

SIP공법 시공시 문제점 발생 요인 분석 및 대응 방안

박종혁¹, 박홍태², 전용배^{3*}

¹서일대학 토목과, ²공주대학교 건설환경공학부, ³한중대학교 공학부 토목환경전공

Analysis and Countermeasures for the Problem Arise of the Spot Installation Pile Using SIP

Jong-Hyuk Park¹, Hong-Tae Park² and Yong-Bae Jeon^{3*}

¹Civil Engineering, Seoil College

²Department of Civil & Environment Engineering Kongju University

³Department of Civil & Environment Engineering Hanzhong University

요약 현재 건설현장에서 매입말뚝공법인 SIP(Soil-cement Injected Precast pile)공법이 널리 활용되고 있다. 그러나 SIP공법 시공시 문제점 발생 요인들로 말뚝의 품질이 저하되거나 부실시공이 빈번히 발생하고 있다. 본 연구에서는 이 문제를 줄이는 방법으로 SIP공법을 중심으로 시공할 때 문제점 발생 요인 종류별로 현장 기술자들을 대상으로 설문조사를 수행하였다. 그리고 설문 분석 결과를 토대로 문제점 종류별로 자주 발생하는 문제점 요인을 분석함으로써 대응 방안을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 문제점 요인별 대책은 향후 건설현장에서 SIP공법으로 시공할 때, 문제점을 최소화할 수 있는 효과적인 자료가 될 것으로 사료된다.

Abstract Currently in construction Soil-cement Injected Precast pile of buried pile method are in wide use. But deterioration in pile quality and faulty construction can be often found these days because of problems arise in the construction field. For this study, survey was carried out by targeting construction engineers working in the field in order to identify the types and the causes of problems arise based on SIP(Soil-cement Injected Precast) method. By analyzing the causes of problems arise, countermeasures could be presented. The data and the analysis presented in the study could be effectively used for minimizing problems arise in future during SIP method construction.

Key Words : Soil-Cement Injected Precast, A Pile Problem, A Survey of SIP

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

말뚝의 시공법은 크게 기성말뚝공법과 현장타설말뚝공법으로 대별된다. 말뚝의 공정관리, 공사관리, 시공장비 및 품질관리 측면에서 보면 공장 제작형인 기성말뚝공법이 보다 편리한 공법이라할 수 있다. 그러나 도시지역에서 기성말뚝 타격공법은 시공에 수반되는 진동·소음의 환경적 규제[주거지역 기준:진동 70dB(V),소음

65dB(V), 소음·진동 편람, 2008]를 받게 되면서 그 보완 대책공법이 필요하게 되었고, 그 대책공법이 진동·소음이 적은 매설말뚝공법이다.

매설말뚝공법이란 기초말뚝을 설치하고자 하는 위치의 지반토를 특수한 굴착기로 굴착전공한 후 공내에 기성말뚝을 매설하는 공법을 말한다. 그러나 이들 공법이 널리 활용됨에도 불구하고 현장에서 시공할 때 발생하는 문제점 발생 요인들로 인하여 말뚝의 품질이 저하되거나 부실공사가 발생되고 있는 실정이다. 이와 같은 문제점들

본 연구는 2010년도 서일대학 교내 연구 지원 사업에 따른 연구 수행결과임을 알려드립니다.

*교신저자 : 전용배(ybjeon@hanzhong.ac.kr)

접수일 11년 05월 12일

수정일 (1차 11년 06월 10일, 2차 11년 06월 20일)

게재확정일 11년 07월 07일

을 해결하기 위해서는 말뚝공사에 대한 주요 문제점 요인들을 파악하여 체계적으로 관리하는 것이 중요하다. 그러나 말뚝공사에 대한 공법별 문제점 요인들을 체계적으로 분석하여 정리해 두는 것이 향후 동일공법을 활용하는 후속공사의 품질저하를 방지하는데 훌륭한 도구임에도 불구하고 이러한 분석 자료들은 공사완료와 동시에 사장되는 것이 현실이다.

따라서 본 연구는 현재까지 알려진 매설말뚝공법 중 건축물의 기초공사에 널리 활용되고 있는 SIP공법(2010년 LH공사의 시공현장에 적용되고 있는 기초공법 가운데 50%이상 점유)[7]을 중심으로 문제점 발생 요인을 비교·분석하고 이에 대한 효율적이고 효과적인 대책을 제시함으로써 향후 건설현장의 SIP공법 활용시 문제점 발생요인을 최소화할 수 있는 효과적인 기초자료를 제시하는데 목적을 두었다. 이 자료는 향후 동일공법으로 시공하여 발생될 수 있는 문제점으로 인한 기초의 지지력 저하를 방지하고 나아가 품질 저하나 부실공사를 예방하는데 효과적인 자료가 될 것으로 사료된다.

