

## 인발력을 받는 팩마이크로파일의 주면마찰력

### Skin Friction Mobilized on Pack Micropiles Subjected to Uplift Force

홍 원 표<sup>1</sup> Hong, Won-Pyo

조 삼 덕<sup>2</sup> Cho, Sam-Deok

최 창 호<sup>3</sup> Choi, Chang-Ho

이 충 민<sup>4</sup> Lee, Choong-Min

#### Abstract

Pack micropiles were recently developed to improve pile capacity of general micropiles. Pack micropiles were made by warping thread bar or steel pipe of general micropile by geotextile pack and grouting inside the pack with pressure. According to the pressure, the boring hole could be enlarged. A series of pile uplift tests were performed on three micropiles. Two out of the three piles were the pack micropiles and the other was the general micropile, in which a thread bar was used in the boring hole. According to the pressure applied to the pack micropiles, the diameter of boring hole was enlarged from 152 mm to 220 mm. Unit skin friction mobilized on side surfaces of micropiles increased with displacement of pile head and reached on a constant value, which represents that the relative displacement between piles (or thread bar) and soils was reached on critical state. And the uplift resistance of pack micropile was higher than that of general micropile. Two reasons can be considered: One is that the frictional surface increases due to enlarging diameter of boring holes and the other is that the unit skin friction could increase due to compressing effect of surrounding soils by soil displacement as much as the enlarging volume of boring hole. The compression effect appeared at deeper layer rather than surface layer. The unit skin friction mobilized on micropiles with small diameter was higher than the ones on large bored piles.

#### 요 지

일반마이크로파일의 저항성능을 개선시키기 위해 최근에 토목섬유를 활용한 팩마이크로파일이 개발되었다. 팩마이크로파일은 일반마이크로파일의 강봉이나 강관을 토목섬유팩으로 감싸고 주입재와 주입압을 토목섬유팩 내부에 가하여 제작한다. 이 주입압에 의하여 천공 직경이 크게 확대된다. 동일한 한 지반 속에 설치된 세 개의 마이크로파일을 대상으로 일련의 말뚝인발시험을 실시하였다. 세 말뚝 중 두 개는 팩마이크로파일였고 나머지 하나는 강봉을 사용한 일반마이크로파일이었다. 토목섬유팩에 적용된 주입압에 의하여 팩마이크로파일의 경우 천공직경이 152mm에서 220mm으로 확대되었다. 마이크로파일의 주면에서 발달하는 단위주면마찰력은 말뚝두부의 인발변위량의 증가와 함께 서서히 증가하여 한계상태에 도달한 한계변위량에서 수렴치에 도달한다. 팩마이크로파일의 인발저항력은 일반마이크로파일의 인발저항력보다 크게 나타난다. 이와 같은 팩마이크로파일의 인발저항력을 증대시킬 수 있는 원인으로서는 크게 두 가지를 생각할 수 있다; 첫째는 마이크로파일에 설치한 토목섬유팩내 주입압으로 마이크로파일의 단면적을 증대시키므로 말뚝주면의 마찰저항면적을 증대시킬 수 있기 때문이고, 둘째는 마이크로파일의 단면이 확대될 때 확대되는 부분의 체적만큼의 토사가 주변지반을 압축시켜 말뚝과 지반 사이의 마찰저항력을 증대시킬 수 있기 때문이다.

1 정희원, 중앙대학교 사회기반시스템공학부 교수 (Professor, School of Civil & Environmental Engineering, Urban Design & Study Chung-Ang Univ., Tel: +82-2-820-5258, Fax: +82-2-822-8722, wphong@cau.ac.kr, 교신저자)

2 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구위원 (Senior research Fellow, Korea Institute of Construction Technology)

3 정희원, 한국건설기술연구원 수석연구위원 (Senior researcher, Korea Institute of Construction Technology)

4 비회원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 석사과정 (Graduate student, Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang Univ.)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2012년 12월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

이 압축효과는 지표면 부근 보다 깊은 지층에서 크게 나타났다. 말뚝 주면에서 발휘되는 단위주면마찰력은 말뚝의 직경이 작은 경우가 더 크게 발휘된다. 즉 마이크로파일의 주면에서 발달되는 단위주면마찰력은 대구경 현장타설말뚝의 주면에서 발달되는 단위주면마찰력보다 크게 나타난다.

**Keywords :** Geotextile, Load transfer, Micropile, Pack, Pile uplift test, Skin friction, Uplift force

## 1. 서론

일반적으로 마이크로파일은 직경이 300mm 이하의 소구경 말뚝으로서 1950년대 초에 이탈리아에서 처음으로 개발된 이래 주로 건물의 유지, 보수 및 증축을 위한 기초의 보강공법에 많이 사용되었다(Mascardi, 1982; Littlejohn, 1993).

독일 표준시방서(DIN-4218)에서는 소구경 현장주입 콘크리트(혹은 모르타르)말뚝이라 하여 Small diameter injection piles(Cast-in-place concrete piles and composite pile)로 하였다(DIN, 1983). 가장 일반적인 마이크로파일의 직경은 120mm~250mm이며 길이는 5m부터 수십 미터에 이른다. 마이크로파일은 용도와 시공방법에 따라 Rootpile, Tubfix-Micropile, Pali Radice, Needle-pile 혹은 Gewi-pile 등으로 다양하게 불린다(Koreck, 1978; Cadden et al., 2004).

마이크로파일은 천공홀 내부에 삽입된 고강도 강봉, 강관 및 철근의 강성에 의해 높은 축하중을 지지하면서, 천공직경을 최소화한 말뚝공법이다. 소구경 천공에 의해 시공되므로 어떠한 지반조건이나 작업조건에서도 용이하게 사용할 수 있는 유리한 점이 있다.

국내에서 마이크로파일에 대한 연구는 1988년 서울시 영등포역 선상역사기초공으로 사용하기 위한 설계 및 시공기술에 관한 제반문제점을 연구하면서 시작되었다고 할 수 있다(Korea Society of Civil Engineering, 1988). 또한 Hong, W. P.(1995)는 마이크로파일을 사면안전용 역지말뚝으로 적용하기 위한 설계법을 연구한 바 있다. 그 밖에도 울진원자력발전소 터빈실 기초와 극동방송국 기초보강에 적용된 사례가 있다(Korea Society of Civil Engineering, 1988).

한편, 이러한 마이크로파일이 지하수위가 높은 해안가에 인접하여 설치되어 있으면 마이크로파일은 해수 지하수에 의한 높은 양압력에 저항할 수 있는 인발말뚝으로 설계 시공하여야 할 것이다(Choi, Y. S. 2010). 또한 팽창성 지반에 설치된 구조물의 용기에 저항하기

위한 인발말뚝으로 마이크로파일을 설치하기도 한다. 그 밖에도 전력송신탑이 풍하중, 빙하중 및 전선의 파단에 의하여 전도될 때 큰 인발력이 작용하게 된다. 이 경우 마이크로파일은 압축력뿐만 아니라 인발력에 대하여도 안전하게 설계되어야 한다(FHWA, 2000, 2005; Hong et al, 2010). 이와 같이 양압력이 큰 경우나, 수평력을 크게 받는 구조물의 기초말뚝은 인발력을 받게 되므로 극한인발력에 저항할 수 있도록 마이크로파일을 설계 시공하여야 한다(Misra and Chen, 2004; Misra et al. 2007). 지금까지 이러한 인발하중을 받는 마이크로파일의 연구도 서서히 진행되어왔다(Han and Ye, 2006; Huang et al., 2007)

소구경 말뚝인 마이크로파일은 마찰면적이 말뚝단면적보다 보통 100배 이상 됨으로 재료강도가 말뚝 지지력 결정에 지배적 요인이 되기 쉽다. 특히 상대적으로 적은 콘크리트 단면적에 비해 철근의 이음부는 최대 설계 철근량 보다 커질 가능성도 있다.

