조석의 주기를 고려한 해상 암굴착 공사의 경제성 분석 및 작업가능시간 산정 방법에 관한 연구

Economical Analysis and Estimate Method of Possible Working Hours for Marine Rock Excavation Work Regarding the Tide Cycle

권 순 범* · 이 승 현** · 옥 종 호***
Kwon, Soon-Boum · Lee, Seung-Hyun · Ock, Jong-Ho

요 약

해상에서 이루어지는 암굴착 공사는 평균해수면 이하를 기준으로 수중으로 설계가 되어 있다고 하더라도, 조석 간만의 차가 심한 서해와 남해의 경우에는 조석의 주기에 따라 해수면 위로 작업면이 노출되는 동안 육상작업이 가능해진다. 이를 활용할 경우 수중 작업 시 작업자의 위험성 증대, 작업효율의 저하 및 공사비 증대에 관한 수중공사의 단점을 보완할 수 있는 하나의 대안이 될 수 있다. 그러나 작업해야할 암굴착면의 높이와 조석에 따라 변화하는 수면의 높이에 따라 작업면의 노출시간, 즉 작업가능시간이 변화하게 되며 이에 따라 공사비의 변화도 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 해상 암굴착 공사를 수행할 때 수중 작업과 비교하여 조석간만의 차를 이용한 공사의 경제성을 분석하고, 작업가능시간을 산정하여 작업시간별 경제성을 분석할 수 있는 방법을 제시함으로써, 조석간만의 차를 이용한 해상 암굴착 공사방식의 적용가능성을 모색해 보고자한다.

키워드: 해상공사, 수중 암굴착, 조석, 작업가능시간

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설공사를 수행함에 있어 최소 비용으로 최단시간에 가장 안전하고 효율적인 성과물을 얻는 것은 중요 목표 중에 하나일 것이다. 따라서 동일한 형태의 작업을 수행함에 있어 공기경쟁력 증대를 통해 경제적이면서도 작업자의 안전을 높이기 위한 공사방법에 대한 연구가 끊임없이 진행되어져 왔다. 건설관리 분야에 있어 경제성 분석 및 작업가능시간 산정에 대한 연구는 주로 육상 건설공사를 대상으로 활발히 진행되어 왔으며 이에 대한 성과는 날로 발전하고 있다.

* 일반회원, 대한주택공사 연구원, 공학석사, boum120@empal.com
** 일반회원 ,한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사(교신저자), slee413@kict.re.kr
*** 종신회원, 서울산업대학교 건축공학과 교수, 공학박사, ockjh@snut.ac.kr

본 연구는 건설교통부 건설교통R&D정책인프라 사업의 연구비지원에 의해 수행되었음. 과제번호: 06 기반구축 A03

그러나 비좁은 국토 면적과 삼면이 바다로 둘러싸인 한반도의 조건을 감안할 때 해상공사의 건설관리에 대한 관심과 연구가 날로 필요한 실정이다. 특히 서해와 남해는 조석의 고저차가 매우 심하여 해상공사 진행시 사전에 조석에 대한 영향 평가가 필요하기 때문에 조석간만의 차를 분석하여 이를 이용한 공사의 경제성 분석 및 작업가능시간 산정은 공사계획을 하는데 있어 중요한 핵심 사항이라고 하겠다. 해상공사 중에서 해상 운반선의 안전한 운항을 위해 표지 시설을 설치하는 경우 해저에 있는 암표면을 굴착하여 그 위에 구조물을 설치해야 한다. 구조물의 구조적 안정성을 확보하기 위해 암표면 주위를 굴착하게 되는데, 암의 위치가 수중에 위치한 경우에는 암굴착을 하기 위해 잠수부를 투입하게 되나 유속이 빠른 서해와 남해의 환경적 조건을 고려할 때 작업의 위험성이 높고, 작업을 위한 시야 확보가 어려우며, 잠수부의 하루 4~6시간 이하의 작업가능시간 및 작업효율 저하로 인한 공사기간 증대에 따른 여러 가지 문제를 내포하고 있다. 그리고 해상 암굴착 공사는 단순히 평균해수면(M.S.L)을 기준으로 수상 작업 및 수중 작업으로 구분하여 설계가 이루어지기 때문에 조석간만의 차에 대한 영향 정도는 전혀 반영되지 못한다. 따라서 평균해수면(M.S.L)만을 기준으로 설

계된 공사는 조수간만의 차가 심한 우리나라의 해상특성을 고려하는데 어려움이 있다.

이와 반대로 조석간만의 차로 간조시 수중에 있던 암의 위치가 수상으로 돌출이 가능한 경우 간출암이라고 하는데 이처럼 조석의 주기를 이용하면 설계상 수중 · 수상 암굴착의 기준인 평균해수면(M.S.L)이하의 지역이라도 저조시에는 해수면 위로 작업면이 드러나게 되어 수상작업이 가능하게 된다. 수중으로 작업해야 할 것을 간출암시 수상작업으로 진행하게 되면, 작업자의 안전 뿐만 아니라 작업가능시간, 작업 효율의 증대 및 공사비의 절감효과 등 긍정적인 결과를 가져올 수 있을 것으로 기대하고 있다.

따라서 본 연구에서는 조석간만의 차를 이용하여 공사진행이 가능한 해상공사 중 암굴착 공종에 대한 기존 설계유형을 살펴보고, 실제 공사현장을 방문하여 조사된 실사결과와 공사관리자들에 대한 설문조사 결과를 바탕으로 암굴착 공종에 대한 공사비 관련 사항을 알아본다. 그리고 조석표 분석을 통한 작업가능시간 산정 방법을 제시하여 해상 암굴착 공사의 사례 연구를 통해 조석을 이용한 공사방법의 가능성을 검증해 보고자 한다. 인천, 여수, 부산 그리고 속초지역의 1년간(05년8월~06년07월) 조석데이터를 분석하여 조석분석의 사례로 제시하고, 이 지역의 작업가능시간을 산정한다. 결국 조석이용 유무에 따른 공사비 비교를 통해 경제성을 판단하여 조석에 대한 영향 정도를 파악함으로써 조석의 주기 및 특성을 알아보고 우리나라의 조석간만의 차가 심한 해상특성을 이용한 효율적인 공사 방법론을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 범위

조석과 관련하여 해상공사에 대한 영향도 평가를 진행한 연구는 극히 미진한 실정이다. 해외논문이나 자료 중에서 조석의 주기를 이용하여 공사방법을 제시한 경우는 찾아 볼 수 없었고 다만 참고할 수 있는 연구내용을 살펴보면 국내의 경우 육일동(2002)은 해상교량의 가설공법에 대한 연구에서 영종대교 공사시 세계에서 조석간만의 차이가 가장 큰 인천지역의 자연조건을 최대한 활용하여 조석의 주기를 이용한 선적 및 거치공법을 제시하고 있다. 그러나 경제적,시간적으로 많은 절감 효과를 가져왔다고 하였으나 그 효용성을 정량적으로 제시하지는 않았다. 또 조덕인 외(2005)는 복합 S.R.C 공법과 CAISSON 진수 및 거치 사례에 대한 연구에서 조석 간만의 차에 의한 해수의 유동과 조위를 고려하여 작업을 진행한 사례를 제시하고 있고, 한진중공업(2000)에서는 조석 간만의 차를 이용하여 육상에서 제작된 각종 구조물을 선박이나 해상운송장비 등에 선적하는 방법 및 장치에 대해 설명하고 있다.

