

해상 교량기초의 육상화 구간 시공성 향상을 위한 가축도 설계 개선 사례



심 승 보
현대산업개발(주)
토목설계팀 부장



김 의 성
현대산업개발(주)
토목설계팀 부장



안 창 운
현대산업개발(주)
토목설계팀 대리
(cyahn@hyundai-dvp.com)

1. 서론

최근 몇 년간 해상 장대교량이 다수 계획·설계·시공되고 있다. 이러한 교량 프로젝트를 수행함에 있어 상부 구조물인 교량의 형식, 경간장 등이 매우 중요하다. 하지만, 최근 교량을 지지하고 있는 기초의 중요성이 점점 부각되고 있다. 이는 해상이라는 위치상의 특수성과 이로부터 비롯되는 하중규모, 지반조건, 시공성 등의 복합적 요인 때문이다. 실제로 프로젝트를 진행하다 보면 상부구조물과 거의 동등한 공사비가 기초공에서 산정되는 경우가 종종 발생한다.

본 기사에서는 압해~암태간 도로건설공사 해상교량의 수심에 따른 말뚝기초공 시공방안을 소개하고자 한다. 특히, 저수심 구간에서 가축도를 이용한 현장타설말뚝의 육상화 시공방법과 시공성 및 경제성 향상을 위하여 새롭게 적용한 설계 개선 사례를 위주로 기술하고자 한다.

2. 사업 개요

압해~암태간 도로건설공사는 전라남도 목포시 신안군의 압해도와 암태도를 해상 장대교량으로 연결하는 사업이다. 총연장 10,800km의 왕복 2차로 도로로써 그림 1과 같이 해상에서 공구 분할하여 설계되었으며, 보조항로교의 1공구(L=5,050km)와 주항로교인 2공구(L=5,750km)로 이루어져 있다. 1공구는 3주탑 사장교를 포함하고 있으며, 당사가 참여한 2공구는 주경간장 600m의 1,100m 2주탑 사장교와 FCM, MSS로 2원화된 시공법을 채택한 PSC BOX 접속교 2,540m로 이루어져 있다.

당초 기본계획에서 파악된 지층조건은 연약점토층의 층후가 얇고, 기반암이 조기에 출현할 것으로 예상되었다. 그러나, 시추조사를 수행해본 결과 기반암 심도가 매우 깊은 것으로 나타났으며, 일부 구간에서는 기반암 심도가 최대 60m 이상 되는 것으로 조사되었다. 따라서, 원안 설계와 같이 교각이 많을 경우 말뚝기초 공사비가 매

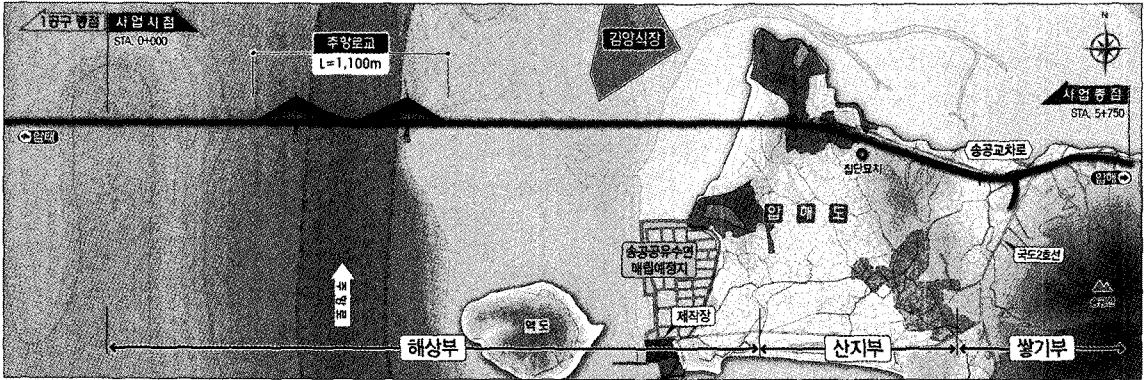


그림 1. 평면 현황

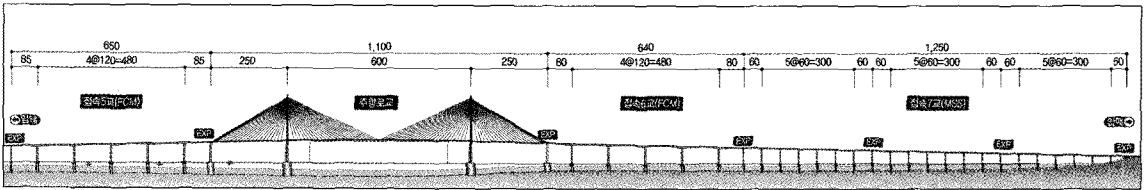


그림 2. 원안 기본계획(안)