가장 중요한 인발저항력 요소인 마이크로파일과 지반사이의 단위주면마찰력은 일반적으로 대구경 현장타설말뚝과 지반사이의 단위주면마찰력 보다 상당히 커질 수 있다. 이러한 단위주면마찰력의 증가 요인으로는 고압식시멘트-모르타르주입으로 인한 말뚝직경 및 단면적의 확대, 고압모르타르 그라우팅으로 주변지반이 다져지는 압밀압축 효과로 인한 주변지반의 강도증가, 정지토압입상의 수평토압의 작용 등을 들 수 있을 것이다. 특히 사력층이나 풍화암층 이상의 지반에서는 고압모르타르주입제가 주변지반과 일체시키는 작용을 함으로서 주변지반 보강효과를 크게 할 수 있다고 하겠다.

이 들 일반마이크로파일의 저항성능을 개선시키기 위해 최근에 토목섬유를 활용한 팩마이크로파일이 개발되었다(Choi et al., 2008; Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2008; Korea Institute of Construction Technology, 2009, Choi et al., 2009). 팩마이크로파일은 일반마이크로파일의 강봉이나 강관을 토목섬유팩으로 감싸고 주입재와 주입압을 토목섬유팩 내부에 가하여

제작하며 이 주입압에 의하여 천공 직경이 크게 확대된다.

본 연구에서는 토목섬유팩을 활용한 마이크로파일의 인발저항능력의 증대효과와 인발하중전이효과를 조사하기위해 팩마이크로파일에 대한 말뚝인발시험을 실시하고 그 결과를 분석하고자 한다. 두 개의 팩마이크로파일과 한 개의 강봉형 일반마이크로파일에 스트레인 게이지를 부착한 후 말뚝인발시험을 실시하여 인발하중이 지반에 전이되는 과정에서 발휘되는 말뚝 축하중과 단위주면마찰력을 계측 고찰하고자한다. 이 들 마이크로파일의 계측결과를 서로 비교함으로써 팩마이크로파일의 성능을 규명할 수 있을 것이다.

## 2. 현장개요 및 말뚝인발시험

### 2.1 현장개요

마이크로파일의 인발시험을 실시한 현장의 지층구성은 Figure 1에서 보는 바와 같이 상부로부터 매립토층, 실트질모래층, 풍화토층, 풍화암층, 기반암층 순으로 이루어져 있다. 즉 지표면에서 심도 4.5m까지는 매립토층을 이루고 있으며, 실트질모래층은 4.5m~13.5m까지 분포하고 있다. 또한 지표면으로부터 심도 13.5m~16.8m까지는 풍화토와 풍화암이 분포하고 있으며, 풍화대 아래에는 기반암이 존재하고 있다.

지표면에서 9m 심도까지의 상부지층은 N치가 0~10인 연약한 특성을 보이고 있다. 그러나 9m 심도 아래는 실

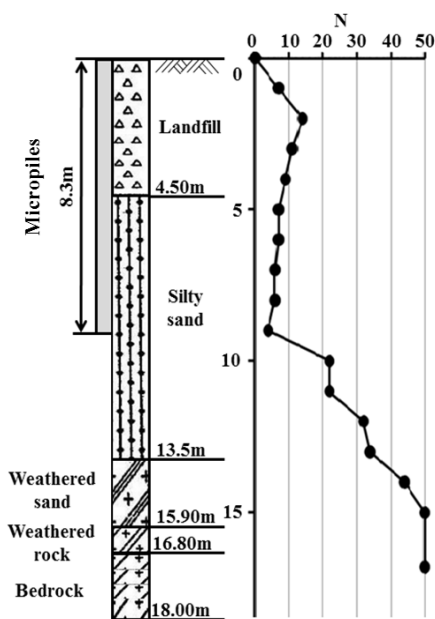
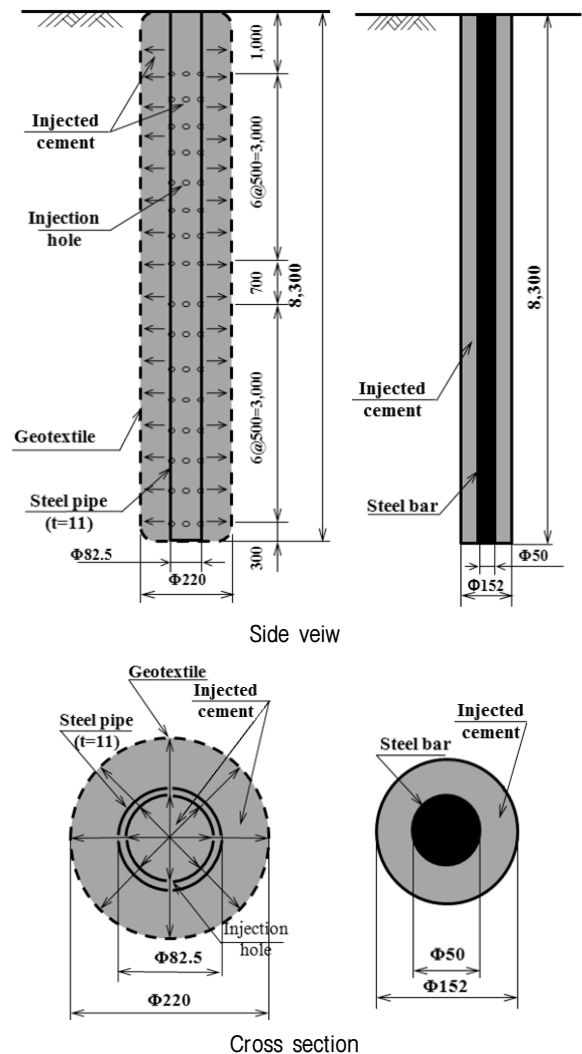


Fig. 1. Soil profile

트질모래층, 풍화토, 풍화암, 기반암으로 구성되어 있는 하부지층으로 내려갈수록 N치가 22를 시작으로 50이상의 단단한 지반특성을 보이고 있다.

### 2.2 마이크로파일

마이크로파일의 극한인발력 및 심도별 하중전이 특성을 파악하기 위하여 말뚝인발시험을 수행하였다. 현장시험에서는 두 종류의 마이크로파일이 사용되었으며 이들 마이크로파일의 측면도와 단면도는 Figure 2와 같다. 하나는 Figure 2(a)에 도시된 바와 같이 팩마이크로파일(A1 및 A2 말뚝)이고 다른 하나는 Figure 2(b)에 도시된 바와 같이 일반마이크로파일(A3 말뚝)이다. 이들 마이크로파일은 8.3m의 길이를 가지며 실트질모래층 내에 관입되었다.



