토사를 토운선 또는 배사관을 통해 사토하는 방식이다. 펌프준설선은 자항식(自航式)과 비항식(非航式)이 있으며, 현재 항만공사에서는 비항식이 대부분을 차지하고 있다.

3.2 펌프준설선 적산기준

3.2.1 국내 적산기준

국내의 경우 공공건설공사 예정가격작성기준인 건설공사표준 품셈에서는 다음과 같이 펌프준설선의 시간당 작업량 및 작업효율을 제시하고 있다.

$$Q = \frac{q \cdot b^* \cdot E}{746} \quad (6)$$

Q : 시간당 준설량 (m³/hr)
 q : 펌프준설선 전동환산 (m³)
 (746kW의 1시간당 준설량)
 b* : 펌프준설선의 전동환산출력 (kW)
 E : 작업효율

표 5. 국내 펌프준설선의 전동환산(q)

토질	배송거리(m)										
	구분	N치	500	600	800	1,000	1,200	1,400	~	3,400	3,500
점토 및 점토질실트	0	360	360	360	360	360	355	~	245	235	
	2	325	325	325	320	320	315	~	210	200	
	5	285	285	285	280	280	275	~	175	170	
	10	250	250	250	250	245	240	~	145	140	
	~	~									
	40	75	75	70	70	65	60	~	-	-	
모래 및 모래질실트	0	265	265	265	265	265	265	~	180	175	
	5	245	245	245	240	240	240	~	155	150	
	10	215	215	215	215	215	210	~	125	120	
	15	190	190	190	190	190	185	~	105	100	
	~	~									
	50	100	100	100	95	90	85	~	-	-	

표 6. 국내 펌프준설선의 작업효율(E)

흙의두께, 평면형상 위치, 단면형상 등	적당	약간 작다 약간 산재하다 약간 변화한다	작다 산재한다 변화한다
천후, 조석, 조류, 파랑 등			
보통	1.32	1.08	0.87
약간 나쁘다	1.14	0.90	0.72
나쁘다	0.97	0.77	0.61

펌프준설선의 시간당 작업량(식 6)은 건설기계의 시간당 작업량 기본공식(식 2)을 기준으로 제시되고 있다. 다만 시간당작업 사이클타임수(n)와 체적환산계수(f)는 장비의 특성상 별도로 제시하고 있지는 않으며, 전동환산출력(b0)은 주기출력으로써 공칭출력의 80%를 적용하고 있다. 또한 표준작업량인 전동환산(q)는 펌프준설선 746kW(1,000HP)의 시간당 작업량을 기준으로 제시하고 있다.

펌프준설선 1,492kw(2,000HP)에서 배송거리 1,000m N치 15에 모래, 작업효율 0.9(흙의두께 · 평면형상 · 위치 · 단면형상:약간산재, 천후 · 조석 · 조류 · 파랑:약간나쁘다)를 적용할 경

우를 예로들어 시간당 작업량을 산출하면 다음의 표 7.과 같이 약 274(m³/hr)가 구해진다.

표 7. 펌프준설선의 1,492kw(2,000HP)의 시간당 작업량(m³/hr)

	q	b ⁰	E
계수 값	190	1,492 × 0.8 = 1,194	0.9
시간당 작업량(Q)	$\frac{q \cdot b^* \cdot E}{746} = \frac{180 \times 1,194 \times 0.9}{746} \approx 274(m^3/hr)$		

작업효율(E)을 제외한 계수들은 명확한 산정기준에 의해서 적용이 가능하다. 그러나 시간당 작업량의 산출에 비례작용하고 있는 작업효율(E)은 현장여건(토질여건, 기상상태 등)에 따라 차이가 발생하기 때문에 적용기준이 명확해야 함에도 불구하고 “적당, 약간, 보통, 나쁘다 등”의 판단기준이 포괄적이고 모호하여 주관적이고 자의적인 판단에 따라 설계가 이루어질 수 밖에 없는 현실이다.

