

풍화잔류토 지반에 타설된 말뚝의 주면마찰 특성 연구

A Study on the Skin Friction of Piles Driven into Residual Soils

| | |
|---------------------|---------------------|
| 이 명 환* ¹ | 박 용 원* ² |
| Lee, Myung-Whan | Park, Yong-Won |
| 이 인 모* ³ | 김 대 영* ⁴ |
| Lee, In-Mo | Kim, Dae-Young |
| 윤 성 진* ⁴ | 이 상 현* ⁵ |
| Yoon, Sung-Jin | Lee, Sang-Heon |

Abstract

Though the pile skin friction can take substantial amount of load carrying capacity, it has often been ignored in the design. Even when the pile skin friction is taken into consideration, it is questionable about the reliability of estimating it. It has been even worse in Korea, since in most cases the available information is only the SPT N values and not much information has been known about the correlation between N value and the pile skin friction in residual soils. With SPLT (Simple Pile Loading Test) it is possible to measure the pile skin friction separately from the tip resistance. In this research, results of the measured pile skin friction in residual soils are analysed. And a new design correlation based on SPT N value is proposed.

요 지

말뚝의 주면마찰력은 전체 지지력중 상당한 하중을 지지할 수 있으나 실제 설계시에는 무시되는 경우가 많이 있다. 주면마찰력을 설계에 반영할 경우에도 계산결과의 신뢰도는 매우 낮은 것이 현실이다. 국내의 사정은, 설계 자료로 활용할 수 있는 것은 표준관입시험 결과뿐인 경우가 대부분으로 빈곤하며 특히 국내에 많은 화강암, 편마암의 풍화잔류토에 관해서는 설계자료가 극히 희박해 외국에 비해 열악하다. 최근에 국내에서 개발된 간편한 말뚝재하시험(simple pile

*¹ 정회원 고려대학교 생산기술연구소

*² 정회원 명지대학교 공과대학 토목공학과 교수

*³ 정회원 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수

*⁴ 정회원 삼성종합건설(주) 기술연구소

*⁵ 삼성종합건설(주) 기술연구소

loading test: SPLT)의 사용은 선단지지력과 주면마찰력의 별도 측정이 가능하도록 하였다. 본 연구에서는 풍화산류토 지반에서의 SPLT 결과를 분석하여 N 값에 의한 새로운 설계관계식을 제안하였다.

1. 서 론

말뚝의 지지력은 선단지지력과 주면마찰력의 합해진 결과이다. 그러나 실제 설계시에는 주면마찰력 부분은 생략되는 경우가 많이 있다. 그 이유는 종래에 설계되던, 지반조건이 상대적으로 양호한 경우, 양질의 지지층이 지표면으로부터 깊지 않아, 선단 지지력 만으로도 설계가 가능하였던 조건에서 찾을 수 있을 것으로 해석된다.

그러나 근래의 경제발전에 따라 건설부지 확보가 어려워지게 되고 말뚝건설에 상대적으로 열등한 지반조건에서의 건설이 증가하고 있다. 여기에 주택난 해소를 위한 200만호 주택건설은 25층 이상의 초고층 아파트 건설을 촉진시키고 있다. 이에 따라 건물 하중이 증대하고 있으며, 지반조건은 상대적으로 열악하여 말뚝기초의 잠재 지지능력을 극대화할 필요성이 대두된다. 여기에 건물의 고층화에 따라 추가되는 풍하중에 의한 인발저항 개념에 대처하기 위해서도 말뚝의 주면마찰력에 대한 검토가 요구되고 있다.

말뚝의 주면마찰력 산정은 지반을 구성하고 있는 토질조건에 따라 점성토에서의 산정식과 사질토에서의 산정식으로 구분된다. 점성토에서의 산정식은 Tomlinson의 α 계수방법⁽²¹⁾, Burland의 β 계수방법⁽¹⁰⁾, Vijayvergia and Focht의 λ 계수방법⁽²⁴⁾과 최근 제안된 Azzouz 등의 ρ 계수방법⁽⁸⁾ 등이 있으나 제안자에 따라 상이한 개념에 입각한 관계식들의 신뢰도는 극히 낮은 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁵⁾ 반면, 사질토 지반에서의 말뚝의 주면마찰력 산정은 토질역학상 원론적인, 구속응력과 말뚝-흙간의 마찰계수에 의한 해석이 되고 있다.

