S.I.P. 매입말뚝의 지지력 특성

김태준| 토목기술부

개요

최근건물이나토목구조물의기초공법으로 저소음, 저진동 말뚝공법인 S.I.P.(Soil cement Injected Precast Pile)매입 말뚝공법의 적용이 증가하고 있는 추세에있다. 그러나국내의경우이공법으로시공된말뚝의지지력에대한 시방규정이 없어 일본에서사용하고 있는 지지력 공식을 그대로 인용하거나, 항타말뚝에 대한 Meyerhof의 공식을 보정없이사용하고 있는 실정이다. 본고에서는 S.I.P. 매입말뚝공법의시공법에 대해 고찰하고 국내에서 수행된 50개소의 말뚝 재하시험으로얻어진측정치와지지력공식으로 계산된 예측치를 비교 분석하여 각 공식들의 신뢰성을 검토해 보고자한다.

S.I.P. 매입말뚝

현황

국내에서도 환경문제로 인하여 종래의디젤해머에의한직타공법보다 지반 굴착 후 기성말뚝을 삽입하는저공해말뚝공법의사용이 확산되고있다.

선진외국의경우일본에서는직타에 의한 기초공법이 전체 기초공사의 20%정도이고, 선굴착 및 속파기등매입말뚝공법이기성콘크리트말뚝기초공법의 대종을이루고있으며 유럽에서는현장타설콘크리트말뚝기초공법을주로채택하여 이와 같은 건설공해 문제에대처하고있다. 일본의경우오거겸용 직타공법 등 지반을 굴착하는 저공해 말뚝공법이 전체 기성 콘크리트말뚝 시공량의 83%가되어선굴착, 속파기등과관련한 다양한 공법들이 실용화되고 있다(표1).

<표1> 일본의콘크리트말뚝구성비 (1990)

공 법 별		구 성 비 (%)
항 타 공 법	직항타	12.4
	오거겸용직항타	23.8
	소계	(36.2)
매 입 말 뚝 공 법	선굴착및최종항타	2.9
	선굴착및시멘트풀주입	19.5
	선굴착,확대선단및시멘트풀주입	16.5
	속파기및최종항타	5.5
	속파기및시멘트풀주입	3.8
	속파기, 확대선단및시멘트풀주입	10.7
	소계	(58.9)
회전압입 및 시멘트풀 주입공법		(1.9)
기 타		(3.0)

유럽의경우는일본과는상이한 공법들이개발되어실용화되고있는데, 기성말뚝을 이용한 저공해말뚝공법이주종을이루고일본과는 달리 현장타설 콘크리트 말뚝과 유사한 소구경말뚝, 나선식 현장타설말뚝 등의 저공해말뚝들이 활성화되어있다

국내에서 가장 많이 사용되고 있는 저공해 말뚝공법은S.I.P. 매입말뚝공법으로 알려진 시멘트풀 주입 경타공법이다. 항타공법에 비해 약 5배이상 높은공사비에도 불구하고소음및 진동공해억제에 대한 환경적 요구에 의해 이 공법의 적용은 보다 빈번해질 것으로 예상된다.

시공방법및효과

S.I.P. 매입말뚝공법은 오거장비로 소요말뚝 구경보다 직경을 10㎝정도 크게 하여 천공하며 굴진시 오거빗트를 통해 CEMENT PASTE와 BENTONITE를 혼합한 용액을 주입하여 공벽을 보호하면서 설계심도까지 굴진한다. 지지층 부근에서는 부배합의 CEMENT PASTE를 주입하여 서확장된선단지지층으로사용할 수 있게 한다. 교반작업이 완료되면 기성말뚝을 자중에 의해 공의 내부에 삽입한 다음 선단부 1.0 - 1.5m를 햄머에 의해 타입시키므로 말뚝선단부가 이완되지 않고 오히려 더욱 조밀해지도록 하는 효과를 얻는다. 이렇게 함으로써 말뚝선단부의지지력이증대될뿐만 아니라 말뚝 주변의 마찰력이 타입말뚝보다오히려크게나타나 말뚝본체의지지력을100% 발휘할수있게된다.