3.2.2 일본 적산기준

일본의 경우 항만공사 예정가격작성기준인 일본항만토목청부공사적산기준에서(일본항만협회, 2008)는 다음과 같이 펌프준설선의 시간당 작업량 및 작업효율을 제시하고 있다.

$$Q = \frac{q \cdot da \cdot En}{736} \quad (7)$$

Q : 시간당 준설량 (m³/hr)
 q : 펌프준설선 전동환산 (m³)
 (736kW의 1시간당 준설량)
 da : 펌프준설선의 전동환산출력 (kW)
 En : 작업효율

표 8. 일본 펌프준설선의 전동환산(q)

토질	배송거리(m)										
	구분	N치	500	600	800	1,000	1,200	1,400	~	5,800	6,000
점성토	0	353	353	353	353	353	353	~	215	209	
	2	312	312	312	312	312	312	~	179	173	
	5	272	272	272	272	272	269	~	143	-	
	10	244	244	244	244	244	239	~	-	-	
	~	~									
	40	85	85	85	80	76	71	~	-	-	
사질토	10	222	222	222	222	217	212	~	98	-	
	20	187	187	187	185	180	176	~	-	-	
	30	166	166	166	161	157	152	~	-	-	
	40	140	140	140	136	131	127	~	-	-	
	50	116	116	116	112	107	103	~	-	-	

$$En = E1 \times E2 \times E3 \times E4 \times E5 \times E6 \quad (8)$$

E1 : 공사구분 능력계수
 E2 : 흙두께구분 능력계수
 E3 : 평면형상구분 능력계수
 E4 : 단면형상구분 능력계수
 E5 : 해상조건구분 능력계수
 E6 : 기타조건구분 능력계수

일본 항만공사 펌프준설선의 시간당 작업량(식 8)은 국내기준(식 6)과 거의 유사하다. 다만 출력표시 환산에서 국내(HP⇒kW)와 일본(PS⇒kW)이 단위가 서로 달라 펌프준설선의 규격(1,000HP, 1,000PS)이 각각 746kW와 736kW로 표현되었고, 그 외는 동일하다고 판단할 수 있다. 그러나 일본 기준의 경우 작업효율(E_n)을 공사구분별, 흙두께별, 평면형상별, 단면형상별, 해상조건별, 기타조건별로 세분화하여 적용하고 있으며, 구분기준 또한 보충표를 함께 제시함으로써 명확하게 하고 있어 객관적인 판단에 따른 설계가 가능하도록 되어있다.

표 9. 평면형상구분 능력계수(E3)

능력계수	적당	보통	나쁨
E3	1.10	1.0	0.9

평면형상구분의 보충표

평면형상 구분	평면 형상 구분의 자세한 적용 사항
적당	평면 형상이 거의 직사각형이며, 적당한 준설폭, 연장을 가지고 있는 경우
보통	「적당」 또는 「나쁨」중 어디에도 해당하지 않는 경우
나쁨	평면 형상이 세로로 길고 적당한 준설폭을 확보할 수 없는 경우, 또는 협각이 많은 경우, 준설개소가 산재해 있는 경우

[주] ① 「적당한 준설폭을 가지고 있는 경우」란 아래표의 일반적 스윙폭으로 나누어지는 준설폭 공사를 말한다.
 ② 「적당한 준설폭을 확보할 수 없는 경우」란 아래표의 일반적 스윙폭 미만의 준설폭 공사를 말한다.

펌프준설선 규격	스윙폭
1,350 PS형	50 ~ 70 m
2,250 "	60 ~ 80 "
3,200 "	70 ~ 90 "
4,000 "	80 ~ 100 "
6,000 "	90 ~ 110 "
8,000 "	100 ~ 120 "

표 9.는 일본 작업효율(E_n)중 평면형상구분 능력계수(E3)을 예로들어 제시한 것이며, 이외 E1, E2, E4, E5, E6 또한 이와 유사하게 명확한 구분기준을 제시하고 있다.

