

프리캐스트 옹벽 마이크로 파일의 보강 효율

Reinforcing Efficiency of Micro-Pile with Precast Retaining Wall

문 창 열[†]

Moon, Changyeul

ABSTRACT : This study investigates the lateral resistance of micro-pile system when surcharge load is acting on the back of retaining wall. Both laboratory experiments and numerical analysis were performed. The experimental retaining wall model was developed on the laboratory-sized foundation. While surcharge load was acting, the interval and length varied as experimental variables. From the investigation it is known that the micro-pile system can effectively control the lateral displacement which is developed on the precast retaining wall. The effectiveness became increased as the pile interval reduced and the length of pile increased. The greatest reinforcing efficiency was shown when the pile length was 0.5H and the interval was 7D.

Keywords : Surcharge load, Micro-pile, Precast Retaining wall, Retaining model, Reinforcing Efficiency

요 지 : 본 연구에서는 좁게 형성되는 프리캐스트 옹벽 배면에 상재하중을 재하 하였을 경우 마이크로파일의 수평저항 거동에 대한 설치 효율성을 규명하고자 하였다. 이를 확인하기 위한 수단으로 모형시험과 수치해석을 수행 하였다. 실내모형시험은 모형 토조에 기초지반 조성 후 모형옹벽을 설치하였으며, 옹벽 배면에 상재하중을 재하 하여 마이크로파일의 설치간격 및 길이 등을 각각 변화시켜 수행하였다. 본 연구에서 보강된 마이크로파일이 프리캐스트 옹벽에 발생하는 수평방향 변형을 효과적으로 억제하는 것으로 나타났다. 마이크로파일의 간격을 좁게 설치하고 파일의 길이가 길어질수록 보강효율이 증가하는 경향을 보이며, 파일의 길이가 0.5H 설치간격은 7D에서 최적의 보강효율을 나타내는 것으로 평가되었다.

주요어 : 상재하중, 마이크로파일, 프리캐스트 옹벽, 모형옹벽, 보강효율

1. 서 론

각종 건설행위는 지반에서의 절토 및 성토를 수반하게 된다. 계획되는 절·성토 사면의 안정성 확보를 기하기 위하여 사면의 경사를 완만하게 하여야 하나 이는 대규모의 절성토를 가져올 수 있으며 그로 인하여 과다한 공사비 및 보다 많은 식, 생물 등에 대한 주변 환경파괴를 야기시킨다. 옹벽의 설치는 토량의 경감뿐만 아니라 자연경사를 이룰 수 없는 배면의 흙을 지지하는 토목구조물로서 토압에 저항하여 활동 및 전도파괴를 예방한다. 그러나 지금까지 널리 시행되어 오고 있는 현장 타설 콘크리트옹벽은 현장에서 철근 및 거푸집을 조립한 후 콘크리트를 타설 하여 양생하는 일련의 공정을 갖는다. 이러한 공정은 구조물 시공에 많은 공기가 소요되는 문제점과 좁은 도심지 공사의 경우에는 인접한 구조물에 간접적인 피해와 교통 정체를 유발할 수 있어 구조물 시공 시 공기 단축이 절실히 요구되어지기도 한다. 따라서 근래에는 현장 타설 콘크리트 옹벽의 단점을 보완하며 구조물의 품질을 높일 수 있는 프

리캐스트 옹벽의 적용을 적극 검토할 만하다.

국내에서는 기흥-판교 간 고속국도 확장공사의 일부구간에 적용되는 등 전국적으로 그 적용사례가 있기도 하지만 그 적용은 아직 활발하지 못한 실정이다. 그러나 프리캐스트 옹벽의 시공성, 경제성 등에 비추어 본다면 향후 그 적용 빈도는 높아질 것으로 예상된다.

프리캐스트 콘크리트 옹벽은 기존의 현장 타설 콘크리트 옹벽의 단점을 충분히 보완하는 많은 장점을 지니고 있다. 프리캐스트 옹벽은 그 형태 및 규모를 비교적 자유롭게 할 수 있으나 시공공간의 협소성을 이유로 하여 도심지에서는 L형 옹벽의 채택이 선택되고 있다. 그러나 L형 옹벽의 경우 저판 길이를 충분히 확보할 공간이 부족할 경우에는 옹벽의 안정성이 가장 큰 문제가 되어 진다. 따라서 이와 같은 안정성을 증대시키기 위한 수단의 일환으로서 경제적이며 시공능률이 뛰어난 마이크로파일을 배면 저판에 설치하여 그 문제점을 보완하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

프리캐스트 옹벽 저판에 마이크로파일을 추가 한다면

[†] 정희원, 강원대학교 삼척캠퍼스 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : moonyeul@kangwon.ac.kr)

인발저항력에 의한 옹벽 전도 거동은 물론 마이크로파일의 수평저항에 의한 활동거동에 대한 안정성 또한 확보할 수 있다. 또한 프리캐스트 콘크리트 옹벽의 단면의 축소로 운반과 설치가 용이해져 보다 경제적이며 안정적인 구조물로서의 기능을 다하게 할 수 있다.

그러나 보강효과 증대를 목적으로 설치한 파일의 길이 및 설치위치 등에 대한 연구는 옹벽의 안정성 및 경제성이 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 프리캐스트 옹벽 배면에 작용하는 상재하중 영향에 의한 보강된 마이크로파일의 길이 및 설치간격 등에 대한 최적의 보강형태와 보강 효과를 규명하고자 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 가능한 최소지름을 갖는 마이크로파일을 제작하였으며 모형 옹벽의 저판에 이를 설치하여 수평저항력에 대한 기존 제안식의 평가와 옹벽의 단위길이 당 설치되는 마이크로파일의 합리적인 설치간격을 제시하고자 하였다. 또한 실내모형시험 결과를 비교 검증하고자 2차원 수치해석을 수행하였으며, 본 연구의 결과를 토대로 프리캐스트 옹벽 배면에 작용하는 상재하중 영향에 의한 마이크로파일의 적정 설치 길이 및 간격을 확인하고자 하였다.

2. 마이크로파일 공법

2.1 마이크로파일 공법의 개요

2.1.1 개요

마이크로파일공법은 1950년에 이탈리아 Pile 전문 업체인 FONDEDILE사는 Root Pile을 개발하여 기존 건물의 보강 및 복원을 위해 사용하였다. 마이크로파일공법은 특허명이나 상품명 등의 이유로 국가별로 Mini-Pile, Micro-Pile, Root Pile, Needle Pile, Gewi Pile 등으로 불리어지고 있다. 일반적으로 마이크로파일이란 300mm 이하 직경의 모든

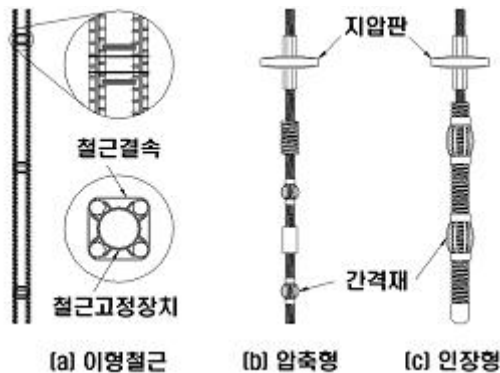


그림 1. 마이크로파일 종류

소구경 Pile을 지칭한다. 타 기초공법에 비하여 마이크로파일 공법의 차이는 선단 지지보다는 주면 마찰력에 의하여 지지특성이 발휘되고 지반과 일체로 거동하여 지반개량효과도 얻을 수 있다는 것이다. 또한 지반 그라우팅도 병행할 수 있으며, 소형장비를 사용하기 때문에 협소한 공간에서도 시공이 용이한 장점이 있다.