1.2 기존 연구의 동향 및 연구방법

본 연구와 관련된 기존 연구동향을 살펴보면, SIP공법 시공시에 발생하는 진동 전달 및 감쇠 특성을 분석한 연구로 도로 소음의 예측모델에 대한 비교·평가 연구[2] 현장말뚝 시공법을 체계적으로 정리 연구한 말뚝의 저소음 저진동 시공법에 관한 연구[1], SIP공법의 지지력 계산식을 수정하여 지지력을 산정한 SIP말뚝의 지지력 계산식 수정에 관한 연구[6], 그리고 매입말뚝의 지지력 특성 등에 관한 연구[5]들이 수행되었다. 그러나 이들 연구들은 대부분 말뚝시공의 소음 및 진동에 관한 분야 및 말뚝의 지지력에 관한 연구들로서 매설말뚝공법의 부조화 발생 요인 및 이에 대한 대책 등을 분석한 연구는 거의 없는 것이 현실이다.

따라서 진동·소음의 환경적 규제치를 방지하기 위한 보완 대책공법으로서 2010년 LH공사의 기초공법에서 50%를 차지하였고[6], 그 비중도 증가하고 있는 매설말뚝공법 중 SIP공법을 대상으로 시공시 발생하는 문제점 발생요인 분석 및 대응방안을 연구 대상으로 선정 하였으며, 설문조사, 부조화 원인 분석, 부조화 원인 대책, 결론 순으로 수행하였다.

본 연구에서는 연구 대상으로 한 SIP공법의 시공시 발생하는 문제점의 종류(파일 고소정지, 파일손상, 지반구조물 변형, 지지력 부족, 파일 경사 및 편심, 소음 및 진동) 및 발생 요인(부적절한 시공장비, 지중장애물, 공벽안정처리 미흡, 지지층조사 미흡, 파일거치 시공관리 미흡, 기초 다짐부 시공관리 미흡)과 이에 대한 대책을 도출하

기 위해 최근 2년(2008. 3~2010. 2)간 SIP공법으로 말뚝공사를 수행하였거나 수행 중에 있었던 80명의 현장실무자들을 대상으로 설문조사와 상담방식을 실시하였다. 설문조사 응답자 수가 많을수록 신뢰도가 높으나 본 연구의 대상공법의 수행현장과 수행경험자들이 한정되어 있고, 공법의 특성상 몇 가지 주요 요인에 의해 문제점이 발생되므로 80명의 응답결과를 기초로 분석하였다. 그러나 본 연구가 발전적으로 연구가 진행될 때, 설문조사를 계속 추가하여 진행되어야 할 것으로 사료된다. 설문조사는 설문기간 현재 SIP공법을 시공하고 있는 ○○시공현장의 현장소장, 과장, 대리급의 실무자들과 ○○산업교육원 및 ○○기술교육원의 교육 참여자 중 SIP공법을 수행한 경험이 있는 현장소장, 과장, 대리급을 대상으로 실시하였으며, 응답자의 직급별 빈도수 및 백분율은 대리 23명(28.8%), 과장 41명(51.2%), 소장 16명(20.0%)을 차지하였다.

2. SIP공법의 이론적 고찰

다음은 본 연구의 이해를 돕기 위해 SIP공법의 이론적 고찰을 공법 개요, 시공 순서, 사용 장비, 시공 효과로 나누어 살펴보았다.

2.1 공법 개요

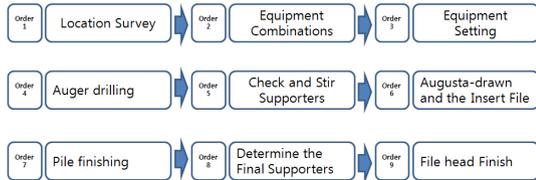
1968년 일본에서 개발된 저소음·저진동 말뚝공법인 SIP공법은 말뚝 직경보다 50~100mm정도 큰 직경을 갖는 연속날개 또는 교반용 날개를 부착한 오거로 지반을 선굴착한 후 굴착 공 내에 시멘트 밀크를 주입하고 오거날개를 상하로 회전시켜 굴착 공 내의 토사와 교반한 후 말뚝을 삽입하고 드롭 또는 하이드로 햄머로 최종 경타 방식으로 말뚝이 시공되는 방법이다. 국내에서는 이 공법이 1987년 처음으로 적용됐으며, 2010년 LH공사의 시공현장에 적용되고 있는 기초공법 가운데 50%를 차지하고 있고[6], 그 비중도 증가하고 있는 것으로 나타났다.

이 공법은 지반 진동이나 소음을 감소시킬 수 있으나 경타시 발생하는 소음과 진동이 불가피하다. 또한 선굴착의 영향으로 인한 굴착공벽의 지반교란과 원지반의 지중 응력이완, 부적절한 시멘트 밀크 배합과 주입교반, 지지층 확인의 어려움은 말뚝지지력 측면에서 불리한 조건이며, 지하수위가 높은 충적토(모래, 자갈, 점성토)에서 공벽 붕괴시 적용하기 곤란한 점 등이 있다.

2.2 시공 순서

SIP공법의 시공순서는 그림 1과 같은 절차에 따라 수

행되며, 그 중 순서 4는 장비와 삼각이 되는 방향에 수직 추를 설치하여 오거의 수직도를 체크한다. 순서 5는 지지층 확인 후 시멘트페이스트를 주입하면서 교반을 실시한다. 순서 6은 드롭헤머에 의하여 경타를 실시한다. 순서 7은 최종 관입심도를 체크한다.