(a) Pack Micropile (A1, A2) (b) General micropile (A3)

Fig. 2. Side view and cross section of piles

우선 일반마이크로파일 A3는 Figure 2(b)에서 보는 바와 같이 통상적으로 많이 사용하는 마이크로파일로 직경 152mm의 케이싱드릴 및 케이싱을 이용하여 회전수세식 방법으로 천공 후 내부에 직경 50mm의 강봉 파이프를 삽입하고 주입하면서 케이싱을 제거하여 제작 설치된 일반마이크로파일이다.

한편 팍마이크로파일 A1과 A2는 Figure 2(a)에서 보는 바와 같다. 이들 말뚝은 우선 A3와 동일한 방법으로 천공하고 토목섬유팩으로 감싼 직경 82.5mm, 두께 11mm의 강관을 천공 내에 삽입하고 주입재로 충전한 후 가압하여 주변지반에 밀착팽창시킴으로서 말뚝직경과 단면적을 확대시키는 공법으로 제작 설치된 팍마이크로파일이다. 팍마이크로파일 A1과 A2에 사용한 강관은 일반마이크로파일 A3의 강봉과 단면적이 거의 동일하게 선택하여 사용하였다. 주입압을 가할 때는 강관 내부에 선단에서 4.5m 위치에 에어팩커를 설치하여 이를 지지로 강관 주변에 마련된 구멍을 통해 그라우트재가 밀려나갈 수 있게 하였다. 이 때 토목섬유팩 내부 주입압이 너무 크면 토목섬유가 찢어지므로 내부 주입압은 1100~1300kN/m<sup>2</sup>를 넘지 않게 조절 가압하여 마이크로파일의 직경을 220mm까지 확장시켰다. 가압후 강관내 에어팩커를 제거하고 강관의 나머지 부위에 주입재를 충전시켜 토목섬유팩 마이크로파일을 제작하였다. A1 말뚝과 A2말뚝은 1.2m 거리를 두고 설치하였다.

### 2.3 재하방법

인발압력장치는 계획 최대하중의 120% 이상의 가압능력이 있어야 하고, 계획하중 단계에 따라 말뚝의 변위량 및 재하장치의 변형에 따라 가압능력이 변하지 않는 Jack을 사용하였다(ASTM, 1994). 본 현장에서는 인발재하시험 시 1MN Jack을 사용하였다. 시험 방법은 재하대와 시험말뚝을 연결한 후 상부에 설치된 유압잭의 유압을 이용하여 하중을 재하, 감하, 재부하의 과정을 하중계획에 따라 수행하였다. 일정 간격 깊이로 말뚝에 설치된 스트레인게이지의 하중전이센서를 이용하여 지반의 깊이별 축하중을 측정하였다.

최대인발하중은 A1, A2 마이크로파일의 경우 설계하중(300kN/본)의 200%(600kN)로 하였고 A3마이크로파일의 경우는 177%(530kN) 인발하중을 가하였으며, 4 Cycle 방식으로 하중계획에 의하여 재하시험을 수행하였다. 각 마이크로파일에 대한 인발하중과 하중유지시간에

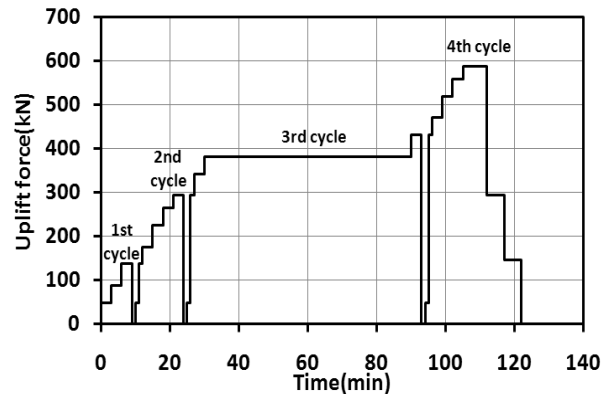


Fig. 3. Loading process on A1 micropile

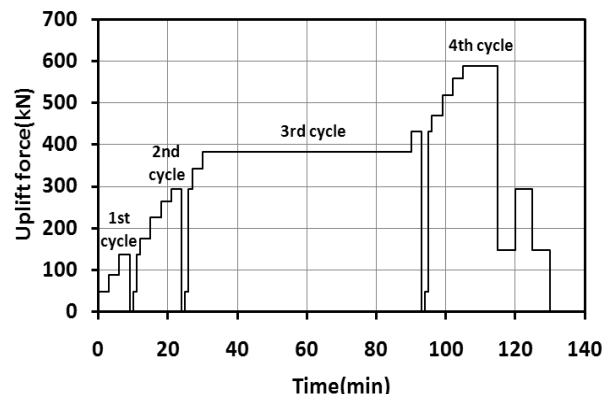


Fig. 4. Loading process on A2 micropile

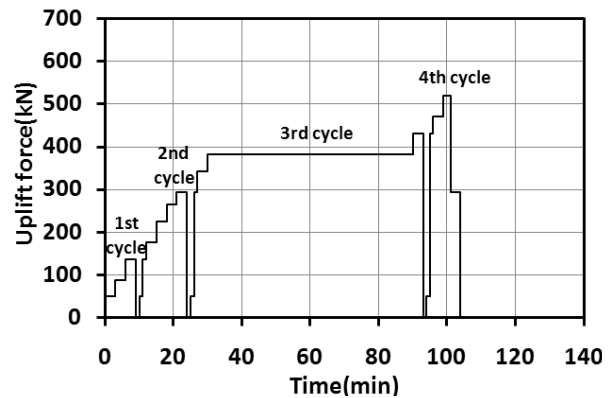


Fig. 5. Loading process on A3 micropile

대한 하중계획은 각 사이클별로 Figure 3에서 Figure 5까지에 정리되어있다.

A1 및 A2 마이크로파일에 가한 인발하중 재하과정은 Figure 3과 Figure 4에서 보는 바와 같이 거의 동일하다. 다만 제 4 Cycle의 감하과정에서 약간의 차이를 두어 감하과정의 거동차이를 비교하여 보았다. 한편 A3 마이크로파일의 경우는 Figure 5에서 보는 바와 같이 인발저항력의 부족으로 제 4 Cycle에서 A1, A2 마이크로파일보다 낮은 하중을 가하였다. 그러나 제 3 Cycle까지

의 재하과정은 팩마이크로파일 A1, A2 말뚝과 동일하다.

## 2.4 계측계획

마이크로파일의 인발시험을 실시하면서 하중전이 거동을 관찰하기 위하여 말뚝 본체 강관 및 강봉에 스트레인게이지를 부착하였다. 말뚝 본체 강관 및 강봉에 일정간격으로 부착된 스트레인게이지의 계측값과 말뚝 단면의 탄성계수를 통해 인발하중 작용 시 말뚝의 중심축에 작용하는 축하중을 측정할 수 있다. 즉 A1, A2, A3 마이크로파일은 두부에서 1.2m 깊이 위치부터 파일 선단의 방향으로 70cm마다 간격으로 한 단면에 두 개씩 도합 20개의 스트레인게이지를 부착하여 마이크로파일이 인발될 때 하중전이거동을 측정할 수 있도록

하였다. 스트레인게이지를 부착할 위치는 연삭하여 면 처리를 정밀하게 실시한 후 스트레인게이지를 부착한다. 스트레인게이지를 부착한 후 마이크로파일시공과정에서 스트레인게이지의 손상 및 침수를 방지하기 위해 4종의 보호 및 방수처리를 한다. 사용된 스트레인게이지는 Tokyo Sokkikenkyujo(사)에서 생산된 2-wire System 90° 2-element Cross Stacked Type이다.