이에 대한 국내의 최근 연구로는 박준용(2005)의 마이크로 파일로 보강된 프리캐스트 옹벽의 거동특성 평가가 있다.

2.1.2 마이크로파일의 특징과 구조

일종의 소구경 현장타설 천공말뚝으로 볼 수 있는 마이크로파일은 콘크리트 재질로 시공되어져 왔던 종래의 현장타설말뚝과 달리 강재가 하중을 지지하는 주부재 역할을 하며, 사용되는 강봉의 규격을 선택하는데 따라 어떠한 하중 조건에도 적용할 수 있고 설계하중 요구조건이 큰 경우는 묽음형식으로도 시공이 가능하다. 또한 임의의 기울기로 용이하게 파일을 설치할 수 있으며 천공장비와 천공기술의 발전으로 진동, 교란 및 소음을 최소화시키면서 다양한 지반 조건에 적용 토록한 이승현 등(1996)의 연구가 있다.

마이크로파일은 부착력을 증대하기 위하여 이형철근 및 나사모양으로 형성된 표면을 가진 강봉과 포틀랜드 시멘트계 주입재로 그라우팅 하여 형성된 구조체로 구성된 마이크로파일은 지반의 주면마찰력을 증대시키기 위한 목적으로 그림 1과 같은 구조와 종류가 있으며 그림 2와 같은 순서로서 시공되어진다.

2.2 마이크로파일의 수평저항력 산정이론

2.2.1 개요

수평하중이 작용하는 말뚝의 허용하중에 대한 산정은 극한하중을 산정한 후 적절한 안전율을 적용하여 허용수평지력을 결정하는 방법과 말뚝의 허용수평변위에 대응하는 허용수평하중을 결정하는 방법이 대표적이다. 극한하중을

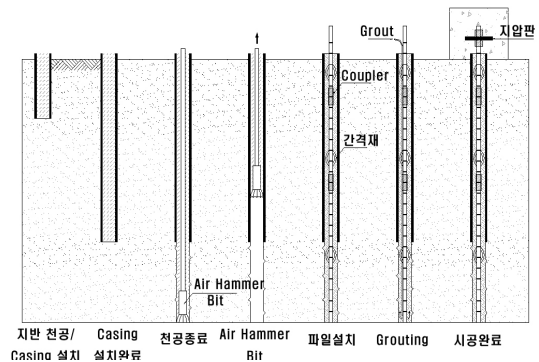


그림 2. 마이크로파일 시공순서

산정하는 이론으로서는 Brinch Hansen(1961), Broms(1964) 및 Chang(1937)등의 이론이 널리 사용되고 있다.

Brinch Hansen(1961)의 이론은 토압론에 근거하며 일반 토사지반($c-\phi$ 지반) 및 다층지반에 모두 적용 가능하다는 장점이 있다. 그러나 짧은 말뚝에 그 적용이 유효하며 회전중심의 위치를 구하기 위하여 시행착오 법으로 구해야 하는 단점을 지니고 있다.

Broms(1964)의 이론은 극한평형법으로서 말뚝 길이의 장,단이라든가, 말뚝머리의 구속조건이 자유와 회전구속 모두에 적용 가능하다. 그러나 일반 토사지반 및 다층지반에는 그 적용이 어렵다.

Chang(1937)의 이론은 지반의 변형계수를 일정한 것으로 가정하여 말뚝을 탄성지반에 지지된 보로서 말뚝의 거동을 예측하는 관계식을 제안하였다.

두부 자유말뚝에 수평력과 모멘트가 작용할 때 지반의 응력상태는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 극한수평저항력(Ultimate Lateral Resistance Force) Q_u 와 모멘트 M_u 는 극한수평지반반력 p_{xu} 를 고려하여 수평방향 정적평형조건으로부터 구할 수 있다. 즉 수평방향 힘의 평형조건 $\sum F_y = 0$ 으로부터

$$Q_u - \int_0^{x_r} p_{xu} D dx + \int_{x_r}^L p_{xu} D dx = 0 \quad (1)$$

또한 말뚝 두부에서의 모멘트 평형조건 $\sum M_y = 0$ 으로부터

$$Q_u e + \int_0^{x_r} p_{xu} D x dx - \int_{x_r}^L p_{xu} D x dx = 0 \quad (2)$$

- 여기서, D : 말뚝의 직경
- L : 말뚝의 지중 근입길이
- p_{xu} : 극한수평지반반력
- x : 지표면에서부터의 깊이

p_{xu} 의 깊이에 따른 분포가 주어지면 회전 중심 깊이 x_r

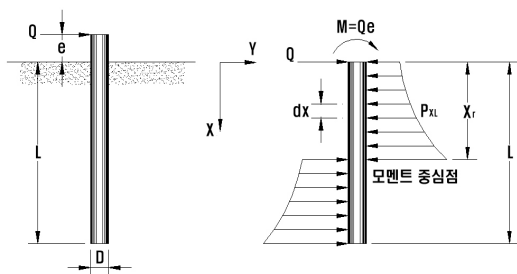


그림 3. 두부 자유말뚝의 수평저항력

과 극한수평저항력 Q_u 는 식 (1)으로부터 구할 수 있다. 회전중심 깊이 x_r 은 지반의 수평반력 분포가 정하여지면 시행착오법으로 모멘트의 합이 0이 되는 위치로 구하며 이 회전 중심이 결정되면 극한수평저항력은 식 (2)으로 구할 수 있다.

지반반력 분포가 균일한 $p_0 = p_L = p_{xu}$ 인 경우 x_r, Q_u 및 M_u 는 식 (1)과 식 (2)를 이용하면 다음과 같다.

$$x_r = \frac{1}{2} \left(\frac{Q_u}{p_{xu} x} + L \right)$$

$$M_u = Q_u e = (p_{xu} L^2 \frac{x}{4}) \left[1 - \frac{2Q_u}{p_{xu} L x} - \left(\frac{Q_u}{p_{xu} L x} \right)^2 \right]$$

$$Q_u = p_{xu} L x \left[\sqrt{\left(\left(1 + \frac{2e}{L} \right)^2 + 1 \right)} - \left(1 + \frac{2e}{L} \right) \right]$$

지반반력이 선형증가분포(지표면에서 p_0 , 말뚝 선단에서 p_L)인 경우 식 (1)과 식 (2)로부터 다음 식이 구하여진다.

$$4 \left(\frac{x_r}{L} \right)^3 + 6 \left(\frac{x_r}{L} \right)^2 \left(\frac{e}{L} + \frac{p_0}{p_L - p_0} \right) + \left(\frac{12p_0}{p_L - p_0} \right) \left(\frac{e}{L} \right) \left(\frac{x_r}{L} \right) - \left(\frac{3e}{L} \right) \left(\frac{p_0 + p_L}{p_L - p_0} \right) - \left(\frac{2p_L + p_0}{p_L - p_0} \right) = 0$$

$$Q_u = p_L L x \left[\left(1 - \frac{p_0}{p_L} \right) \left(\frac{x_r}{L} \right)^2 + \left(\frac{2p_0}{p_L} \right) \left(\frac{x_r}{L} \right) - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{p_0}{p_L} \right) \right]$$

연직말뚝의 극한 수평저항력을 구하기 위한 이상과 같은 기본개념은 토압론에 의한 Brinch Hansen(1961) 및 극한평형법을 제안하는 Broms(1964) 역시 사용하였다.