[그림 1] SIP공법의 시공순서도
[Fig. 1] SIP Method Construction Process Flowcharts

2.3 사용 장비

사용장비는 크게 크레인(crane) 부분, 발전기(generator) 부분, 콤프레셔(compressor) 부분으로 나누어지며, 크레인 부분은 리더(leader), 리더를 지지하는 백스테이지(back stage), 리더에 정착되어 있는 모터(motor), 룯트(rot) 그리고 오거 모터 발전기(auger motor generator)로 구성된다. 발전기 부분은 사일로(silo), 믹싱플랜트(mixing plant), 믹싱플랜트용 발전기, 주입 호스(hose)로 구성되며, 콤프레셔 부분은 콤프레셔와 에어호스(air hose)로 구성된다.

2.4 시공 효과 및 문제점

본 공법은 오거장비로 소요말뚝 구경보다 직경을 10cm정도 크게 하여 천공하며, 굴진할 때 오거 비트를 통해 시멘트 페이스트와 벤토나이트를 배합한 용액을 주입하여 공벽을 보호하면서 설계심도까지 굴진한다. 지지층 부근에서는 물과 시멘트의 배합에 의한 시멘트 페이스트를 주입하여 원지반토와 충분히 교반함으로써 확장된 선단지지층으로 사용할 수 있게 한다. 교반작업이 완료되면 기성말뚝을 자중에 의해 공 내부에 압입한 후, 선단부 1.0~1.5m를 헤머에 의해 타입 시킴으로써 말뚝 선단부가 이완되지 않고 오히려 더욱 조밀해 지도록 하는 효과를 얻는다. 이렇게 함으로써 말뚝 선단부의 지지력이 증대될 뿐만 아니라 말뚝 주변의 마찰력이 타입말뚝보다 오히려 크게 나타나 말뚝 본체의 지지력을 충분히 발휘할 수 있게 된다. 또한 말뚝의 선단이 개구식인 경우 말뚝 내부에도 소일시멘트가 충전되어 말뚝의 유효 단면적이 확대됨으로 말뚝 자체의 강성에도 더욱 양호한 효과를 주며, 말뚝에 가해지는 충격응력이 작아 품질관리 면에서도 우수하다. 뿐만 아니라 진동·소음이 작아 도심지

에서 시공도 가능하며, 지지층까지의 관입이 확실하여 하자발생의 요인이 줄어든다.

그러나 SIP공법 시공시 부적절한 시공장비, 지중장애물, 공벽안정처리 미흡, 지지층조사 미흡, 파일거치 시공관리 미흡, 기초 다짐부 시공관리 미흡 등의 부조화 요인으로 인하여 파일 고소정지, 파일손상, 지반구조물 변형, 지지력 부족, 파일 경사 및 편심, 소음 및 진동의 문제점이 발생할 수 있다.

3. SIP공법 문제점 종류 및 발생요인 분석

본 연구의 설문조사 결과, SIP공법의 적용시 발생하는 문제점의 종류는 대표적으로 a:파일 고소정지, b:파일손상, c:지반·구조물 변형, d:지지력 부족, e:파일 경사 및 편심, f:소음 및 진동의 6가지로 분류되었다. 그리고 문제점의 발생 요인들은 A:부적절한 시공장비, B:지중장애물, C:공벽안정처리 미흡, D:지지층조사 미흡, E:말뚝거치 시공관리 미흡, F:기초 다짐부 시공관리 미흡의 6가지로 조사되었다. 표 1의 설문조사에 의한 문제점 종류별 문제점 발생 요인 건수와 차지하는 백분율을 나타내고 있다.

[표 1] 설문조사에 의한 문제점 종류별 발생 요인 건수 및 백분율

[Table 1] The Number and Percentage of the Cause of Trouble as Trouble Type by Survey

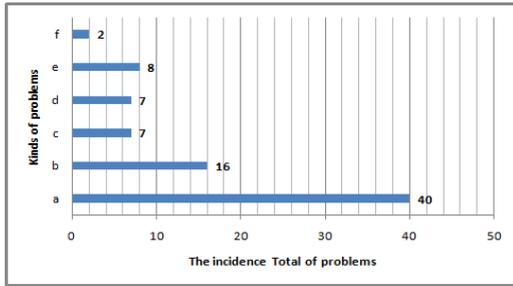
Kinds of problems Problem factors	a		b		c	
	F	P(%)	F	P(%)	F	P(%)
	A	4	5.0	9	11.5	0
B	10	12.5	0	0.0	3	3.8
C	16	20.0	0	0.0	4	5.0
D	4	5.0	4	5.0	0	0.0
E	0	0.0	3	3.8	0	0.0
F	6	11.5	0	0.0	0	0.0
합계	40	50.0	16	20.0	7	9.0

d		e		f		Total	
F	P(%)	F	P(%)	F	P(%)	F	P(%)
0	0.0	0	0.0	2	2.5	15	19.0
0	0.0	0	0.0	0	0.0	13	16.0
0	0.0	0	0.0	0	0.0	20	25.0
4	5.0	4	5.0	0	0.0	16	20.0
0	0.0	4	5.0	0	0.0	7	9.0
3	3.8	0	0.0	0	0.0	9	11.0
7	9.0	8	10.0	2	3.0	80	100