## 3. 마이크로파일의 축하중 거동

마이크로파일을 통하여 인발하중이 지반에 전달되는 하중전이거동을 관찰하기 위하여 설치된 스트레인게이지로 측정된 값에 의거하여 내부강관의 축하중분포를 도시

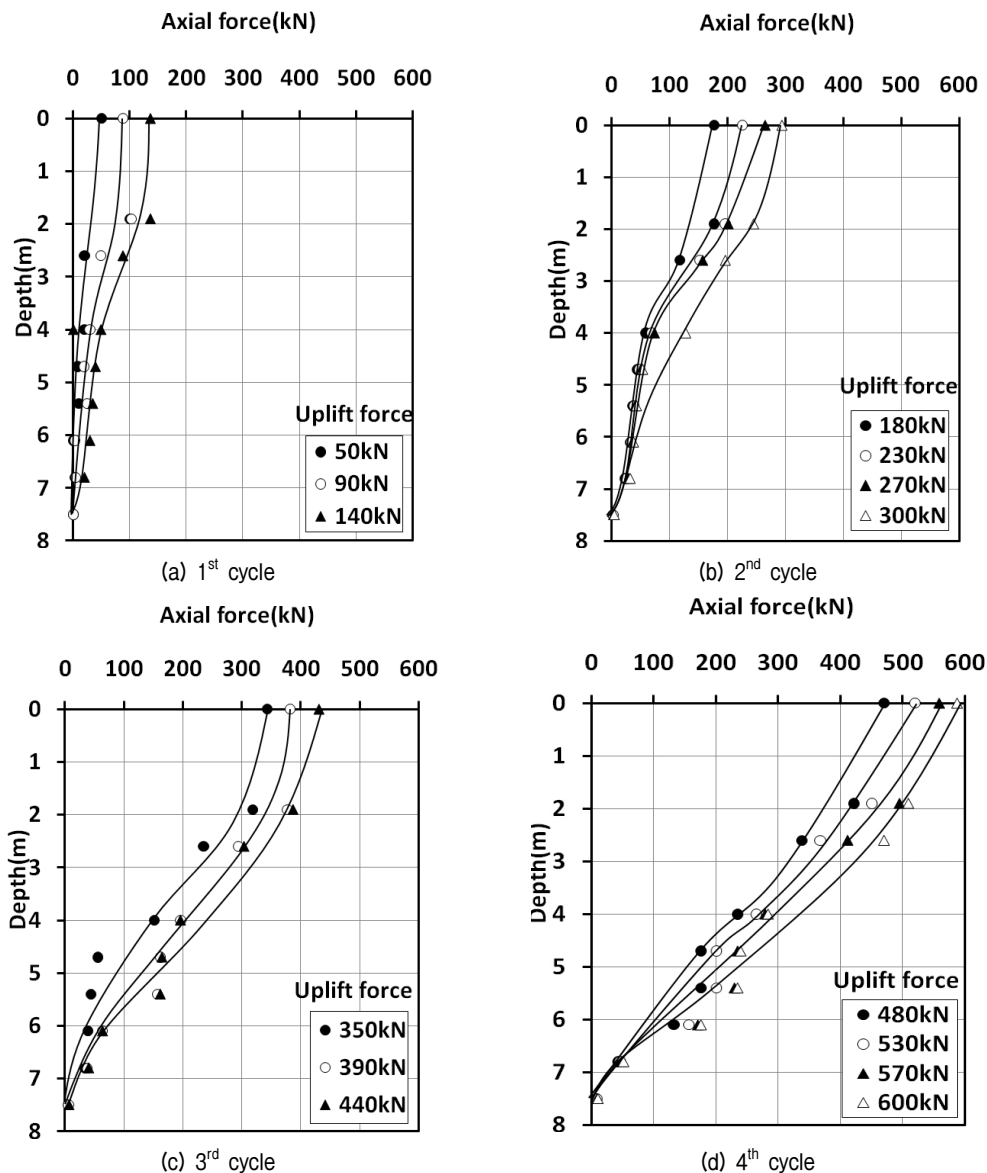


Fig. 6. Behavior of axial force on A1 micropile

하면 Figure 6에서 Figure 8에 도시된 바와 같다. 단, 부착한 스트레인게이지 중 일부는 측정치가 불안정한 상태로 나타나서 일부 측정치는 배제하고 정리하였다.

우선 팩마이크로파일 A1말뚝의 축하중은 제 1 Cycle에서 제 4 Cycle에 대하여 Figure 6(a)~(d)에 도시되어 있다. 이 그림에 의하면 인발하중이 증가할수록 마이크로파일에 발달하는 축하중은 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 축하중은 말뚝두부에서 말뚝선단으로 갈수록 거의 선형적으로 감소하여 말뚝선단에서는 미소한량의 축하중만 작용하고 있음을 알 수 있다.

Figure 7(a)~(d)는 팩마이크로파일 A2말뚝의 축하중 거동을 제 1 Cycle에서 제 4 Cycle까지에 대하여 정리한 결과이다. 이 시험결과도 A1마이크로파일과 동일한 거동을 보이고 있다. 한편 일반마이크로파일 A3말뚝의 경우는

Figure 8(a)~(d)에서 보는 바와 같이 깊이 4m 아래의 실트질모래층에서 말뚝축하중이 A1, A2 팩마이크로파일에 비교하여 작게 나타났다. 이는 팩마이크로파일의 경우는 가압 토목섬유팩의 효과에 의하여 실트질모래층에서도 하중전이가 많이 발생되었으나 일반마이크로파일에서는 상부 매립층지반에서의 하중전이만 크게 발생하였고 하부 실트질모래층에서는 하중전이가 크게 발생되지 못하였음을 의미한다.

