

Pile Slab 공법의 보강길이 산정에 관한 해석적 연구

An Analytical Study on the Determination of Reinforcement Length of Pile Slab Method

이영근¹⁾, Young-Keun Lee, 박춘식²⁾, Choon-Sik Park, 이채건³⁾, Chae-Gun Lee

¹⁾ 국립창원대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student of Civil Engineering, Changwon National Univ.

²⁾ 국립창원대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Changwon National Univ.

³⁾ 국립창원대학교 토목공학과 석사, Dept. of Civil Engineering, Changwon National Univ.

SYNOPSIS : From the result of analysis using finite element method for the Pile Slab reinforcement length through embankment of height, soft ground and the change of cohesion following results were acquired.

1. The higher embankment of height is, the deeper depth of soft ground is, the smaller cohesion is, Pile Slab reinforcement length increased almost straight.
2. The reinforcement length is controlled by the depth of soft ground, cohesion, embankment of height and the like. Among these, cohesion of soft ground is affected the most.
3. The reinforcement length of Pile Slab is determined using by calculated formula.

Key Words : pile slab method, reinforcement length, cohesion, soft ground

1. 서 론

최근 들어 도로의 확장 및 신설공사의 증가와 더불어 양호한 도로 선형을 확보하기 위해 지반조건이 양호한 지역뿐만 아니라 지반조건이 불리한 연약지반에서도 교량 등 각종 구조물의 시공이 빈번하게 이루어지고 있는 실정이다.

이러한 연약지반 상에 구조물이 시공될 경우, 성토나 뒤펀 등 하부지반에 편재하중으로 작용하게 됨으로써 지반의 측방유동을 유발시키는 결과를 초래하게 되는 경우가 있는데 특히, 연약지반 상에 교대가 설치되는 경우에는 연약지반의 측방유동에 의해 교대기초말쪽에 측방토압이 작용하게 된다. 이로 인해 교대의 기초말쪽에 수평변위가 생겨 교대가 측방으로 이동할 뿐만 아니라 상부구조물에도 악영향을 미치게 된다.

따라서 하부지반의 측방유동이 줄어들 때까지 충분한 압밀과정을 거치고 난 후 교대를 시공하게 된다. 그러나 공기나 편입부지 보상지연 등 여러 가지 현장여건으로 압밀이 끝나기 전에 교대를 먼저 시공하는 경우가 있다. 이런 경우 성토하중의 영향으로 발생하는 교대의 측방유동을 방지할 수 있는 공법이 연구·개발되어야 할 것이다. 그러나 국내의 경우 연약지반의 측방유동에 대한 연구가 부족한 실정이며, 특히 연약지반의 측방유동으로 인한 교대측방이동 대책공법 등을 열거해 보면 첫째, 편재하중을 경감시

현재까지 연구 제안된 국내·외의 교대측방이동 대책공법 들을 열거해 보면 첫째, 편재하중을 경감시

킬 수 있는 Box Culvert공법, 파이프매설공법, Box매설공법, EPS공법 슬래그성토공법, 성토지지말뚝공법 등이 있고, 둘째, 배면토압을 경감시키는 공법으로는 소형교대공법, Approach Cushion공법, 압성토공법 등이 있으며, 셋째, 연약지반개량원리를 토대로 하는 프리로딩공법, 샌드콤팩션파일공법, 생석회말뚝공법, 주입공법, 치환공법 등이 제안되고 있다. 이 중에서 성토지지말뚝공법은 성토하중을 말뚝을 통해 직접 지지층에 전달시킴으로서 구조물의 안정성을 도모하고, 연약지반의 측방유동을 억지시킬 수 있는 공법으로 아직까지는 국내에 적용실적이 거의 없는 실정이나, 외국에서는 많이 활용되고 있다.