따라서 본 연구에서는 보다 구체적으로 조석에 대한 영향을 평가하기 위해 조석의 주기를 이용한 해상공사의 경제성 분석 및 작업가능시간을 산정하였으며, 본 연구의 범위는 공공공사의 해상공사 중에서 대표적으로 조석의 주기를 이용할 수 있는 해상 암굴착 공사로 한정한다.

1.3 연구의 절차 및 방법

조석의 주기를 이용한 해상 암굴착 공사의 효율적인 공사방법론을 제시하기 위하여 다음의 방법으로 연구를 진행하였다.

(1) 해상 암굴착 공종과 조석에 대한 이론적 고찰을 한다.
(2) 해상 암굴착 공종에 대한 기 설계내역서를 분석하여 설계유형을 파악하고, 실제 해상공사 현장을 방문하여 실사자료를 수집하고 공사관리자에 대한 설문자료를 분석하여 설계자료와 비교 검토하였다.
(3) 조석표 분석을 통한 작업가능시간 산정 방법에 대해 기술하였다.
(4) 사례연구를 통해 작업가능시간 산정방법을 적용한다. 최근 1년간(05년08월~06년07월)의 조석데이터를 분석하여 월별 작업가능시간 및 연평균 작업가능시간을 산출하고자 하며, 분석대상 지역은 서해의 인천지역과 남해의 여수지역 및 부산지역 그리고 동해의 속초지역으로 한다.
(4) 마지막으로 조사 대상지역의 조석의 주기를 이용한 해상 암굴착 작업시 작업가능시간 분포를 분석한다. 그리고 수중 암굴착과 비교하고 해상 암굴착 공사의 경제성을 종합

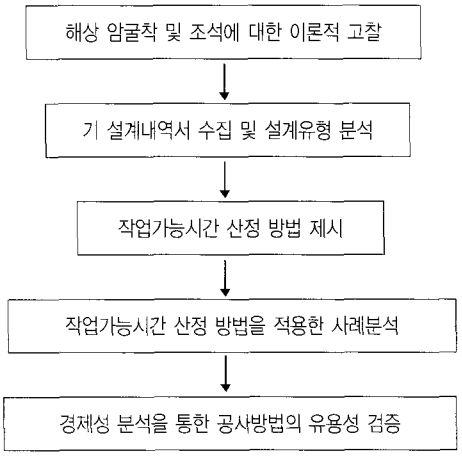


그림 1. 연구 방법

적으로 판단하여 해상 암굴착 공사시 조석의 주기를 이용하는 공사방법의 유용성을 검증하고자 한다.

이와 같은 연구의 방법을 도식적으로 표현하면 그림 1과 같다.

2. 이론적 고찰

2.1 조석

조석현상은 지구, 달 그리고 태양의 인력 효과와 지구의 구심력의 평형에 의해 발생하는 해수면의 주기적 승강운동을 의미한다. 조석의 정보를 제공하는 조석표는 각 지역에 대해 날짜별 고조(만조)와 저조(간조)의 시간 및 조위를 미리 예측하여 나타낸 표이며, 국립해양조사원에서 국내 47개 주요 항만에 대하여 일일 고·저조의 시간과 높이에 대한 조석예보자료를 제공하고 있다.

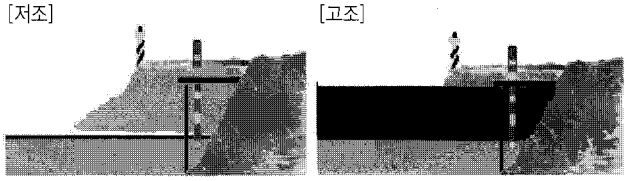


그림 2. 조석에 의한 고·저조 발생 현상 (국립해양조사원)

그림 2와 같이 조석의 차가 발생할 경우 해상에서 조위차를 고려해야 하거나 암초위에서 작업을 해야하는 경우에는 해수의 고조 및 저조에 따라 작업면이 수상과 수중의 위치에 놓이게 되므로 조석에 의해 작업시간이 결정되게 된다. 특히 도서지역은 자재 및 장비를 해운으로 조달해야 하기 때문에 공기를 추가로 필요로 하게 된다. (정인수 외, 2000)따라서 조위차를 고려하여 해상공사를 진행해야 하는 경우에는 해당시공업체에서 공사기간 동안의 조석표를 참조하여 공사계획을 세워 노무자 및 장비 수급에 차질이 없도록 해야한다.

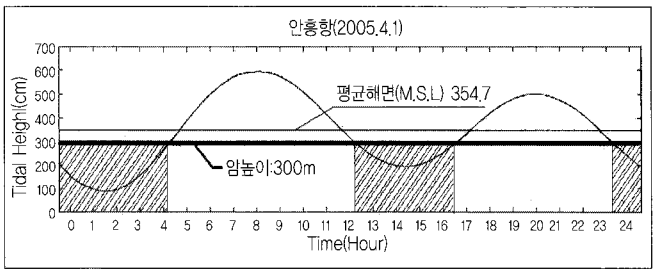


그림 3. 조석표 분석에 의한 작업가능시간 산출방법 예

그림 3은 조석표 분석에 의한 작업가능시간 산출방법을 예시한 것으로 해상 암굴착 공사는 M.S.L을 기준으로 암의 위치가 M.S.L 이상이면 수상 암굴착으로 그 이하이면 수중 암굴착으로 설계되는데 작업가능시간 산출을 고려할 때 설계적 측면과 시공적 측면으로 나누어 생각할 수 있다. 예를 들어 안흥항 앞바다에 있는 암에서 암굴착 공사를 한다고 하고 암의 높이를 300cm라고 가정해 보자. 설계적 측면으로 보면 안흥항의 M.S.L이 354.7cm이기 때문에 암의 위치가 M.S.L 아래에 위치하고 있어 수중 암굴착을 기준으로 설계될 것이다. 그러나 조석표를 분석하여 시공적 측면에서 접근해 보면 암의 높이 300cm 이하로 해수면이 내려가는 23시~4시, 12시~16시 30분경(빗금친 부분)에는 수상 작업이 가능하게 된다. 따라서 조석의 주기에 따라 수중으로 설계된 현장도 수상작업으로 진행할 수 있으며, 작업가능시간도 도출해 낼 수 있다. 이는 단순히 M.S.L을 기준으로 수상과 수중 작업을 구분하여 설계되는 것을 조석의 주기를 이용한 방법으로 좋은 효과를 유도해 낼 수 있을 것이다.