#### 4. 주면마찰력 특성

##### 4.1 단위주면마찰력 거동

Figure 9(a)~(c)는 A1, A2, A3 마이크로파일에서 측

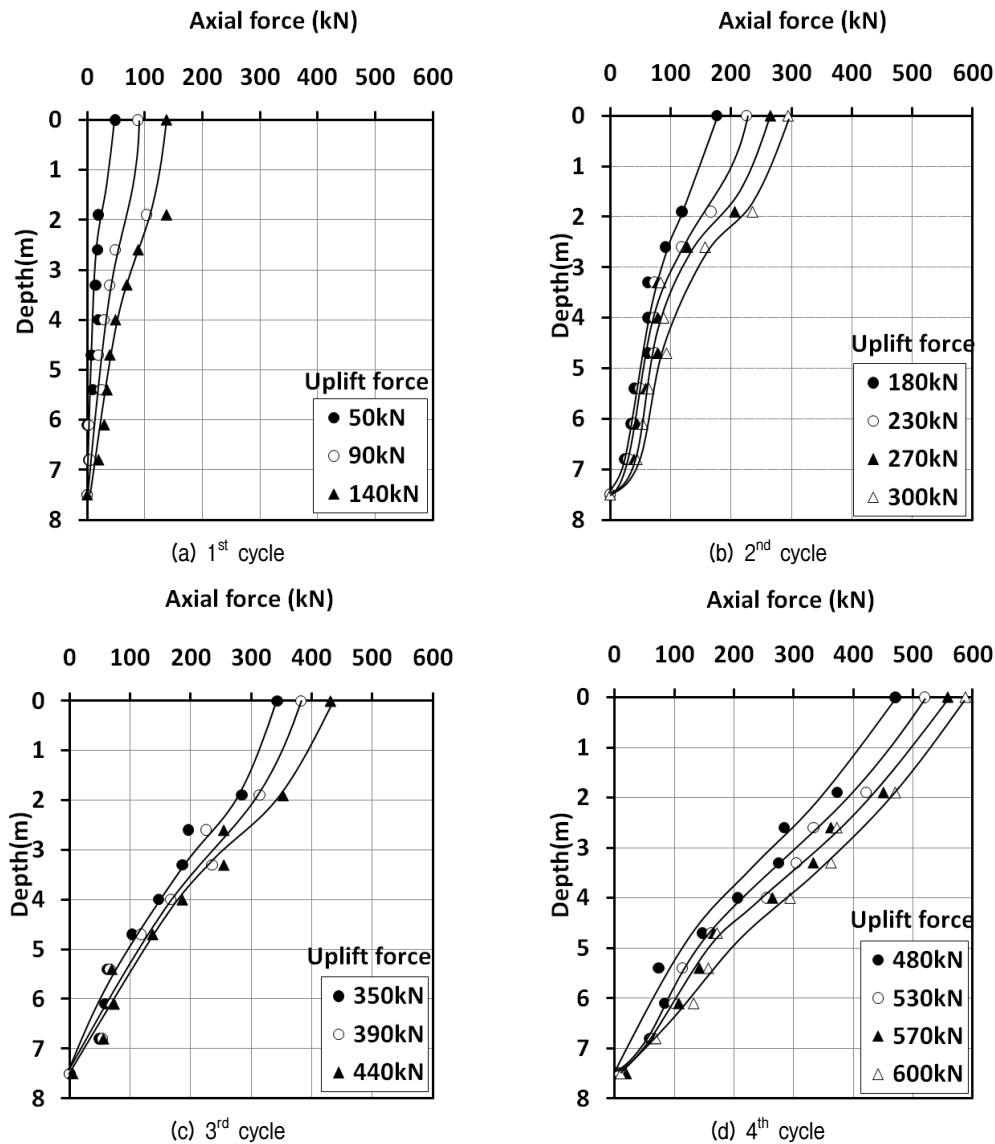


Fig. 7. Behavior of axial force on A2 micropile

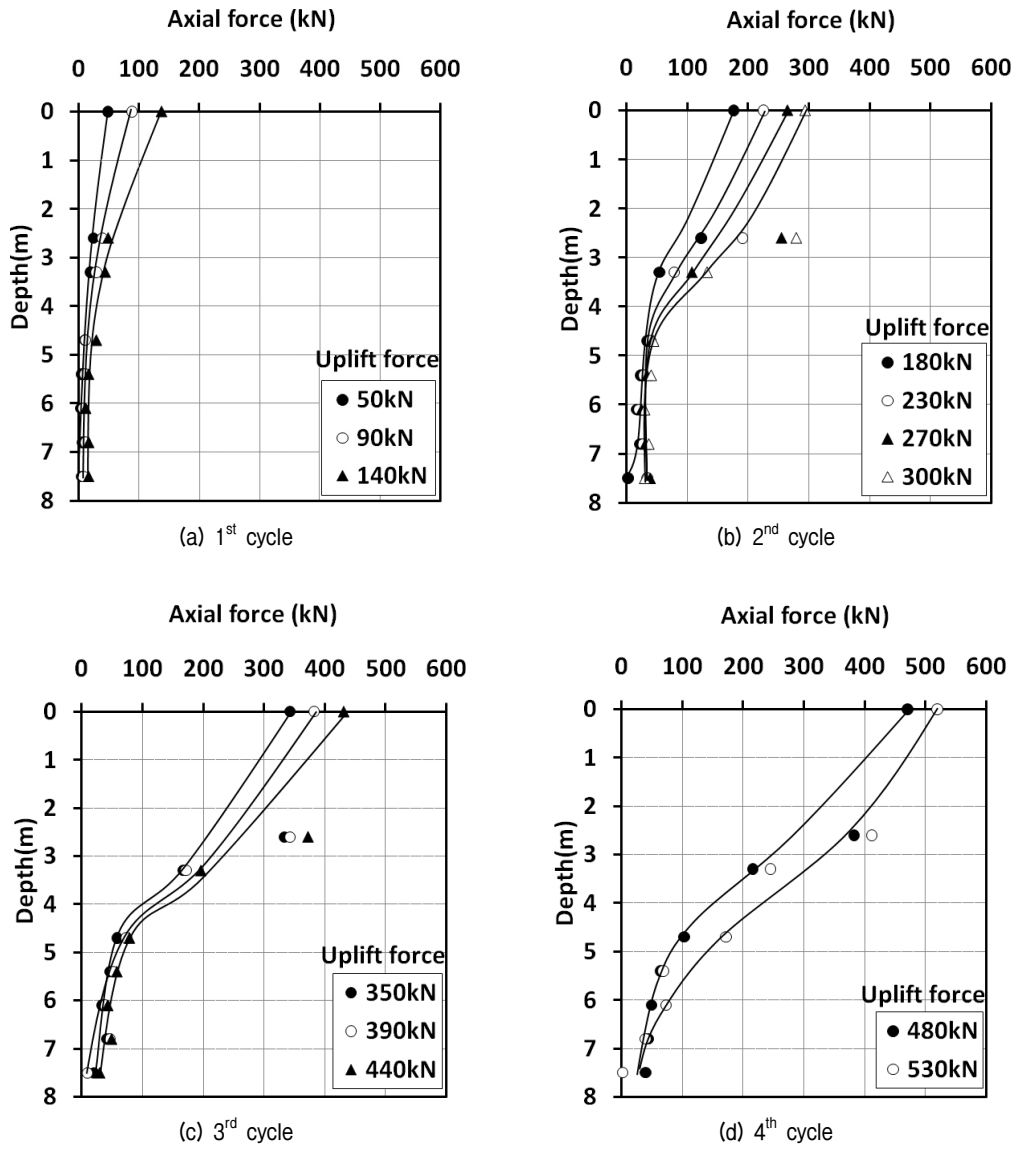


Fig. 8. Behavior of axial force on A3 micropile

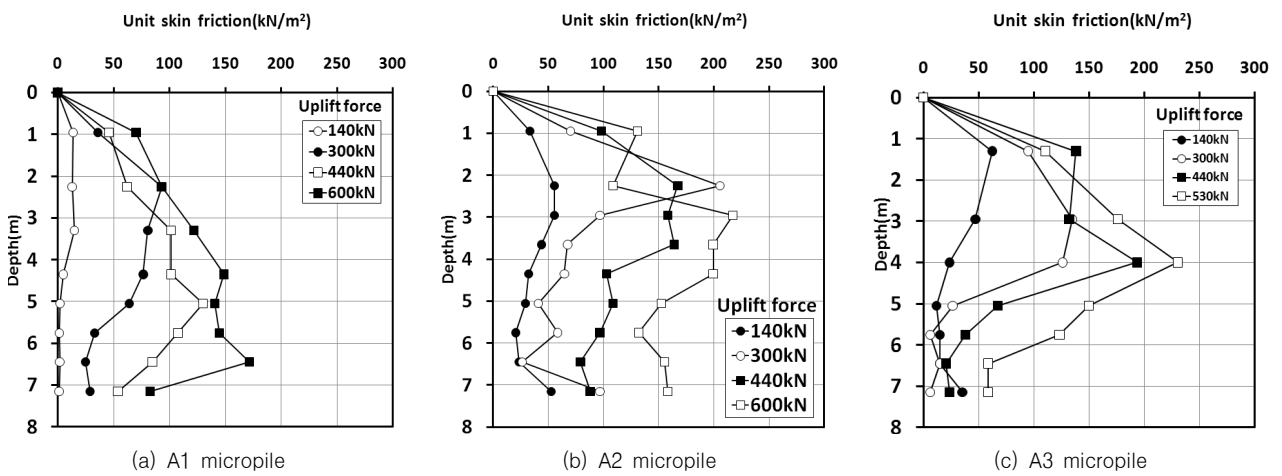


Fig. 9. Distribution of unit skin friction mobilized on pile shaft with depth

정된 축하중으로 부터 환산한 단위주면마찰력의 깊이 별 분포도이다. 여기에 도시된 단위주면마찰력은 각 말뚝에 실시된 인발시험에서 Figure 7~Figure 8에 도시된 각 Cycle별로 측정된 축하중 중 각 Cycle의 마지막 인발하중 즉 최대인발하중이 작용할 때 발생된 축하중에 의거 산정된 값이다. 즉 A1마이크로파일의 경우 제 1 Cycle의 마지막 최고인발하중이 140kN이며 제 2 Cycle에서 제 4 Cycle까지의 최고인발하중은 각각 300kN, 440 kN, 및 600kN의 측정결과만 도시하였다.

단위주면마찰력은 Figure 6~Figure 8에 도시된 축하중도에서 인접한 깊이의 축하중 측정치의 차이를 그 사이의 해당 말뚝표면적으로 나눈 평균마찰력이다. Figure 9의 결과에 의하면 단위주면마찰력의 크기는 인발하중이 커질수록 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉 인발