4. 현장조사

현재 국내에서 사용되고 있는 공공건설공사 예정가격작성기준인 건설공사표준품셈은 1960년대 초 일본 및 미국의 자료를 근간으로 하여 제정(한국건설기술연구원, 1990년)되어 부분적으로만 제·개정되어왔다. 특히 그동안 국내 건설기계장비와 공법이 발전해 왔음에도 불구하고 펌프준설선을 포함한 건설기계의 시간당 작업량에 대한 제·개정은 미비하며 이와 관련된 연구 또한 매우 미흡한 실정이다. 이를 위한 개선책으로 본 연구에서는 객관적인 판단기준이 미약하여 정량화하기 곤란한 펌프준설선의 작업효율(E)을 국내 현장조건과 유사한 일본의 방식과

비교하여 개선시킬 것을 제안하고자 한다.

앞서 비교한 바와 같이 국내와 일본의 펌프준설선 시간당 준설량(Q)의 계산식(식6, 식7)은 거의 동일하다고 볼 수 있으며, 시간당 준설량의 기준이 되는 전동환산(q)의 준설량 또한 표 5.와 표 8.에서 보는 바와 같이 흡사하다고 볼 수 있다. 다만 전동환산(q)의 값이 국내는 배송거리 3,500m까지 일본은 6,000m까지 제시하고 있는 점에서 차이점을 찾아볼 수 있다. 따라서 본 현장조사에서는 국내 현장에서는 많이 사용되고 있으나, 국내 기준에서 제시하고 있지 않는 배송거리 3,500m~6,000m 현장의 준설량을 조사하여 일본과 비교해 보고자 한다.

4.1 현장조사 및 방법

본 조사는 국내에서 운영중인 총 출력 8,952kW 이상 대형 펌프준설선 11기중 현장조사 기간(2009년 6월~10월)중에 실질적으로 운영되고 있는 3개현장 4기에 대해서 현장조사를 수행하였다. 펌프준설선의 총 출력은 8,592kW~14,920kW 이었으나, 준설용량을 측정하는 주기출력은 4,476kW(6,000HP)로 동일하게 조사되었다. 자료는 현장별로 15일~30일간의 실적자료를 수집하였으며 현장조사 대상은 표 10.과 같다. 준설량 측정방법은 조사기간 이전에 현장을 방문하여 현장관계자를 대상으로 측정방법에 대해 설명하고 교육한 후 주어진 양식에 기입하게 하였으며, 현장에서 자체적으로 작성되는 작업일보도 함께 수집하여 비교자료로 활용하였다.

표 10. 현장조사 대상

현장	출력(kW)			N치	배송거리(m)
	총출력	주기출력	전동환산출력(b°)		
현장 A	8,952	4,476	3,581	점토질2	6,000
현장 B	14,920	4,476	3,581	모래질15	3,600
현장 C	14,920	4,476	3,581	모래질15	4,400
현장 D	8,952	4,476	3,581	모래질15	4,000

자료수집 기간동안의 총 준설량을 총 시간으로 나누어 시간당 준설량(Q)을 산출한 후 작업효율(E) 및 전동환산출력(b°)을 대입하여 전동환산(q)를 역산하였다. 현행 국내기준에서 작업효율(E)은 현장조건에 따라 표 6.과 같이 9개 중에 1개를 선택하여 적용할 수 있다. 따라서 본 조사에서는 표 12.에서와 같이 현장조건을 흙두께, 평면형상, 현장위치, 단면형상, 천후, 조석, 조류, 파랑 등에 따라 8가지 조건으로 분류하고, 9점척도(보통/적당:1점⇒나쁨/작다: 9점)에 따라 점수를 부여하여 평균값을 구한 후 표 11.을 참조하여 작업효율(E)을 결정하였다.