Legend: Frequency(F), Percentage(P)

3.1 문제점 종류별 분석

SIP공법의 문제점 종류별 발생 건수를 그림 2와 같이 분석해 보면, 설문조사 총 80건 중 파일의 고소정지 40건(50.0%), 파일손상 16건(20.0%), 지반·구보물의 변형은 7건(8.7%), 지지력 부족은 7건(8.7%), 파일경사 및 편심 7건(8.7%), 소음 및 진동 2건(2.5%)을 차지하였다.



[그림 2] SIP공법의 문제점 종류별 발생 건수
[Fig. 2] The Causes of Problem Types of SIP Method)

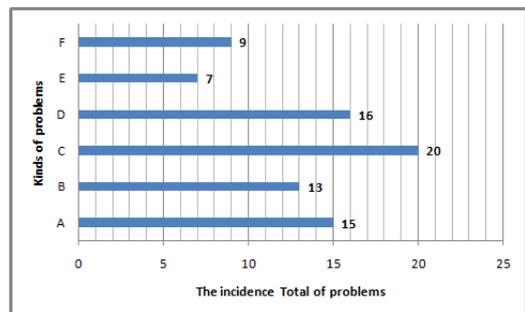
- 1) 고소정지에는 착공이 곤란해서 생기는 원인과 말뚝의 삽입이 곤란해서 생기는 원인이 주류를 이루고 있었다. 말뚝의 고소정지의 문제점요인으로는 공벽 안전관리가 불충분하거나 중간층이 세 사층일 경우에 발생한 공벽안정처리미흡 16건(20.0%), 지중에 전석층인 예가 많았고, 이외에 매립지에서의 폐기물의 원인에 의한 지중장애물 10건(12.5%), 기초다짐부의 모르타르 고화 등에 의해 말뚝이 소정의 깊이까지 삽입될 수 없었던 기초다짐부의 시공관리 6건(11.5%)의 순으로 나타났다. 그 외에도 부적절한 시공장비 및 지지층 조사미흡이 각각 4건(5.0%)으로 나타났다.
- 2) 파일손상에는 최종타격공법에 있어서 과도한 해머를 사용, 착공능력이 작은 시공장비를 사용에 의한 부적절한 시공장비 9건(11.3%), 경사진 지지층에 의한 지지층조사미흡 4건(5.0%), 구멍 내에 경사지게 세워진 말뚝을 타격해서 손상, 말뚝의 주변과 공벽의 간격이 크고 타격시에 강한 휨응력이 발생해서 파손된 파일거치 시공관리미흡 3건(3.8%)으로 나타났다.
- 3) 지반·구조물의 변형에는 조수위 변동에 의해 공벽 붕괴, 사력층에서 탈수에 의해 공내 수위가 저하되어 공벽이 붕괴 등에 의한 공벽안정처리미흡 4건(5.0%), 지중에 전석 등에 의한 지중장애물 3건(3.8%)순으로 나타났다. 여기서 지반·구조물의 변형과 전석에 의한 지중장애물을 살펴보면, SIP공법

에서 중요한 것은 설계규격에 맞는 공벽을 유지하는 것이 중요하다. 그러나 지반변형은 시공 중에 전석이 존재했을 때, 전석을 제거해야한다. 이 경우 시공자와 감리자가 협의하여 T4장비로 전석을 천공할 때 주변의 공벽이 이완이나 붕괴 등으로 유지되지 못하는 사례가 발생한다. 또한, 구조물의 변형의 경우는 공벽 천공시 풍화암 1m까지 천공하도록 되어 있다. 그러나 시공자의 소홀로 굴착 지중에 있는 전석을 풍화암으로 인식하여 천공을 종료하고 말뚝을 근입하여 시공한 경우가 있다. 이 때, 전석 아래에 공동이나 5~6m의 연약층이 존재로 침하되어 파일의 변형을 가져오게 되는 사례가 발생한다.

- 4) 지지력 부족에는 지지층의 상단심도나 지지층의 경사상태 등의 지지층 조사미흡 4건(5.0%), 기초다짐부의 시공불량에 의한 기초다짐부의 시공관리 3건(3.8%)순으로 나타났다.
- 5) 파일의 경사 및 편심에는 경사진 층이나 사력층에서 빗트 등의 사이드 슬립과 같은 지지층의 조사미흡 4건(5.0%), 착공이나 말뚝의 거치 시에 일어나는 시공 상의 부주의로 발생하는 파일거치시공관리 4건(5.0%)로 나타났다.
- 6) 소음·진동에는 총 2건(2.5%)을 차지하였다. 이 경우는 경타시 소음과 진동을 야기하는 부적절한 시공장비 2건(2.5%)으로 나타났다.

