

기초보강을 위한 그물식 뿌리말뚝의 효과적인 배치

Efficient Arrangement of Root Piles
in Reinforcing the Strip Footing on a Sand Ground

이 원 택* ¹	이 승 현* ²
Lee, Won - Taeg	Lee, Sung - Hyun
박 영 호* ³	김 명 모* ⁴
Park, Young - Ho	Kim, Myoung - Mo

Abstract

To find out the most efficient arrangement of root piles reinforcing sandy soil under a strip footing, a series of model tests for the patten A of by R.H. Bassett and N.C. Last are carried out. In the model test, the variables adopted are a pile length, longitudinal spacing, and the number of rows of piles.

According to the results, the most efficient longitudinal spacing of piles is six times of a pile diameter. When the pile length exceeds five times of footing width, no further increase of reinforcing effect is observed. In the pattern A, piles of second row exhibit the largest reinforcing effect and the fifth row show no significant reinforcing effect on the soil.

요 지

뿌리말뚝을 이용하여 기초 지반을 보강할 때 효과적인 배치 방법을 알기 위하여, 사질토 지반에서 R.H. Bassett와 N.C. Last가 제안한 보강패턴에 대하여, 말뚝 길이, 기초 길이 방향의 말뚝 간격과 말뚝 열의 수를 변화시키며 물리 모형 실험을 실시하였다.

모형 실험 결과에 의하면, 뿌리말뚝 길이와 기초 폭의 비(L_p/B_f)가 5 이상일 때 지지력은 거의 증가하지 않는다. 그리고 기초 길이 방향의 말뚝 간격이 작을수록 지반 보강 효과는 크지만, 기초 길이 방향의 말뚝 간격이 말뚝 직경의 약 6배일 때 말뚝 1개당 보강효과가 가장 좋았다. R.H.

*1 정희원, 호남대학교 공과대학 토목공학과 전임강사

*2 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

*3 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 박사수료

*4 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

Bassett와 N.C.Last가 제안한 보강패턴에서 들쭉열 말뚝의 보강 효과가 가장 우수하였으며, 가장 바깥 열의 말뚝은 보강 효과가 거의 없었다.

1. 서 론

최근 우리나라에서는 신속한 산업화와 도시 지역의 인구 집중과 팽창 등으로 심각한 용지 부족현상을 겪고 있다. 토목 기술의 발전, 용지 부족 현상, 높은 지가 등을 고려할 때, 과거에는 입지 조건이나 지반 조건이 좋지 않아서 사용되지 않고 방치되어 왔던 부지라 할지라도 근래에는 토목 기술의 발달로 충분한 가치를 가질 수 있게 되었다.

그물식 뿌리말뚝(reticulated root piles ; R.R.P)공법은 폭풍우에 견디는 나무에서 착안하여 나무 뿌리 역할을 하는 것을 인공적으로 만들어 구조물을 지지 또는 지지 지반을 보강하고자 하는 아이디어를 현실화 한 것으로 돌기둥(stone column)공법, 흙 못(soil nailing) 공법, 보강토(reinforced earth) 공법과 같이 흙속에 구조물을 설치하여 역학 체계를 개선하여 지반을 보강시키는 방법이다(그림 1).

그물식 뿌리말뚝의 단위가 되는 뿌리말뚝은 중심에 보강재가 들어있는 직경 75~250mm인

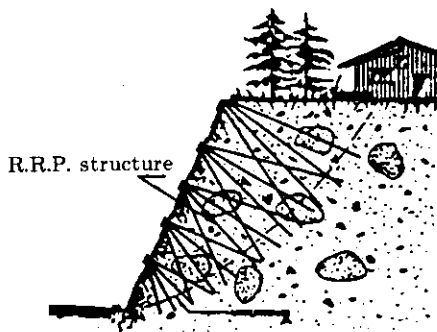


그림 1. 사면 안정공에 사용된 그물식 뿌리말뚝의 예 (after Lizzi, 1977)

소구경 현장 시공 콘크리트 말뚝으로 1952년에 이태리의 F.Lizzi에 의해 소개 되었다. 이태리의 폰데딜 회사(Fondedile S.P.A.)가 기존 구조물의 기초를 보강하기 위한 목적의 'Reticolo Di Pali Radice'로 특허를 얻은 이래, 그물식 뿌리말뚝 공법은 최근에 와서 기초, 옹벽, 사면 안정, 지지력이 약화된 기존 구조물의 기초 보강 등에 세계적으로 널리 사용되고 있다.^(6, 7, 8, 9, 13)

R.R.P.의 목적은 현장 조건에 맞추어 여러 방향으로 소구경 말뚝(뿌리말뚝)을 설치하여 흙-말뚝 3차원 저항체를 형성해서 현장 흙을 개선하는 것이다. 다시 말하면, 일종의 보강토로서 굴착하지 않고 현장 구조물을 만드는 것이다. 뿌리말뚝 시공은 현장 여건에 따라 다를 수 있지만 일반적으로 캠핑 빔(capping beam) 설치 → 천공 → 보강재 삽입 → 그라우팅 → 케이싱 인발 → 양생의 순서로 이루어진다.^(7, 8, 13)