본 논문에서는 성토지지말뚝공법 중의 하나인 파일슬래브공법을 시공하기 전에, 성토고와 연약층의 심도 및 성질에 따른 파일 슬래브의 시공구간의 변화에 따라 교대의 측방유동의 영향범위를 산정하고 상황에 알맞은 유형을 구하여 경제적이며 합리적인 시공방법을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 연구방법

본 연구에서는 유한요소해석 프로그램인 PLAXIS를 이용하여 파일슬래브시공에 의한 교대의 수평침하량 저감효과를 검토하였으며, 그림 1은 해석대상 모델의 제원을 나타내고 있으며, 해석시 적용한 토질정수는 표 1과 같으며, 각각의 물성은 일반적인 값을 선정하였다.

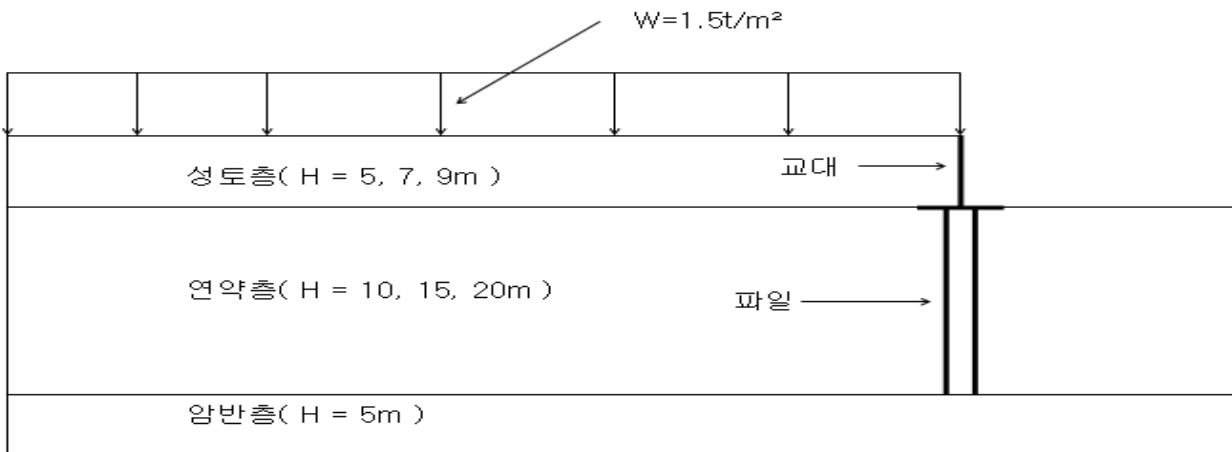


그림 1. 해석 Model 제원

표 1. 지반정수

구 분	γ_t (tf/m ²)	γ_{sat} (tf/m ²)	E (tf/m ²)	ν	c (t/m ²)	ϕ (°)
암반층	2.5	2.5	300000	0.2	2	40
연약층	1.2	1.35	250C	0.35	(2.0~3.0)	-
성토층	1.9	2.0	3000	0.3	1	35

연약지반 상에 구축되는 교대의 변위양상은 교대의 형식, 연약지반의 심도, 배면성토하중 등의 영향을

크게 받는다. 이러한 교대의 기초말뚝에는 일반적으로 교대의 자중, 뒤채움재에 의한 연직 및 수평력 외에 연약지반의 압밀진행에 따른 부마찰력, 연약지반의 측방유동의 발생에 따른 측방유동압 등이 작용하게 될 것이다.

실제 설계시에는 이러한 영향을 고려하지 못하고 단지 교대의 자중과 뒤채움재의 연직 및 수평토압에 대해서만 저항하는 주동말뚝으로 검토하는 경우가 많다. 이렇게 시공된 교대는 측방이동이 크게 발생하여 차량의 주행성 불량뿐만이 아니라 중국에는 교량의 기능마저도 상실하는 경우가 많이 발생되고 있는 실정이다.