우리나라의 모암 구성은 화강암과 편마암이

전 국토의 60% 가량을 차지하고 있으며⁽¹⁾ 이들의 풍화산류토층은 각종 지반조건 중 가장 빈번하게 나타나는 현장조건이다. 화강암 풍화토의 물리적 성질은 그간 많이 보고되었으나 이러한 지반조건에서의 말뚝 거동에 관한 연구 실적은 극히 희박한 실정이다. 화강암 풍화토의 다짐 시료에 대한 직접전단 시험결과에 의하면 내부마찰각과 점착력이 모두 나타나고 있어 소위 c, ϕ 토질로 분류할 수 있다.⁽⁶⁾ 그러나 점착력 절편은 포화시 없어지는 것으로 보고되어⁽¹¹⁾⁽¹⁷⁾ 지하수위 아래쪽에서는 사질토로 취급하여도 좋다고 본다. 본 연구에서 취급한 현장의 경우, 지하수위가 대개 지표면으로부터 2m 이내인 점을 감안하여 사질토에서의 주면마찰 산정방법만을 대상으로 하였다. 이 경우 단위면적당 주면마찰력은 아래식으로 표시된다.

$$f_s = \sigma_v' K \tan \delta \quad (1)$$

여기서 f_s : 단위면적당 주면마찰력 (F/L^2)

σ_v' : 말뚝주면의 평균 유효 수직응력 (F/L^2)

K : 횡방향 토압계수

$\tan \delta$: 말뚝표면과 지반간의 마찰계수

식(1)을 이용하여 주면마찰력을 계산하기 위해서는 K 값과 $\tan \delta$ 값을 결정하여야 한다. K 값은 지반의 정지상태의 횡방향 토압계수와는 개념이 상이하며, 말뚝의 설치로 인한 효과까지 감안되어야 한다. 표 1은 연구자에 따라 제안된 다양한 값들을 보여주고 있다.

표 1에 나타난 바와 같이 연구자에 따라 제안된 K 값의 범위는 상당히 넓어서 실제말뚝 설계에 사용할 값을 정하는 것은 용이하지 않다. 이처럼 큰 차이가 나타나는 것은 말뚝설치로 인한 지반조건의 변화를 규명하지 못한 때문일 것이다. Huntsmann 등의 시험 결과에 의하면 모래의 초기 상대밀도 조건에 따라 관

표 1. 여러가지 K값들⁽¹⁾⁽⁹⁾⁽¹²⁾⁽¹¹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾

| 제안자 또는 기준 | K 값 | 비 고 |
|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Hansen. B | $\cos^2 \phi$ | 모래지반, 이론 |
| Lundgren(1960) | 0.8 | 모래지반, 재하시험 |
| Henry | K_p | 모래지반, 이론 |
| Ireland(1957) | 1.11-3.64 | 모래지반, 인발시험 |
| Meyerhof(1951) | 0.5 1.0 | 현장자료분석, 느슨한 모래 현장자료분석, 조밀한 모래 |
| Mansur-Kaufman (1958) | 0.3 0.6 | 실트지반, 현장자료분석, 압축 실트지반, 현장자료분석, 인장 |
| Lambe-Whitman (1969) | 2.0 | |
| Kezdi(1958) | K_p | |
| Tavenas(1971) | 0.5 0.7 | H pile PC Pile |
| API(1984) | 0.8 1.0 | Unplugged pipe pile Full displacement pile |
| Mansur-Hunter (1970) | 1.4-1.9 1.2-1.3 1.45-1.6 | H pile Pipe pile PC pile |
| McClelland (1974) | 0.4-0.6 | |
| Fleming et al (1985) | $N_q/50$ | N_q : 선단지지력 계수 |
| Kulwahy(1984) | 1.2 K_0 0.75-1.25 K_0 | Full displacement pile Small displacement pile |
| 건설부제정 구조물 기초 설계기준 (1986) | 0.5 1.0 1.0 2.0 | 강말뚝, 느슨한 모래 강말뚝, 조밀한 모래 콘크리트말뚝, 느슨한 모래 콘크리트말뚝, 조밀한모래 |

입체 관입후 측정되는 K 값은 변화한다.⁽¹⁶⁾ 따라서 초기 말뚝설치 이전의 K 값과 함께 지반의 상대밀도 조건을 감안하면 말뚝설치후 주변 마찰력 계산에 필요한 K 값을 예측할 수는 있겠으나 실제 현장에 적용은 거의 불가능하다.

$\tan \delta$ 의 값에도 제안자에 따라 상당한 차이가 존재한다. Potyondy는 여러가지 건설재료들과 흙간의 마찰계수를 실험에 의하여 제안하였다.⁽¹⁹⁾ 실제 말뚝설계에 사용되는 δ 값들은 흙의 내부마찰각(ϕ')의 50-70%⁽⁹⁾, 또는 흙의 잔류 내부마찰각⁽¹⁴⁾등이 사용되며 우리나라에서는 강말뚝은 20°, PC말뚝은 ϕ' 의 75%를 사용하도록 규정되어 있다.⁽¹⁾

이상을 종합하여 볼 때 실제 설계에 사용할

수 있는 K 값의 범위는 0.4~3.6이 되며 $\tan \delta$ 의 값은 0.36~0.65 정도의 범위가 된다. 이 범위에 의하면 이론상 $K \tan \delta$ 의 값은 0.144~2.34의 값을 가질 수 있다. 실제로 1989년 미국토목학회가 주관이 되어 실시한 말뚝지지력의 예측 학술대회에서는 지반조건이 알려진 동일한 조건하에서 말뚝지지력에 대한 전문가들의 예측된 $K \tan \delta$ 값은 모래지반에 향타된 말뚝의 경우 0.21에서 2.26 까지의 값들이 사용되었다.⁽¹⁾