3. 실내모형시험

3.1 개요

본 연구에서는 프리캐스트 웅벽에 보강되는 마이크로 파일이 웅벽 배면에 작용하는 상재하중 영향에 대하여 파일의 길이 및 설치 간격의 변화에 따른 보강 효과를 확인하고자 그림 5와 같은 실내모형 토조를 제작하여 모형 시험을 수행하였고 이를 수치해석을 통하여 비교 검토하였다.

3.2 실내모형시험 장비 및 제원

3.2.1 모형 토조

본 연구에 사용된 실내모형시험기는 그림 5와 같이 길

이 1700mm×폭750mm×높이1000mm의 모형으로 토조를 제작하였다. 본 실내모형시험에서는 저판의 최소 길이가 확보된 안정한 단면과 저판의 길이를 최소화 하여 불안정한 단면에 마이크로파일을 설치한 옹벽에 대하여 시험 할 수 있도록 배면토 상부에 상재하중 장치 및 반력장치를 각각 설치하였고 상재하중 재하에 의하여 발생하는 모형 옹벽의 수평변위를 옹벽의 수평변위를 측정하기 위하여 옹벽 전면에 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 그림 6과 같이 설치하였다.



그림 4. 실내모형 시험기 전경

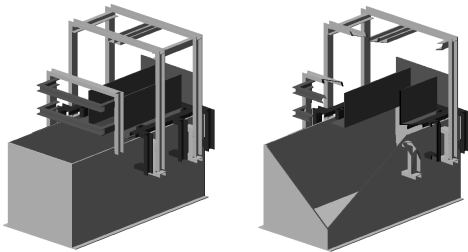
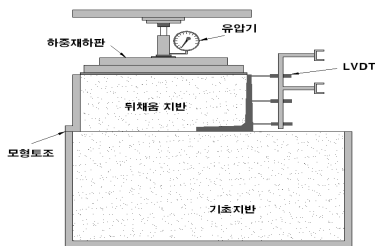
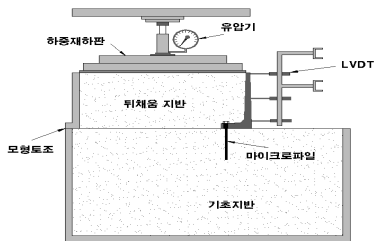


그림 5. 실내모형 시험기 개략도



(a) 무보강 옹벽(안정한 단면)



(b) 마이크로파일로 보강된 옹벽

그림 6. 실내모형 시험기 개요도

3.2.2 모형 지반

시험에 사용된 모형지반조성 및 뒤채움 재료는 100번체 (입경 0.15mm) 통과율이 3.5%, 통일분류법에 의해 SP로 분류되는 점착력이 없는 사질토를 사용하였으며 이에 대한 입도분포곡선은 그림 7로 나타내었다.

모형기초지반의 조성은 흙을 20cm두께로 전체토조의 높이를 5층으로 나누어 층다짐을 실시하였으며, 상대밀도 98%를 기준으로 하여 각층에 필요한 중량만큼 소형 다짐 장비를 사용하여 할당된 흙이 각층에 채워질 때까지 다짐을 실시하였으며 시험 종료 후 임의의 깊이에 설치해 놓은 시료채취용 용기를 회수하여, 채취된 시료의 단위중량을 측정하여 이를 확인하였다. 또한 옹벽 배면에 채워지는 배

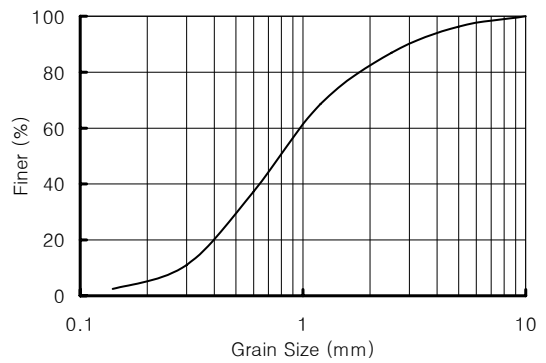


그림 7. 모형기초지반의 입도분포곡선

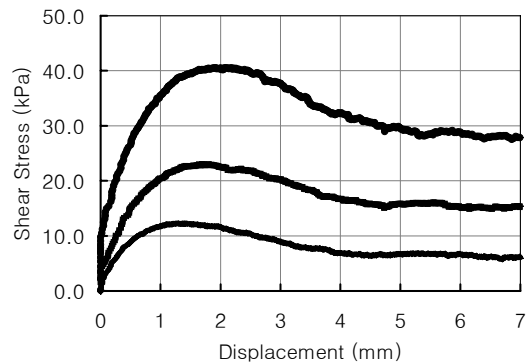


그림 8. 전단시험결과(수평변위-전단응력)

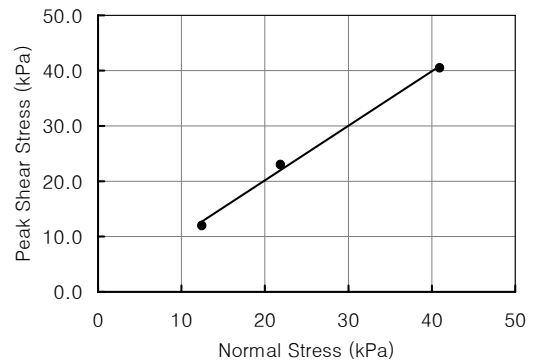


그림 9. 전단시험결과(연직응력-최대 전단응력)

표 1. 실내모형기초지반의 물리적, 역학적 특성

시험 종류	구 분	특 성
입 도 시 험	D_{10} (mm)	0.28
	D_{30} (mm)	0.50
	D_{60} (mm)	0.97
직접전단시험	내부마찰각 ($^{\circ}$)	45
	점착력 (Pa)	0
상 대 밀 도	최대건조밀도 (kN/m^3)	18.8
	최대 간극비	0.415
	최소건조밀도 (kN/m^3)	15.2
	최소 간극비	0.750

면토 역시 모형기초지반의 물리적, 역학적 특성은 동일하며, 이를 요약 정리하여 표 1로 나타내었다.