또한 말뚝의 선단이 개구식인 경우 말뚝 내부에도 SOIL-CEMENT로 충진되어 말뚝의 유효단면적이확대되므로말뚝자체의 강성에도 더욱 양호한 효과를 주며말뚝에가해지는 충격응력이 작아 품질관리면에서도 우수하다. 뿐만 아니라 소음 및 진동이 작아 도심지에서의작업이가능하며지지층까지의관입이확실하여하자 발생의요인이거의없다.

국내S.I.P. 매입말뚝의시공현황

국내 S.I.P. 매입말뚝의 시공시 당초일본에서 고안된 개념대로의 시공이 시행되고 있지 않은 실정이다. S.I.P. 매입말뚝공법은 소음과 진동 등 환경문제를 해결하기 하지 않고 선단부에 고정액
진한 후 자중과 압입에 의해
을 삽입하는 것이었으나 ㅋ
경우 선단고정액과 일반굴ㅊ
구분하여 사용하지 않고 ㅋ
비해 부배합된시멘트풀을ㅅ
고있다.

이로 인하여매입말뚝의ㅇ
주변지반교란으로 인한 주ㅂ
력의 감소가 아닌 증대현상
타나고있는실정이다.

그리고국내에서시공되는
경우, 말뚝선단부가 천공깊ㅇ
깊어 교란된 지반내에말뚝ㅅ
가 관입되기 때문에 시멘트
보강효과를 보기 어렵고 ㅂ
말뚝 선단부가천공깊이보다
치게 높아 선단부 고정을 위
멘트풀의효과를충분히기ㄷ
어렵다.

즉 선단고정액 주입 후 ㄱ
통한 말뚝의 천공심도까지의
으로, 선단고정액의 강도발ㅎ
는 S.I.P. 매입말뚝의 본래 ㅊ
는 달리, 국내의 경우 선단ㅈ
을 확보하지 못하고 시공하
우가많은데, 그이유는선굴
이 이상의 관입이 이루어지
은 상태인데도부배합의선단
액 시멘트풀을 주입하지 않
문이다. 이는 국내에서 시ㅁ
주입공법의 원리가 아직 잘

분리 주입할 장비가 거의 없기 때문이다.

정재하시험 결과를 이용한 지지력공식의 신뢰도 분석

비교검토에사용된 재하시험

국내에서 1996 - 1998년 사이 30개현장에서수행된S.I.P. 매입말뚝 50본에대한정재하시험결과로 말뚝 길이의 분포는 5.8m-22.5m사이이고, 재질은 PC말뚝이 21본, PHC말뚝이29본이고말뚝의 지름은 350mm 11본, 400mm 27본, 450mm 10본, 500mm 2본으로 이루어져있다. 그리고말뚝이시공된지반은대부분선단이N치 50이하의풍화암으로이루어져있고6본만N치 50이상의 풍화토로 이루어져 있다. 그 주변 지반은 상부에 매립토가 있는 구간이 일부 있고 대부분 사질토로이루어져있다.

재하시험 결과 분석방법

지반의 지지력과 말뚝재료의 구조재로서의 강도 및 구조물의 허용침하량을고려하여말뚝의설계하중을 결정해야 하고, 말뚝재하시험으로확인된극한지지력으 중을산출한다.

말뚝의 설계지지력을 산정하는데 필요한 안전율은 많은 기준들이 있으나 국내의 경우 일반적으로 재하시험을 실시하지 않는 경우 안전율 3을 적용하고 있다. 그리고재하시험을실시하는경우에는 재하시험이 일반화되어 있지 않아 안전율에 대한 명확한 기준은 없는 실정이나 본고에서 사용한정재하시험의경우구조물기초설계기준에서 정한 항복하중에는 2.0, 극한하중에는 3.0의 안전율을적용하였다.

