

## 마이크로파일로 보강된 모래지반의 지지력 증가효과에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on the Increase of the Bearing Capacity on Sandy Ground due to Micropile Reinforcement

김정동<sup>1)</sup>, Jeong-Dong Kim, 임종철<sup>2)</sup>, Jong-Chul Im, 이태형<sup>3)</sup>, Tae-Hyung Lee

<sup>1)</sup> 부산대학교 토목공학과 석사과정, Ms. Course, Dept. of Civil Eng., Pusan National Univ.

<sup>2)</sup> 부산대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Pusan National Univ.

<sup>3)</sup> 한국시설안전기술공단, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

**SYNOPSIS** : As rapid industrialization continues in these days, construction in the down town areas increases. Since constructions are performed around old and existing structures, the need to provide reinforcements to protect the existing structures from collapse and damage arises. Furthermore, if the construction is to take place in the down town area; difficult work space and damage caused by noise, vibration and collapse of structure can't be ignored. Among the remedial measures available today, micropile reinforcement is considered the best method to remedy these problems. But up to the present the characteristics of micropiles and ground behaviour has not been proven and no standard design is not yet available. Therefore, most design are performed based on previous experiences.

In this study, the difference in the bearing capacity with changing reinforcement angle, space and sphere around foundation was monitored. These results were induced to broaden heighten the limits of micropile application.

**Key words** : Micropile, Reinforcement, Bearing Capacity

### 1. 서론

마이크로파일 공법은 50여년 전 이탈리아에서 개발된 이래 세계 각국에서 지반보강이나 지지말뚝 또는 그 혼용의 개념으로 널리 사용되고 있는 공법으로서, 직경 150~300mm 정도의 보링공에 강봉을 재료로 해서 시멘트밀크 또는 모르타르를 주입(또는 가압주입)하여 그라우팅하는 소구경 현장타설말뚝의 일종이다. 마이크로파일 공법은 시공기계의 소형화, 시공시 저진동, 저소음 등의 장점이 있다. 그 적용사례로서 적용범위를 보면, 기존 구조물 인근 터파기의 경우 주변지반의 부등침하 억제, 도심지 터널 굴착시 주변지반의 변형억제, 구조물 신축이나 증축시 말뚝기초에 의한 지지보다 경제성과 시공성이 우수한 마이크로파일의 적용 등 적용범위가 점차 확대되고 있다. 그러나, 마이크로파일과 지반의 역학적 상호거동에 관해서 명확히 밝혀지지 않은 부분이 많고, 아직 그 설계기준이 명확하지 않아 대부분 경험에 의존하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 기초의 측면에서부터 마이크로파일의 보강각도를 변화시켜서 이에 따른 지반의 지지력 증가효과를 실내모형실험을 통하여 확인하고 마이크로파일의 보강 각도, 보강간격 및 보강범위의 변화에 따른 지지력 증감효과의 경향을 비교하고자 한다.

## 2. 마이크로파일의 국·내외 적용 사례

### 2.1 국내 사례

국·내외에서 마이크로파일이 적용된 사례는 많이 있지만, 본 연구와 같이 기초 인접지반이나, 기초 직하의 보강에 대한 대표적 사례를 아래에서 소개한다.

- ○○아파트

기존의 ○○아파트에 근접하여 터널 시공이 계획되어 입주민들의 심리적 불안으로 집단 민원이 제기되는바 협소한 부지내에서 변위를 최소화 할 수 있는 마이크로파일 공법을 적용한 사례(그림 1).