3.2 문제점 발생요인 분석

SIP공법의 문제점 발생 요인별 발생 건수를 살펴보면, 그림 3과 같이 공벽안정처리미흡이 20건(25.0%), 지지층의 조사미흡 16건(20.0%), 부절한 시공장비 15건(19.0%), 지중장애물 13건(16.0%), 기초 다짐부의 시공관리 9건(11.0%), 파일거치 시공관리 7건(9.0%)의 순으로 나타났다.



[그림 3] SIP공법의 문제점 발생 요인별 발생 건수
[Fig. 3] Factor Caused the Incidence of SIP Method Trouble

이들을 종합해 볼 때, 공벽안정처리미흡, 지지층의 조사미흡, 부적절한 시공장비 등에 의해서 문제점이 주로 발생했으며, 그 외에도 지중장애물, 기초 다짐부의 시공관리, 파일거치 시공관리도 문제점에 많은 영향을 미친 것으로 나타났다.

3.3 문제점 종류별 발생요인 분석

각 문제점 종류별 문제점 발생요인 분석은 앞의 표 1에서와 같이 응답수가 많은 부조화 요인만을 대상으로 분석하였고, 응답수가 적은 부조화의 종류는 분석에서 제외하였다. 표 2는 문제점 종류별 응답수가 많은 주요 발생 요인을 비교한 것을 나타내고 있다.

[표 2] 문제점 종류별 주요 발생요인 비교

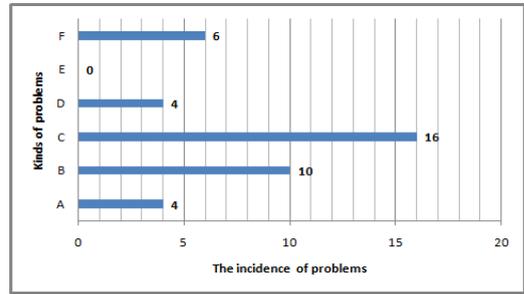
[Table 2] Comparison of the Main Occurrence by Trouble Type

method	SIP method
a	C, B, F E, A, D
b	A, D, E
c	C, B
d	D, F
e	D, E

표 2에서 보는 바와 같이 문제점의 종류에 따른 문제점 발생 요인을 살펴보면, 상관관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 공벽안정처리미흡, 지중장애물, 기초 다짐부 시공관리, 부적절한 시공장비, 지지층조사미흡 등이 말뚝고소 정지의 문제점, 부적절한 시공장비, 지지층조사미흡, 말뚝거치 시공관리 등이 말뚝 손상의 문제점, 공벽안정처리미흡, 지중장애물 등이 지반·구조물변형의 문제점, 지지층조사 미흡, 기초 다짐부 시공관리 등이 지지력 부족의 문제점, 지지층조사 미흡, 말뚝거치 시공관리 등이 말뚝 경사 및 편심의 문제점을 발생시켰다.

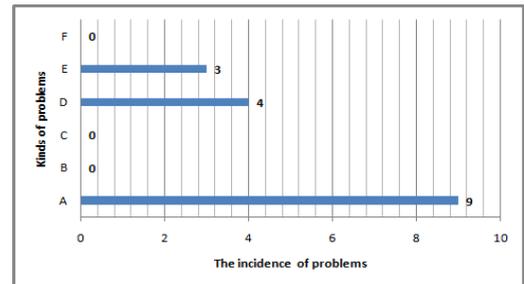
3.3.1 말뚝고소정지

말뚝이 박히다 중지되는 고소정지의 문제점을 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 4와 같이 공벽안정처리미흡(16건), 지중장애물(10건), 기초 다짐부 시공관리(6건), 부적절한 시공장비(4건), 지지층의 조사미흡(4건)으로 공벽안정처리와 지중장애물에 의한 응답 빈도가 높았다.



[그림 4] 말뚝 고소 정지
[Fig. 4] Stop of Pile

3.3.2 말뚝손상

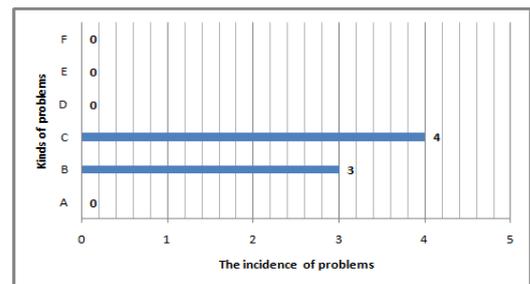


[그림 5] 말뚝손상
[Fig. 5] Pile Damage

말뚝손상의 문제점을 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 5와 같이 A:부적절한 시공장비(9건), D:지지층조사 미흡(4건), E:말뚝거치 시공관리 미흡(3건)으로 부적절한 시공장비에 의한 응답률이 높았다.

