

연약지반에 축조하는 강제치환 호안사석의 시공관리방법에 관한 연구

김유성¹⁾, You-Seong Kim, 박병갑²⁾, Pyung-Gab Park

¹⁾ 전북대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University

²⁾ 대림산업(주) 과장, Section chief, Daelim Industrial Company

SYNOPSIS : In order to construct extremely large scale of sea dike like Saemanguem dike, extremely large amount of mass of rock are needed. In this case, it is general methods to estimate required amount of rock mass based on characteristics of consolidation settlement and bearing capacity of seabed, because it is impossible to estimate exact amount of rock material based on varied seabed condition.. Even in this general methods, it is very few case to manage rock mass amount by estimation of actual input rock mass but the main point is focused on the final section formation considering of designed section and reserve embankment, so excessive or underestimating result of rock mass would be occurred surely. This general methods is not resonable in the points of economic and stable. In this study, optimum construction management method of rubble mound in the 3rd section construction of Saemanguem sea dike is suggested based on comparing required rock mass estimating from consolidation settlement theory with actual input rock mass. It is found out that the optimum input quantity of rock mass is about 1,900~2,000m³/day.

Keywords : soft ground, repalcement method, shore riprap, constuction management

1. 서 론

서해안 간척사업의 일환으로 추진하고 있는 새만금 지역은 행정구역상 전라북도 군산시와 부여군 등에 속하는 금강 하류지역으로, 군산과 변산반도를 잇는 세계 최장 길이의 방조제를 축조하고 그 내부를 매립하여 육지를 조성하는 사업이 진행중에 있고, 동 사업을 위한 조사는 20년 전인 1987년부터 시작되었으며, 현재는 방조제의 체질이 완료된 상태이다. 방조제는 당초 설계당시 제1호 방조제부터 제5호 방조제까지 나누어져 설계가 이루어졌으며, 고군산 군도에 속하는 신시도와 야미도를 잇는 방조제는 당시 제4호 방조제로 불리워졌으나 지금은 제3방조제로 불리고 있다. 신시도와 야미도를 잇는 제3방조제는 축조가 완료되었으며, 현재는 제3방조제 내측 매립을 위하여 제3방조제에서 동측으로 약 500m 떨어진 곳에 호안을 축조하여 투기장을 조성하고 그 내부에 준설토를 매립하여 부지를 조성 중에 있다. 이러한 대규모 간척사업의 방조제 등을 축조하기 위해서는 많은 토석이 필요하나 해저 지반상태에 따른 정확한 토석량 산정이 불가능하므로 호안사석 지반의 압밀침하 특성 및 지지력에 근거한 소요필요량을 산출하여 적용하는 방법이 일반적이나, 이 경우 실제 투입량을 산정하여 관리하는 경우는 드물고, 설계단면과 여성을 고려한 최종단면 형성에만 주안점을 두게 되어 결과적으로 설계 토석량 보다 과다하게 투입되는 경우나 또는 과소하게 투입되는 경우가 발생하게 된다. 일반적인 투입량 관리방법은 경제적, 안정적 측면에서 합리적이라 할 수 없으므로, 본 연구에서는 압밀침하이론에 근거한 소요 토석량과 설계 투입량을 비교 분석하여 합리적인 호안사석 시공관리 방법에 대해 검토하였다. 본 논문에서는 새만금 제3호방조제 호안의 지반 특성을 분석하여 지지력과 압밀침하 특성에 따른 강제치환 심도를 산정하고, 실 시공시 투입되는 사석량을 확인하고, 지반특성 별 투입 사석량의 이론적 계산값과 실제 투입량을 비교 분석하여 호안사석의 최적 시공관리 방법을 도출하였다.

2. 지반특성분석

2.1 토층구분 및 zoning

새만금 제3호 방조제 지역은 신시도와 야미도 사이를 흐르는 주조류 인근 지역으로서 육지에서도 가장 멀리 떨어져 있으며 수심도 19m 정도까지 비교적 깊게 나타나고 있다. 따라서 새만금 전체지역 중에서 가장 연약한 토질이 퇴적되어져 있는 것으로 판단되며, 동서로 발달된 주조류로 인하여 동서 방향으로 는 퇴적물의 입도차이가 있을 것으로 판단된다. 지반조사 결과를 이용한 연약층 두께를 그림 2.1에 나타 내었고, 지역zoning 결과를 그림 2.2에 나타내었다.