결국 현재의 기술 수준으로는 토질역학 이론에 입각한 말뚝 주변마찰력 산정에는 한계가 있음을 알 수 있다. 특히 우리나라의 경우처럼 거의 대부분의 지반조사가 표준관입시험으로 시행되는 경우에는 계산에 필요한 토질정수 도출은 신뢰도가 극히 낮을 수 밖에 없다. 따라서 말뚝의 주변마찰력 계산에도 N 값으로부터 토질정수를 도출하는 것보다는 직접 단위면적당 주변마찰력을 산정하는 Meyerhof식 경험식이 보다 널리 활용되고 있다.⁽¹⁸⁾

$$f_s = 0.02 \bar{N} \text{ kg/cm}^2 \quad (2)$$

여기서 \bar{N} : 말뚝주변의 평균 N 값

식(2)는 우리나라의 구조물 기초 설계기준⁽¹⁾, 일본의 건축, 토목 등 각종설계기준⁽⁷⁾, 캐나다의 설계기준⁽¹¹⁾ 등에서 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 식(2)의 적용성 또는 신뢰도를 판단할 수 있는 자료는 그리 많지 않으며, 특히 풍화잔류토 지반에 대한 연구는 극히 희박한 실정이다.

본 연구에서는 국내에서 흔히 나타나는 화강암 및 편마암 풍화토 지반에서의 말뚝의 인발에 대한 주변마찰력 특성을 SPLT(간편한 말뚝재하시험, Simple Pile Loading Test)⁽³⁾를 사용하여 규명하고, 현재 국내에서 널리 적용되는 Meyerhof 공식⁽¹⁸⁾의 적용성을 검토하였다.

2. 말뚝재하시험 과정 및 시험결과

풍화잔류토 지반에서의 말뚝의 주변마찰력 특성을 규명하기 위하여 총 12개의 말뚝재하시

험이 실시되었다. 시험말뚝은 외경 406mm의 강관말뚝으로 SPLT에서 사용되는 분리할 수 있는 선단부를 부착한 후 항타되어 N 값이 50 이상이 되는 지지층(주로 풍화암 지층) 까지 선단부를 항타하였다. 항타는 최종관입량이 3~4mm/타격이 될 때까지 계속하였다.

시험 대상현장은 경상남도 창원시와 경기도 일산, 산본 신도시의 3개지역으로 모두 대단위 아파트 건설 현장이었다. 그림 1은 대표적인 시추주상도로서 나머지 시험위치도 비슷한 지반조건을 가지고 있다. 풍화토층의 깊이는 대략 15m 이내이며 말뚝의 길이도 10m 내외였다. 지하수위는 대부분 높게 나타나고 있으며 지표면으로부터 2m 이내의 경우가 대부분이었다.

항타가 완료된후 SPLT 1단계 및 2단계 시험이 실시 되었다. 자세한 시험과정은 참고문헌 3을 참고하기 바람에 본 논문에서는 생략하였다. 또한 본 연구의 목적은 주변마찰력에 국한하였으며 2단계 시험 결과는 본 논문에서는 제외하였다.

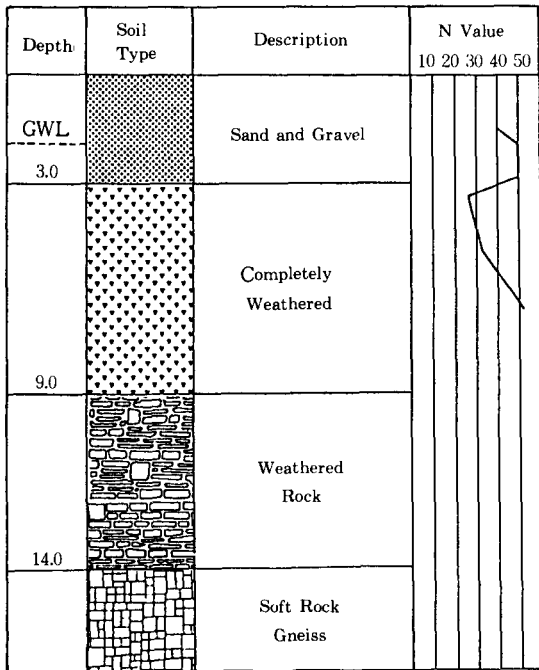


Fig 1. Soil - Profile

시험결과는 시험현장 또는 위치와 관계없이 대부분 유사하며 그림 2에는 대표적인 시험결과를 나타내 주고 있다. 표 2에는 12개 시험결과를 요약하였다.