뿌리말뚝은 소구경이며 현장 시공 말뚝이므로 지형이나 장소, 흙의 종류에 구애받지 않고 시공 가능하며 환경 공해가 거의 없고 기존 구조물에 부가 응력을 거의 발생시키지 않는다. 이런 특징으로 도심지에서의 공사, 낮은 구조물의 기초 보강, 대형 장비 진입이 어려운 산악 지형, 소음이나 먼지, 진동 등 환경 공해에 대한 제약이 심한 경우에는 R.R.P.가 가장 효과적이며 다른 나라에서는 많은 시공 사례가 있다. 많은 시공 사례에도 불구하고, 뿌리말뚝에 대한 역학적 구조가 아직 명확히 밝혀지지 않고 있으며 무리 효과와 뿌리말뚝의 배치-크기, 간격, 경사각, 길이 등에 관한 기준이 없고 설계 또한 경험에 의존하고 있다.

기초의 지지력에 영향을 미치는 요소는 흙의 역학적 특성과 말뚝의 간격, 직경, 경사 등이 있는데, 본 연구에서는 기초의 지지력에 영향을 미치는 여러 요소 중에서 말뚝의 갯수, 간

격, 길이, 경사에 대하여 물리 모형 실험을 실시하여 연구하고자 한다.

2. 뿌리말뚝의 보강 방향

2.1 보강재의 역할

토목 기술자가 보강재(reinforcement)라는 말을 접하게 되면 우선 철근 콘크리트 구조물의 철근을 연상한다. 철근 콘크리트 구조물에서 철근은 인장 강도가 약한 콘크리트와 부착하여, 철근은 인장에 저항하고 콘크리트는 압축에 저항하는 복합체를 형성한다. 흙에서 보강재의 역할은 철근 콘크리트에서 철근의 역할과는 다르다. 대부분의 지반 공학 문제는 압축 응력만이 존재하는 압축 응력장(complete compressive field)과 관련되어 있다. 이것은 주동 상태와 수동 상태를 나타내는 모어 응력원을 보면 알 수 있다. 흙에서 보강재의 작용 형태는 흙에 발생하는 인장 응력에 저항하는 것이 아니라 한 방향의 법선 변형률 속도(normal strain rate)를 억제하거나 감소시키는 것이다. 이러한 메커니즘은 Vidal¹⁴⁾에 의해 확인되었다. 그림 2는 보강재의 작용으로 모래 입자가 구속된 것을 보여준다.

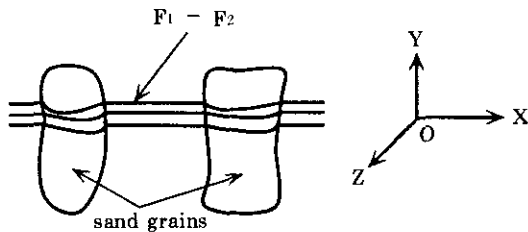


그림 2. 보강재의 작용에 대한 Vidal의 견해 (after Vidal, 1969)

Vidal은 변형률 억제가 의사 점착력(pseudo-cohesive strength)으로 나타난다고 하였는데, 작용의 이방성 때문에 응력 구조물이

외의 분야에서는 이 개념을 적용하기가 곤란하다. 그림 2에 나타난 바와 같이 각 방향의 의사 점착력은 같지 않다. 즉, $C_x \neq C_y \neq C_z$ 이다. 다시 말하면 응력에서와 같이 한 방향, 예를 들면 x 방향 강도가 중요한 문제가 되는 경우에만 Vidal의 의사 점착력 개념이 적용될 수 있다.

2.2 보강 효과

2.1절에서 설명한 바와 같이, 흙에서 보강재의 역할이 한 방향의 변형률 속도를 억제하는 것이기 때문에, 응력 장보다는 변형률을 직접 연구하는 변형률 장(strain field)이 보다 효과적이다. 많은 지반 공학자들은^{4, 5, 10, 12)} 응력 장(stress field)에서 기초의 지지력을 연구하였으며, 일부¹¹⁾만이 변형률 장에서 연구하였다. 응력 상태에 상응하는 변형률 상태를 변형률 속도 모어 원을 사용하여 나타낼 수 있다.

그림 3(a)는 응력 모어 원을 나타내며, 그림 3(b)는 변형률 속도 모어 원을 나타낸다. 변형률 속도 원의 중심은 $(\dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_3)/2$ 이며, 최대 부피 변형률 속도와 같은 값을 나타낸다. 변형률 속도 원의 반경은 $(\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_3)/2$ 이며, 최대 전단 변형률 속도와 같은 값을 가진다. 변형률 속도 원¹⁾에서 평면 기점(pole)을 구하는 방법은 응력 원⁵⁾에서 평면 기점을 구하는 방법과 같다.