따라서 연약지반상에 설치되는 교대의 기초가 말뚝의 경우 주동말뚝보다는 상기의 영향을 모두 고려한 수동말뚝으로 검토하는 것 적절할 것으로 판단된다. 이러한 수동말뚝으로 검토하기 위한 고전적인 방법이 있으나, 이 방법은 교대의 측방이동 방향 및 크기, 뒤채움 지반의 변위 등을 모두 고려하지는 못한다.

본 과업에서는 뒤채움 지반의 침하 크기, 연약지반의 압밀침하량 및 측방유동, 기초말뚝에 작용하는 측방유동압 등의 제반현상을 모두 고려하기 위하여 지반공학 전용 유한요소해석 프로그램인 PLAXIS를 사용하여 해석을 수행하였다. 유한요소해석은 시공과정을 적절히 모델화하여 해석하였으며, 교통하중은 1.5t/m²로 입력하였다. 그 결과는 교대의 뒤채움 시공 및 압밀침하 완료 시에 대한 교대 및 주변지반의 변위양상을 나타낸 것이며 프로그램 해석은 아래 그림 2와 같다.

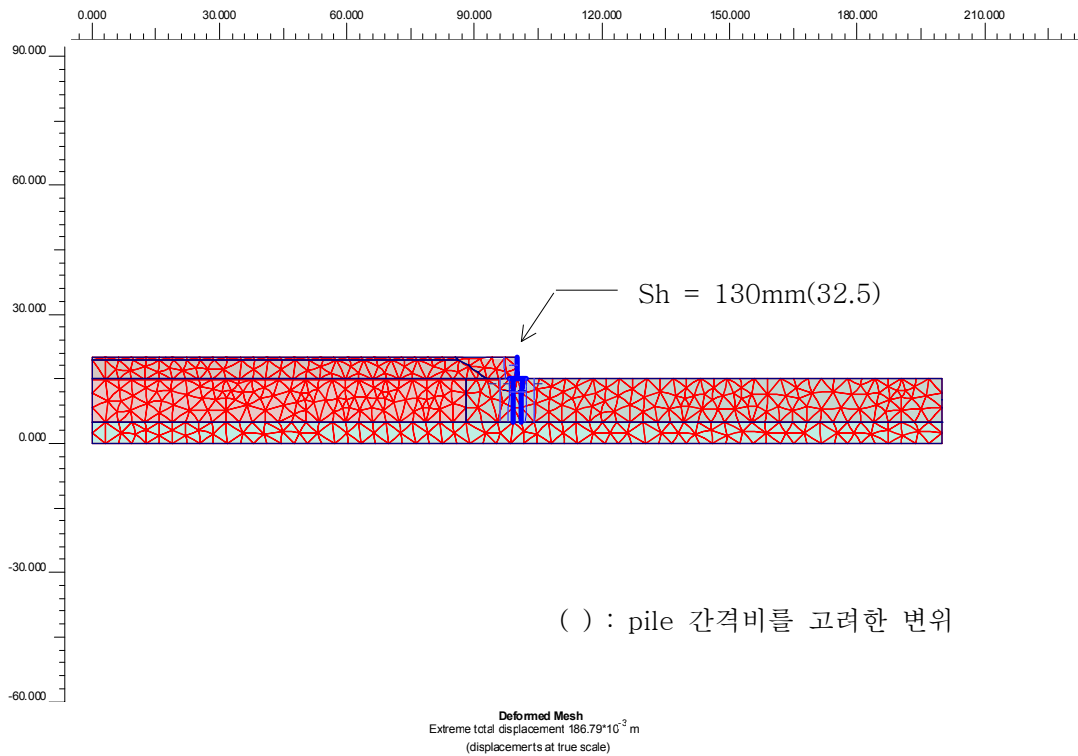


그림 2. 시공전 교대의 수평이동량

3. 연구결과

표 2의 결과에서 수평변위가 모두 허용수평변위($\delta_H = 15.0\text{mm}$)를 만족하는 것을 볼 수 있다. 파일슬래브 보강구간의 결정방법은 프로그램 해석시 파일슬래브 보강구간을 원지반 상태에서 파일슬래브 보강구간을 점차 증가시켜 가면서 허용수평변위 내에 드는 것을 선택하여 나타낸 것이 위의 표이다. 개략적인