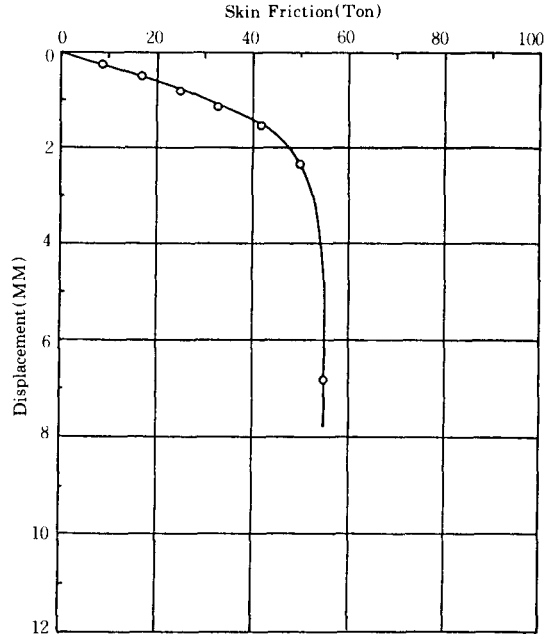


Fig 2. Skin friction - displacement curve of pile C3

표 2. 시험결과 요약

| 위 치 | 번호 | L/D | \bar{N} | Q_s (ton) | f_s (kg/cm ²) | Ktan δ |
|-----|----|------|-----------|-------------|-----------------------------|---------------|
| 산 본 | S1 | 14.5 | 39.6 | 90 ↑ | 1.20 ↑ | 3.77 ↑ |
| | S2 | 34.0 | 37.6 | 112 | 0.86 | 0.80 |
| | S3 | 28.6 | 31.8 | 87 ↑ | 0.78 ↑ | 0.88 ↑ |
| 창 원 | C1 | 30.0 | 19.5 | 90 ↑ | 0.83 ↑ | 0.76 ↑ |
| | C2 | 24.9 | 36.5 | 62 | 1.22 | 1.03 |
| | C3 | 22.9 | 21.8 | 55 | 0.46 | 1.14 |
| | C4 | 27.6 | 25.7 | 90 ↑ | 0.63 ↑ | 1.40 |
| | C5 | 22.9 | 23.1 | 90 ↑ | 0.76 ↑ | 1.72 ↑ |
| | C6 | 18.5 | 25.9 | 65 | 0.68 | 1.74 |
| 일 산 | I1 | 11.1 | 25.2 | 43 | 0.75 | 2.63 |
| | I2 | 21.4 | 20.2 | 58 | 0.73 | 1.07 |
| | I3 | 23.6 | 19.3 | 49 | 0.53 | 0.74 |

註: ↑ 표시는 SPLT 1 단계시험과정에서 반력전달용 강봉(tie bar)의 한계 인장하중을 초과하여 주변 마찰력의 파괴까지 재하하지 못한 결과임.

위의 표 2에서 주변마찰력의 파괴까지 재하지 못한 시험결과에 대하여는 다른 시험결과들을 비교하여 파괴하중을 가정하였다. 그림 3에는 창원에서 실시한 6개의 재하시험 결과를 함께 보여주고 있다.

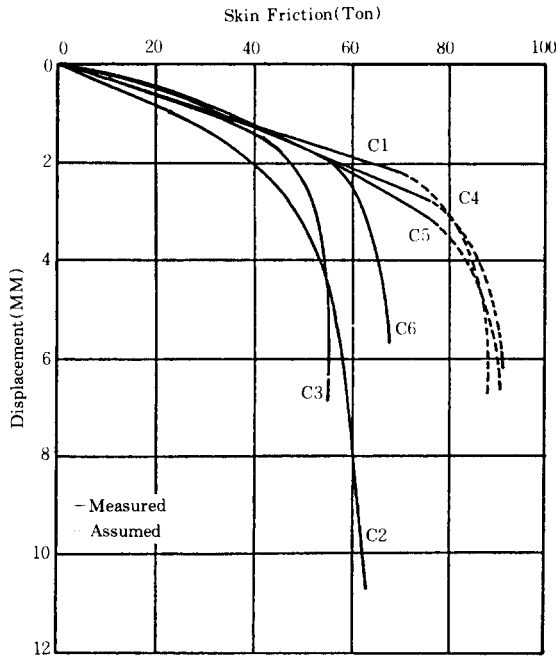


Fig 3. Skin friction - displacement curve of piles at Chang-won site

그림 3에 나타난 것처럼 주변마찰력은 극히 작은 범위하에서 거의 직선적인 증가를 하며, 어떤 하중수준을 초과하면 급격히 파괴에 도달한다. 그림에는 표시하지 못하였으나 파괴상태 도달 이전에 침두치가 나타나며 그 후에는 하중증가는 없는 상태에서 변위만 증가하는 전형적인 파괴양상을 보여준다. 파괴가 일어나는 변위량은 C2의 예외를 제외하면 대략 4~6mm이며 이 값은 말뚝직경대비 1~1.5%에 해당되는 문헌상의 자료들과 일치한다.

표 2를 작성할 때 지반조사 시점과 말뚝시공 시점이 상이하여, 지반이 성토되는 경우 성토

부분의 지반자료는 현장에서의 항타과정과 성토작업 내용을 참고하여 가정하였다. 대부분 성토부에서의 말뚝항타는 거의 저항이 없는 것과 아파트공사에서 성토시에는 전압장비를 사용하지 않는 점들을 감안하여 $N=0$ 를 적용하였다. 또한 지반의 단위중량 자료도 미비하여 성토부에서는 1.6 ton/m^3 , 지하수위 이상에서는 1.7 ton/m^3 , 지하수위 이하에는 1.8 ton/m^3 을 가정하였다.