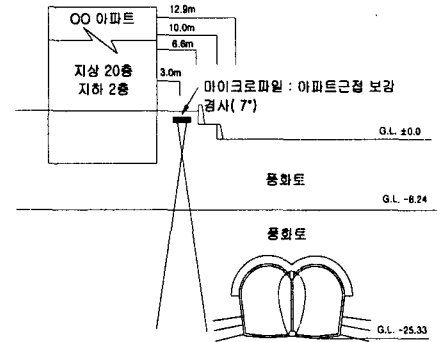


그림 1 ○○아파트 보강

- 광안대교

광안대교 앵커리지 기초지반에 당초 지지력은 확보되는 것으로 평가되었으나, 풍화암과 연암 경계부에 피압대수층으로 예상되는 파쇄대가 분포하여 시공 후에도 기초지반이 지속적으로 연화될 가능성이 높아 지반보강용으로 마이크로파일이 적용된 사례(그림 2).

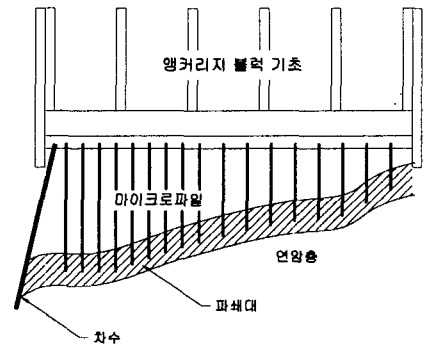


그림 2 광안대교 앵커리지 기초지반 보강

### 2.2 국외 사례

- Italy Milan 기존 구조물의 보호

기존 구조물이 있는 상태에서 인근 지반의 굴착이 예정, 기존구조물 기초의 안전성 확보를 위하여 구조물보강 및 지반 변형억제를 목적으로 마이크로파일 공법을 적용한 사례(그림 3).

- Italy 교각 보강

기존 교량 바닥 확장에 따른 교각 기초의 지지력 증대가 요구되었고, 제한된 접근 가능성 때문에 마이크로파일 공법이 적용된 사례(그림 4).

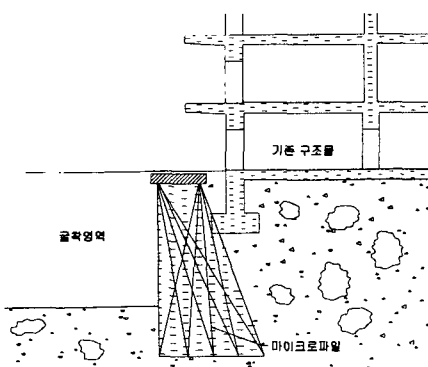


그림 3 기존 구조물 보강사례(Italy)

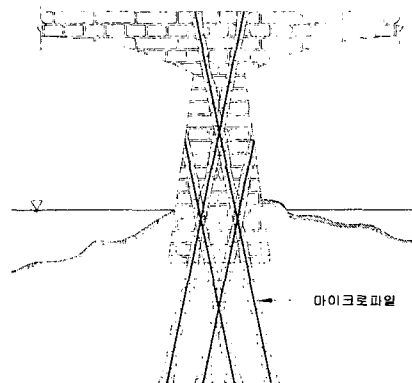


그림 4 교각 보강사례(Italy)

### 3. 실내 모형실험

#### 3.1 실험장치의 개요

- ① 평면변형을 토조 : 토조의 제원은 720(H)×1650(L)×400(W)mm( $V=0.475 \text{ m}^3$ )이며, 토조의 앞·뒷면은 마찰이 작은 투명 아크릴판을 사용하여 평면변형 상태를 재현(그림 5).
- ② 모형지반제작장치 : 슬롯형 강사(降砂) 장치를 이용.
- ③ 모형 마이크로파일 : 직경 1.0mm 철선 표면에 모래입자를 부착하여 표면마찰력을 발휘할 수 있도록 제작(철선에 모래입자가 부착되었을 때의 평균 직경은 약 1.7mm).
- ④ 재하장치: 변위제어를 할 수 있으며 최대출력은 4.4 kW이고, 제어속도는 1mm/min.
- ⑤ 변위 측정 : 멤브레인을 이용, 사진촬영을 통해 지반의 변위를 관측.
- ⑥ 변형을 측정 장치 (UCAM-10A) : 재하관 중앙부에 설치된 2개의 Load Cell을 변형을 측정 장치에 연결하고 하중재하시 발생하는 변형율( $\mu\text{s}$ )을 통하여 응력 또는 하중을 측정.