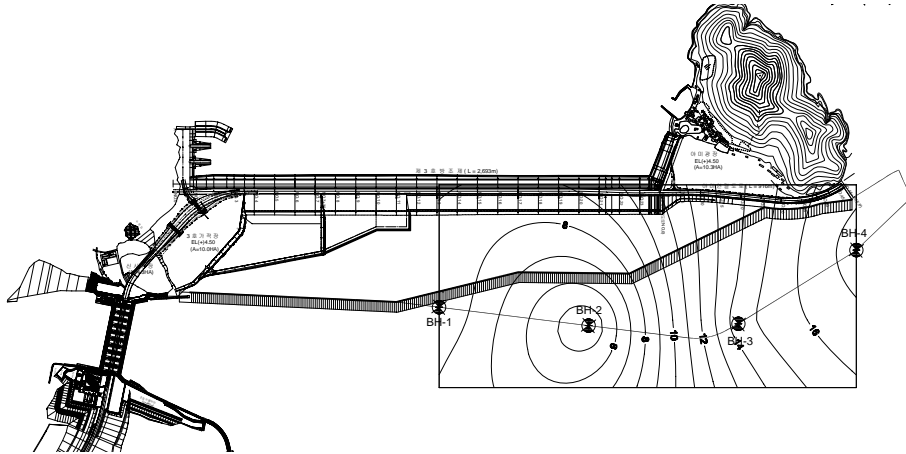


그림 2.1 연약층 두께 Contour

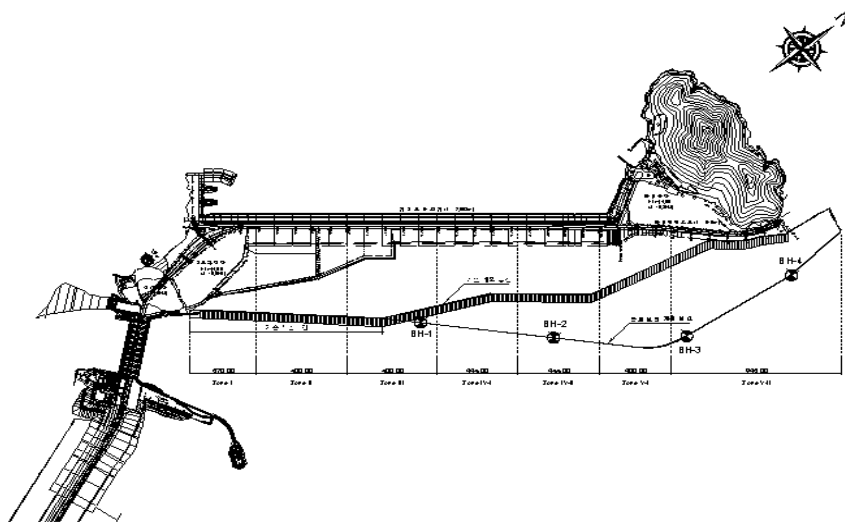


그림 2.2 제3호 방조제 지역 Zoning

2.2 실내시험 성과

동 지역의 토층은 주로 실트질 모래가 주를 이루고 있으며, 상부층은 실트질 점토 및 점토질 실트층 이 분포하고, 이 상부 토층에서 채취한 불교란 시료의 압밀 및 전단시험성으로부터 역학적 특성을 산정 한 결과를 그림 2.3과 2.4에 나타내었다. 실트질 점토 및 점토질 실트층의 비중은 2.66~2.72, 자연함수비 는 29.32~36.93%, 액성한계 25.3~32.5%로 나타났으며, 통일분류법으로 볼 때 CL, ML 및 MH 계열로 분 류된다. 상기층의 압축지수는 0.10~0.31의 범위로 평균 0.206으로 나타났으며, 비배수 전단강도는 0.8~

2.8tf/m²으로 산정되었다.

