

타입 강관말뚝 하중전이곡선 도출을 위한 현장재하시험 연구 **A Study of Field Loading Tests for Derivation of Load Transfer Curves** **of the Driven Steel Pipe Piles**

임종석¹⁾, Jong-Seok Lim, 최용규²⁾, Yong-Kyu Choi, 하혁³⁾, Hyuk Ha
심종선⁴⁾, Jong-Sun Sim, 박종희⁴⁾, Jong-Hee Park

¹⁾ 목포대학교 공과대학 건설공학부 토목공학전공 교수, Prof., Major in Civil Eng., Division of Construction Eng., Collage of Eng., Mokpo National Univ.

²⁾ 경성대학교 건설·환경공학부 교수, Prof., Dept. of Civil & Environmental Eng., Kyungsung Univ.

³⁾ 목포대학교 공과대학 건설공학부 토목공학전공 공학석사, Master, Major in Civil Eng., Division of Construction Eng., Collage of Eng., Mokpo National Univ.

⁴⁾ 목포대학교 공과대학 건설공학부 토목공학전공 석사과정, Graduate Student, Major in Civil Eng., Division of Construction Eng., Collage of Eng., Mokpo National Univ.

SYNOPSIS : As computation technologies has developed, the analysis using load transfer is mainly performed. But most of the functions used in the above program has been developed in foreign countries. Also in our nation, lots of studies concerning load transfer are being researched.

The investigation of suitability about the piles installed in our grounds, however, is required as functions acquired experientially, basing on the piles installed in foreign grounds.

In this background, the load transfer curve required to use load transfer method on its design through the analysis of field tests inside our nation intends to be made, on which this research focuses.

Key words : steel pipe pile, load transfer function, side friction, end bearing capacity, load transfer curve

1. 서론

말뚝의 해석은 전산기술의 발달과 더불어 좀 더 복잡하고 반복적인 계산을 쉽게 이행할 수 있게 됨으로써 하중전이를 이용한 해석이 많이 이루어지고 있다. 그러나 이러한 전산프로그램에서 사용된 함수들은 대부분 외국에서 개발된 함수들이 대부분이다. 현재 국내에서도 하중전이에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

하중전이함수법은 길이방향으로 구분된 말뚝의 각 요소에서의 주면마찰력 및 선단지지력과 각 말뚝요소의 변위와의 함수관계를 나타내며 이러한 하중전이는 외국의 많은 공학자들에 의해 여러 가지 형태로 제안되었으나 이들은 주로 외국의 지반에 설치된 말뚝을 대상으로 경험적으로 얻어진 함수로서 국내지반에 설치된 말뚝에 대한 적용성 검토가 필요하다.

이와 같은 배경에서 본 연구에는 강관말뚝의 설계에 있어서 하중전이함수법을 사용하기에 필요한 하중전이곡선을 국내 현장 시험결과를 분석하여 도출하고자 한다.

2. 문헌연구

2.1 최대주면마찰력

지시말뚝은 일반적으로 선단지지력과 주면마찰력에 의해 상부하중을 지지하며, 지반이 연약지반일 때는 주면마찰력이 하향으로 작용하는데, 이 때의 마찰력을 주면마찰력이라 한다. 본 연구에서는 국내외 공학자들의 많은 방법 중 사질토에서는 Meyerhof(1976), Briaud et al.(1985)의 방법을, 점토층에서는 도로교 표준시방서(1992), Meyerhof(1976)의 방법을 사용하였다.

2.1.1 사질토에서의 주면마찰력

(1) Meyerhof(1976)

배토량이 작은 타입말뚝의 단위주면마찰력 (f)을 표준관입저항값(N_{60})으로부터 얻을 수 있다고 제안하였다.

$$f(t/m^2) = 0.01p_a(N_{60}) \quad (2.1)$$

여기서, p_a : 대기압($10t/m^2$)

(2) Briaud et al.(1985)

균질한 지반의 경우, 표준관입저항값(N_{60})를 산정할 수 있다.

$$f = 0.224p_a(N_{60})^{0.29} \quad (2.2)$$

2.1.2 점토에서의 주면마찰력

(1) 도로교표준시방서(1992)

표2.1 최대주면마찰력(t/m^2)

	타입공법
점성토	c 또는 $N_{60} (\leq 15)$

여기서, c : 점성토의 전단강도

N_{60} : 표준관입저항값

$N_{60} \leq 2$ 의 연약층에서는 신뢰성이 부족하기 때문에 주면마찰력을 고려할 수 없다.