3. 시험결과와 분석 및 토의

본 연구에서 측정된 단위면적당 주변마찰력은 $0.46 \sim 1.22 \text{ kg/cm}^2$ 의 범위이며 평균 0.79 kg/cm^2 이다. 이 값은 문헌상의 자료들에 비하여 약간 높은 수준이지만 그렇게 벗어나는 것은 아니다. Meyerhof 공식은 \bar{N} 과 f_s 의 직접적인 관계를 제안하고 있으며, 본 공식의 적용성을 알아보기 위하여 그림 4와 같이 시험결과를 정리하였다. 시험결과를 회귀분석하여 아래의 관계식을 얻었다.

$$f_s = 0.024\bar{N} + 0.132 \text{ kg/cm}^2 \quad (3)$$

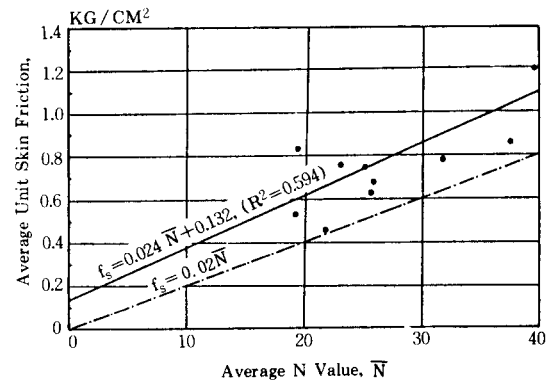


Fig 4. \bar{N} vs. f_s

식(3)의 상관성은 $R^2 = 0.594$ 로 양호하지 못하며 Meyerhof의 식(2)는 본 연구결과에 의하면 하한선 정도가 됨을 알 수 있다. 그림 5는 본 연구결과와 Meyerhof의 시험결과⁽¹⁸⁾ 그리고

일본의 시험결과⁽⁷⁾를 함께 도시한 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 본 연구결과는 일본의 결과들과 거의 동일한 범위내에 있음을 알 수 있으나 Meyerhof의 자료들과는 구분이 된다. 특기할 사항은 본 연구결과에서와 같이 일본에서의 시험자료에서도 Meyerhof의 관계식은 하한한계로 나타난다는 데 있다. 또한 일본 자료의 상한 선인 『 $0.02 \bar{N} + 0.6$ 』은 본 연구결과와도 거의 일치하며 일본의 평균식인 『 $0.02 \bar{N} + 0.3$ 』은 식(3)과도 유사함을 알 수 있다.

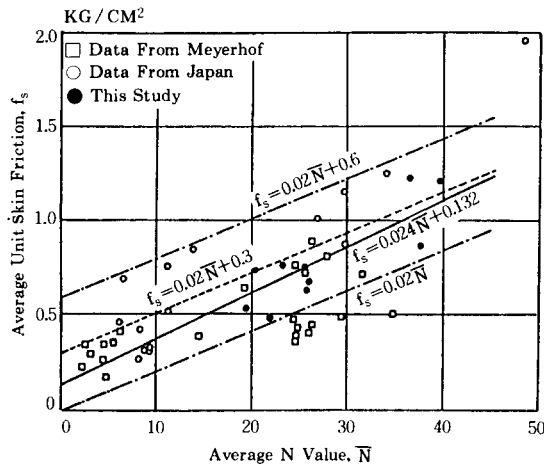


Fig 5. Comparison with reported test results(data from Ref. 6)

그림 6에는 식(2)를 적용하여 계산한 말뚝의 주변마찰력과 실측한 값들을 비교하였으며 식(3)을 이용한 비교는 그림 7에서 보여준다. 현재 폭넓게 적용되는 Meyerhof의 식(2)에 의한 계산시 20% 이상의 오차 발생은 전체 12개 경우중 10개에 달하며, 최대오차율은 +113%, 50% 이상의 오차발생도 5개에 달한다. 이러한 결과는 이미 그림 4와 5에서도 예견된 바이지만 식(2)를 실무에 적용하기에는 무리가 있음을 확인할 수 있다. 단 식(2)에 의하면 본 연구에서 조사된 모든 말뚝에 대해서 계산값보다 실측값이 높아, 가장 안전한 예측이 가능함을 보여준다. 이에 비하여 식(3)을 적용하면 (그

림 7) 오차비율 20%를 초과하는 경우가 12개 중 5개로 줄어들고 최대오차 발생값은 +77%, 50%이상 오차발생은 1개에 불과하여 보다 양호한 관계식임을 보여준다.

