

# 기계굴착공법을 적용한 현장타설말뚝 시공시 부조화 발생요인 분석 및 대응 방안

## Analysis and Countermeasures for the Trouble Factors of the Spot Installation Pile Using Machine Excavation Method

박 홍 태\*

손 창 백 \*\*

Park, Hong-Tae

Son, Chang-Baek

### Abstract

Although a range of machine excavation methods are in wide use, including casing, earth drill and reverse circulation drilling, deterioration in pile quality and faulty construction can be often found these days because of trouble in the construction field. For this study, research was conducted in the form of a survey of construction engineers working in the field in order to identify the types and the causes of trouble by focusing on all casing, earth drilling and reverse circulation drilling. By analyzing the causes of trouble, countermeasures could be presented. The data and the analysis presented in this study could be effectively used for minimizing trouble in future machine excavation work during construction.

Key words : a machine excavation method, a pile trouble, all casing, earth drill, reverse circulation drilling.

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

말뚝의 시공법은 크게 기성말뚝공법과 현장타설말뚝공법으로 대별된다<sup>7)</sup>. 말뚝의 시공속도, 시공관리, 시공설비의 관점에서 보면, 기성말뚝공법이 보다 편리한 공법이라 할 수 있다. 그러나 기성말뚝공법은 시공에 수반되는 진동·소음의 환경적 규제(주거지역기준:진동 70dB(A)·소음 65dB(V) 소음·진동 편람, 2008)를 받게 되면서 그 보완대책공법이 필요하게 되었고, 진동·소음이 적은 대책공법이 현장타설말뚝공법이다.

현장타설말뚝이란 기초말뚝을 설치하고자 하는 위치의 지반토를 특수한 굴착기로 굴착찬공한 후 이 공내에 철근콘크리트를 타설하는 것을 말한다<sup>2)</sup>. 그러나 이들 공법이 널리 활용됨에도 불구하고 현장에서 시공할 때 발생하는 부조화(trouble)로 인하여 말뚝의 품질이 저하되거나 부실공사가 발생하고 있는 실정이다. 이와 같은 문제들을 해결하기 위해서는 말뚝공사에 대한 주요 부조화 요인들을 파악하여 체계적으로 관리하는 것이 중요하다. 그러나 말뚝공사에 대한 공법별 부조화 요인들을 체계적으로 분석하

여 정리해 두는 것이 동일공법을 활용하는 후속공사의 품질저하를 방지하는데 훌륭한 도구임에도 불구하고, 이러한 분석자료들은 공사완료와 동시에 사장되는 것이 현실이다.

본 연구와 관련된 기존 연구동향을 살펴보면, 각 공종의 사전 작업으로 해야 할 업무내용을 일정별로 체계화하여 제시함으로써 실무자가 현장에서 공사를 수행하는데 많은 참고가 될 수 있도록 구성한 '공사감독업무일정 체계화 연구<sup>3)</sup>', SIP공법 시공시에 발생하는 진동 전달 및 감쇠 특성을 분석한 연구로 '도로 소음의 예측모델에 대한 비교·평가 연구<sup>5)</sup>', 건설공사 수행시 발생하는 일반적인 진동 소음 대책을 다루고 있는 '건설소음이 인근 주민에게 미치는 영향 관한 연구<sup>6)</sup>', 현장말뚝시공법을 체계적으로 정리 연구한 '말뚝의 저소음·저진동 시공법에 관한 연구<sup>4)</sup>', 그리고 '배입말뚝의 지지력 특성<sup>8)</sup>' 등에 관한 연구들이 수행되었다. 그러나, 이들 연구들은 대부분 말뚝시공의 소음 및 진동에 관한 분야 및 말뚝의 지지력에 관한 연구들로서, 현장타설말뚝공법의 부조화 발생요인 및 이에 대한 대책 등을 분석한 연구는 거의 없는 것이 현실이다.