표 11. 작업효율(E) 배점표

현후, 조석, 조류, 파랑 등	흙두께, 평면형상 위치, 단면형상 등	적당	약 간 작 다 약간 산재하다 약간 변화한다	작 다 산재한다 변화한다
	작업효율(E)			
보 통	작업효율(E)	1.32	1.08	0.87
	배점	1	3	6
약간 나쁘다	작업효율(E)	1.14	0.9	0.72
	배점	2	5	8
나쁘다	작업효율(E)	0.97	0.77	0.61
	배점	4	7	9

표 12. 현장실사 작업효율(E)

현장	현장조건									작업효율	
	흙두께	평면	위치	단면	천후	조석	조류	파랑	평균	배점	E
현장 A	4	7	5	7	5	7	6	5	5.8	6	0.87
현장 B	3	5	4	7	5	7	6	4	5.1	5	0.9
현장 C	3	7	4	6	5	7	6	4	5.3	5	0.9
현장 D	5	6	6	6	6	7	6	5	5.9	6	0.87

4.2 현장실사 결과

상기 조사방법대로 현장조사를 실시하여 일본의 적산기준과 전동환산(q)를 비교한 결과는 다음과 같다. 펌프준설선의 시간당 작업량(Q)(식6)은 전동환산(q), 전동환산출력(b°), 작업효율(E)과 비례한다. 이중 전동환산출력(b°)은 펌프준설선의 주어진 규격(kW)이므로 표준적인 조건에서의 비교가 가능한 746kw 펌프준설선의 시간당 준설량인 전동환산(q)을 기준으로 비교를 하였다. 표 13.에서 보는바와 같이 국내현장여건을 고려하여 작업효율(EA)을 결정하여 산출한 전동환산(qA)는 일본의 기준대비 약 139.9%로 시간당 준설량이 높게 나왔다. 그러나 일본의 적산기준은 작업효율인 능력계수(En:E1~E6)를 (식8)에서와 같이 각각 곱하여 적용하고 있다. 따라서 각각의 표준값(보통 또는 적정)인 E1(공사구분:준설1), E2(흙두께:보통1), E3(평면형상:적당:1.1), E4(단면형상:적당1.1), E5(해상조건:보통1), E6(기타조건:보통1)을 곱해서 산출된 작업효율(En=E1×E2×E3×E4×E5×E6=1×1×1.1×1.1×1×1=1.21)은 1.21이 되며, 이를 적용한 전동환산(qn)은 일본 기준대비 약 102.3% 수준으로 국내기준과 유사한 결과를 보이고 있다.

표 13. 현장조사 결과

현장	시간당 준설량(Q)	작업효율(E)		전동환산(q)			비율(%)	
		EA	En	qA	qn	일본	qA/일본	qn/일본
현장 A	957	0.87	1.21	229.2	164.8	173	132.5	95.2
현장 B	849	0.9	1.21	196.5	146.2	141	139.4	103.7
현장 C	745	0.9	1.21	172.4	128.3	121	142.5	106
현장 D	794	0.9	1.21	190.4	136.9	131	145.3	104.5
평균							139.9	102.3

5. 결론

현행 국내 공공건설공사의 예정가격작성기준에서 제시하는 건설기계의 시간당 작업량(Q)의 중요한 부분을 차지하는 작업효율(E)은 현장여건(토질여건, 기상상태 등)에 따라 차이가 발생하기 때문에 적용기준이 명확해야 한다. 그러나 국내 기준은 “양호, 보통, 불량 등”의 정성적인 표현이 사용되며, 이를 판단할 수 있는 기준 또한 포괄적이고 모호하여 설계자의 주관적이고 자의적인 판단에 따라 설계가 이루어지고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 펌프준설선을 대상으로 국내·외 관련 문헌조사 및 현장실사를 통하여 합리적인 작업효율(E) 제시방법을 제시하고 이로 인해 건설기계의 시간당 작업량 산정방법을 개선하고자 하였다.