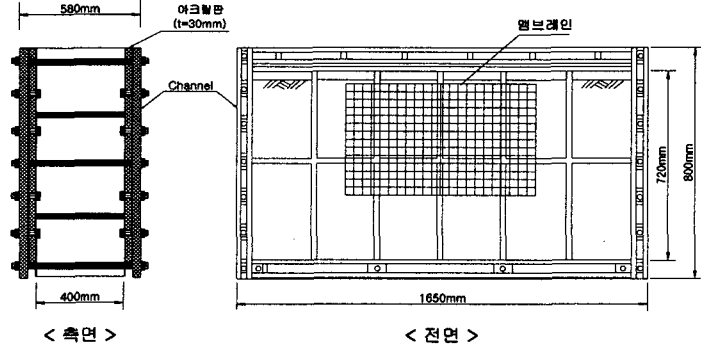


그림 5 모형 토조

#### 3.2 모형지반의 재료

모형지반은 공장제품인 주문진표준사(K.S.L 5100)를 이용하여 제작하였다. 주문진표준사의 물성치는 표 1과 같으며, 제작된 지반의 평균건조밀도는  $1.619 \text{ g/cm}^3$ 이고(그림 6), 상대밀도는 평균 89.81%로 아주 조밀한 상태이다.

표 1. 지반재료의 물성치

물성종류	부호	물성치
최대 간극비	$e_{\max}$	0.923
최소 간극비	$e_{\min}$	0.604
최대건조밀도( $\text{g/cm}^3$ )	$\gamma_{d\max}$	1.652
최소건조밀도( $\text{g/cm}^3$ )	$\gamma_{d\min}$	1.378
비중	$G_s$	2.65
함수비(%)	$w$	0.30
평균입경 (mm)	$D_{50}$	0.595
유효입경 (mm)	$D_{10}$	0.443
균등계수	$C_u$	1.402
곡률계수	$C_g$	0.912

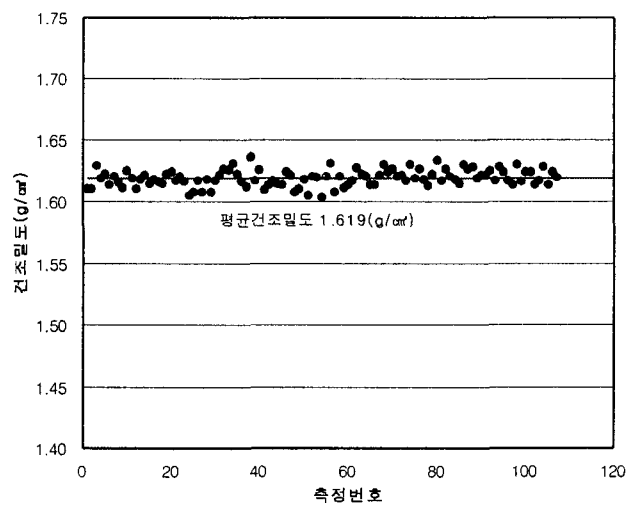


그림 6 제작된 지반의 밀도분포

### 3.3 실험 종류

모형실험은 그림 7과 같이 기초인접지반에 직경 1.0mm, 보강길이 50cm인 마이크로파일을 보강각도 ( $\theta$ ), 보강간격(s) 및 보강범위(W)를 변화시켜 마이크로파일의 보강효과를 비교·검토할 수 있도록 실험을 실시하였다.

본 실험에서의 실험명은 다음과 같이 정의하였다(그림 6).