3.2.3 모형 응벽

본 실내모형시험에 사용된 응벽의 형식은 L형 응벽으로

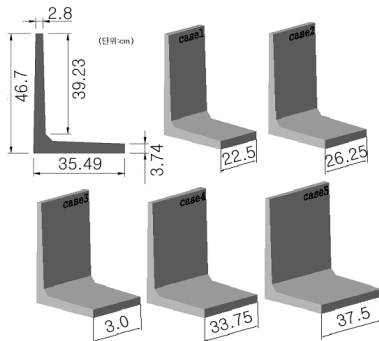


그림 10. 안정한 모형단면응벽(무보강 제원)



그림 11. 제작된 안정한 모형단면응벽 형상

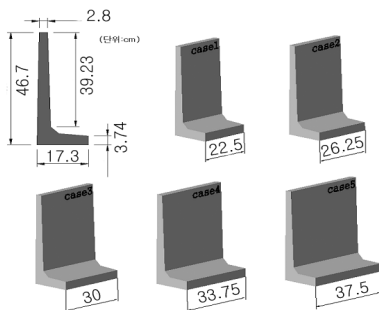


그림 12. 불안정한 모형단면 응벽 제원



그림 13. 제작된 불안정한 모형응벽 형상

표 2. 모형 응벽의 특성값

구 분	단위중량 (kN/m^3)	탄성계수 (kPa)	포아송비
응 벽	23.0	20,000,000	0.25

서 시공공간이 부족한 경우 일반적으로 사용될 수 있는 형식을 감안한 캔틸레버식인 L형 응벽을 채택하였다. 모형응벽은 토조의 크기를 고려하여 실제 크기의 1/12에 해당하는 크기로 결정하였고, 그림 10, 그림 12와 같이 길이 방향으로 단면 전면 폭을 22.5cm, 26.25cm, 30cm, 33.75cm, 37.5cm로 3.75cm씩 증가 시키는 Case1~Case5단계로 단면이 안정한 것과 단면이 불안정한 것으로 분류하여 콘크리트로서 모형응벽을 제작하였다.

안정한 단면은 실제 안정검토를 통하여 전도및 활동에 안정한 최소 저판길이가 확보되는 단면이며, 불안정한 단면은 최소 저판길이가 미 확보되는 단면 중 가급적 최소길이가 되는 단면을 선정하였다.

3.2.4 모형 마이크로파일

실내모형시험용 마이크로파일은 항복강도 $4000kgf/cm^2$ 의 철근을 가공 사용하였으며, 마이크로파일은 체결부분 지름 20mm, 근입부분 지름 12.5mm로서 응벽 저판의 길이를 고려하여 수평하중 작용시 저판과 파일을 체결한 부위가 전단에 의하여 파단이 되지 않을 두께와 최소지름을 갖도록 고려하였다. 또한, 그림 14와 같이 파일의 설치깊이를 Type 1~Type 5의 응벽높이 0.2H, 0.3H, 0.4H, 0.5H, 0.6H의 총 5가지의 파일을 제작하였다. 모형 파일의 특성

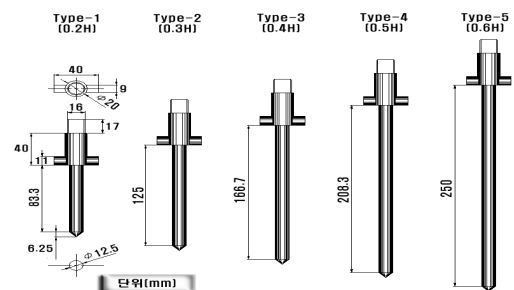


그림 14. 모형 마이크로파일

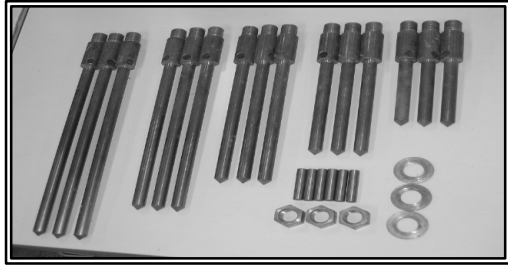


그림 15. 모형 마이크로파일 형상

표 3. 모형 마이크로파일의 특성값

항복강도 (N/mm^2)	인장강도 (N/mm^2)	비 고
400~520	570 이상	

값은 표 3에 나타내었다.

3.3 실내모형시험

실내모형시험은 모형시험을 수행함에 있어 상재하중 재하시 지반침하에 대한 영향 및 사질지반옹벽의 주동변위크기를 고려한 옹벽의 변위를 사질토에서의 주동변위 $H/1000$ ($0.417mm$)이하인 $0.25mm$ 의 변위에서 $0.25mm$ 변위 폭으로 변위를 제어하는 방법으로 하중을 가하여 최종 $1.5mm$ 까지의 한계변위에 대한 상재하중을 측정하였다. 한계변위에 대한 결정은 예비시험결과 기초지반의 침하가 지속되는 국부전단파괴 이전에 주동파괴와 전단 및 활동이 발생하는 변위가 $1.5mm$ 이었으므로 이를 한계변위크기로 결정하였다. 이를 위하여 전면판에 3개의 LVDT를 설치하여 상재하중의 작용으로 발생하는 모형옹벽의 수평변위를 측정하였다. 모형옹벽 및 뒤채움재가 담기는 모형벽과의 마찰저항을 줄이기 위하여 뒤채움 벽체에 광물성 기름을 얇게 도포하고 표면이 매끄러운 얇은 비닐을 $5cm \times 5cm$ 로 입혀 전도 및 활동시의 벽면 마찰저항의 감소를 기하고자 하였다.

3.4 실내모형시험 종류

본 연구에서의 보강효율을 확인하기 위하여 설치간격을 고정하고 마이크로파일의 길이를 변화시키는 경우와 파일 길이를 고정하고 파일설치 간격을 변화시키는 경우에 대한 총 30가지의 배치형태를 취하였다. 본 연구에서 수행된 구체적인 실험의 종류는 다음 표 4로 나타내었다.

4. 수치해석

4.1 개요

시행된 실내모형시험 결과에 의하여 검토되어진 마이크

표 4. 실내모형시험 종류

구 분	파일 길이	파일 설치간격	옹벽 길이	비 고
무보강 옹벽 (안정단면)	-	-	Case-1	
			Case-2	
			Case-3	
			Case-4	
			Case-5	
보강된 옹벽 (불안정단면)	0.2H	6D	Case-1	H:옹벽의 높이 D:파일의 지름
			Case-2	
			Case-3	
			Case-4	
			Case-5	
	0.3H	6D	Case-1	
			Case-2	
			Case-3	
			Case-4	
			Case-5	
	0.4H	6D	Case-1	
			Case-2	
			Case-3	
			Case-4	
			Case-5	
	0.5H	6D	Case-1	
			Case-2	
			Case-3	
			Case-4	
			Case-5	
0.6H	6D	Case-1		
		Case-2		
		Case-3		
		Case-4		
		Case-5		

로파일의 최적보강형태를 검증하기 위한 한 수단으로서 수치해석을 수행하였다. 수치해석에서는 보강된 마이크로파일의 길이 변화에 따른 보강효과를 파악하기 위하여 0.2H, 0.3H, 0.4H, 0.5H 및 0.6H 등과 같은 모형시험과 동일한 배치형태에 대하여 수행하였으며 해석에 사용된 프로그램은 범용 지반해석 프로그램인 FLAC 2D(Fast Lagrangian Analysis of Continua, 1996)를 사용하였다.