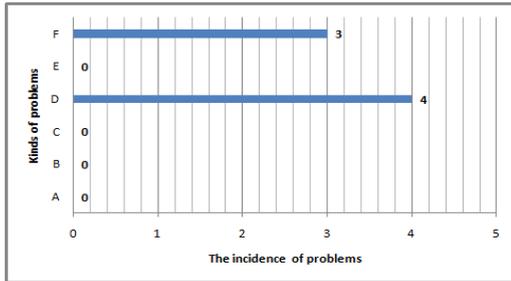
3.3.3 지반 구조물 변형

지반 구조물 변형의 문제점을 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 6과 같이 C:공벽안정처리 미흡(4건), B:지중장애물(3건)으로 두 가지 요인이 비슷한 응답률을 나타냈다.



[그림 6] 지반 구조물 변형
[Fig. 6] Deformation of Ground Pile Structure

3.3.4 지지력 부족

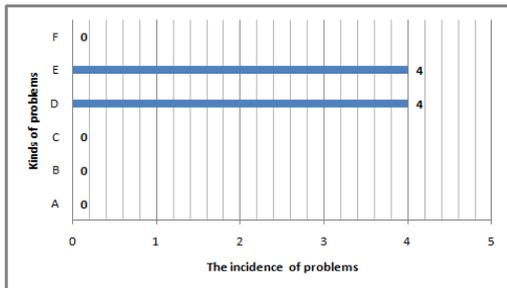


[그림 7] 지지력 부족
[Fig. 7] Bearing Capacity of Shortage

지지력 부족의 문제점을 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 7과 같이 D:지지층조사 미흡(4건), F:기초 다짐부 시공관리 미흡(3건)으로 두 가지 부조화 요인이 비슷한 응답률을 나타냈다.

3.3.5 말뚝 경사 및 편심

말뚝 경사 및 편심의 문제점을 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 8과 같이 D:지지층조사 미흡(4건), E:말뚝거치 시공관리 미흡(4건)으로 두 가지 요인이 같은 응답률을 나타냈다.



[Fig. 8] 말뚝 경사 및 편심
[Fig. 8] Pile Inclination and Eccentricity

이상에서와 같이 SIP공법의 설문조사 결과에 따른 문제점 종류별 주요 원인을 분석하였으며, 이에 대한 주요 대책은 4장에서 기술하였다.

4. SIP공법 문제점 방지를 위한 주요 대책

본 연구는 앞의 3.3절에서 서술한 문제점 종류별 문제

점 발생 요인을 분석해서 응답수가 많은 주요 문제점 종류에 대한 발생요인을 중심으로 분석하였다. 따라서 본장에서 제시한 문제점 방지대책 또한 이들 문제점 종류에 대한 주요 부조화 요인별 주요 방지 대책을 중심으로 기술함으로써 각 공법별 주요 방지대책을 용이하게 비교할 수 있도록 하였다.

4.1 말뚝고소정지

SIP공법에 있어 말뚝고소정지 문제점의 주요 발생요인은 공벽안정처리미흡, 지중장애물, 기초 다짐부 시공관리, 부적절한 시공장비, 지지층의 조사미흡으로 이들 요인에 대한 주요 방지대책은 다음과 같다.

- ① 공벽안정처리 대책은 지지층의 경사나 오거 헤드가 전석의 한쪽 접촉으로 굽어진 천공구멍이 발생한다. 이때는 리드의 연직도를 수정 하든가 재천공하여야 한다. 또한, 공극이 때때로 생길 경우에는 오거 로드의 강성을 증대 하든가 지반에 적합한 형상의 오거 헤드를 사용해서 천공하여야 한다.
- ② 지중장애물 대책은 주변지반을 이완시키고 구멍 외에 전석 등을 밀어내는 방법이나 특수 룯드의 사용으로 구멍을 확장하여 제거하는 방법, 암반용 헤드나 자갈용 헤드로 파쇄하는 방법을 채용하여야 한다. 이 방법으로 제거되지 않을 경우 시공의 위치나 심도를 변경하여야 한다. 이 밖에 모래, 자갈 침강에 의한 고소정지 대책으로 굴착 액의 혼합을 충분히 해야 하고, 부석층의 붕괴에 의한 말뚝의 삽입 불능에는 굴착 중에 굴착 액을 빈배함으로 해서 굴착한다. 또한, 말뚝은 선단 개방으로 말뚝선단 및 말뚝머리부에 말뚝회전용 철기구를 장착하여 말뚝을 회전하면서 침설한다. 피압수층에서 시공 중단 후 말뚝의 침설 불가능할 경우 말뚝 타설기에 설치한 드롭해머로 타격한다. 어스오거의 선단비트에서 고압수를 분사하거나 말뚝선단의 강제 프릭션 커터의 판 두께를 두껍게 한다.
- ③ 기초 다짐부 시공관리 대책은 토질조사보고서에 따라 확실한 기초 다짐 작업을 실시하고, 기초 다짐부 모르타르의 조기 고화방지책으로 모르타르의 품질개선이나 말뚝의 가설시간 단축 등의 방법을 채용한다.
- ④ 부적절한 시공장비 대책은 설계단계에서 적절한 말뚝종류에 적합한 장단점을 충분히 검토하여 공법을 선정하고, 지반의 성질이나 기초구조물의 규모·형상, 기초형식을 고려하여 공기·공사비를 비교 검토하여 선정한다.