그림 3(b)에서 두 점 A, B를 지나는 PA, PB는 변형률 속도가 0인 면을 나타내며 PA, PB와 연직인 방향은 $\dot{\epsilon} = 0$ 인 두 방향을 나타낸다. 이들 두 방향을 α, β 방향이라 한다. $\dot{\epsilon}_1$ 와 $\dot{\epsilon}_3$ 방향은 α, β 방향을 이등분한다. α, β 방향이 가지는 실제적 의미는 아주 중요하다. 최소 주 변형률 속도를 포함하는 원호에서 법선 변형률 속도는 인장이 되어 보강이 효과적이다. 여러 점에서 α, β 방향을 연결하면 두 개의 곡선 균열을 얻을 수 있는데 이들을 영 인장 궤적이나 특성 곡선(Zero Extension Trajectories or Characteristics)²⁾ 혹은 속도 특성 곡선(Velocity Characteristics)¹¹⁾이라 부른다. 속도 특성 곡선은 실험을 통하여 얻거나 응력 특성 곡선으로부터

터 얻을 수 있다. 응력이 모어-쿨롱 파괴 규준을 만족할 때 파괴가 발생하지만, 실제 파괴면은 응력 특성 곡선을 따라 파괴가 일어나는 것이 아니라, 속도 변화율의 불연속이 발생하는

속도 특성 곡선을 따라 실제 파괴면이 형성된다. 이것은 파괴를 한 블록에 대한 다른 블록의 큰 상대 변위로 정의할 수 있기 때문에 더욱 자명해진다.

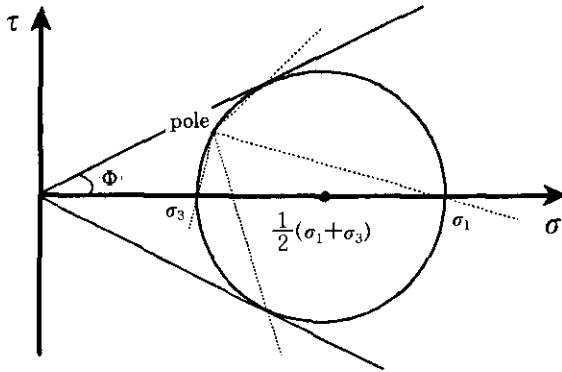


그림 3(a). 응력의 모어 원

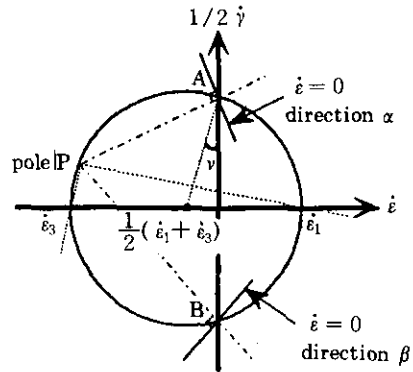


그림 3(b). 변형률 속도의 모어 원

그림 4는 기초 바닥에서 횡 방향으로 완전히 구속되어 있는, 즉 $\dot{\epsilon}_h=0$ 인 경우에 대한 영인장 특성 곡선을 보여준다.

영인장 특성 곡선의 교점에서 볼 수 있는

짧은 선은 법선 변형률 속도가 인장이 되어 보강이 효과적인 방향을 나타낸다. 한 점에서 가장 이상적인 보강재 배치 방향은 그림 4에 보인 것처럼 주 인장 변형률 속도($\dot{\epsilon}_3$) 방향과 일

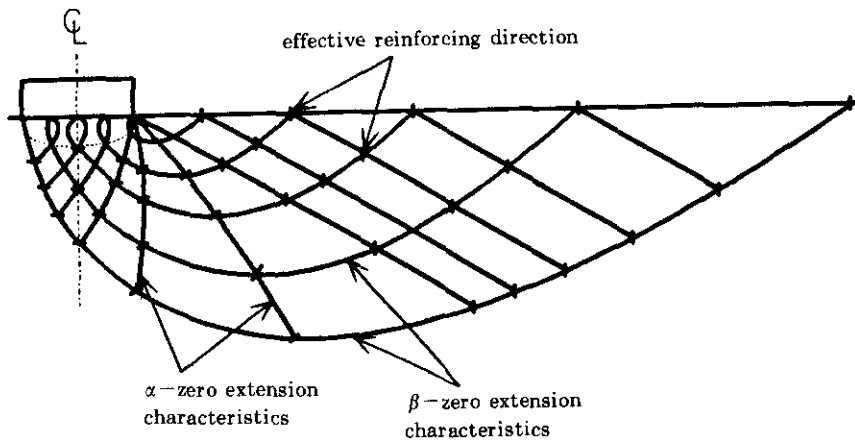


그림 4. $V/\gamma=c>0$ 이고 $\dot{\epsilon}_h=0$ 인 경우의 영인장 특성 곡선 예(after Bassett & Last, 1978)

치하게 될 것이다. 각 점에서 가장 이상적인 보강재 배치 방향을 연결하면 그림 5(a)에 보인 것처럼 기초 바로 밑에서는 수평이고 기초에서 멀어지면서 점차 연직으로 변하는 곡선이 된다. 그러나 실제에 있어서 그림 5(a)와 같은 형태로 보강재를 배치하는 것이 불가능하므로

Bassett와 Last²⁾는 그림 5(b), (c)와 같은 보강재 배치 모델을 제안하였다. 그림(b)는 기존 구조물이 있는 기초를 보강할 때 유용한 보강재 배치 모델이며, 그림 5(c)는 구조물을 신설할 경우 기초 보강에 적합한 보강재 배치 모델이다.