2.2 해상 암굴착

표 1. 해상 암굴착 공종의 작업순서

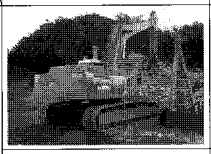
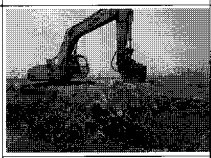
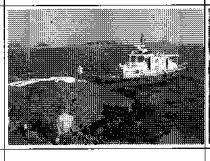
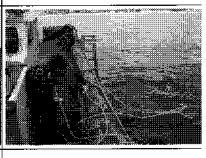
	해상 암굴착		
	수상		수중
	대형브레이커(장비)	소형브레이커(인력)	소형브레이커(인력)
준비			
	암굴착 준비	소형브레이커 운반	수중 암굴착준비
실작업			
	대형브레이커암굴착	소형브레이커 암굴착	수중 암굴착
정리			
	작업완료후 정리	작업완료후 정리	작업완료후 정리

표 1과 같이 해상 암굴착의 수상 암굴착은 대형브레이커를 이용한 장비굴착과 소형브레이커를 이용한 인력굴착으로 나뉘고 수중 암굴착의 경우에는 잠수부를 투입하여 공사를 진행한다. 대형브레이커를 투입하는 경우에는 인력굴착보다는 작업효율이 높다는 긍정적인 효과를 얻을 수 있지만, 암굴착면이 협소하거

나 미끄러운 경우에는 작업의 위험성 등의 이유로 설계 적용 및 공사 진행시 주의를 요하는 공종이다. 소형브레이커를 이용한 수상 인력굴착은 육상에서 진행하는 암굴착과 크게 다르지 않지만 잠수부를 투입하는 수중 인력굴착의 경우에는 잠수부 2인이 1조가 되어 투입되며, 오전 2시간과 오후 2시간 정도씩 작업이 이루어지는 것이 보통이어서 잠수부의 하루 작업시간은 대개 4~6시간 정도라고 볼 수 있다. 해상구조물을 암표면 위에 설치해야 하므로 설계외력(파력 또는 풍력)에 대해 자중으로 구조물의 구조적 안정성을 확보하기 위해 구조물과 암표면과의 정확한 일치를 요구하고 있다. 그러나 수중 작업시에는 조석간만의 차가 심한 서해와 남해의 유속이 유난히 빨라 잠수부가 작업하는데 있어 위험도가 높아지고 실제로 잠수부 관련 사고도 보고되고 있다. 그리고 수중에서의 시야확보가 쉽지 않아 이에 따른 작업효율의 저하로 인해 공기증가를 초래하게 되고 설계시 계획된 굴착선에 일치되도록 시공하기가 아주 난해하기 때문에 현장에서는 수상 암굴착 작업을 선호하고 있는 실정이다.

공사 특성상 해상 암초상에 인력이나 대형브레이커를 투입하여 작업을 수행하기 때문에 수상 또는 수중 암굴착의 진행여부에 따라 공사비의 차이를 가져올 수 있다. 암이 노출되는 시간에 따라 작업시간에 변동이 생길 수 있고, 시기와 시간에 따른 노출정도의 고려와 잠수부를 투입하였을 경우의 경제성 등을 고려하여 효율적인 시공방법을 선택하기 위해 조석표 분석을 통한 경제성 평가 및 작업가능일수를 산정하고자 한다.

3. 해상 암굴착의 공사비 비교 분석 및 작업가능시간 산정 방법

3.1 기 설계내역서 분석

표 2. 암굴착 설계기준

구분		설계기준
수상 암굴착	인력 굴착	소형브레이커를 이용한 인력굴착 설계 (착암공, 보통인부, 소형브레이커, 공기압축기)
	대형 브레이커	백호를 활용한 장비사용 터파기 (백호 + 대형브레이커)
수중 암굴착	기준 없음	수상암굴착의 인력굴착 기준에 잠수부의 노무비 보정을 위한 착암공 할증 적용
		수상암굴착의 인력굴착기준에 착암공의 노무할증과 더불어 소형브레이커 및 공기압축기 장비의 작업효율저하를 감안한 장비효율(E) 50% 감산 적용

최근 5년동안 기 설계된 해상공사의 공공부문 내역서를 분석한 결과 총 공사비 중에서 암굴착은 약 7%를 차지하고 있으며, 건설공사 암절취 기준을 근거로 설계되고 있는 것으로 조사되었다. 표 2와 같이 수상작업의 경우에는 소형브레이커를 이용한 인력굴착의 기준을 준용하여 설계되고 있으나, 수중작업에 대한 근거는 마련되지 않아 현재 수중작업의 경우에는 수상작업 기준에 할증이나 효율을 추가적으로 계상하여 잠수부의 작업능력을 대신하는 방안으로 설계되고 있는 실정이다.

표 3. 수상 암굴착 일반적인 설계금액

품명			합계(%)	노무비(%)	재료비(%)	경비(%)
수상	인력굴착	풍화암	55	49	4	3
		연암	73	63	6	4
		보통암	100	88	8	5
		경암	162	143	12	8
	대형브레이커	연암	45	32	4	8
		보통암	65	47	6	12
		경암	89	64	8	16

주) 위의 설계금액은 수상인력굴착의 1㎥당 보통암 공사금액을 기준(100%)으로 하여 표시한 것으로, 실행에 대한 비공개를 원칙으로 연구가 진행되었기 때문에 공사비의 비교만을 목적으로 한다.