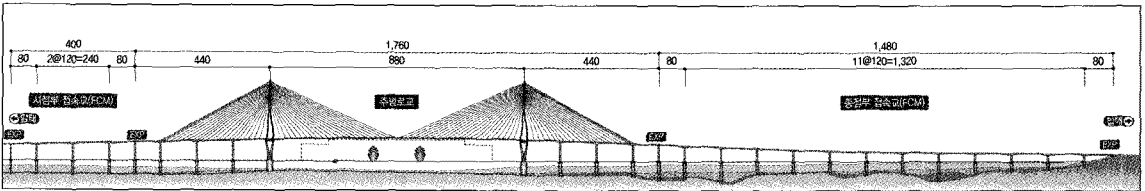


그림 3. 기본설계(안)

우 과다하게 선정되는 문제가 발생하였다. 또한, 교각수가 많을 경우 해상작업이 많아지기 때문에 시공성과 공사 기간에 많은 문제점을 야기할 우려가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 기본설계에서는 상부 구조물의 경간장을 증대하여 교각수를 축소하였다. 종점측 접속교의 경간장 60m MSS공법을 경간장 120m FCM공법으로 변경하였다(그림 2 및 3).

3. 해상 교량기초 시공 계획

종점부 접속교 구간은 수심이 얕고 해저면 경사가 완만하며 조수간만의 차이로 수위변동이 크기 때문에 Barge를 이용할 수 있는 최저수심인 3.0m(홍수 2.5m + 여유수

심 0.5m, 그림 5 참조)를 확보하지 못하는 구간이 존재한다. 그림 4와 같이 수심조건에 따라 현장타설말뚝 시공 계획을 해상 구간과 육상화 구간으로 이원화 하였으며, 육상화 구간은 573m가 필요한 것으로 검토되었다.

해상 구간의 교량기초 시공은 Sheet Pile을 이용한 물막이후 현장타설말뚝과 Footing 타설을 할 수도 있다. 그러나, 본 과업구간과 같이 수심이 10~20m에 이르고 상부지층이 연약점성토인 경우 시공성 및 경제성이 극히 불량하다. 따라서, 그림 5와 같은 희생강판 + PC House를 이용한 시공계획을 수립하였다.

육상화에 의한 교량기초 시공구간은 설계조건에 따라 다양한 방안이 적용가능하며, 시공성과 안정성을 모두 확보할 수 있도록 다각도로 검토하였다.