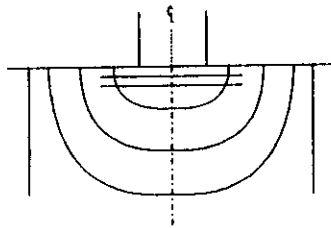


그림 5(a). 보강재의 이상적인 배치

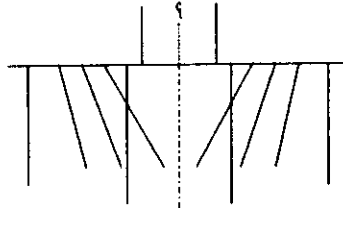


그림 5(b). 실제적인 보강재 배치 형태 - A형(after Bassett & Last, 1978)

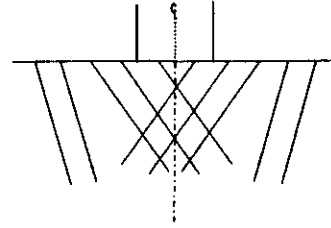


그림 5(c). 실제적인 보강재 배치 형태 - B형

3. 모형 실험

3.1 모형 실험 계획

본 모형 실험에서는 R.H. Bassett와 N.C. Last²⁾가 제안한 보강 패턴 A를 기준으로 하여 말뚝 길이(L12.5, L25, L50, L75)와 말뚝 배치 간격(H25, H37.5, H50, H62.5, H75), 말뚝 중

첩 배치(D0, D1, D2, D3, D4, D5)를 다르게 하여, 각각이 지반 보강에 미치는 효과를 알아 보도록 하였다. 모형 실험에 사용된 말뚝 배치 형태가 그림 6에 나타나 있다.

모형 실험에 사용된 기초 폭(B)은 5cm이며, 말뚝 직경($\phi=6.25\text{mm}$)의 8배이고, 말뚝 길이를 나타내는 L12.5, L25, L50, L75는 각각 기초

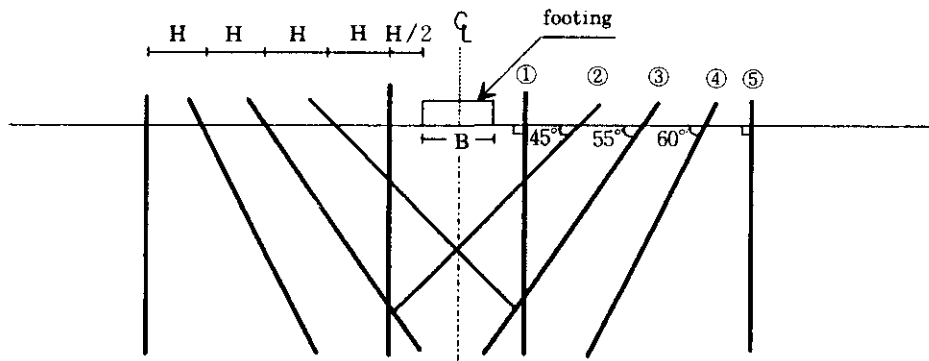


그림 6. 모형 실험에 사용된 말뚝의 배치 형태

폭의 0.25, 0.5, 1.0, 1.5배이다. 그리고 말뚝 중심을 나타내는 H25, H37.5, H50, H62.5, H75)는 각각 말뚝 직경의 4, 6, 8, 10, 12배이다. 각각의 문자와 수자가 나타내는 의미는 다음과 같다.

L은 말뚝 길이를 말하며, 수자의 단위는 cm이다. 예를 들면, L12.5는 말뚝 길이가 12.5cm(기초폭의 0.25배)인 것을 나타낸다. H는 지표에서 말뚝 중심간의 수평 거리를 말하며, 수자의 단위는 mm이다. 예를 들면, H25는 지표에서 말뚝 중심간의 수평 설치 간격이 25mm(0.5B)인 것을 나타낸다. D는 말뚝 중첩 배치를 나타내며, 수자는 배치된 말뚝의 열의 수를 의미한다. 예를 들면, D4는 ①, ②, ③, ④의 4개 열의 말뚝이 배치된 것을 의미한다. ϕ 는 말뚝

직경(6.25mm)을 나타낸다. 예를 들면, 40 ϕ 는 말뚝 직경의 40배를 의미한다. B는 기초 폭을 나타낸다. 예를 들면, 0.5B는 기초 폭의 0.5배를 나타낸다.

모형 실험은 우선 말뚝 길이를 25cm(5B)로 고정하고, 말뚝 간격을 변화시켜 실험하여 말뚝 간격이 극한 지지력에 미치는 효과를 조사해 말뚝 효율이 최대가 되는 말뚝 간격을 조사한다. 그 결과에 따라서 말뚝 간격을 고정하고 말뚝 길이, 중첩 배치를 다르게 하면서 합리적인 말뚝 길이를 구하고, 중첩 배치를 했을 때 각 말뚝의 지반 보강 효과를 알고자 하였다. 실험을 수행하기 위한 실험 계획표는 표 1과 같다.