항복하중과 극한하중의 확인에는 항복하중에 의한 지지력 산정방법인 P-S 곡선분석법과 LogP-LogS 곡선분석법, S-LogT 곡선분석법, P-ds/d(LogT) 곡선분석법과허용침하량을기준으로항복하중과극한하중을결정하는전침하량분석법과 순침하량분석법을 이용하였다.

전침하량 분석시에는 Terzaghi & Peck (Su:25.4mm, F.S: 2.0)의기준에의하여항복하중을확인하였고, 순침하량분석시에는 DIN (말뚝직경의 2.5%)의기준에의하여항복하중을확인하였다.

비교 검토에 사용된지지력공식

(1) 도로교시방서 (내부굴착후 시멘트페이스트를 주입하는 경우)

i) 선단지지력

Qp = 15 N Ap

여기서, N = 말뚝선단의N값≤ 50

ii) 주변마찰력

Qs = fs As

여기서, fs = 0.1 N ≤5 t/㎡

(사질토인경우)

fs = 0.5 N ≤10 t/㎡

(점성토인경우)

(2) 구조물기초설계기준 (착공말뚝의규정)

i) 선단지지력

Qp = 4 (L / D) N Ap ≤15 N Ap

여기서, N = 말뚝선단의N값≤ 50

ii) 주변마찰력

Qs = fs As

여기서, fs = 0.1 N ≤5 t/㎡

(사질토인경우)

fs = 0.5 N ≤10 t/㎡

(점성토인경우)

(3) 일본 건설성 고시 111호 (매입말뚝)

Qp = 20 N Ap

여기서, N = 말뚝선단의N값≤ 60

ii) 주변마찰력

Qs = fs As

여기서, fs = 0.2 N (N ≤25)

(사질토인경우)

fs = 2 Nc (Nc ≤4)

(점성토인경우)

(4) 일본건설성고시 111호 (선굴착후 최종 경타말뚝)

i) 선단지지력

Qp = 25 N Ap

여기서, N = 말뚝선단의N값≤ 60

Qp = 30 N Ap

여기서, N = 말뚝선단의N값≤

ii) 주변마찰력

Qs = fs As

여기서, fs = 0.9 (사질토인경우)

fs = 2.4 (점성토인경우)

(5) NEO-PILE 공법 제안식

i) 선단지지력

Qs = fs As

여기서, fs = 0.2 N (N ≤25)

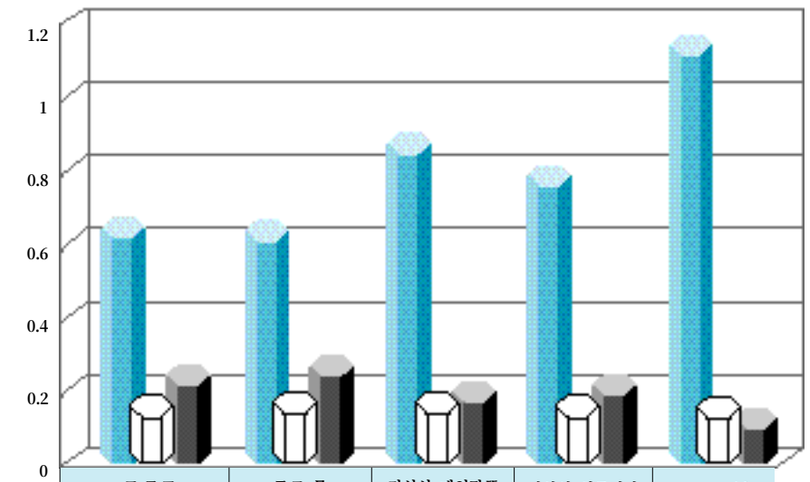
(사질토인경우)