해상 교량기초의 육상화 구간 시공성 향상을 위한 가축도 설계 개선 사례

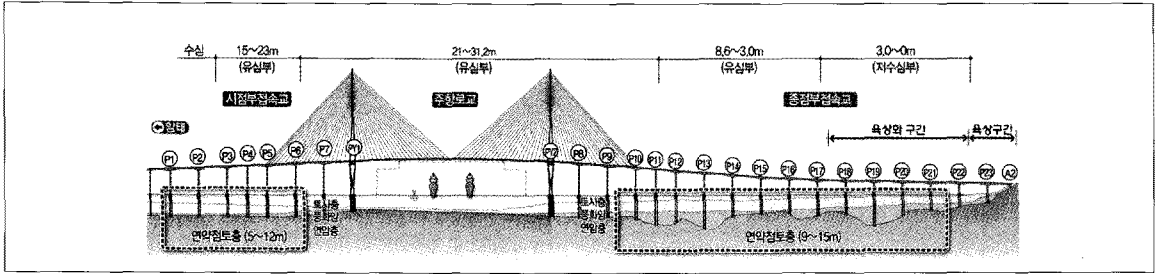


그림 4. 수심에 따른 교량기초 시공계획

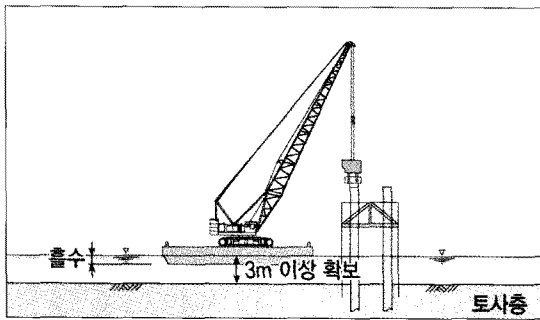


그림 5. 해상구간 시공개요도

압이상 기반암 심도가 최대 60m에 이르고 암선의 변화가 심하며, 지반 상부에 연약점토층이 1.0~11.0m의 층후로 분포하고 있어 육상화 시공방안의 선정 및 안정성 확보에 어려움이 있었다(그림 6참고).

육상화 방안은 크게 가축도와 가교 설치가 고려 되었으나 과업구간의 경우 상부 퇴적층의 심도가 최대 24.5m로 매우깊어 가교의 안정성(연직 및 수평지지력) 확보가 불가능한 것으로 검토되어 가축도에 의한 육상화 계획을 수립하였다.

4. 육상화 시공방안

4.1 가축도 공법 결정

육상화구간이 포함되어 있는 종점부 접속교구간은 연

가축도 제체는 재료에 따라 토사제체와 사석제체로 구

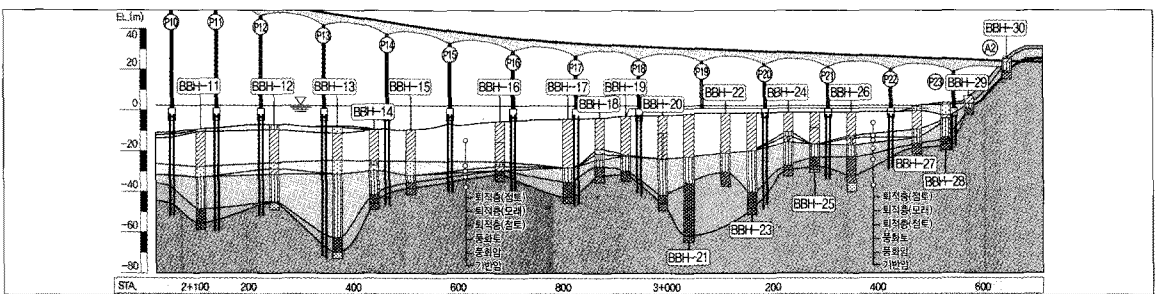


그림 6. 종점부 접속교 지반조건

표 1. 종점부 접속교 지반조건

구 분	퇴적층	중화토	중화암	연 암	경 암
토성/암종	CL, SW, SM	SM	-	회강심록암	회강심록암
출현심도(m)	0.0	1.7~24.5	6.0~55.0	6.0~60.0	28.2~62.2
층 후(m)	6.8~24.5	2.1~31.4	0.6~26.0	≥1.5	≥1.3
N치(TCR/RQD)	1/30~50/26	9/30~50/11	50/10~50/3	47~100/0~48	100/66~88
지반특성	• 퇴적층 상부 : 연약 점토층 존재 • 연약 점토층 : 층후 1.0~11.0m, N치 1/30				

표 2. 가축도 시공방안

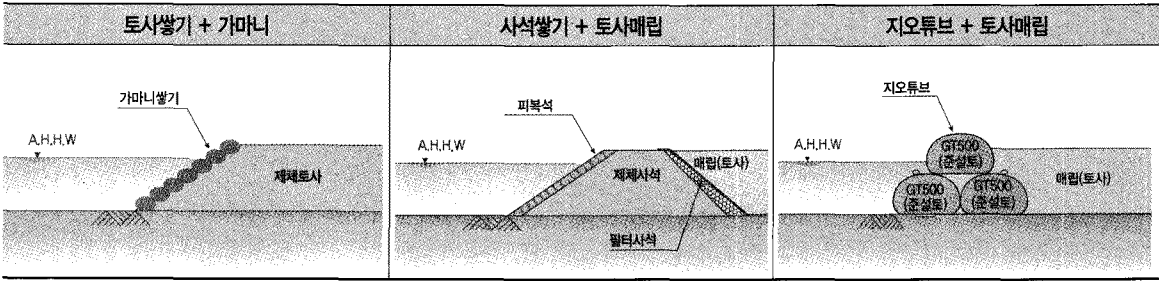


사진 1. 지오투브를 이용한 가축도(인천대교)