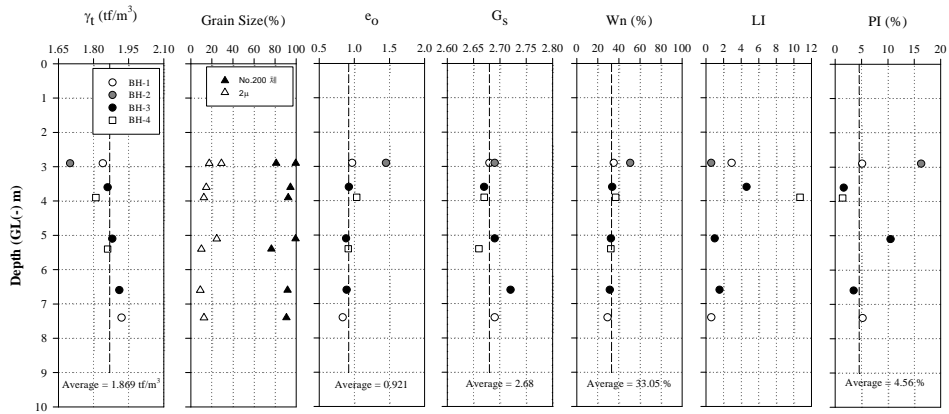


그림 2.3 심도별 기본 물성치

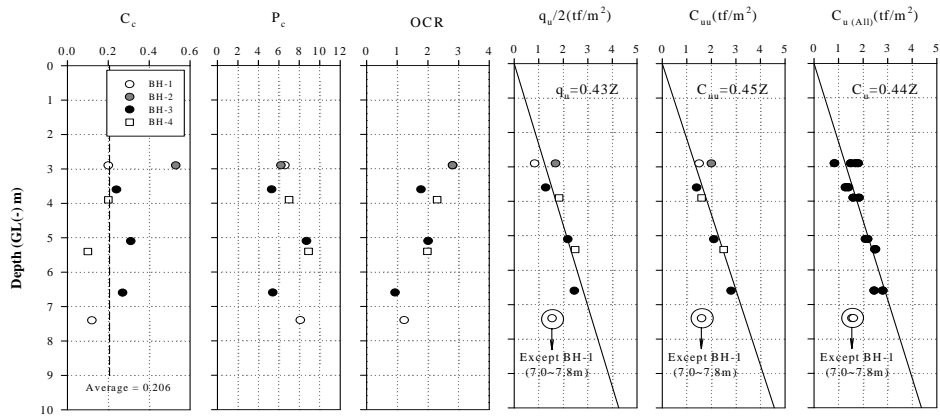


그림 2.4 심도별 역학 물성치

2.3 호안 축조용 재료 및 준설 매립토 물성치

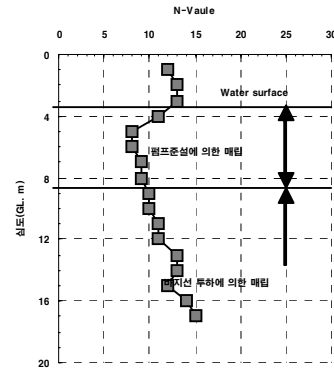
내측호안 축조를 위하여 사용되는 사석재는 신시도에서 채취한 것으로 표 2.1과 같은 물성치를 나타내고 있으며, 펌프준설에 의한 준설매립토는 일본 Ohgishima Reclamation Project의 Hydraulic Fill에 의한 사질토의 매립시 N치 분포 경향을 참조하여, 표 2.2와 같은 물성치를 적용하였다.

표 2.1 호안 축조용 재료의 물성치

항 목	물 성 치			비 고
	채체머력 및 압사석	Filter Stone	피복석	
습윤단위중량	1.8 tf/m ³	1.8 tf/m ³	1.8 tf/m ³	
포화단위중량	2.0 tf/m ³	2.0 tf/m ³	2.0 tf/m ³	
점착력	-	-	-	
내부마찰각	35°	40°	40°	
탄성계수	50 kgf/cm ²	70 kgf/cm ²	140 kgf/cm ²	E(kgf/cm ²)=7N
프아송비	0.3	0.3	0.3	

표 2.2 펌프준설에 의한 매립토의 물성치

항 목	물 성 치	비 고	Hydraulic Fill에 의한 매립 모래층의 N치 (일본 Ohgishima Reclamation Project)
습윤단위중량	1.8 tf/m ³		
포화단위중량	1.9 tf/m ³		
점착력	-		
내부마찰각	25°	$\phi = \sqrt{(12 \times N)} + 15$	
탄성계수	35 kgf/cm ²	$E(\text{kgf/cm}^2) = 7N$	
프아송비	0.4		
비중	2.65		
함수비	31.4%		
간극비	0.83		
평균N치	8		