표 1. 모형 실험 계획표

	말뚝 길이				중첩 배치					수평 설치 간격					실험회수
	L12.5	L25	L50	L75	D1	D2	D3	D4	D5	H25	H37.5	H50	H62.5	H75	
말뚝 길이의 영향	*	*	*	*					*			*			4 회 /
설치 간격의 영향		*							*	*	*		*	*	4 회 /
중첩 배치의 영향		*			*	*	*	*	*			*			4 회 /

3.2 사용 재료

모형 실험에 사용된 재료는 다음과 같다.

(1) 모형 말뚝

에폭시를 사용하여, No.20체를 통과하고 No. 40체에 남은 깨끗한 모래를 직경 4mm 강봉에 부착시켜 제작하였다. 모형 말뚝 직경은 6.25 mm이다.

(2) 모형 기초

모형 기초로 사용한 재하판은 길이 25cm, 폭

5cm인 철판을 사용하였다. 현실적으로 길이와 폭의 비(L_f/B_f)가 5이상인 경우에는 띠 기초로 간주할 수 있다.

(3) 모형 캡핑 빔(Capping Beam)

모형 말뚝 머리를 연결하기 위한 목적으로 폭 6mm, 두께 1mm인 철판에 25mm 간격으로 직경 3mm 구멍을 뚫어 제작하였다.

(4) 모형 상자

폭이 1m, 길이가 2m, 깊이가 2.5m인 장방향 상자로서, 지하 1.5m부분은 콘크리트 벽이며

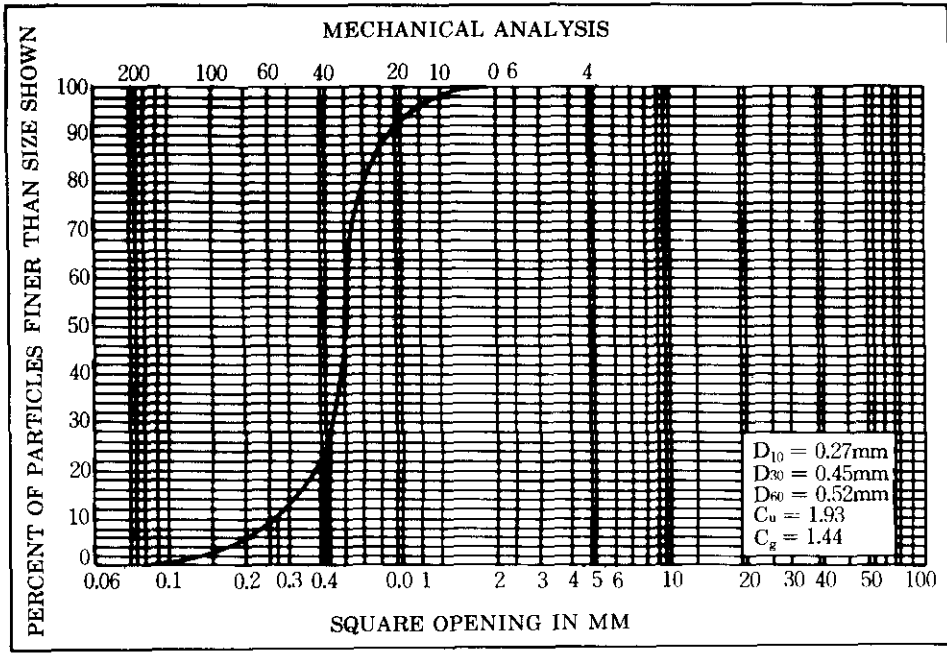


그림 7. 모형 실험에 사용된 모래의 입도 분포

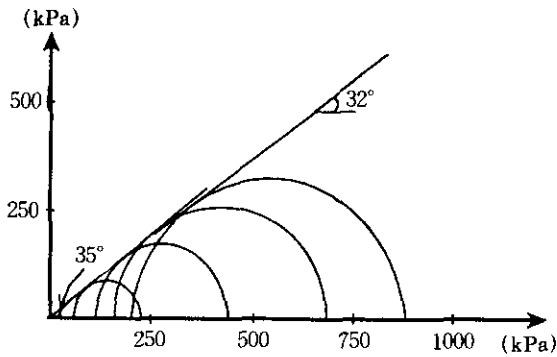


그림 8. 모형 실험에 사용된 모래의 파괴포락선

체눈 직경이 5mm인 체를 통해 낙하시켜 모형 지반을 조성하였다. 시료 비중은 2.66이고 입도 분포는 그림 7과 같다. 프록터 자동 다짐 시험기를 이용해 매층 50회씩 다져서 얻은 $(\gamma_d)_{max}$ 는 $1.80(t/m^3)$ 이며 구속 하중을 가하고 모울드 측벽을 고무 망치로 두들기는, Bowles 방법으로 얻은 $(\gamma_d)_{max}$ 는 $1.62(t/m^3)$ 이다. 모래를 물 속에서 침전시켜 얻은 $(\gamma_d)_{max}$ 은 $1.39(t/m^3)$ 이다. 모형 지반의 γ_d 는 $1.49(t/m^3)$ 이다. 시료의 모어-쿨롱 파괴 포락선은 그림 8과 같다.

지상 1m부분은 두께 10mm인 철판을 용접하여 제작하였다.