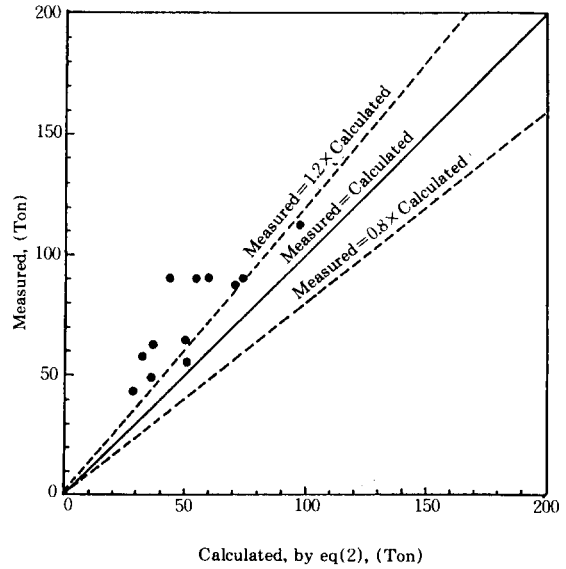


Fig 6. Measured vs. calculated, eq.(2)

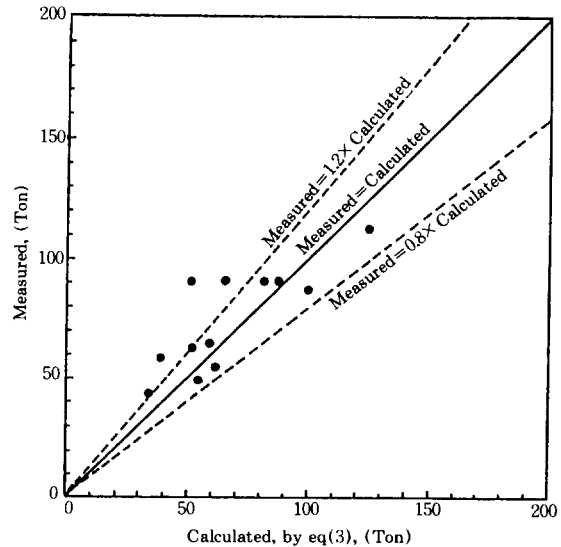


Fig 7. Measured vs. calculated, eq.(3)

비록 식(3)이 식(2)보다는 양호하다고 하여도 N 값만으로 단위면적당 주면마찰력을 도출하는 것은 무리가 있다. 말뚝의 주면마찰력은 식(1)에 나타난 바와 같이 지반내의 응력수준(σ_v), 횡방향 토압계수(K), 말뚝과 지반간의 마찰계수($\tan\delta$)의 특성의 복합적인 결과이다. 반면 식(2) 또는 식(3)에서는 단지 N 값만이 고려되었을 뿐이다. N 값이란 지반의 조밀한 정도를 나타내 주는 무차원 지표일 뿐, 이 값으로부터 응력을 직접 도출하기에는 무리가 있다. 예를 들어 균질한 인공지반을 형성하여 구속 압력을 변화시켜 가며 말뚝의 주면마찰을 측정하는 경우, 측정결과는 지반의 상대밀도와 구속압력의 수준에 영향을 받는 것으로 보고되고 있다. 상대밀도 변화에 따른 주면마찰력의 변화는 식(2) 또는 식(3)으로 설명할 수 있으나, 구속압력의 영향은 설명할 수 없다.

각종 연구결과에 의하면 말뚝의 주면마찰력은 여러가지 요소들에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Vesic는 관입깊이가 어떤 한계수준을 초과할 경우 주면마찰력은 응력수준 증가에 관계없이 일정한 값에 수렴함을 보고하였다.⁽²³⁾ Coyle and Castello는 상대관입깊이가 말뚝의 주면마찰력에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 결론지었으며 이 밖에 말뚝의 재질, 구속응력의 수준 등도 심각한 영향을 주는 것으로 알려져 있다.⁽²⁾⁽⁹⁾

이에 따라 개선된 주면마찰력 관계를 알아보기 위하여 중요한 영향요소인 상대관입 깊이(L/D)와 응력수준(σ_v)에 대하여 검토를 수행하였다. 상대관입 깊이는 표 2에서 나타나고 있는 것처럼 주면마찰력과 상당히 밀접한 관계가 있는 것처럼 보인다. 예를 들면 $K\tan\delta$ 값이 다른 말뚝들보다 월등하게 높은 S1 및 I1의 경우 L/D 값은 14.5와 11.1에 불과하여 얕은 관입시 높은 주면마찰력을 갖게하는 것으로 해석된다. L/D와 f_s 그리고 L/D와 $K\tan\delta$ 의 관계를 검토하였으나 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않았다. 여기에 지반의 조밀한 정도를 나타내 주는 \bar{N} 값을 함께 고려하기 위하여 $\bar{N}/$

(L/D)와 $K\tan\delta$ 의 상관관계를 검토한 결과 상당히 양호한 ($R^2 = 0.828$) 관계가 나타났으며 그 관계식은 아래와 같다.(그림 8)

$$K\tan\delta = 1.335 \left[\bar{N} / (L/D) \right] - 0.238 \quad (4)$$

식(4)는 식(2) 또는 식(3)이 보여주고 있는 것보다 월등히 향상된 상관관계를 나타내 준다. 식(4)를 적용하여 계산한 주면마찰력과 실측값을 그림 9에서 비교하였다. 그림 6 또는 그림 7보다 양호한 것으로 나타나지만 오차비율이 20%를 초과하는 경우가 12개중 6개로 식