연약점토층 개량공법으로는 DCM, 해상 SCP, 강제치환 등이 적용될 수 있으나, 가축도 적용구간이 수심 3.0m 이하의 저수심 구간이므로 DCM, 해상SCP 장비 운영이 불가능하며 강제치환이 연약지반 개량공법으로 가장 적합하였다. 따라서, 연약지반의 강제치환이 불가능한 지오투브는 제외되고 “사석쌓기+토사매립”으로 가축도 공법을 결정하였다.

4.2 가축도 단면 개선

분할 수 있으며, 제체 시공시 조류에 의한 유실 방지를 위한 표면 보호공에 따라 공법을 구분할 수 있다. 기본설계에서는 표 2에 보여진 바와 같이 토사쌓기+가마니, 사석쌓기+피복석+내부 토사매립, 지오투브+토사매립의 세 가지 공법을 우선적으로 검토하였다.

가축도 공법 결정은 설계 대상 지역의 해수 및 지반조건에 따라 달라지는데, 압해도 인근은 해수의 조류속이 최강창조시 0.94m/sec, 최강낙조시 1.04m/sec로 토사제체의 형성이 어려운 것으로 검토되었다. 따라서, 덤프 토사투하에 의한 토사제체 형성 후 표면 보호공을 시공하는 방안은 적절하지 않으며, 물막이 후 내부를 토사 매립할 수 있는 방안이 검토되었다. 이에 부합하는 공법이 표 2에 보여진 “사석쌓기+토사매립”과 “지오투브+토사매립”이다. 사진 1은 인천대교에 접속교 구간에 적용된 지오투브를 이용한 가축도의 시공 완료된 전경이다.

다음으로 검토되어야 할 것이 가축도의 안정성 확보이다. 과업구간은 해저지반 상부에 N치가 1/30인 연약점토층이 매우 두껍게 분포하기 때문에 가축도 안정성 확보를 위한 연약점토층의 지반개량이 필수적이다. 해저 지반의

가축도 단면은 교량기초의 시공방법에 따라 결정된다. 일반적으로 가축도에 의한 육상화 구간 교량기초 시공은 동결심도를 고려하여 원지반에 근입시키며, 이를 위한 Sheet pile+Strut 가시설이 계획된다. 이때, Sheet pile 설치구간에 사석이 있으면 가시설 시공이 불가능하므로 가시설 구간은 사석에 의한 강제치환이 이루어지지 않아야 한다. 또한, 내부 매립토사의 유실을 방지하기 위하여 사석제체 내부에 필터매트 등이 설치되어야 한다.

이러한 항목들을 고려하여 결정된 가축도 단면은 사석에 의한 강제치환이 가시설 구간을 침범하지 않아야 하는데, 실제 시공시 덤프에 의한 사석투하로 강제치환이 이루어지므로 가시설 구간을 침범하지 않도록 시공하는데 어려움이 있다. 또한, 과업구간의 경우 연약점토층이 1.0~11.0m에 이르기 때문에 Sheet pile의 안정성 확보를 위해서 근입깊이가 최소 11.0m 이상 확보해야 되기 때문에 시공성 및 경제성이 극히 불량한 것으로 검토되었다 (그림 7).