(5) 모형 지반

체눈 직경이 2mm인 체를 통과한 자연 건조된, 한강 모래를 모형 상자 위 1.4m 높이에서

4. 모형 실험 결과 및 분석

본 연구에서는 하중의 최대치를 발견할 수 없는 경우에, 여러가지 극한 지지력 산정 방법 중에서 Terzaghi/Yelinek 방법³⁾에 따라 직선

부분이 시작되는 점에서의 하중을 극한 지지력으로 하였다. 그림 9는 하중-침하 곡선의 일 예를 보여주고 있다.

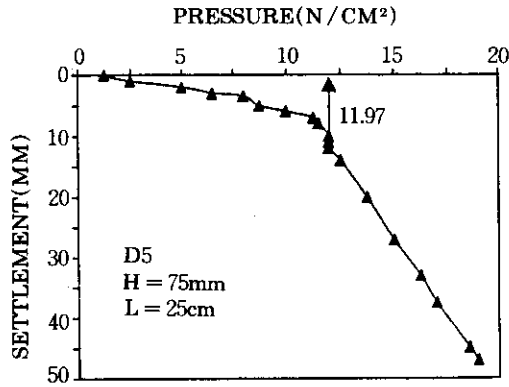


그림 9. 하중-침하 곡선 예

4.1 말뚝 길이의 영향

말뚝 길이가 극한 지지력에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 말뚝 간격을 최대 효율을 주는 50mm(1B), 말뚝 중첩 길이를 D5로 고정하고 각 말뚝 길이를 12.5cm(2.5B), 25cm(5B), 50cm(10B), 75cm(15B)로 변화시키며 실험하였다. 그 결과는 표 2와 그림 10에 나타나 있다.

그림 10에 나타난 바와 같이 극한 지지력은 말뚝 길이가 25cm(5B)일 때 최대값에 도달한

표 2. 말뚝 길이에 따른 극한 지지력의 변화 (H=50mm, D5)

길이(cm)	극한 지지력(N/cm²)				평균
D0	3.06	2.83	4.47	4.91	3.82
L12.5	16.55	14.17	14.23	14.29	14.81
L25	29.45	27.27	30.45	32.56	29.93
L50	27.52	24.47	25.19	26.32	25.87
L75	27.15	24.59	23.16	25.07	24.99

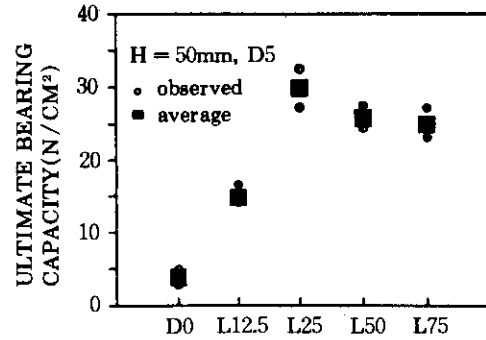


그림 10. 말뚝 길이에 따른 극한 지지력의 변화 (H = 50mm, D5)

후, 말뚝 길이가 증가함에 따라 약간씩 감소하는 추세를 보인다. 말뚝 길이가 증가함에 따라 극한 지지력이 증가하는 것은 당연히 예견되는 사실이지만 본 모형 실험 결과가 예상과 다른 것은 모형 실험과 실제에서 말뚝의 설치 방법이 서로 다른 데서 그 이유를 찾을 수 있다. 실제에서는 원지반에 천공한 후 보강재를 설치하고 그라우팅하여 말뚝을 시공하는 현장 말뚝으로서 비배토 말뚝(nondisplacement pile)이지만, 모형 실험에서는 말뚝을 설치한 후 레이닝(raining)을 통하여 모형 지반을 조성하는 묻힌 말뚝(buried pile)이다. 따라서 말뚝 길이가 증가함에 따라 레이닝을 방해하는 부분이 커져서 모래 밀도가 감소하기 때문이다. 실제에서 말뚝 길이가 증가할 때 지지력이 작아지지 않으므로 L25, L50, L75의 경우 지지력은 실험 오차 한계 내에서 크게 다를 바 없다고 판단된다. 따라서 말뚝 길이가 25cm 이상 즉, 기초 폭의 5 배를 넘을 때는 길이 효과가 크지 않다고 판단할 수 있다.

4.2 최적 간격

말뚝 1개당 보강 효과가 최대가 되는 기초 길이 방향의 말뚝 간격을 정하기 위해 말뚝 길이를 25cm(40φ), 중첩 배치를 D5로 고정시키고, 각 말뚝 수평 간격을 25mm(4φ), 37.5mm

(6φ), 50mm(8φ), 62.5mm(10φ), 75mm(12φ)로
 변화시키며 실험하였다. 그 결과는 표 3과 그
 립 11에 나타나 있다. 그림 11의 점선은 회귀
 분석 결과이다.