4.2 해석 방법

실내모형시험을 통해 제시된 프리캐스트 옹벽 저판에 설치된 마이크로 파일의 최적보강형태의 효율성을 검증하기 위하여 기초지반 및 옹벽 배면의 뒤채움 지반 요소로는 Mohr-Coulomb Model을 적용하였으며, 프리캐스트 옹벽은 Elastic Model을 사용하였다. 또한 마이크로파일은 빔 요소

(Beam Element)로 사용하였고 실제 시공방법과 동일한 방법으로 단계별 시공과정과 프리캐스트 옹벽 배면의 뒤채움 재 및 기초지반 사이에는 인터페이스 요소(Interface Element)로 처리하여 모사하였다. 본 수치해석에서 사용된 물성치는 표 5와 같다.

5. 시험결과 및 분석

5.1 모형시험의 보강효율

모형시험결과 최적의 보강형태를 나타내는 깊이와 배치 형태를 파악하기 위하여 보강재의 설치깊이 및 배치간격 등을 보강효율로서 나타내어 보고자 하였다. 보강효율은 저판의 최소깊이가 확보되어 보강이 필요하지 않은 무보강의 안정한 단면과 저판의 길이가 짧아 보강이 요구되어 지는 불안정한 단면이, 설정된 동일한 한계변위에 달하는 때의 상재하중강도로서 보강효율을 나타내어 정리하였다.

5.1.1 최적보강길이 및 설치간격에 대한 보강효율

마이크로파일의 설치깊이를 0.2H, 0.3H, 0.4H, 0.5H 및 0.6H등으로 설치 깊이를 달리하였을 때 상재하중을 가하여 모형옹벽의 변위를 설정된 한계변위에 달하는 상재하중을 기록하여 보강된 프리캐스트 옹벽의 수평저항력에 의한 보강효율과 변위관계를 그림 16~그림 25으로 나타내었고 이를 표 6~표 10으로 정리 하였다.

결과에 의하면 설치되는 파일의 길이가 길어지면 보강

표 5. 수치해석에 사용된 지반 물성값

구 분	기초 지반	뒤채움 지반
Unit Weight (kN/m^3)	18.4	18.4
Internal Friction Angle ($^\circ$)	45	28
Elastic Modulus (kPa)	35,000	35,000
Possion's Ratio	0.35	0.35

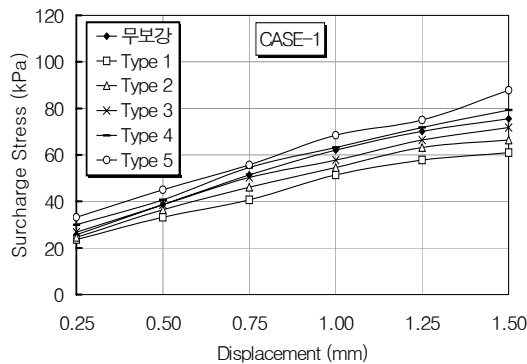


그림 16. 마이크로파일 길이에 대한 모형시험결과

효율 또한 증대되는 당연한 결과를 보였으며, 이러한 결과는 전면 판의 길이를 확대하는 경우에서도 동일한 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 길이방향 전면판을 확장하더라

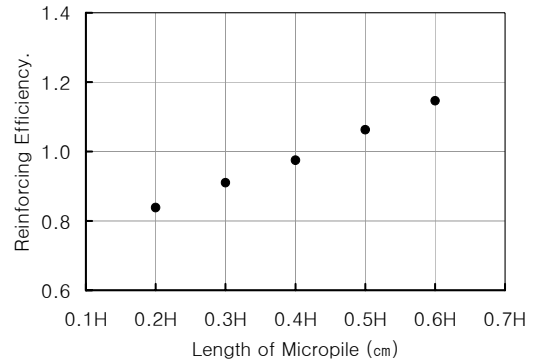


그림 17. 마이크로파일 길이 변화에 따른 보강효율

표 6. 마이크로파일의 길이 변화에 따른 보강효율

구 분	보강효율	불안정 옹벽(폭 22.5cm)	
안정단면	무보강		
불안정 단면	0.2H		0.84
	0.3H		0.91
	0.4H		0.97
	0.5H		1.06
	0.6H		1.15

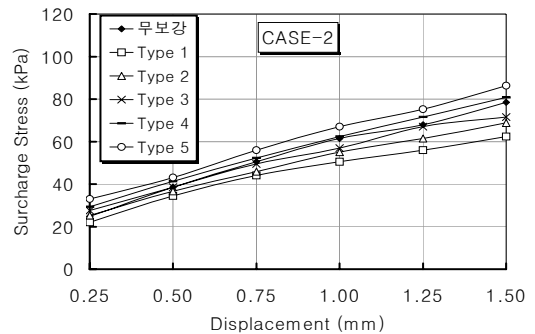


그림 18. 마이크로파일 길이에 대한 모형시험결과

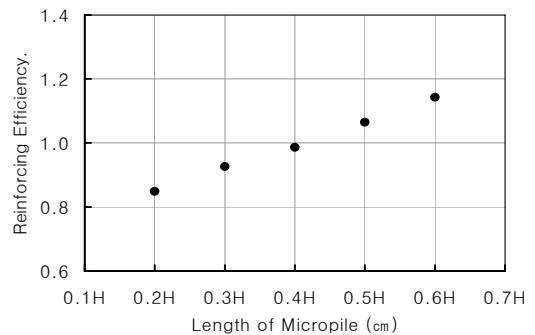
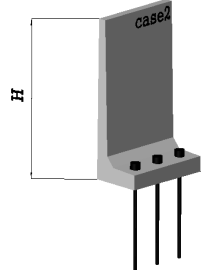


그림 19. 마이크로파일 길이 변화에 따른 보강효율

표 7. 마이크로파일의 길이 변화에 따른 보강효율

	구 분	보강효율	불안전 용벽(폭 26.25cm)
안정단면	무보강	1.00	
불안정한 단면	0.2H	0.85	
	0.3H	0.93	
	0.4H	0.99	
	0.5H	1.07	
	0.6H	1.14	

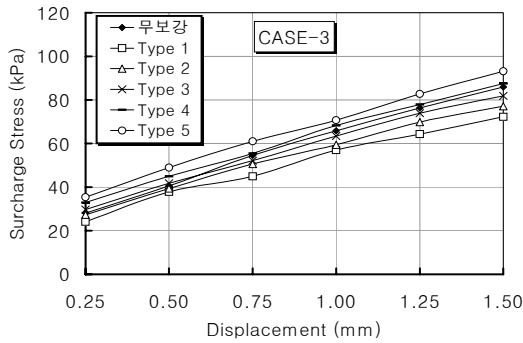


그림 20. 마이크로파일 길이에 대한 모형시험결과

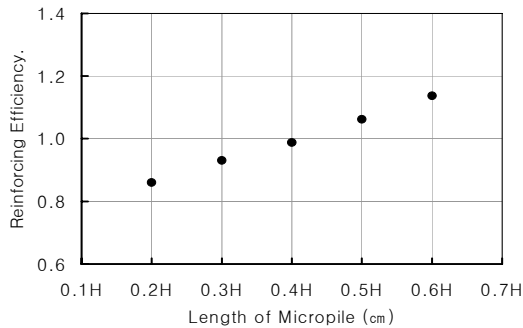
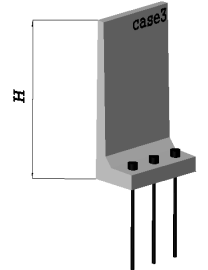


그림 21. 마이크로파일 길이 변화에 따른 보강효율

표 8. 마이크로파일의 길이 변화에 따른 보강효율

	구 분	보강효율	불안전 용벽(폭 30cm)
안정단면	무보강	1.00	
불안정한 단면	0.2H	0.86	
	0.3H	0.93	
	0.4H	0.99	
	0.5H	1.06	
	0.6H	1.14	

도 동일한 하중강도 하에서는 그 거동이 같음을 잘 나타내는 것으로 파악되었다.