표 4. 수중 암굴착 일반적인 설계금액

품명			합계(%)	노무비(%)	재료비(%)	경비(%)
수중	인력굴착	풍화암	80	74	4	3
		연암	104	94	6	4
		보통암	144	132	8	5
		경암	234	214	12	8

주) 위의 설계금액은 수상인력굴착의 1㎥당 보통암 공사금액을 기준(100%)으로 하여 표시한 것이다.

표 3과 표 4는 수상 암굴착과 수중 암굴착에 대한 일반적인 설계금액을 나타낸 것으로, 표 2에서 제시된 암굴착 설계기준을 적용하고 있으며 표준품셈을 근거로 하고 있다. 작업의 난이도가 높은 경암으로 갈수록 공사비는 증대되며 수상 암굴착의 경우에는 인력굴착보다 대형브케이커 굴착이 상대적으로 적은 공사금액이 적용되는 것을 알 수 있다.

3.2 현장실사 분석

공사현장을 방문한 결과 암굴착의 위치가 M.S.L 이하에 있어 수중 암굴착으로 설계된 경우 보통 두가지의 방법으로 공사가 진행되고 있었다. 첫 번째로 하루종일 암의 위치가 수중에 있는 현장의 경우에는 잠수부가 투입되어 공사가 진행되었다. 다만 작업의 편이성을 위해 간조시 최대한 암의 위치가 해수면에 가

까운 위치에 도달했을 때 잠수부를 투입하려고 하였다. 두 번째 방법은 조석 간만의 차이로 암이 간출이 되는 지역인 경우에는 조석의 주기를 고려하여 수상 암굴착으로 인력굴착 또는 백호를 이용한 대형브레이커 굴착공사를 진행하고 있었다. 따라서 우리나라처럼 조석간만의 차가 큰 경우에는 조석의 주기를 적절히 이용하면 간출암시 수상작업을 진행할 수 있게된다. 이에 대한 현장실사 결과를 분석하고 실제 설계기준과 비교하여 다음과 같이 산출하였다.

표 5. 수중 암굴착 설계기준 설문조사 결과

(hr/㎥)

구분	A건설		B건설		C건설	
	잠수부	보통인부	잠수부	보통인부	잠수부	보통인부
풍화암	1.00	0.75	0.17	0.13	0.67	0.50
연암	1.33	1.00	0.33	0.25	1.00	0.75
보통암	2.00	1.50	0.67	0.50	2.00	1.00
경암	2.67	2.00	1.00	0.75	2.50	1.88
구분	D건설		E건설		F건설	
	잠수부	보통인부	잠수부	보통인부	잠수부	보통인부
풍화암	0.67	0.50	-	0.63	-	-
연암	1.00	0.75	-	1.00	-	-
보통암	1.33	1.00	-	1.25	0.83	1.88
경암	1.67	1.25	-	-	-	-

주) 위의 설문조사결과는 A건설의 풍화암 잠수부를 기준 1로 하여 표시한 것으로, 실행에 대한 비공개를 원칙으로 연구가 진행되었기 때문에 설문조사 결과의 비교만을 목적으로 한다

표 6. 수중 암굴착 공사비 산출(현장실사 + 설문조사 결과)

품명			합계(%)	노무비(%)	재료비(%)	경비(%)
수중	인력굴착	풍화암	115	106	6	2
		연암	195	184	8	3
		보통암	293	277	12	5
		경암	350	324	19	7

주) 위의 설계금액은 수상인력굴착의 1㎥당 보통암 공사금액을 기준(100%)으로 하여 표시한 것이다.

수중 암굴착을 실시하는 현장의 수가 극히 적어 표 5와 같이 현장실사 결과와 6개 건설업체의 공사관리자에 대한 수중 암굴착 기준의 적정안 설문조사를 추가적으로 실시하여 이를 바탕으로 표 6과 같이 수중 암굴착에 대한 공사비를 산출하여 제시하였는데 일반적인 설계가격의 약 1.58% 높게 책정된 가격으로 분석되었다. 이는 수상인력굴착을 기준으로 제시한 공사비로 수중 암굴착의 설계기준 자체가 수상 암굴착을 기준으로 도서할증이나 장비효율 등을 추가적으로 계상한 경우이기 때문에 수중 암굴착 공사의 정확한 기준이라고 보기 어려운 현실적인 문제가 있다. 그리고 해상 암굴착을 담당하고 있는 건설업체가 시공하는 현장의 현장실사 결과와 설문조사의 결과를 토대로 작성된 수중 암굴착 공사비 산출결과이므로 기존의 수중 암굴착 공사비의 기준과는 공사비의 차이를 보였다.

표 7. 간출암의 암굴착 현장실사 결과 공사비 산출

품명			합계 (%)	노무비 (%)	재료비 (%)	경비 (%)	비고 (조사현장수)
간출암	인력굴착	풍화암					
		연암	36	24	7	5	1
		보통암	133	120	10	4	1
		경암					
	대형브레이커	연암	65	26	18	21	3
		보통암	45	17	13	15	1
		경암	39	15	11	13	1

주) 위의 설계금액은 수상인력굴착의 1㎥당 보통암 공사금액을 기준(100%)으로 하여 표시한 것이다.

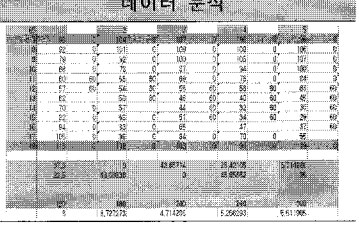
표 7은 간출암의 인력굴착 및 대형브레이커 굴착을 진행한 경우 현장실사 자료를 근거로 하여 공사비를 산출한 것이며 인력굴착의 경우에는 풍화암과 경암에서 공사가 진행되는 현장이 없어 현장실사 자료를 제시할 수 없었다. 대형브레이커의 경우에 연암으로 갈 수록 오히려 공사비가 증대된 것은 각 현장에 따라 작업의 생산성에 미치는 여러 요인이 다르고 조사된 현장실사 데이터 수에 비해 굴착종류별, 암질별, 장비별로 비교·분석이 가능한 현장수가 적어 발생한 경우이다.

3.3 작업가능시간 산정 방법

김정웅 외(2001)는 해상에서 조석간만의 차이를 이용하여 육상에서 제작된 대형 중량구조물을 선박이나 기타 해상운송장비에 선적하는 공법인 플롯 메이션(Float mation)에 의한 선적 공정표(Time schedule)를 작성하여 조석의 주기를 고려한 경우를 제시하였다. 본 연구에서는 국립해양조사원에서 발표한 조석자료를 근거로 데이터를 분석하여 조석의 주기를 이용한 작업가능시간을 산출하였다. 조석표 분석방법에 대한 작업가능시간을 산출하는 과정에 대해서 알아보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 표 8과 같이 매년 조석관측소에서 조사된 1시간 단위의 조석자료를 제공받아 엑셀 프로그램으로 분석할 수 있도록 데이터를 정리한다.