교량 기초시공의 시공성 및 경제성의 향상을 위하여 기

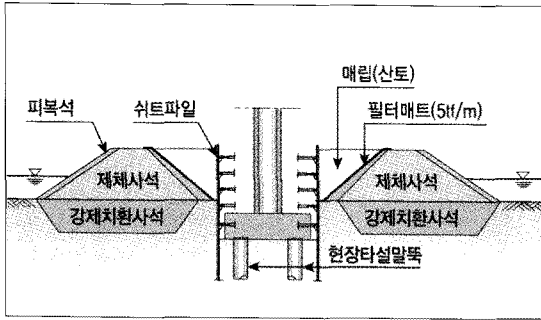


그림 7. Sheet pile적용 가축도 단면

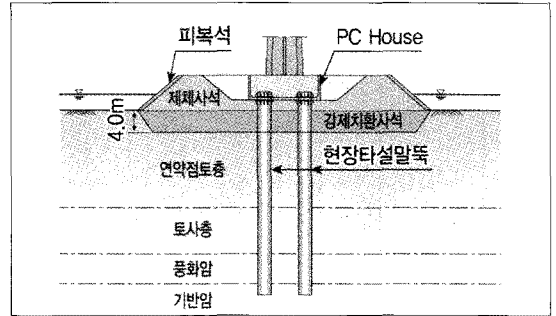


그림 8. PC House적용 가축도 단면

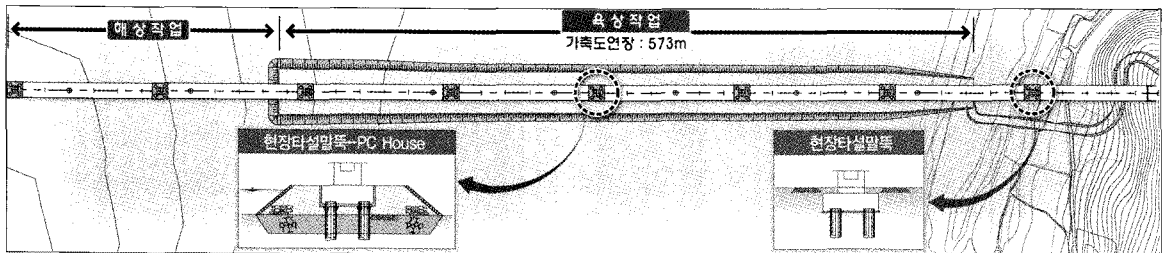


그림 9. 가축도 계획 평면도

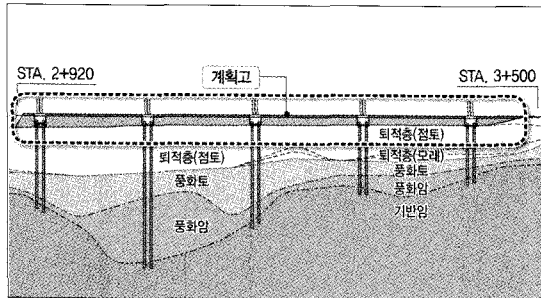


그림 10. 가축도 계획 종단도

초Con'c 타설시 해수의 침입방지를 위한 Sheet pile을 PC House로 대체하여 물막이로 사용하는 방안이 검토되었다(그림 8 참조).

개선된 시공방안은 가시설 설치·제거 등이 생략되어 교량기초 시공에 있어 시공성 극대화 및 공사기간을 단축하며, 추가적으로 가축도 단면을 개선하는 효과가 있다. Sheet pile이 없어지면서 가축도 단면 전체를 사석으로 변경하였다. 매립토사가 없어지면서 필터매트 등이 불필요해졌고 가축도 전체 폭에 대하여 강제지원을 함에 따라 활동 안전율이 증대되었다. 또한, 기초footing의 elevation이 높아짐에 따라 터파기 폭이 축소되어 가축도

폭이 최적화되었다. 이처럼 PC House를 육상화 구간에 적용함에 따른 개선된 가축도 단면은 그림 8과 같으며, 평면 및 종단 계획은 그림 9 및 10에 나타내었다.

4.3 가축도 시공계획

해상 교량기초 육상화 구간의 시공성 향상을 위해 적용된 “사석제체+PC House”의 시공순서를 그림 11에 나타내었다. 교량기초 터파기는 교각위치에서만 이루어지므로 교각과 교각 사이의 약 100m 구간은 자체적 공간 및 PC House 설치시 장비 작업공간으로 활용할 수 있도록 하였다.

4.4 가축도 안정성

가축도는 교량기초 공사용 도로로써 차량과 장비의 이동공간 및 작업공간을 확보하여야 하며, 이를 위하여 계획된 가축도 단면은 차량하중 및 기초시공을 위한 장비하중에 대하여 충분한 안정성을 확보하여야 한다.