표의 결과로 볼 때 성토고가 높아질수록, 연약층의 심도가 깊어질수록 파일슬래브 보강길이(가) 비례적으로 증가하며 연약층의 C_u 값이 커질수록 보강구간은 감소하는 것을 볼 수 있다.

표 2. 성토고 및 연약층 성질에 따른 보강구간 산정시 교대의 수평변위

C_u (tf/m ²)	연약층 심도(m)	성토고 (m)	Pile Slab 보강길이(m)	교대의 수평 변위(mm)	파일간격비 고려(mm)	
2.0	10	5	6	58	14.50	
		7	11	56	14.00	
	15	5	22	50	12.50	
		7	30	57	14.25	
	20	5	35	59	14.75	
		7	57	60	15.00	
2.5	10	5	2	48	12.00	
		7	7	58	14.50	
		9	13	60	15.00	
	15	5	9	56	14.00	
		7	21	58	14.50	
		9	32	58	14.50	
	20	5	20	60	15.00	
		7	38	59	14.75	
		9	55	56	14.00	
	3.0	10	5	2	42	10.50
			7	6	57	14.25
			9	10	60	15.00
15		5	4	54	13.50	
		7	20	57	14.25	
		9	27	58	14.50	
20		5	6	56	14.00	
		7	34	60	15.00	
		9	45	58	14.50	