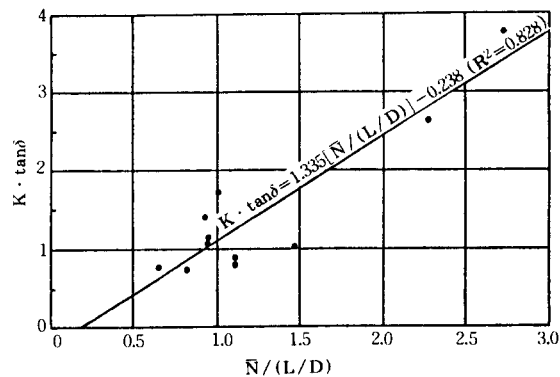


Fig 8. $\bar{N} / (L/D)$ vs. $K \cdot \tan\delta$

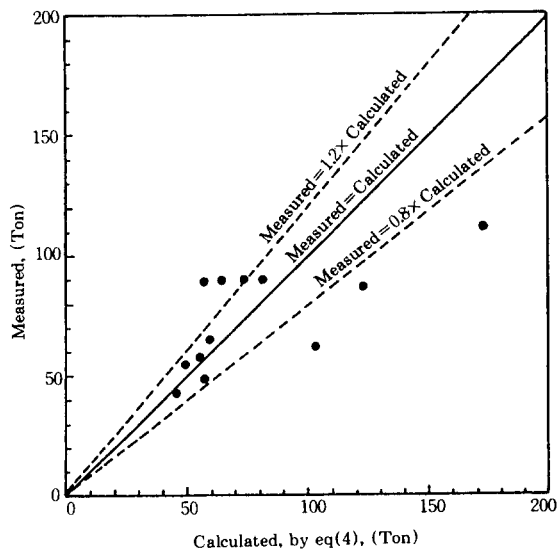


Fig 9. Measured vs. calculated, eq.(4)

(3)의 경우보다도 높게 나타난다. 최대 오차발생값은 +55%이며 50% 이상의 오차발생 경우는 1개소이다.

식(4)는 식(3)에 비하여 상관관계는 좋지만 말뚝의 주면마찰력 예측에 있어서는 크게 개선되지 못함을 알 수 있다. L/D의 개념은 응력 수준과 연관하여 보면 전응력 개념에 적합하다고 할 수 있다. 식(1)에도 나타나 있듯이 말뚝의 주면마찰력은 유효응력 개념에 입각한 결과이다. 유효응력 개념과 상대관입깊이 개념을 동시에 포함하고 있는 새로운 계수인 평균유효연직응력($\bar{\sigma}_v$)과 지반의 조밀한 정도를 표시해주는 N 값을 함께 고려하여 $K \tan \delta$ 와 $\bar{N} / \bar{\sigma}_v$ 의 관계를 검토하였다. 그림 10은 검토결과이며 아래의 식(5)와 같은 관계식을 도출할 수 있었다.

$$K \tan \delta = \frac{1}{100} [2.938(\bar{N} / \bar{\sigma}_v) - 3.462] \quad (5)$$

여기서 $\bar{\sigma}_v$ 의 단위는 kg/cm^2

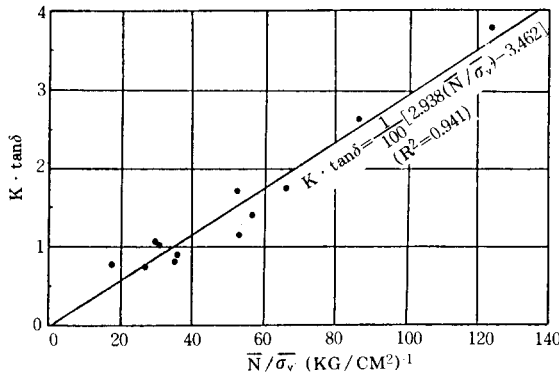


Fig 10. $\bar{N} / \bar{\sigma}_v$ vs. $K \cdot \tan \delta$

그림에서 보여주듯이 위 식의 상관도는 매우 양호하며 ($R^2 = 0.941$) 말뚝주면마찰력 예측에 효과적일 것으로 기대된다. 식(5)를 적용하여 계산한 값과 실측값을 비교한 결과 (그림 11), 오차한계 20%를 벗어나는 경우는 3개소, 최대 오차는 +55%, 50% 이상의 오차발생 건수는

1개소로 나타났다. 최대오차 발생 경우를 제외하면 나머지 11개소에 있어서 $\pm 30\%$ 이내에 들어있어 상당히 신뢰도 높은 예측이 가능하다고 할 것이다.