표 8. 조석자료 분석 방법

1시간 단위의 조석자료	데이터 분석
부산 조위관측소 1시간 조위자료	

Year	M.	d.	H.	TH.
2005	09	01	00	54
2005	09	01	01	45
2005	09	01	02	48
2005	09	01	03	57
2005	09	01	04	74

(2) 해상공사의 일반적인 작업시간인 오전 7시부터 오후 6시까지에 해당하는 조석데이터를 분류한다. (본 연구는 야간공사를 고려하고 있지 않음)

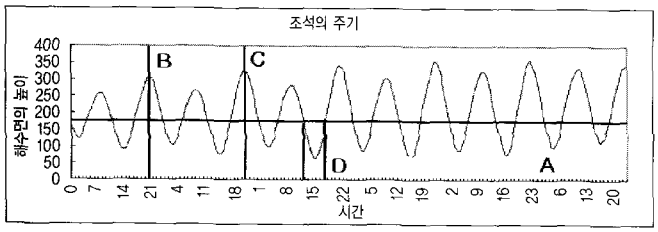


그림 4. 여수지역 조석의 주기 (M.S.L=181m)

(3) 1년간의 데이터를 분석하면 해당지역 조석의 주기를 그래프로 표현할 수 있다. 그림 4처럼 여수지역의 6일간 조석의 주기를 간단히 예로 나타내보면 조석의 주기는 일반적으로 sin 곡선의 형태를 이루고 있다. 작업가능시간의 산출방법은 만약 암초의 높이가 직선 A(높이 181m)라고 가정한다면 D의 폭은 M.S.L 이하의 암이 간출암이 되는 위치이므로 결국 작업가능시간이 된다. 조석은 B와 C의 거리 즉 24시간 50분의 주기를 가지고 운동하고 있다.

(4) 해당지역의 M.S.L을 기준으로 조건식을 적용하여 암의 위치가 M.S.L 이하로 되는 시간을 계산한다.

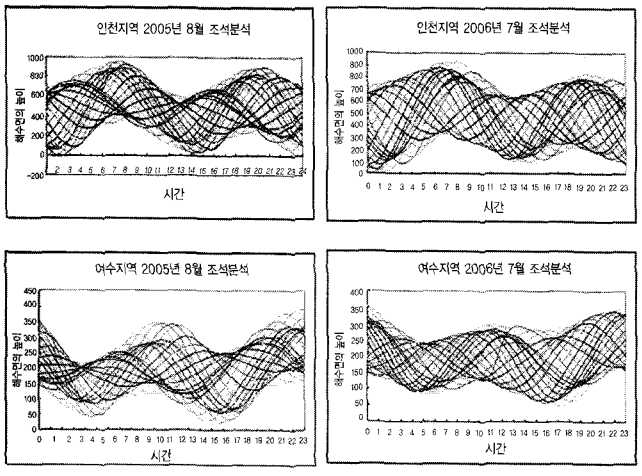
(5) 월별 작업가능시간 및 연간 작업가능시간의 분포를 분석하고, 최고점과 최저점이 되는 시간분포를 구한다.

(6) 작업가능시간에 따른 경제성 분석을 실시한다.

4. 작업가능시간 산정 방법을 통한 사례연구

3장에서 제시된 작업가능시간 산정 방법을 기준으로 인천/여수/부산/속초 지역에 대한 조석의 주기를 다음과 같이 분석하였다.

4.1 조석의 변화



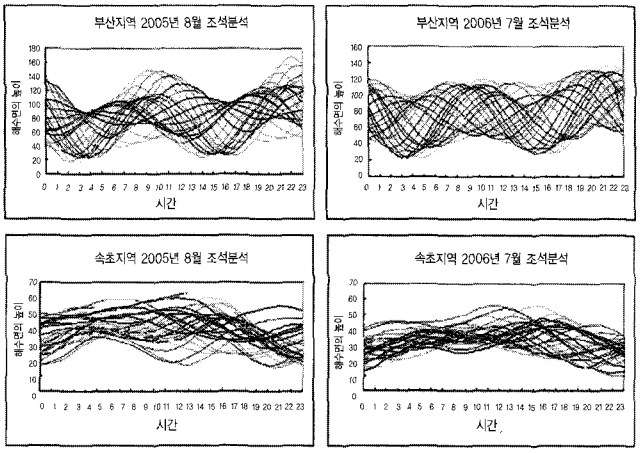


그림 5. 인천/여수/부산/속초 지역 1년간의 조석변화

조석관측소가 있는 국내 47개 현장의 자료조사가 가능하나 서해, 남해 그리고 동해의 대표지점으로 선정한 인천, 여수, 부산, 속초지역의 1년간(05년8월~06년07월) 조석변화를 그림 5와 같이 나타내었다. 매달 1일에서 말일까지의 조석의 변화를 나타내었으며 1년간의 해수면의 높이 변화와 최고조 및 최저조 시각을 파악하는데 도움이 된다.

표 9. 인천/여수/부산/속초 지역의 1년간 해수면 변화 및 최고조,최저조 시각

조사 지역	해수면의 높이		최고조 시각	최저조 시각
	최고	최저		
인천	350m	50m	10시,22시	3시,15시
여수	900m	0m	6시,18시	0시,12시
부산	170m	-30m	10시,22시	3시,15시
속초	60m	-30m	산정불가	산정불가

조석변화 그래프의 분석결과를 표 9와 같이 나타낼 수 있으며, 속초의 경우에는 뚜렷한 조석의 주기를 찾기가 어려울 만큼 1년간 조석의 변화가 일률적이지 않고, 진폭의 크기가 작아 조석을 이용한 해상공사 수행이 어렵다는 결론을 얻을 수 있었다. 따라서 작업일수 산정에 있어서 동해지역의 속초는 분석대상에서 제외하고 서해지역의 인천과 남해지역의 여수와 부산을 대상으로 분석하여 작업가능시간을 산출하였다.