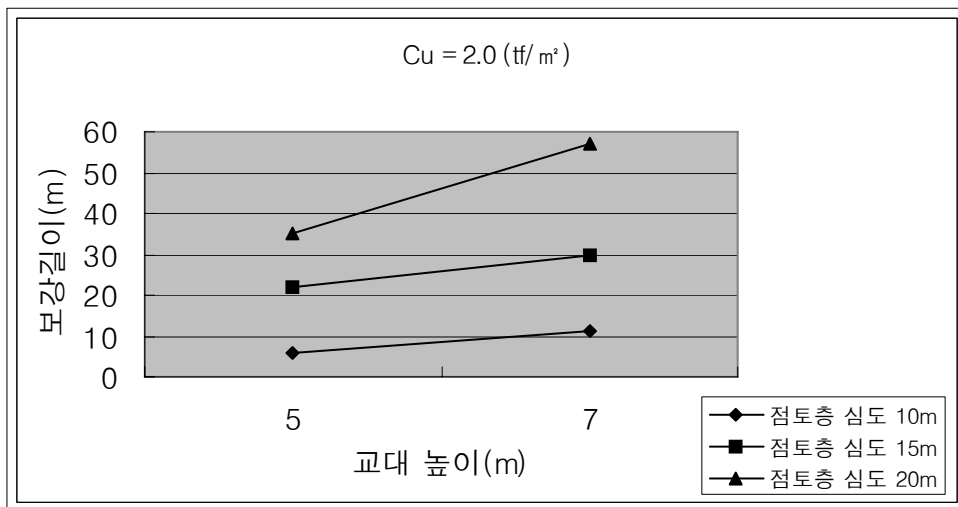


그림 3. $C_u = 2.0$ 일 때 성토고와 연약층심도에 따른 보강구간

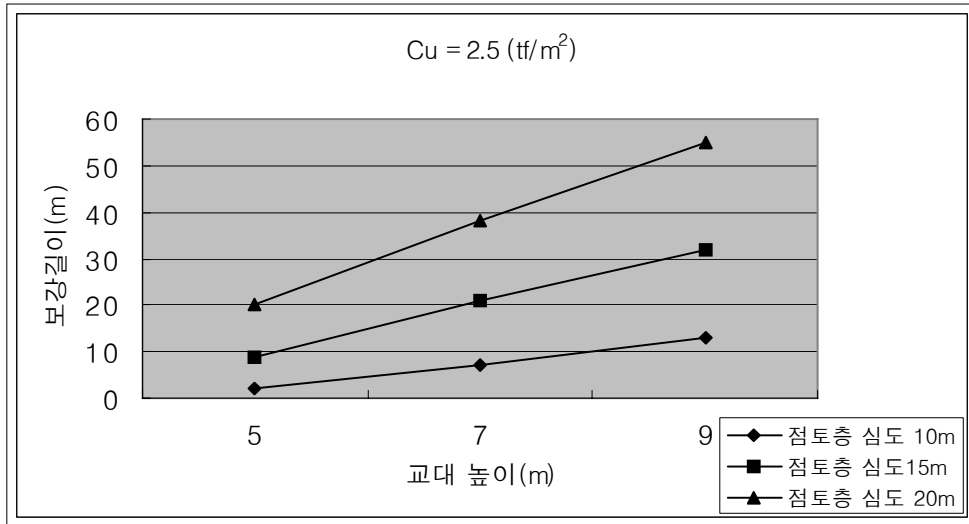


그림 4. $C_u = 2.5$ 일 때 성토고와 연약층심도에 따른 보강구간

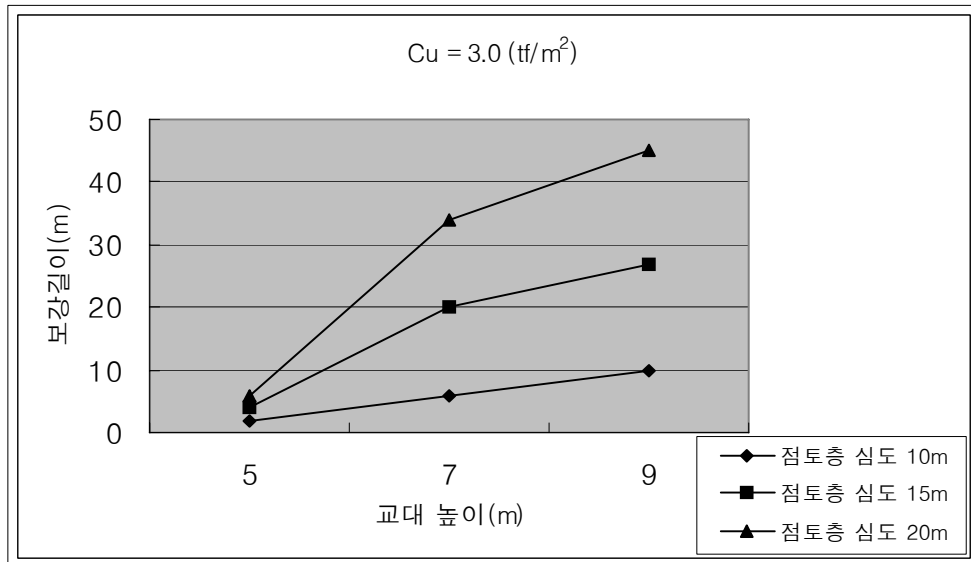


그림 5. $C_u = 3.0$ 일 때 성토고와 연약층심도에 따른 보강구간

위의 결과 그림에서 연약층의 C_u 값이 2.0~2.5 에서는 점토층의 심도가 깊을수록 성토층의 높이가 높을수록 Pile Slab 보강구간이 비례적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고, C_u 값이 3.0 일 때는 비례적으로 증가하는 하나, 차츰 줄어드는 경향을 볼 수가 있다. 이는 연약지반의 강도가 증가함에 따라 보강구간이 감소한다는 것으로 추정할 수 있을 것이다. 위 그림을 이용하여 대략적인 관계식이 성립되는데 각 경우의 보강구간의 관계식은 다음과 같다.