fs = qu / 2 ≤5

<표2> 검토결과요약

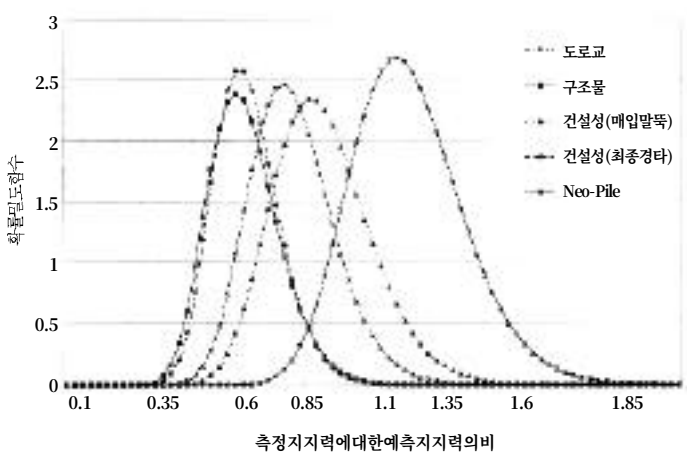
지지력공식	평균 (m)	표준편차(σ)	분산도계수 (σ
구조물기초설계기준	0.63	0.16	0.17
도로교시방서	0.63	0.14	0.17
일본건설성고시 111호(매입말뚝)	0.87	0.17	0.20
일본건설성고시 111호(최종경타말뚝)	0.78	0.16	0.21
Neo-Pile 공법	1.14	0.15	0.13

<그림1> 예상지지력에대한측정지지력의비



	도로교	구조물	건설성:매입말뚝	건설성:최종경타	neo-pile
평균	0.643	0.634	0.869	0.78	1.135
표준편차	0.154	0.167	0.17	0.162	0.149
분산도계수	0.240	0.263	0.196	0.208	0.131

<그림2> 정규분포곡선



신뢰도 비교분석결과

검토 결과 도로교시방서와 구조물기초기준설계는 63%-64% 정도로실제지지력을작게예측하고있으며, 매입말뚝과선굴착후 최종 경타말뚝의 경우는 78%-87%정도로 실제지지력을예측하고있다.

또한 Neo-Pile 공법의 경우는 실제지지력을 114%정도로 높게 예측하고있다.

검토에 사용된 5가지의지지력 공식들중일본건설성고시의매입말뚝지지력공식이그중가장 실제 지지력에 안전측으로 근접하결과를보이고있으며, 표준편차와 분산도계수가 작으므로 가장 적절한 지지력공식이라고 판단된다.

그리고, 비교 분석에 사용한 정재하시험결과가 항복하중 내지는 극한하중이확인되지않은상태의 결과치이므로, 실제 지지력은 시험결과치를상회할것이다.

그러므로 도로교시방서, 구조물기초기준설계, 일본건설성고시 선굴착후최종경타와매입말뚝의 경우는대단히안전한지지력공식인것이다.

맺음말

지지력공식을 사용하여 예측한 지지력과의상관성은일본건설성 고시 111호의 매입말뚝 지지력공식을 사용한 경우가 안전측으로 근접한결과를보였다.

향후 주변마찰력과 선단지지력을 분리측정할 수 있는 정교한 재하시험 자료의 축적을 통하여 국내의지반조건에부합하며신뢰성 있는 지지력 공식의 개발이 요구된다.

항복하중과 극한하중이 확인되지않아주변마찰력과선단지지력의 비를 정량적으로 확인하는 데는 실패하였으나, 하중전이 현상의 관점에서 볼 때 작용하중의 대부분을주변마찰력이부담하고있다는 것을 확인하는 데는 충분한 것으로보인다.

그러므로 현재 지지력 산출시 사용되는 공식들의 주변마찰력부분을상향조정하는것이실제지지력의산정에더근접할수있을것으로판단된다.

즉 현재 국내의 경우 정확한 기준이 확립되어 있지 않은 실정이지만허용지지력의산출시일률적인 안전율을 적용하기 보다는 주변마찰력과선단지지력각각에다른 안전율을 적용하는 것이 더 경제적인 공이 될 수 있을 것으로