- ⑤ 지지층의 조사미흡 대책은 시공지점의 지반의 성격이나 시공에 따른 소음과 진동의 영향을 적절히 평가하고, 토질조사는 시공지점주변의 지형, 지질, 기초구조물의 규모·형상·말뚝길이 등을 충분히 감안해서 조사항목, 조사 보오링의 깊이·간격을 결정한다.

4.2 말뚝손상

SIP공법에 있어 말뚝손상 문제점의 주요 발생요인은 부적절한 시공장비, 지지층의 조사미흡, 말뚝거치 시공관리로 이들 요인에 대한 주요 방지대책은 다음과 같다.

- ① 부적절한 시공장비 대책은 구체적인 시공계획 작성 및 시공 전 철저한 기계 정비, 대체장비 및 부품의 확보계획을 수립하여야 한다. 지지층의 조사부족이나 시공기계의 부적합은 말뚝체의 손상, 지지력 부족 등의 각종 부조화의 요인이 된다. 또한, 최종타격공법에 있어서 말뚝이 손상된 경우 말뚝종류나 시공기계의 변경하고, 말뚝의 연직도 확인이나 타입초기의 가벼운 타격도 중요하다.
- ② 지지층 조사미흡 대책은 시공전 철저한 지반조사를 통해 지반성질을 파악, 설계에 반영하여 해결책을 미리 수립하는 것이 중요하다. 또한, 지지층 경사, 피압수·복류수, 전석, 큰지름의 자갈, 지하매설물 등을 철저히 조사하여 시공 중에 차질이 없도록 해야 한다.
- ③ 말뚝거치 시공관리 대책은 말뚝재질의 적절성, 캡 및 쿠션의 선정, 리더의 선정 적합성, 시공법의 세부사항, 말뚝배치도 및 관련순서 등의 시공 계획을 철저히 수립해야 한다. 또한, 말뚝박기작업의 선행하여 대표적인 지점을 선정하여 시공계획에서 채택된 가설비 및 기계 기구를 사용하여 시험항타를 수행하고, 장비의 진입 및 말뚝의 장착, 해머의 타격, 말뚝이음, 최종타입의 본공사 작업을 시행한다.

4.3 지반·구조물의 변형

SIP공법에 있어 말뚝손상 문제점의 주요 발생요인은 공벽안정처리미흡, 지중장애물로 이들 요인에 대한 주요 방지대책은 다음과 같다.

- ① 공벽안정처리미흡 대책은 작업지반이 약하든가 리더의 연직도가 불충분한 경우, 또는 굴착속도가 과대할 경우에도 생기므로 시공할 때에 충분히 주의가 필요하다. 또한, 붕괴 가능성이 있는 층의 착공

속도관리를 신중하게 하고, 롯데의 연직성을 확인하여야 하며, 굴착 공저 상황 확인, 공벽을 훼손하지 않도록 말뚝을 연직삽입 하는 것이 중요하다.

- ② 지중장애물 대책은 토질조사보고서 검토 즉, 지지층 경사 확인, 피압수, 복류수 확인, 표층이나 중간층의 붕괴성, 투수성, 고결토의 강도 확인, 큰 지름의 자갈 유무 확인, 정확한 지하수위를 확인하는 것이 중요하다.

4.4 지지력 부족

SIP공법에 있어 말뚝손상 문제점의 주요 발생요인은 지지층의 조사미흡, 기초다짐부의 시공관리 미흡으로 이들 요인에 대한 주요 방지대책은 다음과 같다.

- ① 지지층조사 미흡 대책은 시공전 철저한 지반조사를 통해 지반성질을 파악, 설계에 반영하여 해결책을 사전에 수립하는 것이 중요하다. 또한, 토질조사는 시공지점주변의 지형, 지질, 기초구조물의 규모·형상·말뚝길이 등을 충분히 감안해서 조사항목, 조사 보오링의 깊이·간격을 결정하여야 한다.
- ② 기초다짐부 시공관리 대책은 불충분한 기초다짐 실시. 일반적으로 시공 중에 기초다짐부의 품질을 확인하는 것이 곤란함으로 양호한 기초 다짐부를 시공하려면 사전에 지지층에 토질성상이나 시공깊이 등을 충분히 검토하여야 한다. 또한, 미리 결정한 시공관리 기준, 즉 시멘트 밀크의 분사시간, 분사알력, 주입 롯데의 인상속도 등을 준수한 신중한 시공을 하여야 한다.

4.5 말뚝 경사의 편심

SIP공법에 있어 말뚝손상 문제점의 주요 발생요인은 지지층의 조사미흡, 말뚝거치 시공관리 미흡으로 이들 요인에 대한 주요 방지대책은 다음과 같다.

- ① 지지층조사 미흡 대책은 말뚝고소정지, 말뚝손상, 지반·구조물변형, 지지력 부족에서 언급한 내용을 준수하여야 한다.
- ② 말뚝거치 시공관리 대책은 말뚝길이, 지지층에 근입깊이, 연직도가 설계대로 되어 있는지 확인하고, 시공진도가 시공계획의 예측과 크게 다르지 않은지 확인한다. 또한, 천공구멍이 협소하거나, 암반이나 전석이 존재하는 경우 특수 롯데의 사용으로 구멍을 확장하여 제거하는 방법, 암반용 헤드나 자갈용 헤드로 파쇄하는 방법을 채용하여야 한다.