4.2 작업가능시간 산출

본 연구에서는 국립해양조사원에서 발표한 2005년 8월부터 2006년 7월까지의 인천/여수/부산지역 조석을 분석하여 인천/여수/부산지역의 평균해면하 높이 464m(인천), 181m(여수), 65m(부산)를 기준으로 하는 가상의 암초가 있다고 가정하고 이

암초에 대한 1년간의 작업가능시간을 산출하였다. 작업가능시간의 산출기준은 현장에서 보통 오전 7시에 작업을 시작하여 오후 6시에 끝나므로 실제 작업시간으로 적용하였다. 인천/여수/부산지역의 조석 간만의 차를 이용한 해상공사는 적어도 464m(인천), 181m(여수), 65m(부산)이하에 있는 암초를 대상으로 이루어질 것이기 때문에 평균해면하 높이를 기준으로 분석한 결과는 최대의 작업시간이라고 판단할 수 있을 것이다.

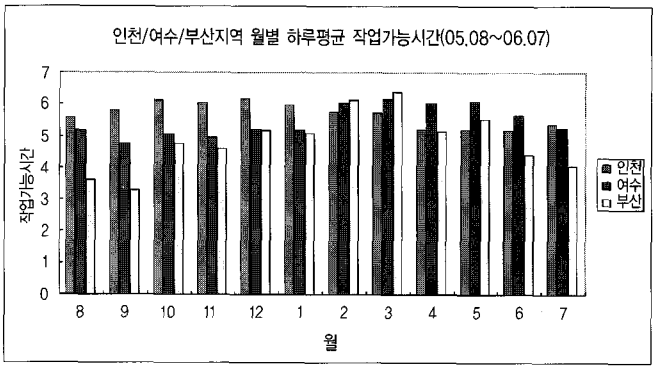


그림 6. 인천/여수/부산지역 월별 하루평균 작업가능시간

그림 6은 인천/여수/부산지역 월별 하루평균 작업가능시간이다. 분석결과 1년간 하루평균 작업가능시간은 5.68시간(인천), 5.46시간(여수), 4.85시간(부산)으로 산출되었다.

표 10. 인천/여수/부산지역의 최대 · 최소 작업가능시간

지역 \ 기준	최대 작업가능시간	최소 작업가능시간
인천	7.92 시간	2.74 시간
여수	11 시간	2.21 시간
부산	11 시간	0 시간

표 10과 같이 1년간 일일작업가능시간의 최대 · 최소 시간을 분석한 결과 최소 작업가능시간은 2.74시간(인천), 2.21시간(여수), 0시간(부산)이고 최대 작업시간은 7.92시간(인천), 11시간(여수), 11시간(부산)이었다.

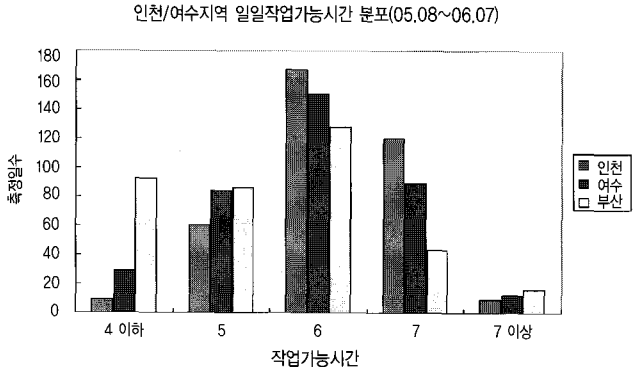


그림 7. 인천/여수/부산지역 일일작업가능시간 분포

그림 7은 인천/여수/부산지역의 1년간 일일작업가능시간에 대한 분포를 알아보기 위해 작성된 그래프이다. 분석결과 약 98%(인천), 71%(여수), 75%(부산)가 조석의 주기를 이용하여 5시간 이상 작업이 가능한 것으로 파악되었다.

4.3 경제성 평가

표 11. 조석의 주기를 이용한 암굴착 공사의 경제성 평가

분류		작업시간	1	2	3	4	5	6	7	8
인력굴착	연암	하루작업량	2.38㎥							
		하루공사비	463 (수상인력굴착 보통암 공사금액 대비가격)							
		작업량	0.43	0.85	1.28	1.71	2.14	2.56	2.99	3.42
		작업 비율(%)	18	36	54	72	90	108	126	144
		공사비 (%)	X	78	52	52	52	26		
	보통암	하루작업량	1.59㎥							
		하루공사비	468							
		작업량	0.33	0.66	0.99	1.32	1.64	1.97	2.30	2.63
		작업 비율(%)	21	41	62	83	103	124	144	165
		공사비 (%)	X	X	X	X	75			
장비굴착	연암	하루작업량	2.38㎥							
		하루공사비	463 (수상인력굴착 보통암 공사금액 대비가격)							
		작업량	0.78	1.56	2.34	3.12	3.9	4.68	5.46	6.24
		작업 비율(%)	33	66	98	131	164	197	229	262
		공사비 (%)	X	X	X	87				
	보통암	하루작업량	1.59㎥							
		하루공사비	468 (수상인력굴착 보통암 공사금액 대비가격)							
		작업량	0.56	1.12	1.68	2.24	2.8	3.36	3.92	4.48
		작업 비율(%)	35	70	105	141	176	211	246	281
		공사비 (%)	X	86	43					
	경암	하루작업량	1㎥							
		하루공사비	350 (수상인력굴착 보통암 공사금액 대비가격)							
		작업량	0.48	0.96	1.44	1.92	2.4	2.88	3.36	3.84
		작업 비율(%)	48	96	144	192	240	288	336	384
		공사비 (%)	X	86	43					

주) 위의 자료는 수중 암굴착 공사의 기준 대비 제시한 것이며, 작업비율 및 공사비는 수중 암굴착 공사의 하루 작업량과 하루 공사비를 100% 기준으로 할 때의 결과이다.

손창백 외(2002)는 현장의 불리한 입지조건과 불합리한 공법의 선택이 생산성을 저하시키는 요인 중에 하나이며, 이를 해결하기 위한 방안으로는 입지조건에 부합되는 공법을 선택하거나 적절한 공법을 개발해야 한다고 제시하고 있다. 공사를 진행할 때 공사 현장을 고려한 최적의 공사방법 선택은 공사비용의 절감 뿐만 아니라 작업자의 능률 및 공사기간의 단축 등의 효과를 가져올 수 있을 것이다.