표 3. Cu값과 심도에 따른 보강구간 산정식

Cu 값 (tf/m ²)	점토층 심도 (m)	관 계 식	비 고
2.0	10	$y = 14.86\ln(x) - 17.916$	교대의 높이 (m)
	15	$y = 23.776\ln(x) - 16.266$	
	20	$y = 65.384\ln(x) - 70.232$	
2.5	10	$y = 18.503\ln(x) - 28.146$	
	15	$y = 38.940\ln(x) - 54.001$	
	20	$y = 59.213\ln(x) - 75.876$	
3.0	10	$y = 13.516\ln(x) - 19.917$	
	15	$y = 39.592\ln(x) - 58.919$	
	20	$y = 67.277\ln(x) - 100.67$	

위의 표 3을 토대로 각 경우의 교대높이를 X에 대입하고 심도에 따라 식을 적용하면 보강구간이 결정되게 된다. 하지만 결과에 나온 보강구간이 확실하다고 할 수는 없을 것이다. 파일슬래브의 보강시 파일의 간격비와 슬래브의 구조검토 후에 이러한 작업들을 진행하여야 하나 본 논문에서는 그 사항들이 충분한 강성으로 보았기 때문에 추후에 그러한 과정들을 고려하여 보다 정확한 결과를 얻어야 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 성토고 및 연약층의 심도와 물성치에 따른 Pile Slab의 보강구간에 따른 측방이동 영향 범위를 유한요소해석 프로그램인 PLAXIS를 이용하여 해석하였으며, 본 연구에 의하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 성토고의 높이가 높아질수록, 연약층의 심도가 깊어질수록 파일슬래브의 보강구간이 거의 직선적으로 증가하였다.
2. 연약층의 C_u값이 증가할수록 파일슬래브 보강구간이 점차 감소하였다.
3. 산정된 식들을 사용하여 개략적인 보강구간을 결정할 수 있다.
4. 보강길이는 연약지반의 점착력, 연약지반의 심도, 성토고 등의 지배를 받으나 이중, 가장 영향을 받는 요소는 연약지반의 점착력이다.

5. 본 연구는 유한요소해석 결과 값에 Pile의 간격비(파일간격/파일직경)를 일률적으로 곱하여 허용변위량을 만족하는 값을 구하였다. 그러나 Pile의 간격비를 고려할 필요가 있는지, 고려한다면 어느 정도를 고려해야하는지를 향후 3차원 해석 및 현장계측 등을 통하여 검증해야 한다.

참고문헌

1. 김치열, “연약지반상 교대 측방이동의 수치해석에 관한 연구”, 중앙대학교 석사논문, 2003.
2. 백문기, “도로성토 축조중 전단파괴된 연약지반의 보강대책에 관한 연구“, 창원대학교 석사논문, 2002.
3. 박춘식, 장정욱 共譯 “토질역학”, 엔지니어즈, 1999.
4. 안성훈, “교대의 조기사공을 위한 단계별 성토고 결정에 관한 연구” 창원대학교 석사논문, 2002.
5. 이재훈, “지반의 측방유동”, 건설도서, 1998.
6. 이현근, “파일슬래브를 이용한 연약지반상 교대의 측방이동 억지효과에 관한 연구“, 중앙대학교 석사논문, 2001.
7. 윤철수, “Pile Slab공법에 의한 측방유동 저감효과에 관한 해석적 연구“, 창원대학교 석사논문, 2005.
8. 한국토지공사, “ 연약지반의 압밀특성에 관한 연구 I·II”, 1999.
9. 홍원표, 송영석, 조용량“ 연약지반상 교대측방이동에 대한 판정”, 2001.
10. Braja M. Das, "Principles of Foundation Engineering", PWS Publishing company, 1990.
11. John N. Cernica, "기초공학“, 구미서관, 2004.