기본설계에서는 가축도 단면의 안정성 확보를 위하여

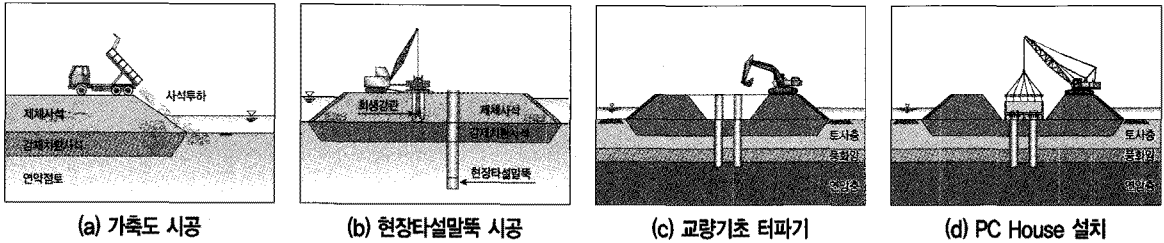


그림 11. 해상 교량기초 육상화 구간 시공 개선방안

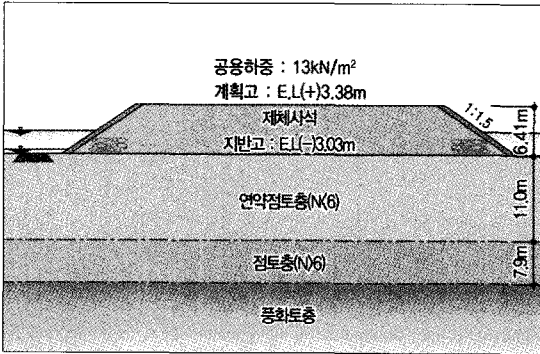


그림 12. 가축도 성토 계획단면

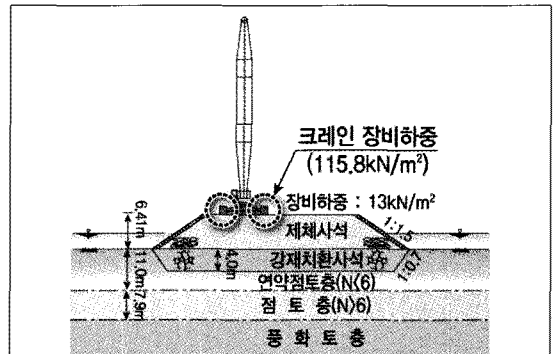


그림 13. 장비하중 개념도

강제치환공법을 선정하였다. 강제치환이란 성토하중보다 지반의 극한지지력이 작을 때 지반에 파괴를 일으켜 연약층을 측방 또는 전방으로 압출하여 양질토사로 치환하는 공법으로, 그림 12의 사석제체 성토 계획단면 강제치환 심도 산정을 위해 Matar와 Salenson의 이론식 및 NDIKE를 이용하였다. 검토결과 표 3과 같이 이론식에서 3.7m, NDIKE에서 4.0m로 산정되었다. 그림 8 및 그림 13의 가축도 단면은 검토된 강제치환 심도를 반영한 가축도 단면이다.

강제치환된 가축도 단면의 안정성은 가축도 공사직후, 1개월 방치, 압밀완료 후 공사중의 세가지 경우에 대하여 검토하였다. 강제치환 직후는 덤프의 통행을 고려하여 DL-24(하중 13kN/m²)을 차량통행 폭에 적용하였다. 1개월 방치 및 압밀완료 후 장기 안정검토에는 공사중 최대 작용하중을 적용하였다. 공사중 최대 하중은 교량기초 시공을 위해 크레인이 PC House를 들어 올렸을 때이며, 최대 115.8kN/m²의 하중이 작용하는 것으로 검토되었다(그림 13 참조).