먼저 국내와 일본 예정가격작성기준의 펌프준설선 작업효율(E)을 조사·분석 및 비교하여 국내 기준의 문제점을 제기하였다. 국내 작업기준의 작업효율(E)은 단편일률적이며 적용 및 판단기준이 모호한 반면, 일본의 작업효율 En(E1~E6)은 E1(공사구분), E2(흙두께), E3(평면형상), E4(단면형상), E5(해상조건), E6(기타조건)로 세분하게 구분하고 있으며 판단기준 또한 보충표를 통해 객관화 시키고 있었다.

따라서 본 연구에서는 국내기준 또한 일본의 기준의 형태로 세분화 및 객관화 시킬 수 있는 형태로 개선되어야 할 것을 제시하였으며, 현장조사를 통해 얻어진 산출량을 일본의 예정가격작성기준을 적용하여 계산된 산출량과 비교하여 일본기준의 적정성을 검토하였다. 검토방법은 펌프준설선(4,476kW) 배송거리 3,600~6,000m의 시간당 준설량(Q)을 실측하여 표준값인 전동환산(q)을 비교하였으며, 일본대비 102.3% 수준으로 거의 유사한 결과값을 얻었다.

본 연구에서는 펌프준설선의 작업효율(E)의 표현방법 개선을 통해 시간당 작업량(Q)의 개선책을 제시하였으나, 추후 연구에서는 보다 면밀한 조사를 통해 현장여건별 개선된 작업능력(E)의 계수 제시까지 필요할 것으로 판단되며, 더 나아가 펌프준설선의 건설기계 전반에 걸친 작업효율(E)의 개선대책이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설교통R&D정책인프라사업(06기반구축 A03)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- 권기태(2002). “건설기계와 시공”, 동명사
- 박희성(2008). “건설기계 시공능력 산정에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집 제28권 제1D호
- 이중석(2008). “건설기계 연간표준가동시간 산정에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집 제8권 1호
- 이지용(2008). “철골세우기의 현장생산성 측정 및 영향요인 분석”, 한국건축시공학회 추계학술발표대회논문집 제8권 2호
- 정대권(2009). “도로포장 및 유지공사 표준품셈 개정 방법에 대한 연구”, 한국도로학회 논문집 제11권 제1호
- 허영기(2008). “표준품셈의 기계경비 산정 현실화를 위한 자료 조사·분석”, 한국건설관리학회 논문집 제9권 제1호
- 한국건설기술연구원(1986), “87표준품셈보완연구보고서-기계분야”, 건기연 86-M-1
- 한국건설기술연구원(1990). “건설기계 손료산정방법 개선방안에 관한 연구”, 90-CM-1
- 한국건설기술연구원(2009) “건설공사 표준품셈”
- 建設物價調査會(平成19年 2007). “建設工事標準歩掛”
- 日本港灣協會(平成20年 2008). “港灣土木請負工事積算基準”
- 日本建設機械化協會(平成17年 2005). “建設機械等損料表”

논문제출일: 2009.12.15
 논문심사일: 2009.12.18
 심사완료일: 2010.03.18

Abstract

Although work-efficiency of construction machinery is a critical factor for estimating its workable-quantity per unit time, the efficiency figure table presented in the Poom-Sam that is used for Construction Cost Estimation of public sectors in Korea is very subjective for practical usage. In order to suggest objective work-efficiency table for a Pump-Dredger, domestic and overseas documentary records were investigated and on-going construction sites were also visited. Moreover, actual work quantities collected from the site visits were compared with the ones calculated based on the Standard Measurement Methods used in Japan. The research found that the table can be revised by means of detailing down by several factors, namely project type, depth of soil, undersea-site shape, and condition on the sea for better estimation of its workable-quantity. The research will be the foundation for applying the rapid development of Construction Equipment and technology to the appropriate cost estimations and the ground work of related studies.

Keywords : *hourly output, work-efficiency, construction equipment, standard measurement methods, pump-dredger*