따라서 본 연구는 현재까지 알려진 현장타설말뚝공법 중 일반적으로 널리 활용되고 있는 기계굴착공법인 All Casing, Earth Drill, Reverse Circulation Drilling의 3가지 공법을 중심으로, 부조화의 종류 및 발생요인을 공법별로 비교·분석하고 이에 대

\* 광주대학교 건설환경공학부, 교수, 공학박사

\*\* 세명대학교 건축공학과 부교수, 공학박사, 교신저자  
(cbson@semyung.ac.kr)

한 대책을 제시함으로써, 향후 건설현장의 기계굴착공법 활용시 부조화를 최소화할 수 있는 효과적인 기초자료를 제시하는데 목적을 두었다.

**1.2 연구 방법 및 범위**

본 연구에서는 연구대상으로 한 3가지 기계굴착공법의 부조화 종류 및 발생요인과 이에 대한 대책을 도출하기 위해, 표 1.에서와 같이, 최근 2년(2007. 3~2009. 2)간 기계굴착공법으로 말뚝 공사를 수행하였거나 수행 중에 있는 67명의 현장실무자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 응답자 수가 많을수록 신뢰도가 높으나 본 연구의 대상공법이 대규모 기계굴착공법이므로 수행현장과 수행경험자들이 매우 한정되어 있고, 공법의 특성상 몇 가지 주요 요인에 의해서 부조화가 발생되므로 67명의 응답결과를 기초로 분석하였다. 그러나 본 연구가 발전적으로 연구가 진행될 때, 설문조사를 계속 추가하여 진행되어야 할 것으로 사료된다. 설문조사는 설문기간 현재 기계굴착공법을 사용하고 있는 00시공현장의 현장소장 및 실무자들과 00산업교육원 및 00기술교육원의 교육 참여자 중 기계굴착공법을 수행한 경험이 있는 특급기술자들을 대상으로 실시하여, 연구결과와 신뢰성을 향상하고자 하였다. 또한 응답자수는 공법별로 All Casing공법이 25명(37.3%), Earth Drill공법이 22명(32.8%), Reverse Circulation Drilling공법이 20명(29.9%)으로 총 67명으로 구성 되어 있다.

표 1. 설문조사 개요 및 공법별 응답자 수

응답자	All Casing공법	Earth Drill공법	Reverse Circulation Drilling공법
설문기간	2007.3~2009.2		
응답대상자	· 00시공현장 현장소장 및 실무자(대리급 이상) · 00산업교육원 및 00기술교육원의 교육참여자 중 특급기술자		
설문방법	· 직접 현장방문설문조사(27%) · 00교육원 교육중 기계굴착공법 수행 특급 기술자 설문조사(73%)		
공법별 응답자수	25명(37.3%)	22명(32.8%)	20명(29.9%)
	67명(100%)		

**2. 기계굴착공법의 이론적 고찰**

**2.1 기계굴착공법의 개요**

All Casing공법은 튜빙기의 요동에 의하여 지반의 마찰력에 저항하면서 케이싱튜브를 압입 침하시켜서 공벽붕괴를 방지하고 해머그래브로 굴착, 지지층에 도달, 지지층의 확인, 철근의 건입, 슬라임 제거, 트레미공법에 의한 수중 콘크리트 타설 및 동시에

케이싱 튜브의 인발, 두부처리 등을 거쳐서 지중에 철근 콘크리트 말뚝을 축조하는 공법이다.

Earth Drill공법은 지하수위가 없고 붕괴의 염려가 없는 경점 토 지반 등에 드릴링 버킷만으로 굴착 천공하는 방법과 지반 표층 부에 가이드 케이싱으로 공벽을 보호하고, 그 이하는 벤토나이트 안정액에 의하여 공벽을 보호하면서 버킷으로 굴착 천공하는 방법이다.

Reverse Circulation Drilling공법은 로터리 보링을 위한 압력수의 순환경로와 반대방향으로 물이 순환되면서 굴착된 토사를 외부로 배출하는 역순환 공법으로 지반 표층부의 느슨한 지층에 필요한 깊이의 스탠드 파이프(3~10m)정도의 케이싱을 관입하고 그 이하는 케이싱 없이 0.2kg/cm<sup>2</sup>의 니수 정수압으로 공벽붕괴를 방지하면서 특수 회전 비트를 회전시켜 지반토를 굴착 천공하는 공법이다.<sup>3)</sup>

본 연구에서 선정하여 수행한 대규모 기계굴착공법의 기본적인 시공방법의 비교는 표 2와 같다.