3. 호안사석 축조시 관리방법

3.1 Zone별 시공현황

도출된 강제치환사석이 적용된 호안축조 단면량과 실제 사석 투입량을 비교하여 이론치 및 실측치를 비교한 결과를 표 3.1에 나타내었으며, 시공량에 따른 단면량을 계산해보면 Salencon이 제시한 침하량보다 약 -5~20%까지 변화가 발생한다. 이는 호안사석의 축조속도 및 압사석 시공시기, 배후부지 매립시기 등의 복합적인 요소로 발생할 수 있으나, 본 논문에서는 시공속도에 따른 침하량의 변화를 검토하였다. 일별 투입량에 따른 설계량 대비 투입량 비율의 변화는 다음 그림 3.1과 같이 산재해서 나타나는 경향을 볼 수 있다. 이것은 100m마다 설계단면을 작성하여 양단면 평균량 산정방식으로 산출하기 때문에 설계량 대비 실투입량을 확인하는 것은 불가능 할 것으로 판단된다. 따라서, 투입량에 따른 설계-투입비율을 산정하기 위해서는 설계량 산정 시 적용하였던 100m 간격의 평균투입량을 확인하여 적용할 필요가 있다. 이 결과를 그림 3.2 및 그림 3.3에 나타내었다. 그림 3.2에서 알 수 있듯이 호안사석의 축조속도에 따른 설계-투입 비율은 연관성이 없는 것으로 나타났다. 이는 축조구간별 설계량 및 사석 투입량이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 그림 3.3에서 보는 바와 같이 설계-투입비율은 사석의 투입량에 따라 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 사석의 투입량이 증가하면 초기침하가 급격하게 발생하는 것이 가장 큰 원인으로 판단된다. 또한 설계-투입비율은 축조속도보다 사석의 투입량에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

표 3.1 Zone별 시공현황

구 분	ZoneIII	ZoneIV-I	ZoneIV-II	ZoneV
거 리	305m	447m	450m	1,149m
작업기간	'08.11.6~12.9	'08.11.6~'09.1.1	'08.12.30~'09.2.9	'09.1.16~7.2
작업일수	34일	73일	41일	167일
설계량(A)	66,491m ³	132,422m ³	196,464m ³	563,962m ³
작업량(B)	79,572m ³	126,435m ³	239,848m ³	675,374m ³
B/A×100	119.67%	95.48%	122.09%	119.76%
투입량(일)	2,340m ³ /일	1,731m ³ /일	5,850m ³ /일	4,044m ³ /일
축조속도(일)	8.97m/일	6.12m/일	10.98m/일	6.88m/일
연약층깊이	9.0m	5.5m	5.5m	14.6m
강제치환깊이	3.5m	3.1m	3.5m	4.6m/5.7m
실제치환깊이	4.7m	2.8m	5.5m	5.6m/6.7m

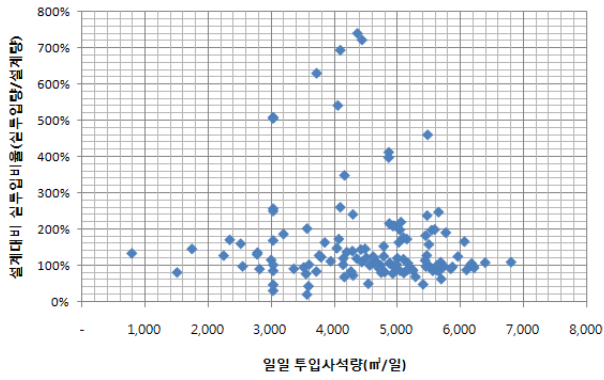


그림 3.1 일일 투입사석량에 따른 실투입비율

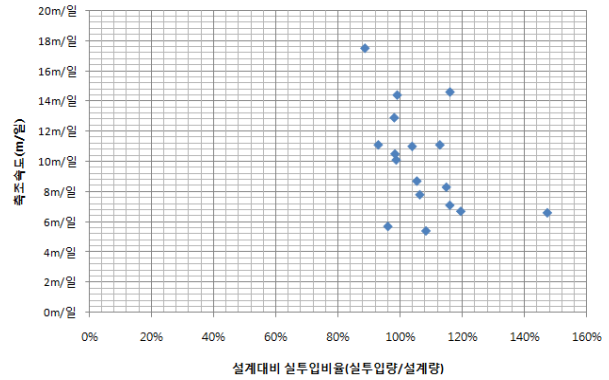


그림 3.2 축조속도에 따른 실투입비율(100m)