표 11은 수중 암굴착 공사의 하루 작업량과 하루 공사비를 100% 기준으로 할 때, 조석의 주기를 이용하여 간출암시 수상작업으로 소형브레이커의 인력굴착과 대형브레이커의 장비굴착을 진행한 경우의 작업시간별 작업량과 공사비를 비교하여 정리한 것이다. 색칠되어 있는 부분이 바로 각 조건별 최적의 작업시간을 나타낸 것이다. 공사비에서 X로 표시된 부분은 수중 암굴착의 하루 공사비를 초과하는 경우이므로 경제적으로 고려대상이 되지 않아 따로 공사비 비율을 제시하지 않았다. 우선 인력굴착의 연암을 보면 간출암시 6시간의 작업시간을 확보했을 때 수중 암굴착의 약 108%의 작업량을 소화할 수 있고, 약 26%의 공사비로 공사를 마무리 할 수 있다. 장비굴착의 연암을 보면 4시간의 작업시간을 확보하면 약 131%의 작업량을 확보할 수 있고, 약 87% 공사비만이 필요한 것으로 나타났다.

표 11을 바탕으로 작업시간별 공사소요일수 및 수중 암굴착 공사를 100% 기준으로 했을 때의 공사비 비중을 그래프로 나타내었다. 단, 인력굴착의 보통암을 5시간 미만으로 공사를 진행하였을 경우 또는 장비굴착의 연암을 4시간 미만으로 공사를 진행하였을 경우에는 작업기간이 2일을 초과하게 되는데 이런 경우에는 수중 암굴착의 1일 작업량을 소화할 수는 있으나 공사비 측면에서 수중 암굴착보다 많은 공사비를 지불해야 하기 때문에 경제적으로 손해를 보게 될 수 있다. 따라서 인력굴착의 보통암은 1일 5시간 이상, 장비굴착의 연암은 1일 4시간 이상 작업시간

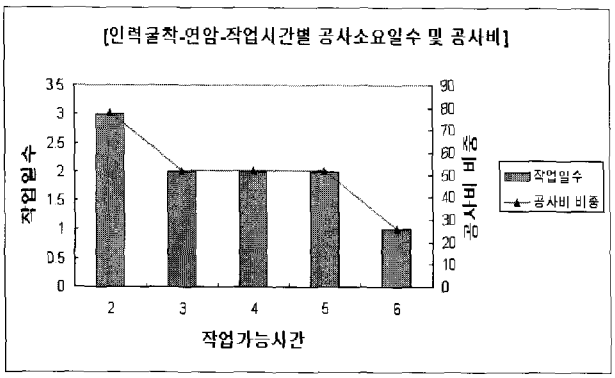


그림 8. 인력굴착-연암-작업시간별 공사소요일수 및 공사비

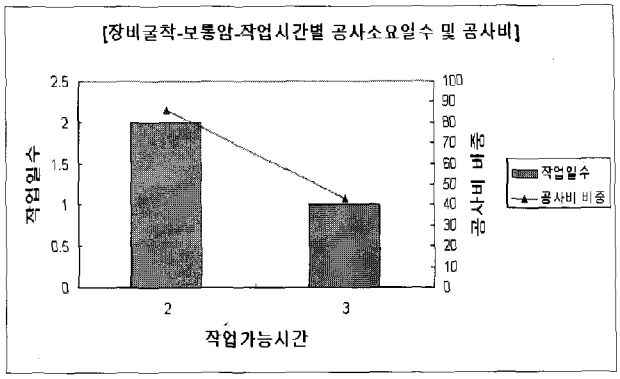


그림 9. 장비굴착-보통암-작업시간별 공사소요일수 및 공사비

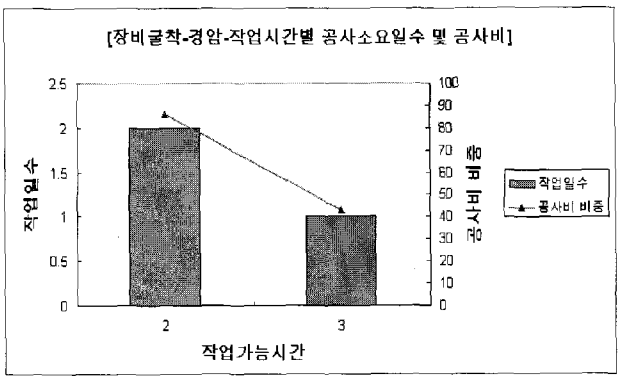


그림 10. 장비굴착-경암-작업시간별 공사소요일수 및 공사비

을 확보할 경우에 경제적으로 유리하게 된다. 자세하게 설명하자면 인력굴착의 보통암의 경우 작업시간 4시간 일때 작업비율은 수중 암굴착 공사 대비 83%를 완료할 수 있어 2일간의 작업기간 소요로 작업량을 모두 소화하게 되지만, 공사비의 경우 이미 수중 암굴착 공사의 하루 공사비를 초과하였기 때문에 경제성이 떨어지게 된다. 따라서 작업시간에 따라 소화할 수 있는 작업량과 공사비를 동시에 고려하여야만 가장 최적의 공사방법이 된다.

인력굴착의 연암과 장비굴착의 보통암, 경암에 대해서 작업시간별 공사소요일수 및 공사비의 비중을 그림 8, 9, 10과 같이 정리하였다. 그림 8을 예로 들어 설명하면 2시간의 작업시간을 확보하면 수중 암굴착 공사의 1일 작업량 대비 3일의 공사기간이 걸리지만 공사비는 수중 암굴착 공사비의 약 78%정도 필요하며, 3~5시간의 작업시간을 확보하면 2일의 공사기간이 필요한 대신 공사비는 수중 암굴착에 비해 약 52%가 요구된다는 것을 알 수 있다. 이처럼 3~5시간의 작업시간이 동일한 경우에 공사비 비중이 같은 이유는 설계적 기준과 달리 현장에서는 현장에 투입되는 인력과 장비에 대해 작업시간과 상관없이 하루 일당 및 경비를 지불하기 때문에 그림 8에서 제시한 작업시간이 3~5시간으로 시간적 차이를 보인다고 할 지라도 모두 같은 2일의