표 3. 강제치환 심도 산정결과

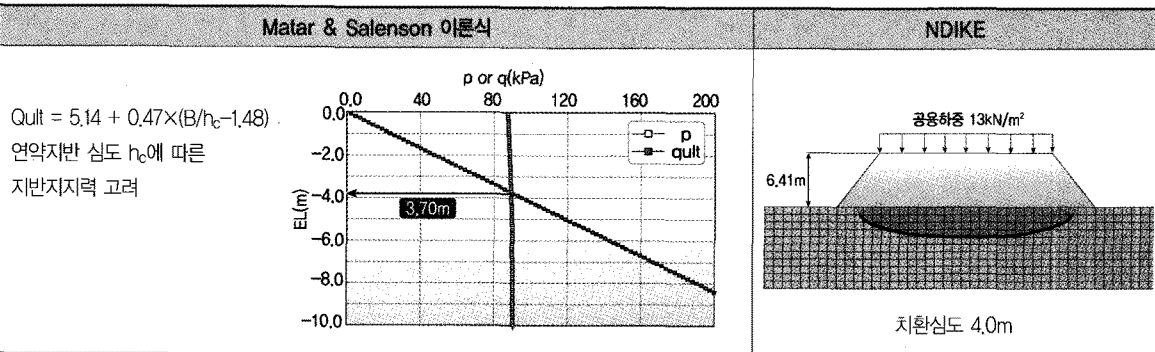
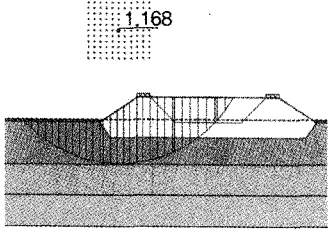
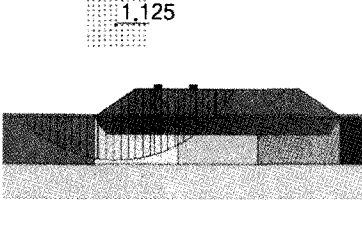
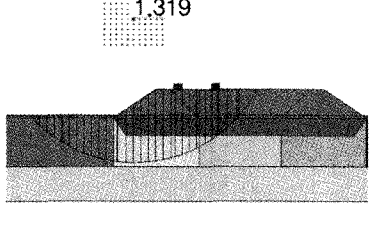


표 4. 장비하중에 대한 가축도 안정 검토

강제치환 직후(단기)	1개월 방치(단기)	압밀 완료(장기)
 <p>1.168</p>	 <p>1.125</p>	 <p>1.319</p>
FS = 1.168 > 1.1 ∴ O.K	FS = 1.125 > 1.1 ∴ O.K	FS = 1.319 > 1.3 ∴ O.K

1개월 방치의 단기안정성 검토를 수행한 이유는 압밀 기간이 약 72개월로 검토되어 압밀 완료후 교량기초를 시공할 경우 목표 공사기간 내에 시공이 불가능 하기 때문이다. 따라서, 실제로 차량 통행 및 크레인 작업이 이루어지는 강제치환 직후 및 1개월 방치후에 대한 안정성 검토를 수행하였으며, 가축도 안전율은 FS=1.168, FS=1.125로 각각 검토되었고 공사중 단기 허용안전율 1.1을 만족하므로 안정성이 확보되는 것으로 검토되었다(표 4 참조).

적으로 설계·시공하기 위한 관련 연구들이 활발히 이루어져야 한다.

깊은 수심과 별도로 조수간만의 차가 큰 우리나라의 서·남해안의 특성상 저수심 구간의 육상화 시공이 계획될 수밖에 없으며, 대륙붕이 넓게 분포하고 해저에 퇴적층이 깊게 발달해 있어 육상화 시공에 많은 어려움이 발생할 것이라 생각된다. 해상교량 기초의 기본설계를 수행하면서 경험하였던 본 기사의 가축도 설계 개선 사례가 비슷한 조건의 설계에 있어 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

5. 결 언

토질 및 기초분야의 커다란 이슈 중 하나는 근래 증가하고 있는 해상교량에 적용되고 있는 해상 대규모 현장타설말뚝이라 생각된다. 육지와 섬, 섬과 섬을 연결하는 해상교량은 위치적 특수성으로 인하여 높은 풍속과 조류 흐름에 의해 큰 수평하중을 받게 된다. 또한, 깊은 수심으로 인하여 육상 및 하상 기초에서 경험하지 못하였던 10~20m에 이르는 매우 긴 돌출말뚝을 유발시킨다. 이러한 조건에서 해상 대규모 현장타설말뚝을 안전하고 경제

참 고 문 헌

1. 현대산업개발(2009), 압해~암태간(2공구) 도로건설공사 기본 설계보고서
2. 현대산업개발(2009), 압해~암태간(2공구) 도로건설공사 지반 조사보고서
3. 도로교 설계기준 해설(2008), 대한토목학회
4. 한국기술사회(2007.10), 연약지반, P.3-41