또한 모형용벽에 보강된 마이크로파일의 길이 증가에 따른 상재하중을 단면이 안정한 무보강시 모형용벽의 상재하중과 비교한 결과 5단계 모두에서 보강효율이 모형

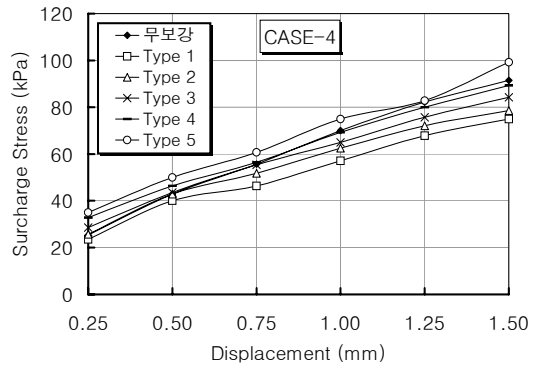


그림 22. 마이크로파일 길이에 대한 모형시험결과

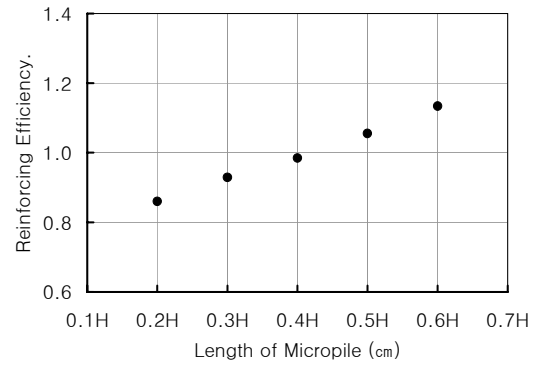
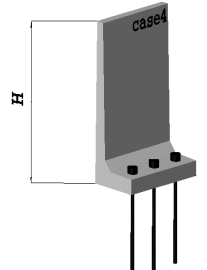


그림 23. 마이크로파일 길이 변화에 따른 보강효율

표 9. 마이크로파일의 길이 변화에 따른 보강효율

	구 분	보강효율	불안전 용벽(폭 33.75cm)
안정단면	무보강	1.00	
불안정한 단면	0.2H	0.86	
	0.3H	0.93	
	0.4H	0.98	
	0.5H	1.06	
	0.6H	1.13	

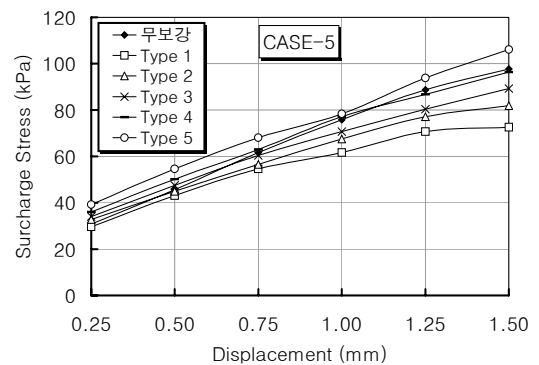


그림 24. 마이크로파일 길이에 대한 모형시험결과

벽체의 높이에 대한 파일의 길이 비 즉 0.5H에서 안정한 벽체의 모델을 1이라 하였을 경우에 대하여 이를 상회하는 보강효율 1.06을 나타내는 최적의 보강효율을 나타내었

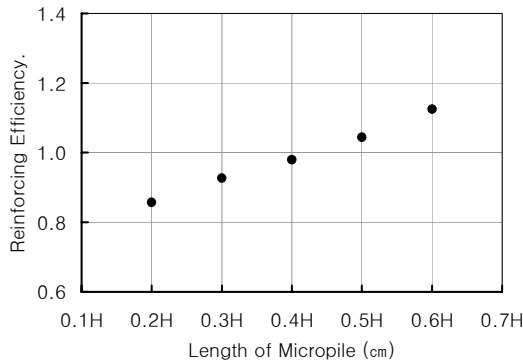
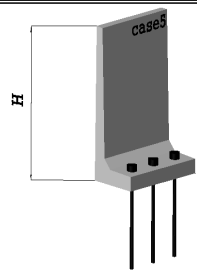


그림 25. 마이크로파일 길이 변화에 따른 보강효율

표 10. 마이크로파일의 길이 변화에 따른 보강효율

구분	보강효율	불안정 옹벽(폭 37.5cm)
안정단면	무보강	1.00
불안정한 단면	0.2H	0.86
	0.3H	0.93
	0.4H	0.98
	0.5H	1.04
	0.6H	1.12



다. 이는 저판의 최소길이가 확보된 안정한 단면을 갖는 옹벽과 저판이 짧아 불안정한 단면에서의 마이크로파일로 보강된 옹벽이 동일한 한계변위를 발생시키는 하중강도로써 비교하여 보았을 때 보강된 옹벽의 파일이 수평저항력에 의하여 저항되는 최적의 파일길이라 판단된다.

그러나 본 연구에서는 저판길이, 보강파일의 직경, 보강파일의 열수 등은 고려되지 않은 제한적인 결과로서 향후 이에 대한 보완이 요구되어 진다.

5.1.2 설치 간격에 따른 분석

마이크로파일의 설치간격에 따른 보강효과를 평가하기 위한 모형시험은 모형옹벽의 높이 및 마이크로파일의 길이를 고정시킨 후 마이크로파일의 간격을 실제 현장에서 설치간격이 2.5D 또는 75cm 미만이나 본 모형시험에서는 최소의 보강재가 설치 될 수 있도록 6D, 7D, 8D, 9D 및 10D 등으로 변화시켜 상재하중 영향에 따른 프리캐스트 옹벽 보강효율을 평가하고자 하였다.