표 3. 기초 길이 방향의 말뚝 간격에 따른 극한 지지력의 변화(L=25cm, D5)

간격(mm)	극한 지지력 (N/cm ²)				평균	P _{ult} /개
D0	3.06	2.83	4.47	4.91	3.82	
H25	48.00	40.15	48.80	46.00	45.74	0.38
H37.5	22.07	26.86	29.30	24.30	25.63	0.32
H50	29.45	27.27	30.45	32.56	29.93	0.43
H62.5	14.75	12.20	19.40	19.50	16.46	0.27
H75	13.04	11.33	11.97	19.02	13.84	0.28

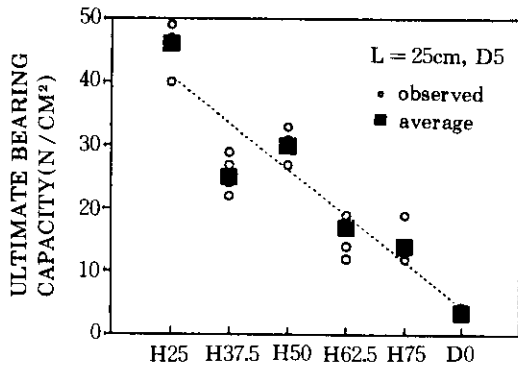


그림 11. 기초길이 방향의 말뚝 간격에 따른 극한
 지지력의 변화(L = 25cm, D5)

말뚝 1개당 효율을 알기 위해 극한 지지력을
 말뚝 개수로 나누어 얻은 결과는 그림 12와 같
 다. 이 그림에서 점선은 그림 11의 회귀분석 결
 과로부터 산출한 값을 부드럽게 연결한 것이
 다.

그림 11에서 보면 띠기초의 극한 지지력은
 수평 간격이 가장 작은 H25(4φ)일 때 45.74
 (N/cm²)으로 가장 크지만, 말뚝 1개당 효율
 은 수평 간격이 H37.5 mm(6φ)인 경우에 가장
 크다.

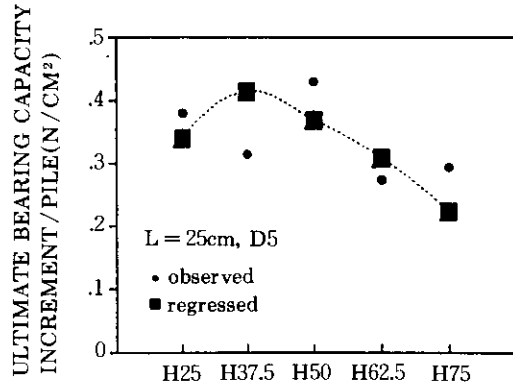


그림 12. 간격에 따른 말뚝 1개당 극한 지지력의
 변화

이와 같은 사실로부터, 큰 극한 지지력을 필
 요로 하는 경우에는 기초 길이 방향 말뚝 간격
 을 무조건 작게 해야 하지만, 말뚝 효율을 크게
 하기 위해서는 일정한 간격(말뚝 직경의 6배)
 을 유지해야 한다는 것을 알 수 있다.

4.3 중첩 배치 효과(말뚝의 기여도)

각 말뚝의 기여도를 알기 위해 말뚝 길이를
 25cm(4φ), 수평 간격을 50mm(8φ)로 고정하
 고 말뚝을 1열씩 중첩 배치하여 실험하였다.

그 결과는 표 4와 그림 13에 나타나 있다. 그림 13에 나타난 바와 같이 말뚝을 중첩 배치하였을 때, 말뚝 개수와 보강 단면이 증가함에 따라 극한 지지력도 증가한다. D5 경우가 D4 경우

보다 극한 지지력이 더 작아질 이유는 없으므로 두 가지 경우 극한 지지력이 실험 오차 한계 내에서 크게 다를 바 없다고 판단된다.

표 4. 말뚝 열의 수에 따른 극한 지지력의 변화(L=25cm, H=50mm)

중첩 배치	극한 지지력 (N/cm ²)				평균	△ P _{ult}
D0	3.06	2.83	4.47	4.91	3.82	
D1	9.11	9.00	9.23	13.39	10.18	6.36
D2	22.56	20.81	19.61	17.84	20.21	10.03
D3	22.80	29.04	26.98	26.08	26.23	6.02
D4	32.56	33.85	31.10	34.98	33.12	6.89
D5	29.45	27.27	30.45	32.56	29.93	-3.19

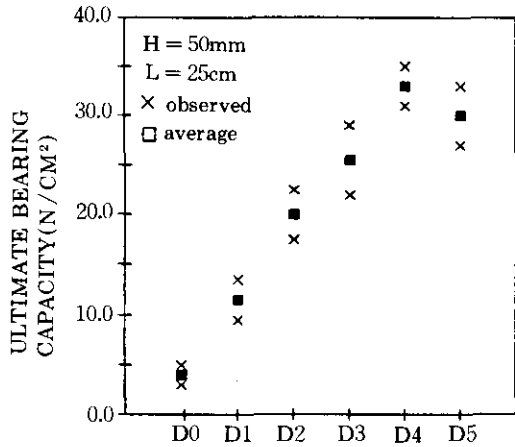


그림 13. 말뚝 열의 수에 따른 극한 지지력의 변화 (L = 25cm, H = 50mm)