작업일수를 요구하기 때문에 결과적으로 동일한 공사금액을 필요로 하게된다. 따라서 앞서 설명한 바와 같이 인력굴착의 보통암과 장비굴착의 연암을 제외하고는 그림 8, 9, 10의 작업가능시간을 고려하여 작업일수를 우선으로 할지, 공사비의 비중을 우선적으로 선택할지를 공사관리자는 결정해야 한다. 인력굴착의 연암의 경우를 예로 들면 공사기간을 우선시 해야 한다면 하루 6시간 이상의 작업가능시간을 확보할 수 있는 조석의 주기를 선택하여 공사를 진행하면 되겠지만, 공사기간의 제약이 적은 경우라면 공사기간이 더 소요되더라도 최소 하루 2시간의 작업가능시간만 확보하면 될 것이다. 다만, 총 공사비와 공사기간의 산정은 여러 공종의 복합적인 작용으로 결정되는 문제이기 때문에 공사계획시 종합적으로 판단하여 최적의 방안을 결정할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 조석의 주기를 이용한 공사의 작업가능시간 산정 방법을 제시하여 조석의 주기를 파악하고 작업가능 시간을 산정하여 기존의 수중 암굴착 공사의 설계 금액과 비교하였고, 조석의 주기를 이용한 작업의 작업가능시간별 경제성 분석을 실시하여 현장 여건에 적합한 공사가능시간을 결정할 수 있도록 대안을 제시하였다. 이는 현장여건을 고려하지 않고 단순히 평균해수면(M.S.L)을 기준으로 수상 및 수중작업을 결정하는 설계적 방법 보다는, 조석의 주기를 이용하여 암이 간출되었을 때 수상작업으로 공사를 진행하게 되어 수중 작업에 비해 작업효율 증가, 작업자의 안정성 증대, 공사비 절감 등의 효과와 더불어 경제적인 효과를 볼 수 있게 된다.

사례 연구를 통해 인천/여수/부산지역의 연간 하루평균 작업가능시간은 5.68시간(인천), 5.46시간(여수), 4.85시간(부산)으로 산출되었다. 그리고 1년간(05년8월~06년7월) 일일작업가능시간에 대한 분석결과 약 98%(인천), 71%(여수), 75%(부산)가 조석의 주기를 이용하여 하루 5시간 이상의 작업이 가능한 것으로 파악되었고, 경제성 평가에서 제시한 작업가능시간과 공사비에 대한 대안을 적용할 수 있는 충분한 작업가능시간이라고 할 수 있다.

조석의 주기를 이용한 암굴착의 경제성 평가 결과 인력굴착의 연암/보통암은 각각 6시간, 5시간 그리고 장비굴착의 연암/보통암/경암은 각각 4시간, 3시간 그리고 3시간의 작업시간을 확보했을때 최적의 경제적 효과를 거둘 수 있었다. 이는 조석의 주기를 이용한 공사는 수중으로 암굴착을 공사하는 것보다 훨씬 경제적이면서도 작업자의 안전성을 높일 수 있는 효율적인 공사라는 점을 검증한 결과이다.

마지막으로 본 연구는 조석의 영향으로 조석간만의 차가 세계적으로 유난히 심한 우리나라의 해상 조건을 이해하고, 조석의 주기를 이용한 공사의 작업가능시간 산정 방법을 제시하여 조석의 주기를 이용한 공사를 진행하면 경제성 및 안전성에서 우수하다는 공사의 방법론을 제시하고 있다. 해상 암굴착 공사는 M.S.L 이하는 모두 수중으로 설계되고 있는 것을 다른 시각에서 접근해 보고 대안을 제시해 봄으로써 공사 계획 수립에 유연성을 줄 수 있다는 점에서 충분히 의미 있는 일이다. 실제로 잠수부가 작업할 수 있는 시간은 단순히 물에 잠겨 일하는 시간이 아니기 때문에 서해와 남해의 큰 조석차를 고려하면 빠른 유속과 시야확보의 어려움 그리고 작업능률저하로 인한 생산성 감소 등의 문제가 발생한다. 이를 검증하기 위해 국내의 여러 현장에 대해 현장실사 및 공사관리자와의 면담을 실시 하였고 그 결과 수중작업시 공기를 고려하더라도 잠수부만의 투입은 많은 어려움을 겪고 있는 것으로 조사되었다. 결국 조석의 주기를 이용한 암굴착 공사는 공기문제를 효율적으로 해결할 수 있고, 경제성 및 안전성을 확보한 공사방법이라는 결론을 얻었다. 이는 본 연구의 주제에 대한 해외 및 국내에서 참고할 만한 논문 및 자료가 부족한 현실을 고려해 볼 때 본 연구의 필요성은 더욱 부각된다고 할 수 있다.

향후 해상공사의 공사기간 산정에 영향을 줄 수 있는 기후, 조속, 조위, 파랑 등의 인자들을 종합적으로 분석하여 최적의 착공시기 및 정확한 공기산정을 위한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 육일동, "해상구간 장대 강교량의 가설공법에 관한 연구", 건설기술정보, 한진중공업, VOL.32, 2002
2. 조덕인 외 3인, "복합 S.R.C 공법과 CAISSON 진수 및 거치 사례", 건설기술정보, VOL.39, 2005
3. 한진중공업, "플로트 매팅 방식에 의한 중량물 선적방법 및 장치", 건설기술정보, 한진중공업, VOL.28, 2000
4. 서재화 외 1인, "인천국제공항 연육교(영종대교) 가설공법 적용사례", 건설기술정보, 한진중공업, VOL.26, 1999
5. 정인수 외 3인, "군시설 공사의 순공사기간 예측모형에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 2000
6. 김정웅 외 3인, "영종대교 복층 Warren Truss 해상구간 가설공법", 학술발표대회 논문집, 한국건설관리학회, 제2회, 2001
7. 손창백 외 1인, "건축공사의 생산성 저하요인 분석", 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 18권 12호, 2002

8. 한국건설기술연구원, "2006 건설공사 표준품셈", 건설교통부, 2006
9. 해운항만청, "항만공사적산표준예", 1994
10. 한국물가정보, "종합 물가정보", 한국물가정보, 2006
11. 한국물가협회, "월간 물가자료", 한국물가협회, 2006
12. 국립해양조사원 조석정보

논문제출일: 2007.05.11
심사완료일: 2007.08.06

Abstract

The rock excavation work on the sea is planned as underwater process if the elevation of the rock is lower than the M.S.L.(Mean Sea Level). However, in case of West and South sea which are largely different between the rise and fall of the tide, the earth work can be performed on the ground while the work surface is exposed above the sea according to the tide cycle. Thus, it may a good substitute to make up for shortcomings of underwater construction works such as safety problems of workers, loss of efficiency and increasement of construction costs. But the difference between the height of the rock excavation surface and the water surface changed by the tide makes the exposure time of work surface, that is the possible working hours be changed. Also, it may cause the changes of construction cost. Thus, this study analyzes the economical efficiency of the construction method using the difference between the rise and fall of the tide in comparison with the construction method which is performed under the sea, and it also suggests the way to analyze the economical working hours by estimating the possible working hours on the ground. We also try to find out the application possibility of the way like the rock excavation work on the sea using the difference between rise and fall of the tide.

Keywords : Marine Construction, Underwater Rock Excavation, Tide, possible working hours