(2) Meyerhof(1976)

사질토에서의 주면마찰력을 구하는 방법과 동일하게 사용한다.

2.2 최대선단지지력

본 연구에서는 말뚝이 사질토지반에 근입되어 있어 점토 및 암반에서의 선단지지력은 고려하지 않는다. 적용가능한 방법은 Reese and O'Neill(1989)에 의해 다음과 같이 제안되었다..

$$q_p (kip/ft^2) = 1.2N_{60} \leq 90 \text{ kip/ft}^2 \quad (D_b < 50 \text{ in.}) \quad (2.3)$$

$$= 5.66N_{60} \leq 439.2 \text{ t/m}^2 \quad (D_b < 1.27 \text{ m})$$

여기서 N_{60} : 천공말뚝 선단부로부터 깊이 $2D_b$ 이내 지점의 수정되지 않은 표준관입치

2.3 하중전이 곡선

말뚝의 저항력과 변위량과의 관계를 나타내는 하중전이함수는 지금까지 많은 연구자들에 의해 현장재하시험을 이용한 경험적인 방법과 반이론적인 방법을 통하여 여러 가지 형태로 제안되었으며, 선단하중전이곡선($q-w$ curve)과 주변하중전이곡선($f-w$ curve)으로 나뉠 수 있다. 본 연구에서는 Reese and O'Neill(1989)방법을 이용하여 국내에서 이루어진 현장재하시험 결과를 토대로 비교 분석을 수행하였다.

3. 현장재하시험

본 연구에서는 A현장과 B현장의 재하시험 결과를 이용하였다. A현장에서는 개단강관말뚝의 하중전이 실험이 수반된 압축정재하시험을 실시하였다. 말뚝의 직경은 508mm, 두께 12mm, 길이는 24m이며 시험계획하중은 1000ton이고 설계하중은 79.8ton이다. 하중재하수단으로 본말뚝 1개, 반력말뚝 8개를 사용하였다. B현장에서는 개단강관말뚝의 하중전이 실험이 수반된 압축정재하시험을 실시하였다. 말뚝의 직경은 609.6mm, 두께 12mm 길이는 73m이며 시험계획하중은 1000ton이다. 하중재하수단으로 본말뚝 1개, 반력앵커를 사용하였다.

A현장과 B현장의 시험말뚝과 지반조건은 그림 3.1~3.2와 같다.

