

연약지반에 가설되는 배처플랜트(B/P) 및 사이로(SILO)의 안전성에 관한 보고서

김달성, 이정렬, 전성민 (경동기술공사)

차 례

1. 서론
2. B/P 및 SILO 설치현황
3. 모델링 및 기초 해석결과
4. 기초 지지력 검토
5. 결론

1. 서론

1.1 이론적 배경

강재가격의 상승으로 교량등 사회간접자본(SOC)투자 시설물에 콘크리트 구조물의 가설이 주를 이루고 있으며, 이러한 구조물 가설시 운송 및 자재비용 절감 효과를 위해 가설현장 인근에 직접 배처플랜트(B/P) 및 사이로(SILO)를 설치하고 있다.

하지만 현장 지반조건 등을 감안하지 않고 직접기초로 대부분의 시설물 기초를 가설하고 있으며, 이는 연약지반 가설시 지반의 변형을 초래하여 B/P 및 SILO의 안정성은 물론이고 주변시설물의 안정성에 영향을 미치고 있으나 현재까지는 충분성 검토없이 관용적으로 시공되고 있는 사례가 많았다.

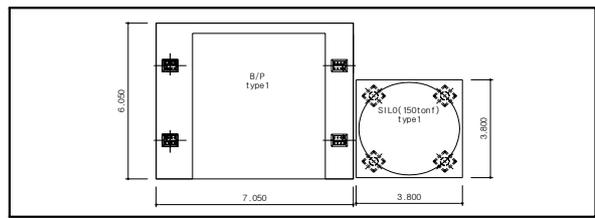
본 보고서는 호남고속철도 3-4공구 노반시설 B/P 및 SILO 기초 설치를 위해 구간내 지반조사 결과 연약점토층이 형성되어 B/P 및 SILO 기초시공시 작용하중에 의한 기초의 지지력, 수평력, 수평변위, 침하량을 확보 할 수 있는 적정 기초 형식에 대한 검토 및 설계를 실시하여 시설물의 안정성을 확보하고자 한다.

2. B/P 및 SILO 설치현황

2.1 개요

본 연구를 수행함에 있어 설계지침 및 시방규정에 의거하여 구조물기초 설계에 대해 가능한 한도내에서 통일성 및 동일한 구조물 내하수준 유지 그리고 합리적이며 경제적인 설계를 도모하고자 적정기준을 설정하여 적용

하였고 설치현황은 다음과 같다.



▶▶ 그림 1. 과업현황

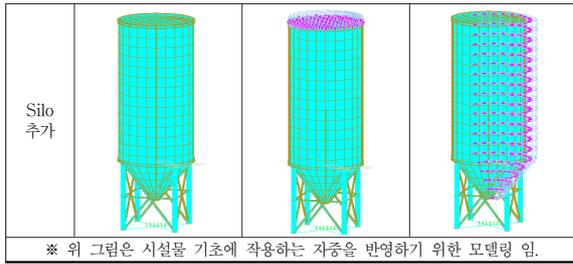
3. 모델링 및 기초 해석결과

3.1 상세 모델링

본 구조물 배처플랜트(B/P) 및 사이로(SILO)는 종방향으로 동일한 패턴이 반복·지속되는 구조물이 아니므로 평면 해석이 불가능하다. 따라서 구조해석용 프로그램인 MIDAS를 이용하여 3차원 셀요소를 사용하여 표1과 같이 구조해석을 수행하였다. 해석 모델에서 하부슬래브와 지반이 접하는 부분은 연직지반반력계수를 지반반력 스프링으로 모델링 하였다.

표 1. MODELLING

구분	상세 모델링	고정하중 재하도	풍하중 재하도
B/P type1			



3.2 해석결과 요약

표 2. 부재력도

구분	연 직 반력	모 멘 트 반력
B/P type1		
SILO 150ton		

4. 기초 지지력 검토

4.1 검토방향

현장여건(지반조건, 주변환경)을 면밀히 검토하여 구조적 안정성 및 경제성을 모두 확보할 수 있는 최적의 구조물 기초형식을 표3과 같이 선정하여야 한다.