다음의 그림 26, 그림 27 및 그림 28은 파일의 설치 간격 변화에 대한 보강효과를 나타낸 것으로 파일의 길이가 0.2H, 0.3H, 0.4H로서 결과에 따르면 파일의 설치간격 변화에 대한 보강효과는 각각 그 효율이 0.86, 0.93, 및 0.99 등으로 8D에서 가장 높게 평가 되었으나 그 효율은 파일 길이의 부족으로 안정된 단면의 보강효율 1을 하회하는

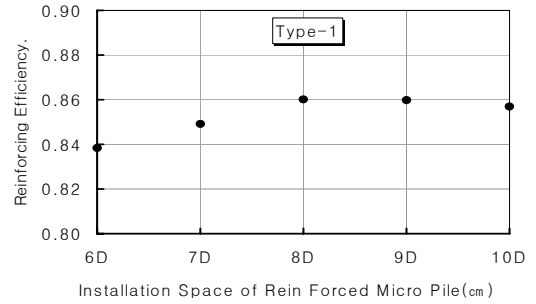


그림 26. 설치간격에 따른 보강효율(파일길이 0.2H)

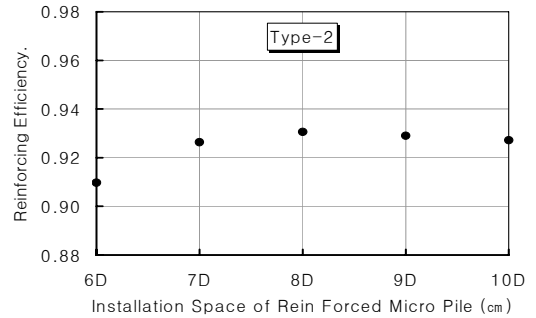


그림 27. 설치간격에 따른 보강효율(파일길이 0.3H)

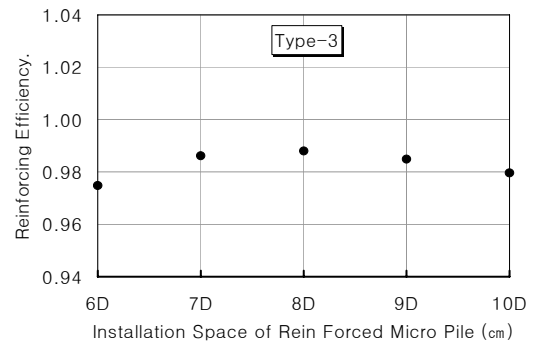


그림 28. 설치간격에 따른 보강효율(파일길이 0.4H)

결과를 보여 설치간격 또한 파일 길이에 영향을 받는 것으로 나타났다.

그림 29 및 그림 30은 파일길이 0.5H와 0.6H에 대한 결과로서 설치간격이 좁을수록 큰 보강효율을 나타내었으며, 또한 파일의 길이가 길수록 보강효율이 증가하는 결과를 아울러 나타내었다.

이는 저판의 최소 길이가 확보된 안정한 단면인 무 보강된 옹벽의 효율 1을 상회하는 결과를 나타내는 것의 가장 주된 기능은 파일의 설치 길이로 판단되며 설치길이가 옹벽 높이의 0.5H, 설치간격은 7D~8D가 적절한 보강형태를 보이는 것으로 본 시험의 경우에서 나타났다.

본 연구의 검토조건에는 마이크로 파일의 설치 열수, 파일 직경의 대소, 저판의 길이 변화 등 또한 고려의 대상이 되는 조건이나 이를 고려하지 못한 미흡한 점이 인정된다.

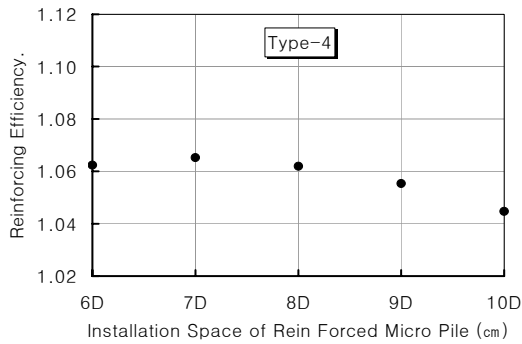


그림 29. 설치간격에 따른 보강효율(파일길이 0.5H)

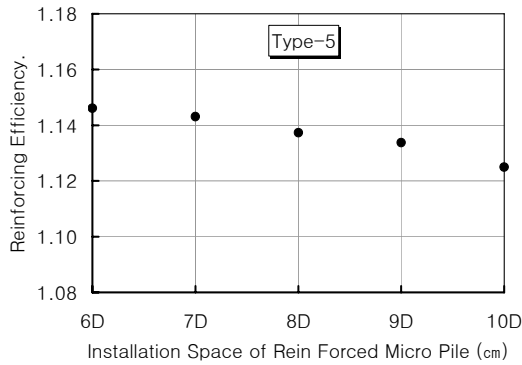


그림 30. 설치간격에 따른 보강효율(파일길이 0.6H)

그러나 본 연구에서 프리캐스트 옹벽에 사용되는 마이크로파일의 주된 보강 기능에 영향을 미치는 요인과 그 효율성은 검토되어졌다고 판단된다.

5.2 수치해석결과 및 분석

모형시험결과와 비교검토 하기 위하여 수행된 수치해석에서는 옹벽배면에 작용하는 상재하중의 영향으로 보강된 파일 길이를 변화하는 총 6가지의 형태로 수행하였으며 그 결과를 이용하여 파일 길이의 최적보강형태를 평가 및 검토하였다. 파일의 길이 변화에 따른 옹벽의 보강효과를 평가하기 위하여 무보강시 옹벽의 변위를 기준으로 파일

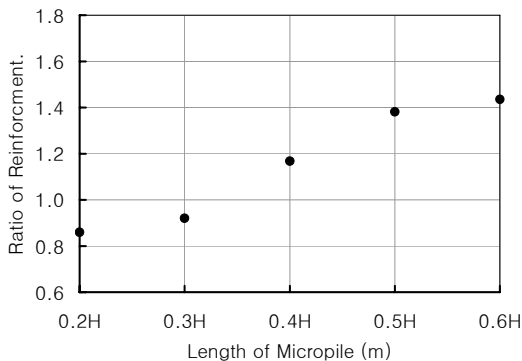


그림 31. 수치해석결과 파일 길이 변화에 따른 보강효율

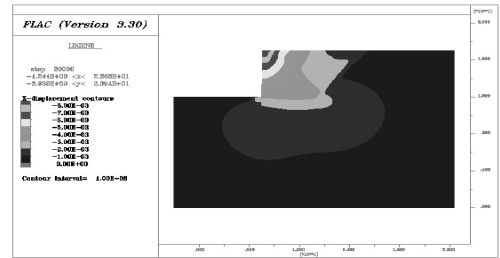


그림 32. 수치해석결과 무보강시 옹벽의 수평변위

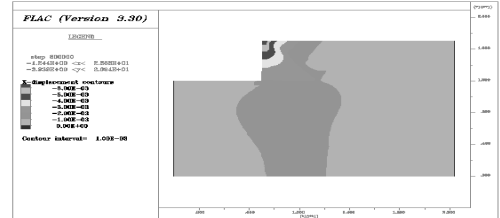


그림 33. 수치해석결과 보강된 옹벽의 수평변위(0.5H)

표 11. 마이크로파일의 최적보강형태

구분	길이	설치간격	비고
최적보강형태	0.5H	7D	H : 옹벽 높이 D : 파일 지름

길이 0.2H, 0.3H, 0.4H, 0.5H 및 0.6H 등에 대한 변위와 응력을 보강효율로서 그림 31에 나타내었다.