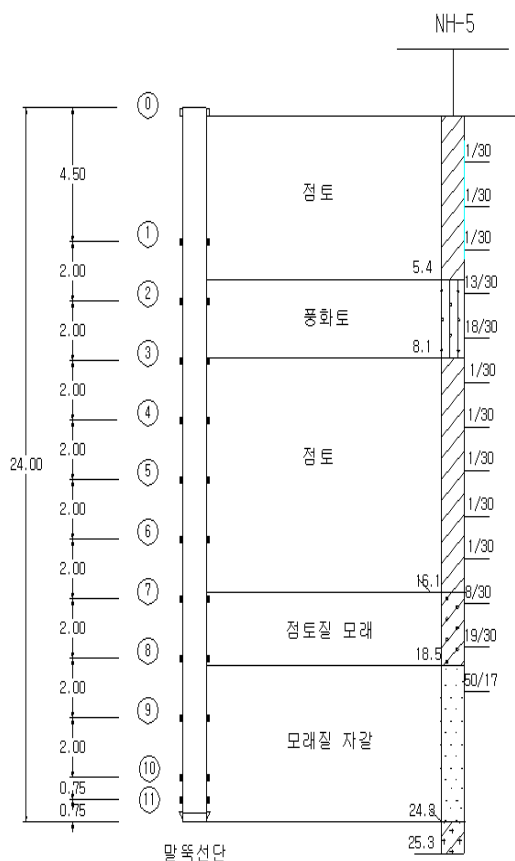


그림 3.1 A현장의 재하시험조건

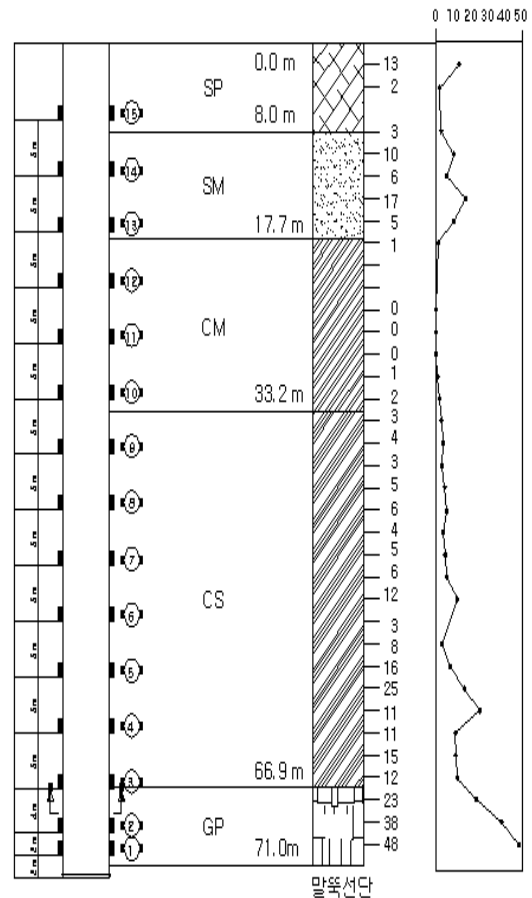


그림 3.2 B현장의 재하시험조건

4. 시험결과 및 비교분석

4.1 최대주면마찰력의 비교

A현장과 B현장의 사질토의 최대주면마찰력은 Meyerhof(1976)의 방법과 Briaud et al.(1985)의 방법으로, 그리고 점성토에서는 Meyerhof(1976)의 방법과 도로교표준시방서(1992)에서 제안된 방법으로 비교분석하였다. 그 결과를 표 4.1과 4.2에 나타내었다.

표 4.1 사질토의 최대주면마찰력 비교

(단위: t/m^2)

	실측값 f_{max}		Meyerhof(1976)		Briaud et al.(1985)	
	A현장	B현장	A현장	B현장	A현장	B현장
풍화토	2.083		1.6		5	
점토질모래	1.011		1.4		4.91	
매립토		0.694		0.6		3.76
실트질모래		0.591		0.8		4.09

표 4.2 점성토의 최대주면마찰력 비교

(단위: t/m^2)

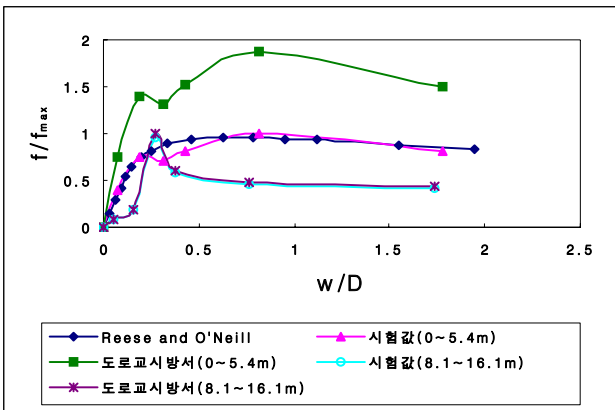
	실측값 f_{max}		Meyerhof(1976)		도로교표준시방서(1992)	
	A현장	B현장	A현장	B현장	A현장	B현장
점토(0~5.4m)	1.871		1		1	
점토(8.1~16.1m)	1.001		1		1	
실트질점토		0.339		0.1		1
모래질점토		0.321		0.9		9

사질토의 최대주면마찰력 비교에서는 Meyerhof(1976)의 방법이 실측값과 매우 유사한 값을 보인 반면 Briaud et al.(1985)의 방법은 실측값보다 매우 큰 경향을 볼 수 있었다.

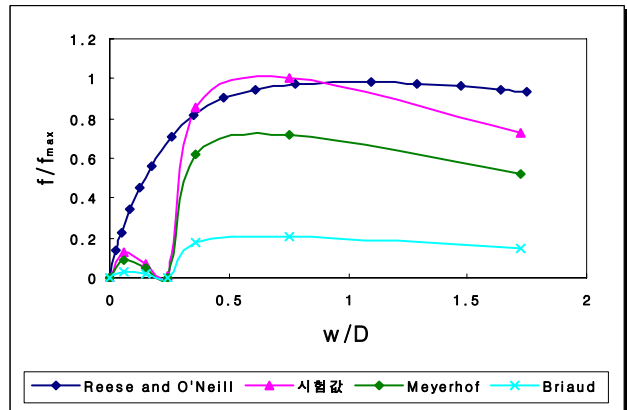
점성토의 경우는 A현장은 Meyerhof(1976)의 방법과 도로교표준시방서(1992)에서 제안한 방법 모두 실측값과 유사한 값을 보인 반면, B현장은 모래질점토에서 도로교표준시방서(1992)에서 제안한 방법이 실측값보다 매우 큰 값을 보였으며 그 외의 값은 유사한 결과를 보였다.