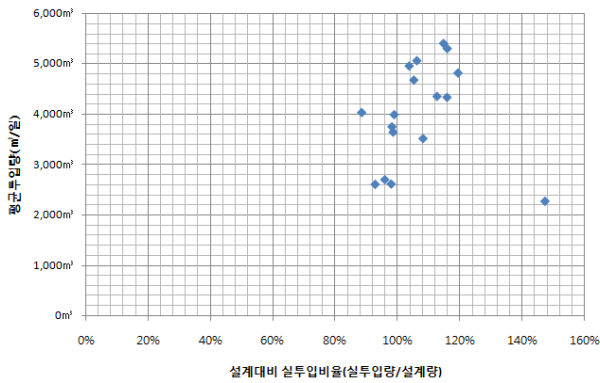


그림 3.3 평균투입량에 따른 실투입비율(100m)

3.2 시공속도에 따른 투입량 변화

Zone별 투입량 대비 설계-투입 비율은 그림 3.4, 3.5에서 볼 수 있듯이 일정한 량이 증가하면 더 이상 증가되지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 급속하게 호안을 축조하더라도 초기침하가 진행된 뒤에는 추가 침하가 진행되지 않는다는 것을 보여준다. 그러나 급속시공 시에는 강제치환심도가 이론치보다 깊어지는 것을 알 수 있다. 사석설계량 대비 투입량을 확인해보면 치환심도 추정치가 가능하고, 이에 따라 실제 치환심도를 산출해보면 ZoneIII에서는 4.7m ZoneIV-I은 2.8m, ZoneIV-II는 5.5m, ZoneV-I은 5.6m, ZoneV-II는 6.7m로 ZoneIV-I을 제외한 전구간에서 예상침하심도보다 크게 나타났다.

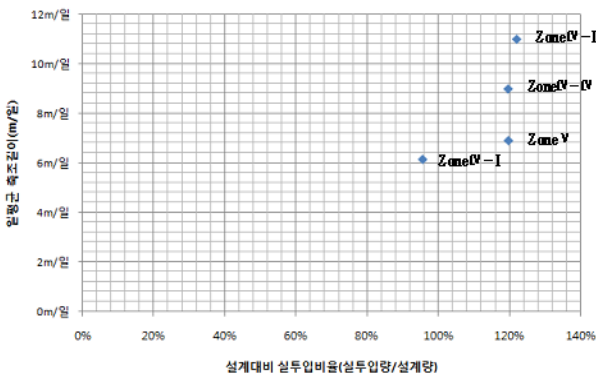


그림 3.4 축조속도에 따른 실투입비율

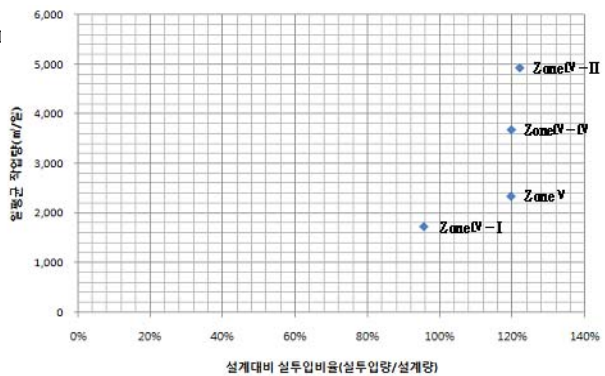


그림 3.5 평균투입량에 따른 실투입비율

3.3 호안사석 축조시 합리적인 사석투하량 검토

호안사석 축조 설계 시 지반의 상태조사를 통한 침하심도를 결정하여 설계수량을 산정하나, 실제 시공 시에는 공사방법 및 속도, 일일 작업량에 따라 설계수량대비 투입량이 가감되는 것을 알 수 있다. 위와 같은 사항을 고려하여 새만금 제3호 방조제 내측부지조성에 따른 호안사석 축조의 일별 투입량을 검토하여 최적 투입량(축조속도)을 검토하였다. 사석의 최적 투입량은 설계량 대비 100% 투입량이 될 때가 최적이므로 그림 3.6에서 나타나듯이 약 1,900~2,000(m³/일)씩 축조하는 것이 가장 합리적인 시공방법이라 판단된다. 설계량 대비 100% 이하의 투입량으로 시공한다면 시공시 사석량의 절감으로 단기간의 경제성은 좋을 수 있지만, 장기압밀침하량이 커져 시공완료 후 추가 침하 발생폭이 커질 것으로 예상되며, 100% 이상일 경우에는 장기압밀침하량은 줄어들 수 있어도 사석량이 설계보다 많아져 비경제적이다.