하중이 커지면 말뚝과 지반사이의 단위표면마찰력이 점차 크게 발달함을 알 수 있다. 이는 지반에 전달되는 하중의 크기도 점점 커짐을 의미한다고 할 수 있다. 동일한 특성을 가지는 팩마이크로파일 A1, A2 말뚝에 발달하는 단위주면마찰력의 최대치는 비슷하게 나타나고 있다. 다만 발생위치는 약간씩 차이가 있다. 또한 팩마이크로파일의 단위주면마찰력은 토목섬유팩을 사용하지 않는 일반마이크로파일보다 크게 나타나고 있다.

#### 4.2 지층별 단위주면마찰력

Figure 10은 말뚝인발시험에서 측정된 두부인발변위량에 따라 마이크로파일의 주면에 발달된 단위주면마찰력을 지층별로 검토해 본 결과이다. 즉 Figure 1에 의

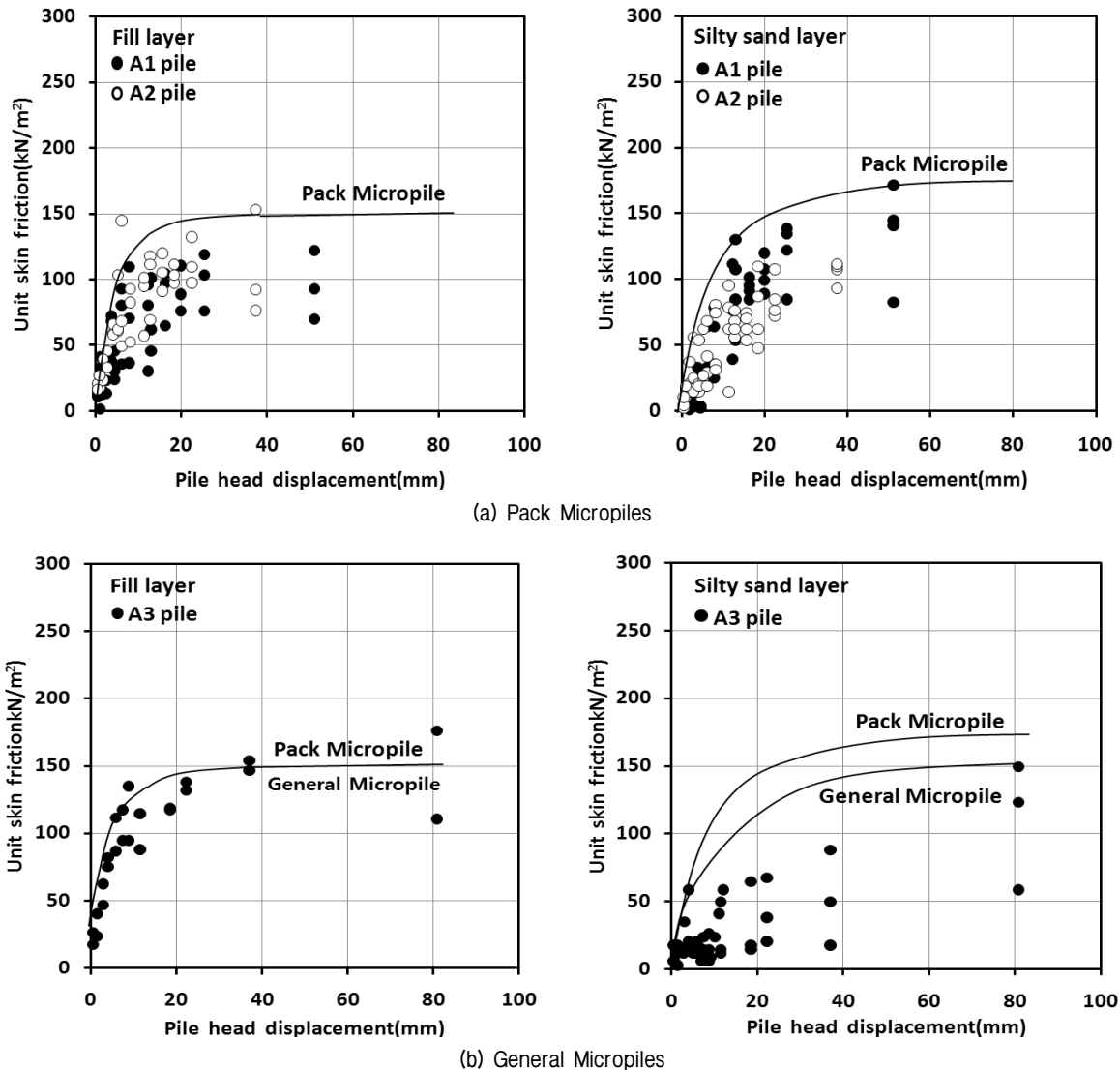


Fig. 10. Relation between unit skin friction and pile head displacement



하면 현장시험이 실시된 지반은 지표상부 4.5m 깊이까지 매립토층이 분포 되어있고 그 아래 실트질모래층이 분포되어 있으므로 이들 두 개 층에 대하여 각각 검토해 본다.

우선 팩마이크로파일 A1 및 A2의 두 마이크로파일에 대하여 매립토층과 실트질모래층에 속하는 각각의 심도에서 측정한 축하중으로 부터 산정한 모든 단위주면마찰력을 Figure 10(a)에 도시하였다. 모든 단위마찰력 최대값의 포락선은 그림 중 도시한 실선과 같다. 즉 단위마찰력이 점차 발달하여 최대로 발달하였을 때 발휘되는 단위주면마찰력이라 할 수 있을 것이다.