따라서 풍화산류토 지반에 항타된 말뚝의 주면마찰력은 아래와 같은 식으로 계산할 수 있을 것이다.

$$f_s = \frac{\bar{\sigma}_v}{100} [2.9 (\bar{N} / \bar{\sigma}_v) - 3.5] \quad (6)$$

여기서 $\bar{\sigma}_v$ 의 단위는 kg/cm^2

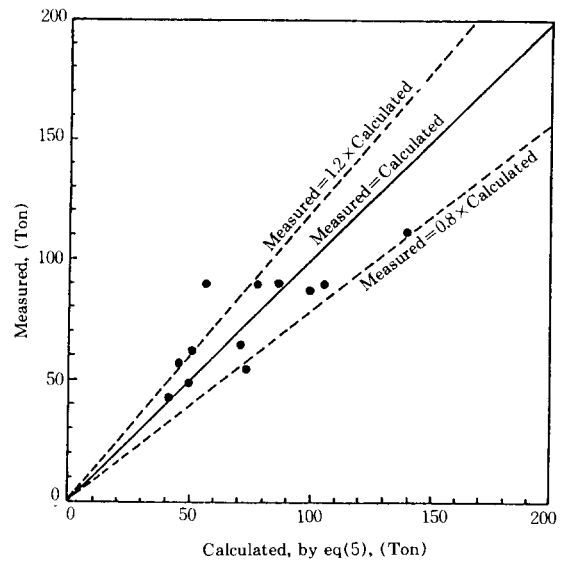


Fig 11. Measured vs. calculated, eq.(5)

4. 결 론

국내에 많이 있는 화강암 또는 편마암 풍화토 지반에 항타된 말뚝의 주면마찰력을 N 값에 의하여 계산할 수 있는 관계식을 도출하였다. 본 공식은 기존의 Meyerhof 공식에 비하여 우수한 것으로 나타나지만 아직 조사수가 충분히 많지 않으므로 지속적인 보완이 되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설부(1986), "구조물 기초설계 기준"
2. 이명환(1988), "말뚝의 주변마찰력과 마찰계수의 산정", 대한토목학회 1988년도 학술발표회개요집, pp.428-431.
3. 이명환, 이원재, 이장덕, 백세환, 김대영, 윤성진(1990), "간편한 말뚝재하시험(SPLT)의 개요와 적용", 대한토질공학회지 제6권 제4호, pp. 53-64.
4. 임병조(1974), "물이 화강토의 공학적 성질에 미치는 영향-특히 전단특성의 변화에 대하여", 대한토목학회지, 제22권 제2호, pp.75-81.
5. 한국건설기술연구원(1988), "방재종합 대책 중장기계획 조사보고서-산사태부분", 제3권.
6. 한국건설기술연구원(1990), "보강토 공법을 이용한 교대의 설계 및 시공".
7. 日本土質工學會(1982), 構造物基礎の設計計算演習 pp.117-124.
8. Azzouz, A.S., Baligh, M.M. and Whittle, A.J. (1990), "Shaft resistance of piles in clay", J. Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, GT2, pp.205-221.
9. Bowles, J.E.(1988), "Foundation analysis and design, 4th edition", McGraw-Hill Book Company.
10. Burland, J.B.(1973), "Shaft friction of piles in clay", Ground Engineering, Vol. 6, No.3, pp. 30-42.
11. Canadian Geotechnical Society(1985), "Foundation Engineering Manual, 2nd edition".
12. Coyle, H.M. and Castello, R.R.(1981), "New design correlations for piles in sand", J. Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.107, GT7, pp.965-986.
13. Finno, R.J.-editor(1989), "Predicted and observed axial behavior of piles", Geotechnical Special Publication No.23, ASCE.
14. Fleming, W.G.K., Weltman, A.J., Randolph, M.F. and Elson, W.K.(1985), "Piling Engineering", John Wiley and Sons.
15. Greco, V.R. and Politi, F.(1991), "Risk model for pile capacity analysis", Proceedings of 4th International DFI Conference, Balkema, pp. 19-28.
16. Huntsmann, S.R., Mitchell, J.K., Klejbuk, L. W. and Shinde, S.B.(1986), "Lateral stress measurement during cone penetration", Proceedings of In Situ '86, ASCE, pp.617-634.
17. Lumb, P.(1963), "The properties of decomposed granite", Geotechnique Vol.12, pp. 226-243.
18. Meyerhof, G.G.(1956), "Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils", J.Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, Vol.82, SM1, pp.1-19.
19. Potyondy, J.G.(1961), "Skin friction between various soils and construction materials", Geotechnique, Vol.11, pp.339-353.
20. Poulos, H.G.(1988), "Marine geotechnics", Unwin Hyman.
21. Tomlinson, M.J.(1971), "Some effects of pile driving on skin friction", Proceedings of the Conference on the Behavior of Piles, ICE, pp. 107-114.
22. Tomlinson, M.J.(1987), "Pile design and construction practice, 3rd edition", A Viewpiont Publication.
23. Vesic, A.S.(1965), "Ultimate load and Settlements of deep foundation in sand", Proceedings of Symposium on Bearing Capacity and Settlement, Duke University, pp.53-68.
24. Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A.Jr.(1972). "A new way to predict the capacity of piles in clay", 4th Offshore Technology Conference, Houston, Vol.2, pp.865-874.

(접수일자 1991.11. 2)