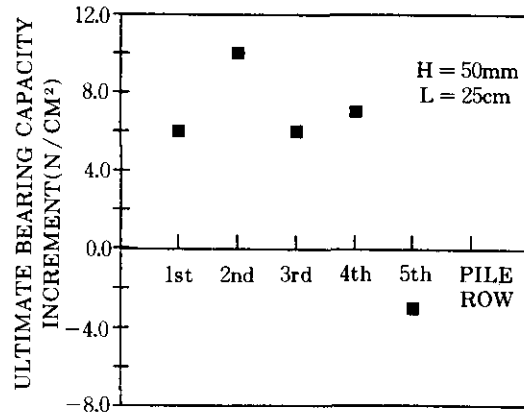


그림 14. 말뚝 열의 수에 따른 극한 지지력의 증가량의 변화(L = 25cm, H = 50mm)

각 말뚝 열의 기여도를 알기 위하여 말뚝이 1열씩 중첩되어 배치될 때 극한 지지력 증가량을 구한 결과는 그림 14와 같다. 그림 14에서 알 수 있는 바와 같이 안쪽으로 45° 경사진 두 번째 말뚝 열의 보강 효과가 가장 우수하였으며, 가장 바깥 열은 지반 보강에 크게 기여하지 않는 것으로 판단할 수 있다. 이것은 기초에 하중이 작용할 때 응력이 집중되며, 인장 변형률 속도가 큰, 기초 가까이 있는 흙을 보강하는 것이 효과적임을 나타내고 있다.

5. 결론 및 건의 사항

본 연구에서는 그물식 뿌리말뚝을 이용하여 때 기초 아래의 사질토 지반을 보강할 때 지반 보강 효과에 영향을 미치는 말뚝의 길이, 간격, 중첩 배치, 기초로부터의 거리에 대하여 연구하였다. 이를 위해 체로 친 자연 건조된 모래와 강봉에 모래를 입혀 제작한 모형 말뚝을 사용하여 모형 실험하였다. 이들 모형 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 선정된 형태의 그물식 뿌리말뚝을 이용하여 띠 기초 아래의 사질토 지반을 보강할 때 말뚝 길이와 기초 폭의 비(L_p/B_f)는 5이상이어야 최대의 지지력을 발휘한다.
2. 본 연구에서 선정된 형태의 그물식 뿌리말뚝을 이용하여 띠 기초 아래의 사질토 지반을 보강할 때 기초 길이 방향의 말뚝 간격이 작을수록 지반 효과는 크지만, 기초 길이 방향의 말뚝 간격이 말뚝 직경의 6배일 때 말뚝 1개당 보강 효과가 가장 좋다.
3. R.H.Bassett와 N.C.Last가 제안한 보강 패턴 A에서 가장 바깥 열 말뚝은 보강 효과가 거의 없는 것으로 판단된다.
4. 본 연구는 그물식 뿌리말뚝의 많은 용도 중에서 사질토 지반 위에 놓인 띠 기초의 보강에 국한되었다. 그물식 뿌리말뚝은 용도가 다양하고 많은 장점을 가지고 있으므로 이에 대한 많은 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구비는 한국과학재단의 1989년도 “그물식 뿌리말뚝 설계를 위한 기초적 연구”에 대한 연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 윤지선 역(1990). 日本土質工學會, 土의 強度と 地盤의破壞 入門, 구미서관.
2. Bassett, R.H. & Last, N.C.,(1978). “Reinforcing Earth below Footings and Embankments., Proc., ASCE, Symp., Earth reinforcement, Pittsburgh, pp.202~231.
3. Dieter Salden,(1980). Der Einfluss der Sohlenform auf die Traglast von Fundamenten, Baugrundinstitut, Stuttgart.
4. Harr, M.E., Foundations of Theoretical Soil Mechanics, New York, McGraw-Hill Book Co.
5. Lamb, T.W. & Whitman, R.V.(1979). Soil Mechanics, John Wiley and Sons.
6. Lizzi, F.,(1973). “Les Pieux Racine FON-DEDILE et les Reaux de Pieux Racine”, Conference donnee aux Journees de Mecanique des Sols, Ecole Centrale, Paris.
7. Lizzi, F.,(1977). “Practical Engineering in Structurally Complex Formations (The In-Situ Reinforced Earth)”, International Symposium on the Structurally Complex formations, Capri, Italy.
8. Lizzi, F.,(1982). “The ‘Pali Radice’(Root Piles)—A state-of the art Report”, Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques, Bangkok, 29 Nov.-3 Dec.
9. Lizzi, F. & Carnevale, G.,(1979). “Les Reseaux de Pieux Racines pour la Consolidation des Sols, Aspects Theoretique et Essais sur Mondile” Proc. Int. Conf., Soil Reinforcement, Paris, Vol.2, pp.317~324
10. Taylor, D.W.,(1976). Foundations of Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc.
11. Tennekoon, B.L.,(1970). “Stress and Strains Induced by a Strip Footing on Sand”, thesis presented to the University of Cambridge, at Cambridge, England, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of philosophy.
12. Terzaghi, K.,(1956). Theoretical Soil Mechanics, Chapman and Hall.
13. Thorburn, s, & Hutchison, J.F.,(1985). Underpinning, edited by Thorburn, s. and Hutchison, J.F. Surry University Press., Glasgow and London.
14. Vidal, H.,(1966). “La Terre Armee”, Annales ITBTP, Paris. (접수일자 1994. 1. 12)