이 결과에 의하면 매립토층에서는 말뚝두부변위량이 30mm에 도달하였을 때 단위주면마찰력은  $150\text{kN/m}^2$ 에 수렴하고 있음을 보여주고 있으며 실트질모래층에서는 말뚝두부변위가 50mm에 이를 때 단위주면마찰력의 수렴치는  $170\text{kN/m}^2$ 에 이르렀음을 보여주고 있다.

한편 토목섬유팩을 사용하지 않은 일반마이크로파일인 A3의 경우는 Figure 10(b)에서 보는 바와 같다. 이 그림 속에 참고로 Figure 10(a)의 팩마이크로파일에서 구한 추세선을 함께 도시하였다. 이 결과에 의하면 우선 매립토층의 경우는 팩마이크로파일의 결과와 거의 일치하고 있다. 따라서 매립층에는 토목섬유팩의 효과가 미미함을 보여주고 있다. 이는 매립층이 비교적 지표면부분에 위치하고 있어 토목섬유팩의 주입압효과가 그다지 크게 발휘되지 않은 것으로 생각된다.

한편 실트질모래층의 경우는 일반마이크로파일에서 발달한 단위주면마찰력이 팩마이크로파일에서 발달한 단위주면마찰력보다 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉 팩마이크로파일의 경우는 단위주면마찰력의 수렴치는  $170\text{kN/m}^2$ 으로 발휘되고 있으나 토목섬유팩을 사용하지 않는 일반마이크로파일에는 최대  $150\text{kN/m}^2$  정도의 단위주면마찰력 밖에 발달하지 않았다. 이는 팩마이크로파일에서는 주입제와 주입압을 적용하여 마이크로파일의 직경을 확대시킬 경우 말뚝 주면에는 단위주면마찰력증대 효과가 있었음을 의미한다.

일반마이크로파일이 설치된 실트질모래층에서는 말뚝두부변위가 80mm에 도달하기까지는 단위주면마찰력이 충분히 발달하지 못하고 있음을 보여주다가 80mm 두부변위에서 수렴치에 접근하였다고 할 수 있다. 즉 말뚝주면에서 마찰저항력이 아직 충분히 발달하지 못하고 계속 발달하는 과정에 있다고 할 수 있을 것이다.

그러나 토목섬유팩을 사용하여 단면을 확대시킨 경

우는 실트질모래 주변 토목섬유팩 내부 그라우트 주입제의 가압효과에 의해 주변지반이 압축 다져졌고 이로 인한 단위주면마찰력이 증대되었다고 생각된다. 따라서 토목섬유팩의 효과는 지표면 부근에서는 적고 깊이가 깊은 위치에서 크게 나타남을 보여주고 있다고 할 수 있다.

한편 Figure 11은 Figure 1과 유사한 하상퇴적층지반에 설치된 직경 1.8m 길이 19.7m의 대구경현장타설말뚝의 단위주면마찰력을 조사한 결과이다(Hong et al., 2005). Figure 11에 의하면 모래층에서 설치된 대구경현장타설말뚝의 단위주면마찰력은  $40\text{kN/m}^2$  정도로 발달하였음을 알 수 있다. 그러나 이 지층과 유사한 실트질모래층에 설치된 마이크로파일의 단위주면마찰력은 Figure 10에서 보는 바와 같이  $150\sim 170\text{kN/m}^2$  정도로 발달하였음을 알 수 있다. 따라서 마이크로파일에서 발달하는 단위주면마찰력이 대구경현장타설말뚝에서 발달하는 단위주면마찰력보다 크음을 알 수 있다.

이러한 차이가 발생한 원인은 크게 두 가지를 고려할 수 있다. 먼저 말뚝의 단면적 대비 마찰면적의 차이에 의한 영향을 들 수 있을 것이다. 즉 마이크로파일은 단면적 대비 마찰면적이 크기 때문에 마찰력의 역할이 대구경말뚝보다 크게 발휘될 수 있음을 들 수 있다.

다음으로는 말뚝과 지반 사이에서의 전단속도의 차이에 의한 영향을 들 수 있을 것이다. Figure 10의 마이크로파일은 인발시험에 대한 결과이므로 압축하중에 대한 시험결과인 Figure 11의 대구경현장타설말뚝의

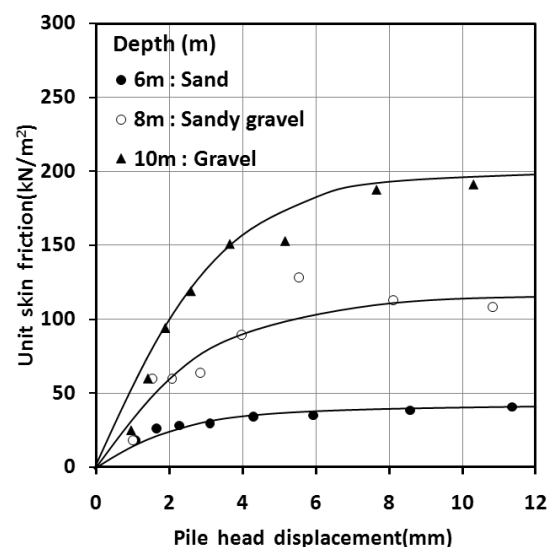


Fig. 11. Unit skin frictions on cast-in-situ piles (Hong et al., 2005)

경우 보다 말뚝과 지반사이에서의 전단속도가 훨씬 빨랐을 것으로 생각된다. 일반적으로 전단속도가 빠르면 전단강도는 크게 측정된다.

## 5. 고 찰

팩마이크로파일 A1, A2 말뚝의 특징은 내부강관을 토목섬유팩으로 감싸고 주입압을 가함으로서 천공벽에  $1300\text{kN/m}^2$  이내의 수평압력을 가하는 점을 들 수 있을 것이다. 이 수평압력은 말뚝 주변에 수직응력에 비례하는 전단저항력을 증대시킬 수 있는 기능을 가지게 함으로서 인발저항력 혹은 압축저항력을 증대시키게 하는 목적을 가지고 있다. 그러나 이 수평압력은 주입압을 가하는 시공단계에서는 큰 수평응력을 발생시켜 천공직경을 확대시키는 데는 분명히 기여하였으나 장기적으로는 직경확대 후에는 소멸되어 결국 원지반에서의 응력상태 즉  $K_0$  응력상태에 도달할 것이다. 결국 이런 과정을 거치면서 얻을 수 있는 효과는 마이크로파일의 단면적확대효과와 주변지반압축효과와 두 가지로 크게 구분할 수 있을 것이다.

우선 마이크로파일의 단면적확대에 의한 마찰면적 확대효과에 대하여 고찰하여 보면, 팩마이크로파일은 통상적으로 사용되는 일반마이크로파일(직경 155mm)에 토목섬유팩을 감싸고 그라우트 주입제과 주입압으로 220mm까지 직경을 확대시킨 마이크로파일이다(Figure 2(b) 마이크로파일 단면도 참조). 결국 이로 인하여 말뚝 단면적은 두 배로 늘어났고 마찰면적은 40% 늘어나는 효과를 얻을 수 있었으므로 마이크로파일의 인발저항력을 크게 증대시킬 수 있었다.