표 2. 기계굴착공법의 기본적인 시공방법 비교

시공방법	분류	굴착방법		공벽보호 방법	케이싱 세움방법	공내수	
		굴착 기구	공외반 방법			종류	움직임
All Casing	요동식	해머 그라브	해머 그라브로 직접공외로 배출	전길이에 케이싱 튜브삽입	요동 압입	니수 또는 청수	비순환
	전선회				전선회압입		
Earth Drill		회전 버킷	회전 버킷으로 직접공외로 배출	표층 케이싱 안정액의 매드레이크와 수두압	자중으로 세움	벤토나이트 또는 폴리머계 안정액	비순환
Reverse Circulation Drilling		각종 회전 비트	펌프에 의해 니수와 공외로 배출	스탠드 파이프 니수의 매드레이크와 수두압	진동기로 세움(유압삽입기로 압입)	자연니수	역순환

**2.2 공법별 시공순서**

All Casing공법, Earth Drill공법, Reverse Circulation Drilling공법의 시공순서는 그림 1과 같이 기본적으로 굴착, 슬라임 제거, 철근망 건입, 트레미관 삽입, 콘크리트 타설, 튜브(케이싱, 스탠드 파이프) 인발, 되메우기 순으로 시공된다.<sup>1),2),7)</sup> 또한, 지반 및 지하수의 조건에 따라 공법이 선정된다. 공법별로 사용되는 굴착장비는 다르지만, 철근망 건입 때 사용되는 철근의 순간격, 슬라임 처리방법 등은 유사하다.

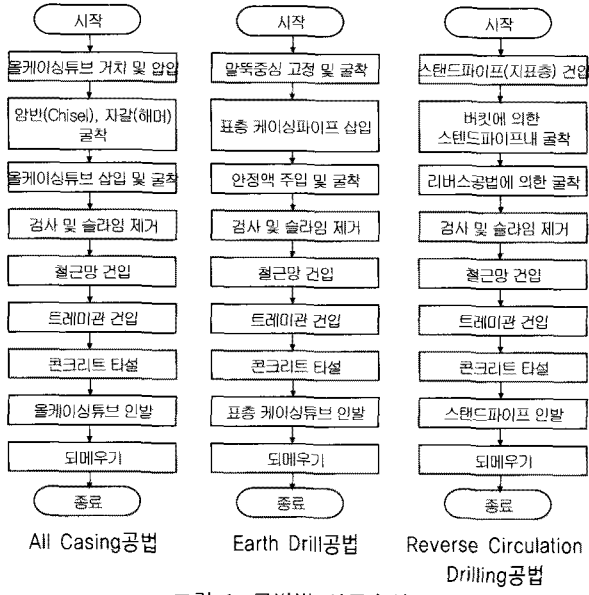


그림 1. 공법별 시공순서

표 3. 공법별 부조화 종류

공법	All Casing 공법	Earth Drill 공법	Reverse Circulation Drilling 공법	계
말뚝형상 콘크리트 불량	9 (18.4%)	14 (29.8%)	9 (20.5%)	32 (22.9%)
공벽붕괴	3 (6.1%)	9 (19.1%)	15 (34.1%)	27 (19.3%)
굴착능력 저하	10 (20.4%)	6 (12.8%)	8 (18.2%)	24 (17.1%)
철근부상	18 (36.7%)	3 (6.4%)	-	21 (15.0%)
기구매설	2 (4.1%)	8 (17.0%)	4 (9.1%)	14 (10.0%)
지지력부족 및 지반이완	4 (8.2%)	4 (8.5%)	5 (11.4%)	13 (9.3%)
경사 및 편심	1 (2.0%)	3 (6.4%)	3 (6.8%)	7 (5.0%)
말뚝길이 변경	2 (4.1%)	-	-	2 (1.4%)
계	49건 (100%)	47건(100%)	44건 (100%)	140건(100%)