※ MP75-1B-0.5B (여기서, B는 기초폭)

- MP75 : 마이크로파일의 보강각도 75° 설치
- 1B : 마이크로파일의 보강범위 (B=10cm)
- 0.5B : 마이크로파일의 보강간격 (B=10cm)

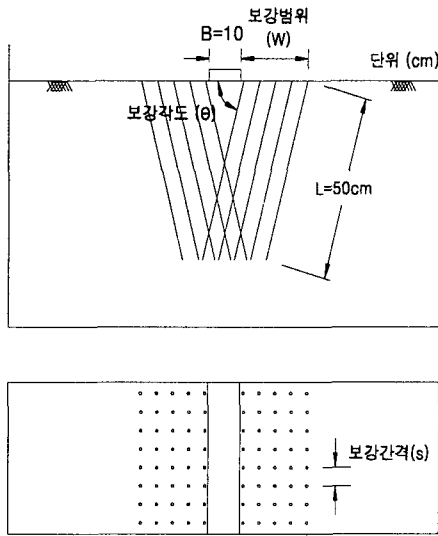


그림 7 모형실험의 개략도

표 2 실험의 종류 (재하판폭 : B=10cm) (단위 : cm)

번호	실험명	보강 각도(°)	보강 범위	보강 간격
1	UR(무보강)	-	-	-
2	MP90-2B-0.5B	90	20	5
3	MP75-2B-0.5B	75		
4	MP60-2B-0.5B	60		
5	MP45-2B-0.5B	45		
6	MP90-1B-0.5B	90	10	5
7	MP90-2B-0.5B		20	
8	MP90-3B-0.5B		30	
9	MP90-1B-0.25B	90	10	2.5
10	MP90-2B-0.25B		20	
11	MP90-3B-0.25B		30	

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 보강각도 변화에 따른 지지력 증가효과

마이크로파일 보강각도 변화에 따른 지지력 증가 효과를 알아보기 위해, 최적 보강범위 2B(허, 2002), 직경 1.0mm인 마이크로파일을 간격 0.5B로 설치하고, 보강각도( $\theta$ )를 45°, 60°, 75°, 90°로 변화시켜 실험을 실시하였다. 마이크로파일의 보강각도 변화에 따른 하중강도는 75°에서 최대를 보였으며, 무보강에 비해 하중강도비가 최대 2.58배 증가하였다(그림 8, 그림 9).

### 4.2 보강범위 변화에 따른 지지력 증가효과

마이크로파일 보강범위 변화에 따른 지지력 증가 효과를 알아보기 위해, 보강각도 90°, 직경 1.0mm인 마이크로파일의 보강간격을 0.25B(B=10cm)로 설치하고, 보강범위(W)를 0.5B~3B로 변화시켜 실험을 실시하였다. 하중강도는 보강범위비 2에서 수렴하는 경향을 보였으며, 이는 보강간격 0.5B일 때 하중강도가 수렴하는 보강범위비 2와 같았다(허, 2002). 그리고 보강범위 2B일 때 하중강도비는

무보강에 비해 최대 2.21배 증가하였다(그림 10, 그림 11).