표 3. 기초현황

구조물명	기초형식	조사현황	비 고
Batcher Plant Type1	말뚝기초	BH-1 BH-2	
Silo (150tf): 2EA	말뚝기초		

4.2 기초형식 선정

표 4. 기초형식 분류

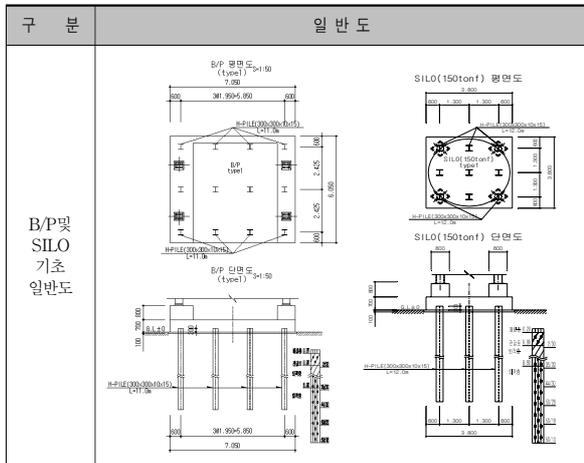
구분	얕은 기초 (직접기초)	깊은 기초	
		말뚝 기초	우물통기초
개념도			
하중 지지 개념	<ul style="list-style-type: none"> 연직력: 지반반력 수평력: 기초저면의 마찰저항 고대부의 경우 수동도압 	<ul style="list-style-type: none"> 연직력: 선단저항 및 주변마찰 저항 수평력: 말뚝 휨강성 주변지반의 수동저항 	<ul style="list-style-type: none"> 연직력: 지면반력 수평력: 측면반력 및 선단저항(마찰저항)
공법별 구분	<ul style="list-style-type: none"> 독립기초 복합기초 줄기초 전면(Mat)기초 	<ul style="list-style-type: none"> 항타말뚝 매입말뚝 속파기말뚝 현장타설말뚝 	<ul style="list-style-type: none"> 오픈케이슨 뉴메틱케이슨 특수케이슨
적용 기준	<ul style="list-style-type: none"> 기초심도: 6.0 m 이내를 원칙, 단 시공성, 경제성 고려 신축성 있게 조정 연직하중: 상부구조물 침하영향 범위내 터파기 영향권내 장애물이 없고 시공중 배수처리가 곤란하지 않을 것 	<ul style="list-style-type: none"> 기초심도: 6.0~60.0 m 연직하중: 기성말뚝 1,000~2,000 kN/본, 현장타설말뚝 5,000~10,000 kN/본 내의 현장조건에 따라 기성말뚝과 현장타설 말뚝으로 나누어 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 기초심도: 6.0~30.0m 연직하중: 15,000kN 이상 지하수 영향이 큰 하상, 수상 등 특수지역에 적용

4.2.1 기초형식 선정

기초형식은 위와 같은 조건을 종합적으로 고려하여 표 5와 같이 결정하였다.

표 5. 기초형식 선정

구조물명	지지층	기초형식	비 고
Batcher Plant Type1	풍화토	말뚝기초	
Silo (150tf): 2EA	풍화토	말뚝기초	



▶▶ 그림 2. 구조물 일반도

4.3 말뚝기초 안정성 검토

1) 검토개요

국내외 설계기준에 제시된 방법을 적용하여 최적의 말뚝기초 설계 지반의 허용지지력은 주면마찰력, 선단지지력에 의한 허용지지력으로 구분하여 검토

2) 지지력에 대한 안정검토

토사 및 풍화암지지 : 토사 및 풍화암지지 말뚝기초의 선단지지력은 도로교 설계기준 해설(표준관입시험치)의 지지력 공식으로 산정하고, 주면마찰력은 도로교 설계기준 해설의 N치를 이용한 방법으로 산정된 값을 적용하였으며, 연약지반은 부마찰력을 고려하여 표 6과 같이 산정하였음

표 6. 지지력 산정 결과

구조물명	지지층	말뚝 길이 (m)	허용지지력 (kN/본)		적용 (kN/본)	설계 하중 (kN/본)	판정	비고
			말뚝본체	도로교 설계기준				
B/P 1	풍화토	11.0	1677.2	259.2	259.2	137.9	O.K	향타 말뚝
Silo (150tf)	풍화토	12.0	1677.2	385.4	385.4	321.2	O.K	향타 말뚝

3) 침하에 대한 안정검토

- 말뚝기초의 침하량 산정법 중 본 검토에서는 구조물 기초 설계기준에서 제안된 방법과 경험적인 방법을 사용
- 구조물의 허용침하량은 구조적 안정성과 사용상의 기능유지로부터 결정되는 사항으로 상부 구조물의 침하, 경사로부터 판단
- 허용침하량 기준을 25mm로 적용하여 표7과 같이 산정하였음.