### 3. 기계굴착공법의 부조화 종류 및 발생요인 분석

본 연구의 설문조사 결과, 기계굴착공법의 적용시 발생하는 부조화의 종류는 말뚝머리나 말뚝체에 발생하는 말뚝형상 콘크리트 불량, 초연약층의 굴착과정에서 주로 발생하는 공벽붕괴, 주로 지반에 관계되며 공법변경이 요구되는 굴착능력저하, 콘크리트 타설 중에 발생하는 철근부상, 굴착기구와 와이어로프의 결합방법 미흡으로 인해 발생하는 기구매설, 선단에 슬라임이 퇴적되어 있을 경우 지지력부족 및 지반이완, 주로 굴착공의 심한진동에 의해서 발생하는 경사 및 편심, 본래의 말뚝길이 보다 짧거나 길어지는 말뚝길이의 변경 등 8가지로 분류되었다. 그리고 부조화의 발생요인들은 A:설계상 문제점, B:공법선정의 부적정, C:기계고장, D:지중장애물, E:연약지반, F:조사결과와 지반차이, G:조사부족, H:경사지반, I:근접사공, J:과잉복류수 존재, K:보일링 발생, L:투수, M:공내액의 부적성, N:수두압의 부족, O:케이싱길이의 부적격, P:굴착조작의 부적격, Q:과도한 2차 공저처리, R:철근망 좌굴, S:철근 순간적 부족, T:슬럼프 부적정, U:콘크리트 도착지연, V:사공관리 불량, X:슬라임 등 총 23가지에 의한 것으로 조사되었다.

#### 3.1 공법별 부조화 종류 분석

기계굴착공법의 부조화 종류에 대한 응답건수를 분석해 보면, 총 140건(100%)중 All Casing공법 49건(35%), Earth Drill공법 47건(34%), Reverse Circulation Drilling공법 44건(32%)으로 대체적으로 비슷하게 나타났다.

부조화 종류에 대한 응답수를 전체적으로 살펴보면, 표 3과 같이 말뚝형상 콘크리트 불량(22.9%)이 가장 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로 공벽붕괴(19.3%), 굴착능력저하(17.1%), 철근부상(15.0%), 기구매설(10.0%), 지지력부족 및 지반이완(9.3%), 경사 및 편심(5.0%) 등의 순인 것으로 조사되었다.

각 공법별로 살펴보면, All Casing공법은 말뚝형상 콘크리트 불량이 18.4%, 굴착능력 저하가 20.4%, 철근부상이 36.7%로 전체의 약 76%를 차지하는 것으로 나타났고, Earth Drill공법은 말뚝형상 콘크리트 불량이 29.8%, 공벽붕괴가 19.1%, 기구매설이 17.0%로 전체의 약 66%를 차지하였으며, Reverse Circulation Drilling공법은 말뚝형상 콘크리트 불량이 20.5%, 공벽붕괴가 34.1%, 굴착능력 저하가 18.2%로 전체의 약 73%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

각 공법별로 공통적인 주요 부조화 종류는 말뚝형상 콘크리트 불량인 것으로 분석되었고, 그 외의 주요 부조화 종류는 공법의 특성에 따라 다소 차이가 있는 것으로 분석되었다.

#### 3.2 공법별 부조화 발생요인 분석

부조화 발생요인별 응답건수를 All Casing공법, Earth Drill공법, Reverse Circulation Drilling공법으로 구분하여 분석한 결과는 그림 2와 같다.

전체적으로 살펴보면, All Casing공법은 사공관리 불량(15건), 보일링 발생(6건), 조사결과와 지반의 차이(5건) 등의 순으로 높게 나타났고, 이 결과는 말뚝시공을 모두 케이싱으로 수행함으로 과잉복류수, 지하수, 지반 등의 조건을 면밀히 조사하지 않은 결과로 사료된다. Earth Drill공법은 근접사공(6건), 기계고장(5

건), 시공관리 불량(5건) 등의 순으로 높게 나타났으며, Reverse Circulation Drilling공법은 조사결과와 지반의 차이(7건), 시공 관리 불량(5건), 수두압 부족(4건) 등의 순으로 높은 것으로 나타났다. 여기서 수두압의 부족으로 나타나 현상은 지하수 + 2m를 유지해주지 못해서 발생한 현상으로 사료된다.