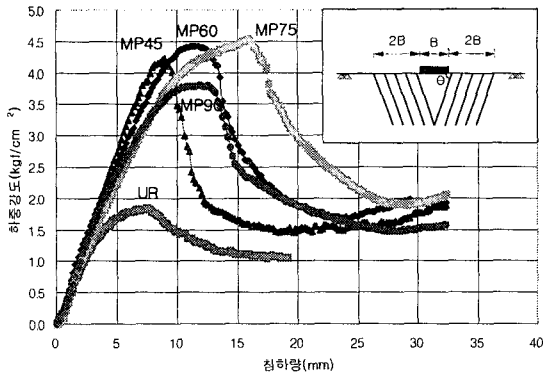


그림 8 보강각도 변화에 따른 하중강도

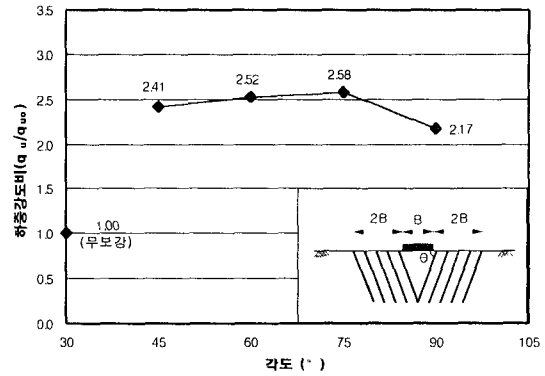


그림 9 보강각도에 따른 하중강도비

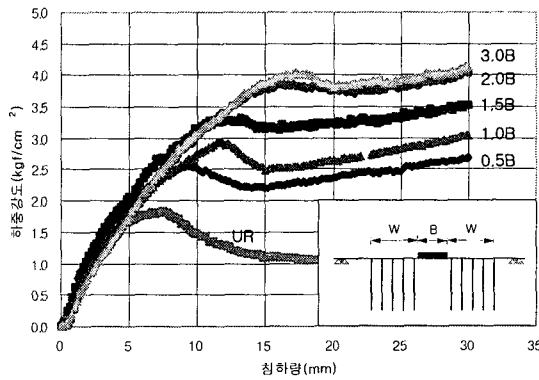


그림 10 보강범위에 따른 하중강도

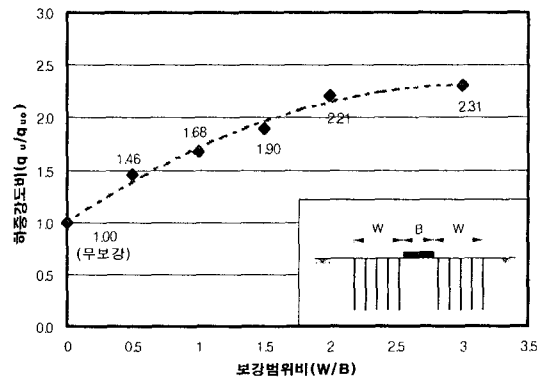


그림 11 보강범위비에 따른 하중강도비

### 4.3 보강간격 변화에 의한 지지력 변화분석

마이크로파일 보강간격 변화에 따른 지지력 증가 효과를 알아보기 위해, 보강각도  $90^\circ$ , 직경 1.0mm 인 마이크로파일의 간격(s)을 0.25B와 0.5B로 달리 하고, 보강범위를 변화시켜 실험을 실시하였다. 보강간격이 0.25B일 때 하중강도는 보강간격이 0.5B 일 때 보다 8~15%정도 증가하였다(그림 12).

### 4.4 지반의 거동 분석

그림 13, 그림 14는 무신축방향과 최대 전단변형을 등고선을 나타낸 것이다. 이것을 이용하면 지반의 파괴형상을 추정할 수 있다(林 등, 1990). 여기서, 무보강과 보강범위에 따라 하중강도가 수렴하는 경향을 보이는 보강범위 2B에 대해 나타내었는데 이 경우 가장 내측의 마이크로파일을 따라 파괴가 발생하여 근입깊이( $D_f$ )가 증대되는 효과를 나타내었다.