수치해석을 수행한 결과 상재하중 재하에 따른 보강된 옹벽의 수평변위를 무보강시 옹벽의 수평변위와 비교하였을 때 수치해석 역시 보강된 파일의 길이가 증가할수록 보강효과 또한 높아지는 것으로 나타났으며 0.4H에서 안정한 무보강옹벽의 효율 1에 가장 가까운 것으로 나타났다.

그러나 0.5H 보다 긴 0.6H에서는 그 증가가 둔화되는 모습을 나타내어 0.5H에서 보강효율이 가장 최적일 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서의 모형시험 및 수치해석 결과에 의하면 본 연구에서와 유사한 조건이라면 마이크로파일을 이용하는 프리캐스트 옹벽설계에서 최적의 보강형태는 파일 길이가 옹벽 높이의 0.5H, 설치간격이 파일 지름의 7D가 가장 효과적인 것으로 판단되며 이를 다음 표 11에 정리하였다.

5.3 파일의 수평저항력에 대한 거동분석

모형시험 결과에 대한 상재하중 적용시 프리캐스트 옹벽에 보강된 마이크로파일이 발휘하는 극한수평저항력을 기존의 Hansen(1961), Broms(1964) 및 Chang(1937)의 이론식을 비교 분석하고자 하였다.

실내모형시험결과에 의해 최적 파일 설치간격인 옹벽 Case-2의 상재하중 적용시 발생된 옹벽의 수평변위 0.25mm,

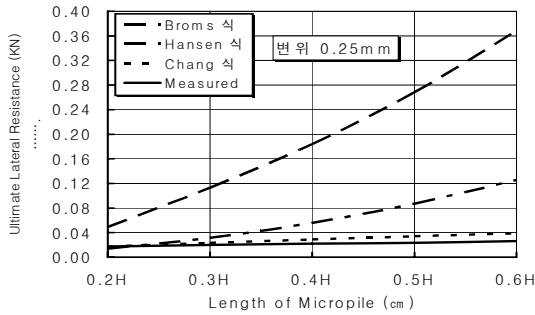


그림 34. 파일의 설치깊이에 따른 극한수평저항력

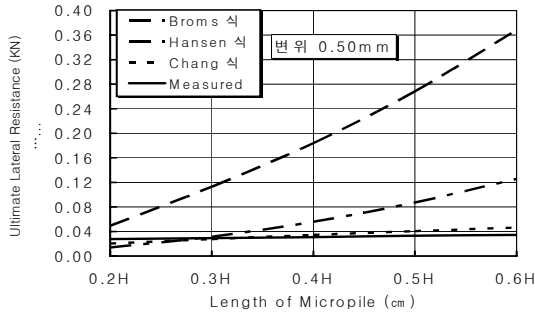


그림 35. 파일의 설치깊이에 따른 극한수평저항력

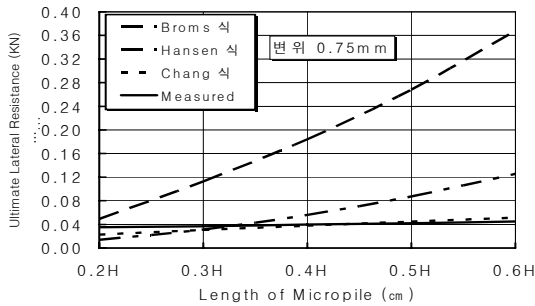


그림 36. 파일의 설치깊이에 따른 극한수평저항력

0.5mm, 0.75mm를 기준으로 이론식과 비교한 결과는 그림 34, 그림 35, 그림 36과 같다.

실내모형시험 마이크로파일의 길이 변화에 따른 극한수평저항력의 분포를 비교 분석한 결과는 Chang(1937)의 산정식과 유사한 경향을 보여주고 있다. Hansen(1961)의 식은 시험결과보다 상대적으로 높게 평가되었으며 Broms(1964) 식 또한 보강된 마이크로파일의 설치 깊이가 0.3H에서부터 시험결과보다 높게 평가되었다.

6. 결 론

이상의 실내모형시험 및 수치해석을 통하여 프리캐스트 옹벽의 저판에 마이크로 파일을 설치함에 따른 파일의 길이와 설치간격에 대한 최적의 보강효율성을 확인하고자 하였다. 본 연구의 검토조건에는 마이크로 파일의 설치 열

수, 파일 직경의 대소, 저판의 길이 변화, 기초지반의 지반반력 등 또한 고려의 대상이 되는 많은 조건과 옹벽의 외적 안정점토가 아울러 요구되어진다.

그러나 본 연구는 프리캐스트 옹벽에 사용되는 마이크로파일의 주된 보강기능에 영향을 미치는 요인과 그 보강 효율성에 목적이 있었으며 미흡하나마 이를 정리하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 연구결과에 따르면 프리캐스트 옹벽의 안정성을 확보하기 위한 옹벽 저판에 보강되는 마이크로파일의 보강효과는 큰 것으로 나타나 그 효율성을 확인 할 수 있었다.
- (2) 실내모형시험결과 마이크로파일 설치길이가 길어질수록 상재하중에 대한 보강효율이 증가하며 본 연구와 유사한 경우에 대한 마이크로파일의 경제적인 설계를 위해서는 옹벽높이의 0.5배가 최적의 보강형태로 추천된다.
- (3) 실내모형시험결과 마이크로파일의 설치간격이 좁아질수록 보강효율은 증가하나 마이크로파일 설치간격이 파일지름의 7배에서 최적의 보강효율에 수렴하는 것으로 평가되었다. 따라서 본 연구와 유사한 경우에 대한 프리캐스트 옹벽의 마이크로파일 간격은 파일직경의 7배가 적정한 것으로 추천된다.
- (4) 본 연구에서는 상재하중에 대한 극한 수평저항력 산정하기 위하여 기존의 이론식과 비교 분석한 결과 파일의 길이 변화에 따른 극한수평저항력은 Chang(1937)의 산정식에 가장 근접한 결과로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 박준용 (2005), 마이크로파일로 보강된 프리캐스트 콘크리트 옹벽의 거동특성 평가, 공학박사학위 논문, 홍익대학교, pp. 3~122.
2. 이승현, 김명모 (1996), 압축 및 인발하중을 받는 그물식 뿌리말뚝의 최적 타설경사각, 제12권, 제2호, 한국지반공학회지, pp. 71~83.
3. Broms, B. B. (1964), *Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils*, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.90, No. SM3, pp. 123~156.
4. Brinch Hansen, J. (1961), *The Ultimate Resistance of Rigid Piles Against Transversal Forces*, Geotechnical Institute Bull. No. 12, Danish Copenhagen, pp. 5~9.
5. Chang, Y. L. (1937), *Discussion on Lateral Pile Loading Tests by L.B Feagin*, Transaction. ASCE, Vol. 102 pp. 272~278.
6. FLAC (1996) (*Fast Lagrangian Analysis of Continua*) Version 3.3, ITASCA CONSULTING GROUP, INC.

(접수일: 2008. 10. 8 심사일: 2008. 10. 15 심사완료일: 2008. 11. 19)