5. 결론

본 연구는 SIP공법을 중심으로 문제점 종류 및 발생 요인을 비교 분석하고 이에 대한 대책을 제시함으로써 향후 건설현장의 SIP공법 활용 시 문제점을 최소화 할 수 있는 효과적인 기초자료를 제시할 목적으로 SIP공법으로 말뚝공사를 수행하였거나 수행 중에 있는 현장실무자들을 대상으로 설문조사를 실시하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 말뚝고소정지의 문제점을 발생시키는 요인들에 대한 응답결과는 공벽안정처리미흡, 지중장애물, 기초 다짐부 시공관리, 부적절한 시공장비, 지지층의 조사미흡의 순으로 조사됐으며, 공벽안정처리와 지중장애물에 의한 응답 빈도가 높았다.

말뚝손상의 문제점을 발생시키는 요인들에 대한 응답결과는 부적절한 시공장비, 지지층조사 미흡, 말뚝거치 시공관리 미흡의 순으로 조사 됐으며, 부적절한 시공장비에 의한 응답률이 높았다.

지반 구조물 변형의 문제점을 발생시키는 요인들에 대한 응답결과는 공벽안정처리 미흡, 지중장애물로 두 가지 요인이 비슷한 응답률을 나타냈고, 지지력 부족의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과는 지지층조사 미흡, 기초 다짐부 시공관리 미흡으로 두 가지 부조화 요인이 비슷한 응답률을 나타냈다. 또한, 말뚝 경사 및 편심의 문제점을 발생시키는 요인들에 대한 응답결과는 지지층조사 미흡, 말뚝거치 시공관리 미흡으로 두 가지 요인이 같은 응답률을 나타냈다.

(2) 현재 공공주택을 전담하고 있는 LH공사의 경우, 기초공법 적용시 SIP공법이 50% 이상 적용되고 있는 것으로 나타났으며, 향후 민가지역에서 진동과 소음에 대한 민원문제로 SIP공법이 더욱 활용도가 높을 것으로 사료된다. 따라서 본 논문의 SIP공법의 문제점 발생 요인별 주요 대책은 현장 실무자들의 설문답변과 상담을 체계적으로 정리한 것으로 현업에서 이 공법을 적용할 때 유사한 문제점을 사전에 예방할 수 있고 문제점이 발생했을 때 해결에 상당한 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구는 응답자 수가 다소 적다는 한계점을 가지고 있으므로 향후 연구 결과에 대한 보다 더 높은 신뢰성 확보를 위해서는 응답자의 수를 확대할 필요가 있으며 연구대상도 이외의 굴착공법으로 확대하여 굴착공법 전반에 걸친 종합적인 연구가 수행될 필요가 있다.

References

- [1] Park, YB, Study on Pile Construction Method of Noise, Vibration, Housing & Urban Research Institute Korea National Housing Corporation, 1996, pp 12 ~ 26
- [2] Lee, GC, Study on the Comparison and Evaluation for Prediction Model of the Road Noise, the Korea Society for Noise and Vibration, Part 9, No. 6, 1999. pp 1 ~ 3,
- [3] Cho WH, Study on Impact to Nearby Residents of the Construction Noise, the Korea Society for Noise and Vibration, Spring Conference, 1999. pp 2 ~ 5,
- [4] Chae SG, Basic Construction Practices, Construction Industry Education, 2004. pp 21 ~ 25,
- [5] Hong WP, Bearing Characteristics of Pile, Pile Foundation for the Field Technician Geotechnical Engineering Seminar, 1998. pp 32 ~ 33,
- [6] Im HS, Park YB, a Research for the Modification of Bearing Capacity Estimation on SIP Pile, Housing & Urban Research Institute Korea National Housing Corporation, 2004. pp 1~10,

박 종 혁(Park, Jong Hyuk)

[정회원]



- 1987년 2월 : 중앙대학교 대학원 (공학석사)
- 1995년 2월 : 중앙대학교 대학원 건설관리 (공학박사)
- 1990년 2월 ~ 현재 : 서일대학 토목과 정교수

<관심분야>

건설시공, 건설관리, 생산성분석

박 흥 태(Park, Hong Tae)

[정회원]



- 1900년 2월 : 중앙대학교 대학원 (공학석사)
- 1995년 2월 : 중앙대학교 대학원 건설관리 (공학박사)
- 1998년 10월 ~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학부 정교수

<관심분야>

건설시공, 건설관리, 건설공정관리

전 용 배(Jeon, Yong Bae)

[정회원]



- 1993년 2월 : 중앙대학교 대학원 (공학석사)
- 1997년 8월 : 중앙대학교 대학원 건설관리 (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 한중대학교 토목환경공학부 부교수

<관심분야>

건설시공, 건설관리, 리스크관리