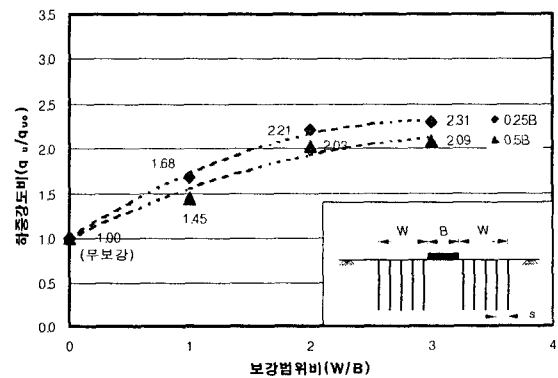
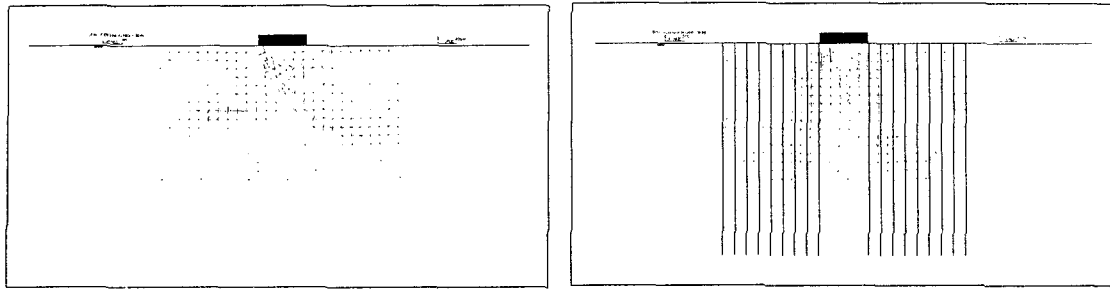
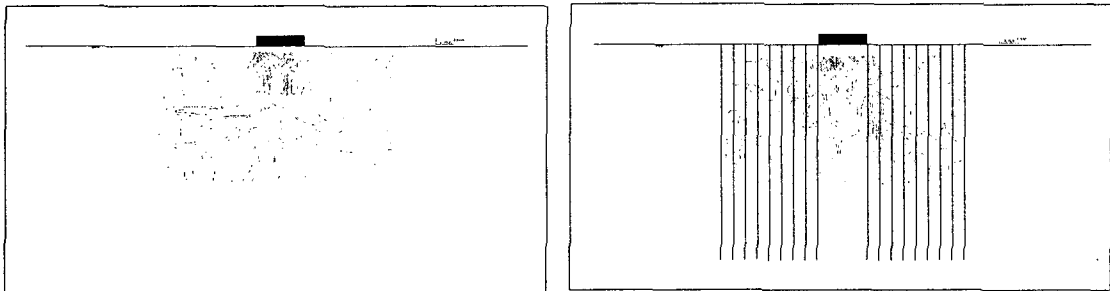


그림 12 보강범위비에 따른 Peak강도



UR MP90-2B-0.25B  
그림 13 무신축방향(Zero-Extension Direction)



UR MP90-2B-0.25B  
그림 14 최대 전단변형률 등고선(Contour of Maximum Shear Strain)

## 5. 결론

본 연구에서는 기초인접지반을 마이크로파일로 보강하여 실내 모형실험을 실시하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 마이크로파일의 보강각도를 변화시켜 기초 인접지반을 보강할 때, 보강각도에 따른 피크시 하중강도의 증가효과는 보강각도  $75^\circ$  일 때 최대였으며, 그 때의 지지력은 무보강에 비해 2.58배 증가하였다.
- (2) 기초인접지반의 보강간격을 0.25B와 0.50B로 보강하였을 때, 보강간격이 좁을 때 더 큰 보강효과를 나타내지만, 보강간격의 변화에도 불구하고 보강범위비(W/B) 2에서 피크시의 하중강도가 수렴하는 경향을 보였다.

## 참고 문헌

- 1) 林種鐵(1989), “砂地盤内のグラウンドアンカーの引抜抵抗メカニズムに関する研究”, 東京大学 工学博士学位論文.
- 2) 林種鐵, 龍岡文夫, 朴性裁(1990), “평면변형률상태에 있는 연직지반앵커의 파괴모드”, 대한토질공학회지, 제6권 제1호, pp. 43~56.
- 3) 박이근(2003), “얕은 토사터널 굴착시의 주변지반거동 특성과 마이크로파일의 침하억제효과에 관한 연구”, 부산대학교 박사학위논문.
- 4) 허진철(2002), “기초인접지반 마이크로파일 보강에 따른 지지력 증대효과에 관한 실험적 연구”, 부산대학교 석사 논문.
- 5) FHWA(2000), “Micropile Design and Construction Guidelines: Implementation Manual”, pp. 3-1~3-22.