4.2 주면하중전이곡선의 비교

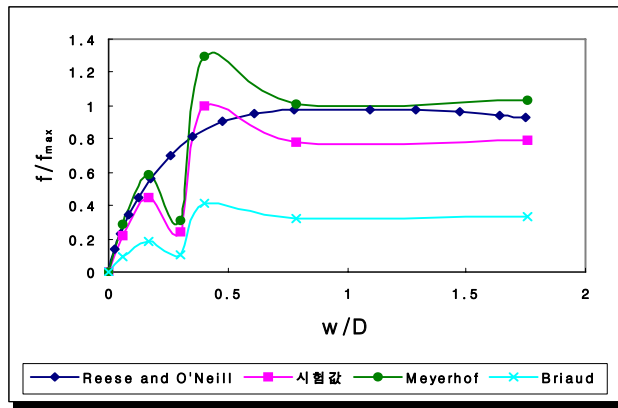
재하시험결과 얻어진 주면하중전이곡선과 Reese and O'Neill (1989)에 의해 제한된 곡선을 비교하였다. 그림 4.1과 4.2에서 x축은 변위 (w)를 말뚝의 직경(D)로 나누었으며 y축은 Meyerhof(1976), Briaud et al.(1985), 도로교시방서(1992)의 방법으로 구한 값으로 나누어 비교하였다.



(a)점토



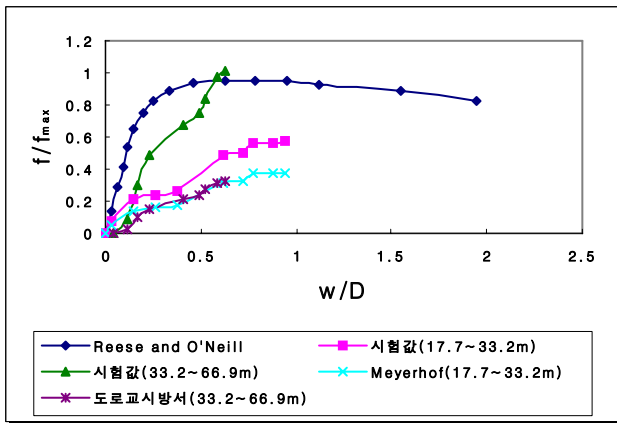
(b)점토질모래



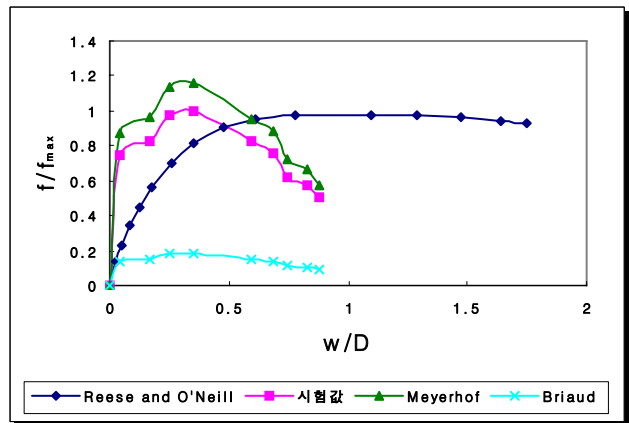
(c)풍화토

그림 4.1 A현장의 주변하중전이곡선의 비교

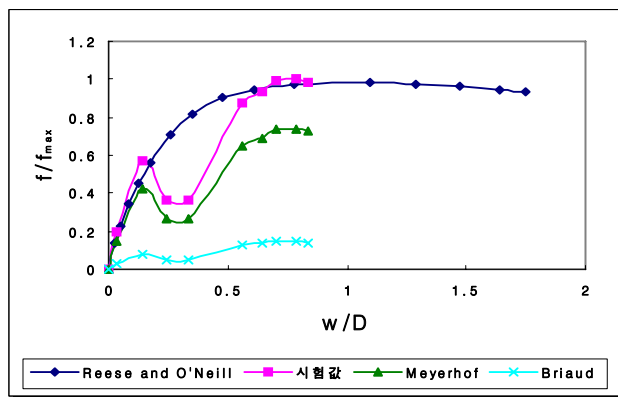
A현장에서 사질토 지반에서는 Meyerhof(1976)의 방법이 Briaud et al.(1985)의 방법보다 시험값과 더 유사한 양상을 보이고 있다. 그리고 점성토 지반에서는 도로교 시방서(8.1~16.1m)는 시험값과 같은 양상을 보였지만 0~5.4m 구간은 시험값과 전혀 다른 곡선을 보였다.