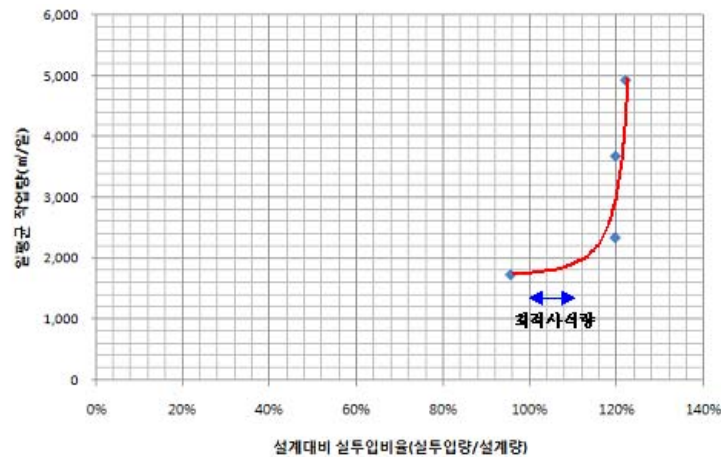


그림 3.6 최적 일일 사석투하량

4. 결론

“새만금 제3호 방조제” 내측의 연약지반에 조성되는 친환경부지 호안사석의 지반지지력과 압밀침하특성에 근거하여 산정된 강제치환사석 및 실제 사석투입량을 비교 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 연약지반 호안사석 축조 해저연약지반의 강제치환심도는 Zone별(Ⅲ~Ⅴ)로 3.1m부터 최대5.7m로 호안전체 단면의 30%이상을 나타내었다.
- 2) 호안사석 축조시 설계대비 사석 투입비율은 단위기간별 축조길이와의 연관성은 작고, 단위기간별 사석투입량에 따라 증가하는 것으로 나타나고 있는 있으나, 일정 투입량 이상이 되면 일정한 값으로 수렴하는 것으로 나타났다.
- 3) 단위 기간당 사석투입량이 증가하면 초기침하량도 증가하나 일정 투입량이 이상이 되면 더 이상 초기침하가 이루어지지 않는다.
- 4) 호안사석 축조 시 초기침하, 장기압밀침하 및 경제성을 고려할 때 최적 투입수량은 약1,900~2,000(m³/일)로 판단된다.

참고문헌

1. 농림수산부 농업진흥공사(1988), “새만금지구 간척종합개발사업 기본조사보고서”, 87~88년 지질조사보고서 제5권
2. 농림수산부 농업진흥공사(1990), “새만금지구 간척종합개발사업 기본조사 지질조사보고서(Ⅱ)” 89~90년 지질조사보고서
3. 대림산업(주)(2008), “새만금 간척개발사업 외곽시설 제3호 방조제 친환경 부지 계측결과에 의한 장래 침하량 산정”
4. 대림산업(주)(2007), “새만금 간척개발사업 외곽시설 제3호 방조제 친환경 부지 강제치환 호안의 안정성 및 매립에 따른 압밀침하 검토”
5. 대림산업(주)(2008), “새만금 간척개발사업 외곽시설 제3호 방조제 친환경 부지 강제치환 호안의 안정성 및 매립에 따른 압밀침하 검토(Ⅱ)”
6. 이종영(2002), “연약지반상에 호안 축조시 강제치환 심도산정에 관한 연구”, 중앙대학교 건설대학원 석사학위논문
7. 손성오(2006), “연약지반상에 축조된 호안제체의 안정성 연구”, 연세대학교 건설대학원 석사학위 논문
8. 박주원(1997), “연약지반에 설치된 호안구조물의 안정해석에 관한 연구”, 조선대학교 대학원 석사학위 논문