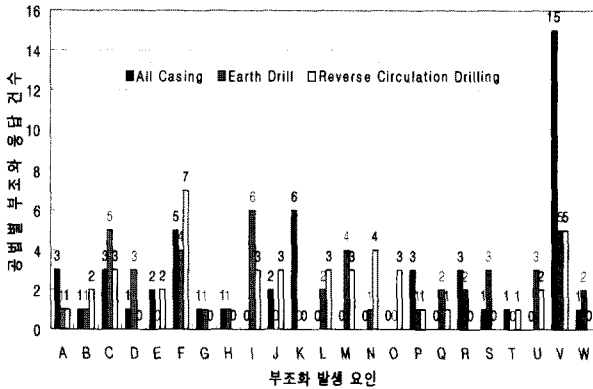


그림 2. 공법별 부조화 발생 요인

### 3.3 각 공법의 주요 부조화 종류별 발생요인 분석

각 공법에 대한 부조화 종류별 부조화 발생요인 분석은 앞의 표 3에서 응답수가 많은 종류만을 대상으로 분석하였고, 응답수가 적은 부조화 종류는 분석에서 제외하였다.

#### 3.3.1 공법별 분석

##### 1) All Casing공법

말뚝형상 콘크리트 불량의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면 그림 3과 같이 연약지반(2건), 과잉복류수의 존재(1건), 보일링 발생(1건), 철근의 순간적 부족(1건), 시공관리 불량(4건)으로 나타났다.

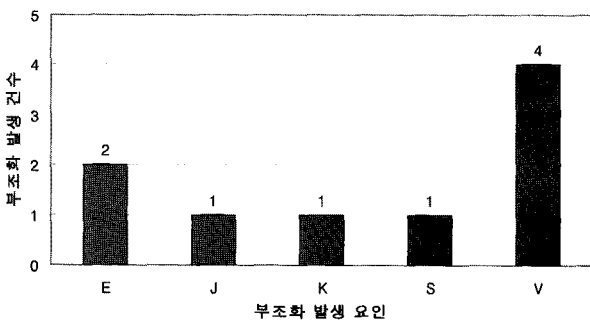


그림 3. 말뚝형상 콘크리트 불량

굴착능력 저하의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면 그림 4와 같이 설계상 문제점(1건), 공법선정의 부적격(1건), 기계고장(1건), 조사결과와 지반의 차이(4건), 경사

지반(1건), 과잉복류수의 존재(1건), 보일링 발생(1건)으로 나타났다.

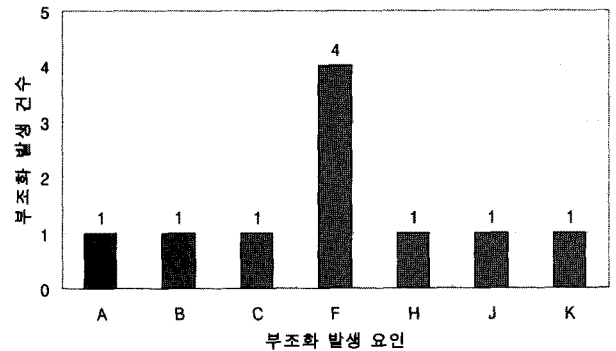


그림 4. 굴착능력 저하

철근부상의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면 그림 5와 같이 설계상 문제점(1건), 보일링 발생(2건), 철근망 좌굴(3건), 슬럼프 부적성(1건), 시공관리불량(10건), 슬라임(1건)으로 나타났다.

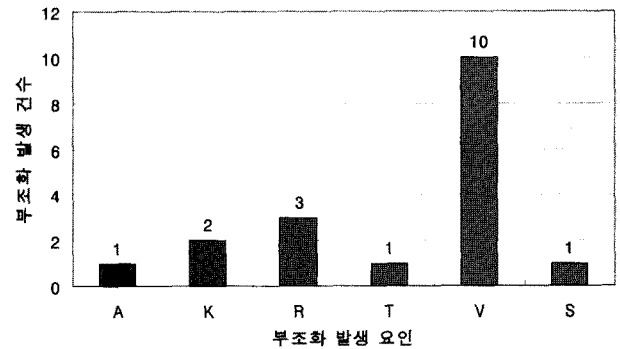


그림 5. 철근부상

All Casing공법의 분석결과를 종합해 보면, 말뚝형상 콘크리트 불량은 응답건수 총 9건 중 시공관리 불량이 4건, 굴착능력저하는 응답건수 총 10건 중 조사결과와 지반의 차이가 4건, 철근부상은 응답건수 총 18건 중 시공관리 불량이 10건, 철근망 좌굴이 3건 등으로 응답빈도가 높았다.