표 7. 침하량 검토 결과

교량명	파일 길이 (m)	지지층	침하량(mm)		적용 침하량 (mm)	허용 침하량 (mm)	판정
			구조물기초 설계기준	경험적인 방법			
B/P 1	11.0	풍화토	1.6	4.0	4.0	25.0	O.K
Silo (150tf)	12.0	풍화토	3.2	5.1	5.1	25.0	O.K

4) 수평지지력에 대한 안정검토

① 수평방향 지반반력계수 산정

도로교 표준 시방서에 의한 방법

- 일반적으로 탄성체 기초의 수평저항에 관여하는 지반으로서는 설계 지반면에서 1/β정도까지 고려

$$k_h = k_{Ho} \cdot (B_H/30)^{-\frac{3}{4}}$$

여기서,

k_h : 수평방향 지반반력계수 (kgf/cm³)

k_{Ho} : 토질시험결과에 의해 구한 변형계수, $k_{Ho} = (1/30) \alpha E_o$

α : 지반반력계수의 추정에 쓰이는 계수

B_H : 기초형식별 환산재하폭

AH : 하중 작용 방향에 직교하는 기초의 재하면적(cm²)

D : 하중 작용 방향에 직교하는 기초의 재하폭(cm)

1/β : 수평저항에 관여하는 지반의 깊이로서 기초길이 이하로 함(cm)

$$\beta = \text{기초의 특성치}^4 \sqrt{\frac{k_h \cdot D}{4EI}} \quad (\text{cm}^{-1})$$

따라서,

$$k_h = 0.34(\alpha E_o)^{1.1} D^{0.31} (EL)^{-0.1} \quad (\text{kgf/cm}^3)$$

후쿠오카 공식을 이용한 방법

- 기타 제안식들 보다 작은 수평방향 지반 반력계수가 산정됨

$$k_h = 0.691 N^{0.406} \quad (\text{kgf/cm}^3)$$

여기서, k_h : 수평방향 지반반력계수 (kgf/cm³)

N : 표준관입시험치

N치를 이용한 경험값

- 말뚝직경이 30cm 이상되는 수평재하시험으로 얻은 말뚝두부나 지표면에서의 하중-변위 곡선 및 실측 휨 변형률로 지반반력계수를 역산하고 지표면에서 특성상 1/β 까지 구간의 평균 N치와의 관계식

$$k_h = \frac{N}{5} \quad (\text{kgf/cm}^3)$$

여기서, k_h : 수평방향 지반반력계수 (kgf/cm³),

N : 표준관입시험치

표 8. Bowles에 의한 제안값

지반조건	수평지반반력계수(kh) (kN/m ³)
조밀한 사질자갈	220,000 ~ 400,000
중간정도의 조립모래	160,000 ~ 320,000
중간밀도의 모래	110,000 ~ 280,000
실트질 세립모래	80,000 ~ 190,000
견고한 점토 (습윤)	50,000 ~ 220,000
견고한 점토 (포화)	40,000 ~ 140,000
중간균기 점토 (습윤)	20,800 ~ 110,000
중간균기 점토 (포화)	10,200 ~ 80,000
연약한 점토	1,600 ~ 40,000

② 수평방향 지반반력계수 보정

■ 균말뚝의 영향

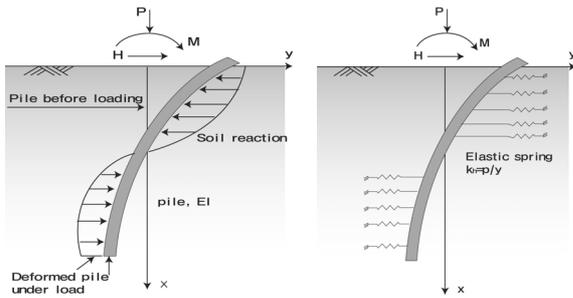
- 도로교 설계기준에 의하면 지반조건에 현실적인 복잡함을 고려시 균말뚝의 효율저하에 각종 요인이 미치는 영향을 분리하여 취급하기에는 아직 실험자료가 충분치 않고, 또한 각 말뚝의 하중분담의 차이도 설계상의 안전을 범위내에 있는 것으로 본다. 균말뚝의 수평저항에 대하여 설계상 특히 고려해야 하는 것은 말뚝 중심간격에 따른 효율의 저하인데, 이에 대해 말뚝 중심간격이 2.5D정도라면 수평지반반력계수를 그대로 사용해도 별다른 지장이 없을 것으로 생각된다.
- 본 검토에서는 말뚝중심 간격이 2.5D 이상일 경우 감소계수를 미적용
- 말뚝중심 간격이 2.5D 이하일 경우 다음의 보정계수 μ 를 곱하여 산정

$$\mu = 1 - 0.2(2.5 - L/D), L < 2.5D$$

여기서, L : 말뚝중심 간격(m)

D : 말뚝 직경(m)

③ 탄성지반반력법(Chang)



▶▶ 그림 3. 탄성지반반력법(Chang)