또한 단면적이 늘어나면 단면적 대비 마찰면적의 비는 감소하게 된다. 예를 들면 직경 152mm의 강관지지형 일반마이크로파일은 단면적 대비 마찰면적의 비가 207배가 되나 직경 220mm의 복합지지형 토목섬유팩 마이크로파일은 146배가 된다. 이 비율이 높을수록 마이크로파일의 인발저항력의 지배적 요인은 말뚝의 재료강도가 되기 쉽다. 이 경우 말뚝의 인발저항력은 마찰저항력 보다는 재료강도에 의하여 결정된다. 따라서 마이크로파일의 단면적이 커지면 재료강도에 의한 파괴메커니즘 보다는 주변마찰력에 의한 파괴메커니즘의 가능성이 높아질 수 있다.

다음으로는 주변지반의 압축효과를 들 수 있다. 토목

섬유팩 내부 그라우트 주입압에 의하여 천공직경이 152mm에서 220mm까지 확대되므로 확대된 부분의 체적만큼의 토사는 주변지반으로 밀려나게 된다. 이 밀려난 토사는 주변지반을 압축시키고 수평응력을 증대시키므로 마찰저항력을 증대시키는데 기여하게 될 것이다. 결국 이러한 마찰저항력의 증대는 말뚝의 인발저항력을 증대시키는데 기여하게 될 것이다.

## 6. 결 론

보강재 주위에 토목섬유 팩을 감싸고 그 속에 주입압을 가한 팩마이크로파일의 말뚝인발시험을 일반마이크로파일의 말뚝인발시험과 비교하여 그 효과를 비교 검토하여 보았다. 인발하중을 받는 이들 마이크로파일의 주변에 발달하는 마찰력을 현장시험을 통하여 관찰한 결과에 대한 고찰을 통하여 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 마이크로파일의 주변에서 발달하는 단위주면마찰력은 말뚝두부의 인발변위량의 증가와 함께 서서히 증가하여 한계상태에 도달한 한계변위량에서 수렴치에 도달한다. 이 한계변위량은 마이크로파일의 종류에 무관하게 지층의 종류에 따라 다르게 나타난다.
- (2) 신개념을 도입한 팩마이크로파일의 인발저항력은 통상적으로 사용하는 강관지지형 일반마이크로파일의 인발저항력보다 크게 나타난다. 이러한 결과의 원인으로는 마이크로파일의 단면적확대효과와 주변지반압축효과를 들 수 있다.
- (3) 팩마이크로파일의 토목섬유팩 내 주입압이 주변지반을 압축시키는 효과는 지표면보다 깊은 지층에서 크게 나타난다. 즉 매립토층에서는 팩마이크로파일과 일반마이크로파일 모두 단위주면마찰력의 수렴치가 동일하였다. 그러나 매립토층 아래에 있는 실트질모래층에서는 팩마이크로파일의 단위주면마찰력 수렴치가 일반마이크로파일에 대한 단위주면마찰력의 수렴치보다 크게 발휘되었다.
- (4) 말뚝 주변에서 발달하는 단위주면마찰력은 말뚝의 직경이 작은 경우가 더 크게 발휘한다. 즉 마이크로파일의 주변에서 발휘되는 단위주면마찰력은 대구경 현장타설말뚝의 주변에서 발휘되는 단위주면마찰력보다 크게 나타난다. 이러한 차이가 발생한 원

인으로는 두 종류의 말뚝에 대한 단면적 대비 마찰면적의 차이에 의한 영향과 말뚝과 지반 사이에서의 전단속도의 차이에 의한 영향을 들 수 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(20100320)을 밝히며 동 지원에 감사의 뜻을 표한다.

## 참고 문헌

1. ASTM (1994), "Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Tensile Load", *The Annual Book of ASTM Standards D 3689, CD-Rom, Soil and Rock(1)*.
2. Cadden, A., Gomez, J., Bruce, D., and Armour, T. (2004), "Micropiles: recent advances and trends", *Deep Foundation*, pp.140-165.
3. Choi, C., Goo, J., Lee, J. H., Cho, S. D., and Jeong, J. H. (2008), "Development of New Micropiling Technique and Field Installation", *Korean Geotechnical Society Spring National Conference*, March 27, pp.571-578.(in Korean)
4. Choi, C., Goo, J, Lee, J. H., and Cho, S. D. (2009), "Development of new micropiling method enhancing frictional resistance with geotextile pack", *Proc. of 9th International Workshop for Micropiles*, London, May 11.
5. Choi, Y. S (2010), *A Study on Pullout Behavior of belled tension piles Embedded in Cohesiveless Soils*, Master's thesis, Chung-Ang University, pp.1-14
6. DIN (1983), *Small Diameter Injection Piles(Cast-in-Place Concrete Piles and Composite Pile)*, DIN-4128, April, pp. 2-7.
7. FHWA, (2000), *Micropile Design and Construction Guidelines*, Publicatoin No. FHWA-SA-97-070.
8. FHWA, (2005), *Micropile Design and Construction*, NHI-05-039, pp.7-1-7-28.
9. Han, J, and Ye, S. (2006), "A field study on the behavior of micropiles in clay under compression or tension", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 43, pp19-29.
10. Hong, W. P. (1995), "A Study on stabilizing Methods for Landslide Control by Micropile", A Research Paper, Chung-Ang University.(in Korean)
11. Hong, W. P., Yea, G. G., and Lee, J. H. (2005), "Evaluation of Skin Friction on Large Drilled Shaft", *Journal of Korean Geotechnical Society* Vol.21, No.1, pp.93-103.(in Korean)
12. Hong, W. P., Hong, S., Lee C. M., and Kim, J. H. (2010), "Model tests to evaluate uplift capacity of micropiles in sand", *roceedings of the 9<sup>th</sup> Japan/Korea Joint Seminar on Geotechnical Engineering*, Edited by Ken-chi Tokdia. Kazuhiro Oda, Japan, pp 175-183
13. Huang, Y., Hajduk E. L., Lipka D. S., and Adams, J. C. (2007), "Micropile load testing and installation monitoring at the cats vehicle maintenance facility", *GSP 158 Contemporary Issues in Deep Foundations, Geo-Denver 2007 : New Peaks in Geotechnics*.
14. Korea Society of Civil Engineering(1988), "Research of Micropile study on Design and Construction Technology", A Research Paper. (in Korean)
15. Korea Institute of Construction Technology(2009), "Research of Composite Supported Micopile Method", A Research Paper. (in Korean)
16. Koreck, H. W. (1978), "Small diameter bored injection piles", *EMAP CONSTRUCT LIMIT* Volume 11 Issue number 4, pp.14-20.
17. Littlejohn, G. S. (1993), "Soil Anchorages", in *Underpinning and Retention*, Edited by S. Thorburn and G. S. Litteljohn, Published by Blakie Academic and Professional, pp.84-156.
18. Mascardi, C. A. (1982). "Design criteria and performance of micropiles", *Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques*, Bangkok, 29 Nov.-3 Dec.
19. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2008), *Retrofit and Rehabilitation of Urban Building Structure R&D*, A Research Paper, A01, pp.93-99. (in Korean)
20. Misra, A., and Chen, C. (2004), "Analytical solution for micropile design under tension and compression", *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 22, pp.199-225.
21. Misra, A., Roberts, L. A., Oberoi, R., and Chen, C.-H. (2007), "Uncertainty analysis of micropile pullout based upon load test results", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, Vol. 133, No.8, pp.1017-1025.

(접수일자 2011. 9. 9, 심사완료일 2012. 5. 4)