(a)점토



(b)매립토



(c)실트질모래

그림 4.2 B현장의 주변하중전이곡선의 비교

B현장 또한 사질토 지반에서 Meyerhof(1976)의 방법은 유사한 양상을 보이는 반면 Briaud et al.(1985)의 방법은 전혀 다른 양상을 보였다. 세부적으로 점토 지반에서 17.7~33.2m 구간에서는

Meyerhof(1976)의 방법이 비슷한 양상을 보이며 33.2~66.9m 구간과 도로교 시방서는 전혀 다른 곡선을 보였다.

4.4 선단하중전이곡선

재하시험결과 얻어진 선단하중전이곡선과 Reese and O'Neill(1989)에 의해 제한된 곡선을 비교하였다. 하중전이곡선의 경우와 마찬가지로 x축은 변위 (w)를 말뚝의 직경(D)로 나누었으나 y축은 두 현장 모두 최대선단지지력 발생시까지의 충분한 재하가 이루어지지 않았기 때문에 Reese and O'Neill(1989)의 방법으로 구한 최대선단지지력(q_{max})으로 나누어 정규화하여 비교하였다.

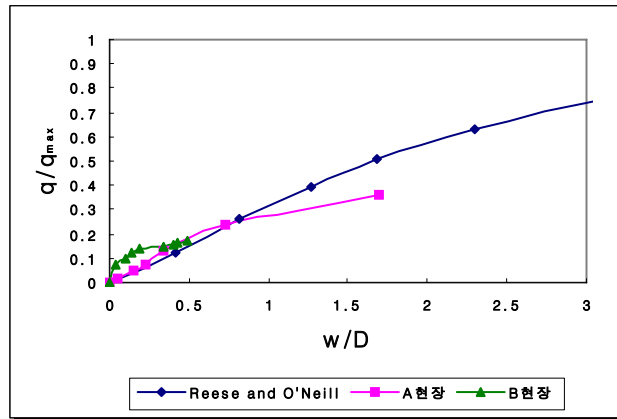


그림 4.3 선단하중전이곡선의 비교

그림 4.3에서 보듯이 두 현장 모두 재하시험 결과의 최종변위 이후의 양상파악은 불가능하였으나 초기에는 Reese and O'Neill(1989)의 하중전이곡선과 유사한 양상을 보이고 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 강관말뚝의 하중전이곡선을 도출하기 위하여 기존의 지지력 이론식과 하중전이곡선을 현장재하시험결과로부터 얻어진 값과 비교분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 주변하중전이곡선은 사질토지반에서 A현장과 B현장 모두 Meyerhof(1976)방법이 Briaud et al.(1985)방법보다 시험값에 더 일치하는 것으로 나타났고, 점성토 지반에서는 A현장의 8.1~16.1m구간과 B현장의 33.2~66.9m구간은 도로교 시방서와, B현장의 17.7~33.2m구간은 Meyerhof(1976) 방법이 시험값과 유사한 것으로 나타났다.

둘째, Reese and O'Neill(1989)의 방법으로 선단하중전이곡선을 비교 분석한 결과 A현장과 B현장 모두 최대선단지지력의 파악은 불가하였으나 초기의 하중전이곡선의 양상은 유사하게 나타났다.

향후 더 많은 현장시험결과를 이용하여 국내지반에서 적용할 수 있는 강관말뚝의 하중전이곡선을 도출하기 위한 노력이 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 도로교 표준 시방서(1992), 건교부, pp.1100-1108.

2. Briaud, J. L., Tucker, L. M., Lytton, R. L. and Coyle, H. M.(1985), *Behaviorl of Piles and Pile Groups*, Report No.FHWA/RD-83/038, Federal Highway Administration, Washington, DC.
3. Meyerhof, G. G.(1976). "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations," *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, American Society of Civil Engineers, Vol. 102, No. GT3, pp.197-228.
4. Reese, L. C., and O'Neil, M. W. (1989). "New Design Method for Drilled Shafts from Common Soil and Rock Tests," *Proceedings, Foundation Engineering: Current Principles and Practices*, American Society of Civil Engineers, Vol.2, pp.1026-1039.