- 말뚝을 탄성지반에 지지된 보라고 가정하여 허용수평변위를 기준으로 수평지지력을 역산
- 허용수평변위는 도로교설계기준에 의거하여 지름이 $\varnothing 1,500\text{mm}$ 이하인 말뚝은 15.0mm, 지름이 $\varnothing 1,500\text{mm}$ 이상인 말뚝은 말뚝지름의 1% 적용

$$H_a = K_h \cdot \frac{D}{\beta} \cdot y$$

여기서,

H_a : 허용수평지지력(kN)

K_h : 수평지반반력계수(N/cm³)

D : 말뚝 직경

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_h \cdot D}{4EI}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

y : 기준변위량 = 1.5cm

표 9. 수평지지력 산정 결과(상시)

교량명	지지층	허용 수평지지력 (kN/본)	수평방향 작용력 (kN/본)	판정	비고
B/P 1	풍화토	34.390	12.000	O.K	
Silo (150tf)	풍화토	34.390	10.780	O.K	

5) 수평변위에 대한 안정검토

- 도로교 설계기준은 말뚝의 수평방향 변위의 허용치를 말뚝직경(기준폭)의 1%로 규정하고 있으나, 말뚝에 대한 수평방향 변위의 허용치는 15.0mm를 적용하는 것이 일반적이므로 본 검토에서는 15.0mm를 허용변위로 적용하였음.
- 말뚝의 수평변위량 검토는 Chang방법에 의하여 표 10의 산정식을 이용하여 표 11과같이 산정하였음

표 10. 수평변위량 산정식

구분	지중에 근입된 말뚝		지중에 돌출된 말뚝	
	두부 힌지조건	두부 고정조건	두부 힌지조건	두부 고정조건
지표면의 변위	$y = \frac{H}{2EI\beta^3}$	$y = \frac{H}{4EI\beta^3}$	$y = \frac{1 + \beta h}{2EI\beta^3} H$	$y = \frac{1 + \beta h}{4EI\beta^3} H$

표 11. 수평변위 산정결과(상시)

교량명	지지층	Chang 방법(mm)		허용수평 변위(mm)	판정	비고
		두부고정시	두부힌지시			
B/P 1	풍화토	5.2	10.5	15.0	O.K	
Silo (150tf)	풍화토	4.7	9.4	15.0	O.K	

5. 결론

구조물 지지력 및 허용지지력 침하량 수평력을 정리하면 표 12.와 같다.

표 12. 수평변위 산정결과(상시)

교량명	지지력		침하량		수평력		수평변위	
	설계값	허용값	설계값	허용값	설계값	허용값	설계값	허용값
B/P 1	137.9	259.2	4.0	25.0	12.000	34.390	10.5	15.0
Silo (150tf)	321.2	385.4	5.1	25.0	10.780	34.390	9.4	15.0

- 연약지반에 가설되는 B/P 및 SILO는 직접기초 적용시 안정성 확보가 어려워 파일기초를 적용하여 구조물 안정성을 확보하였다.
- 또한 상기의 검토과정을 통하여 B/P 및 SILO의 현장설치시 지반상태를 고려하여 구조물의 안정성을 검토하고 사용기간 내에 부등침하나 전도 등의 영향으로 인명이나 재산피해를 최소화 하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.
- 레미콘 현장 배치플랜트 설치 및 관리에 관한 지침(국토부 고시 2009-781)에 따르면 현장배치 플랜트의 설치방법을 건축법에 따라 가설건축물 추가신고에 의해 가설하게 되어있으나 상기 검토에서 알 수 있듯이 연약지반에 가설되는 대형가설 구조물인 배치플랜트는 지반조건을 반영한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단되며 설치부지내에 연약지반이 분포되어 있을 경우 측방유동에 의한 구조물의 영향 또한 동시에 검토되어야 한다.

저자 소개

● 김 달 성(Kim Dal Sung)



근무중

- 1988년 2월 : 단국대학교 토목공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 공주대학교 건설환경공학과(공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학과(박사과정 수학중)
- 1998. 2 ~ 1990. 12 : (주)삼우기술단
- 1991. 1 ~ 현재 : (주)경동기술공사 구조부

참고 문헌

- [1] 대한토목학회, 도로교 설계기준 해설, 2008.
- [2] 한국건설기술연구원, 도로교 표준시방서, 2005.
- [3] 한국지반공학회, 구조물 기초설계기준 해설, 2008.
- [4] 국토부 고시 2009-781, “레미콘 현장 배치 플랜트 설치 및 관리에 관한지침.
- [5] Bowles. J.E, "Foundation Analysis and Design, Mc Graw-Hill Book Co., New York, Chap. 1,3 and 16, 1988.
- [6] Chang. Y.L, "Discussion on Lateral Pile Loading Tests by L.B.Feagin" Trans. ASCE, Vol.102, pp.272~278, 1937.