##### 2) Earth Drill 공법

말뚝형상 콘크리트 불량의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 6과 같이 설계상의 문제점(1건), 기계고장(2건), 근접시공(1건), 공내액의 부적성(4건), 철근의 순간적 부족(2건), 콘크리트 도착지연(3건), 슬라임(1건)으로 나타났다.

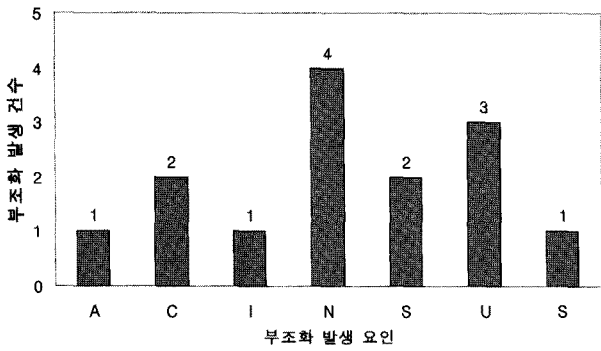


그림 6. 말뚝형상 콘크리트 불량

공벽붕괴의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 7과 같이 조사결과와 지반의 차이(2건), 조사부족(1건), 근접시공(3건), 투수(2건), 수두압 부족(1건)으로 나타났다

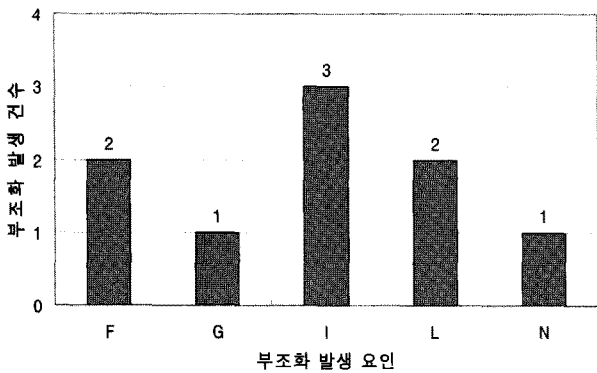


그림 7. 공벽 붕괴

기구매설의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 8과 같이 기계고장(2건), 지중장애물(2건), 굴착 조차의 부적성(1건), 철근망 좌굴(1건), 시공관리불량(2건)으로 나타났다

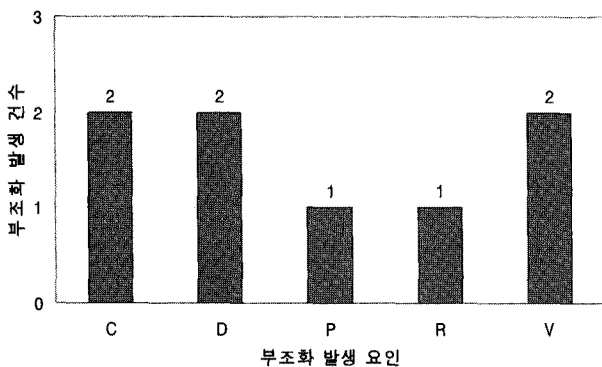


그림 8. 기구매설

Earth Drill 공법의 분석결과를 종합해 보면, 말뚝형상 콘크리트 불량은 응답건수 총 14건 중 공내액의 부적성 4건, 콘크리트 도착지연 3건, 공벽붕괴는 응답건수 총 9건 중 근접시공이 3건, 기구매설은 응답건수 8건 중 기계고장, 지중장애물, 시공관리 불량량이 각각 2건 등으로 응답빈도가 높았다.

### 3) Reverse Circulation Drilling 공법

말뚝형상 콘크리트 불량의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 9와 같이 설계상의 문제점(1건), 기계고장(2건), 연약지반(2건), 케이싱길이 부적격(1건), 슬럼프 부적성(1건), 콘크리트 도착지연(1건), 시공관리 불량(1건)으로 나타났다.

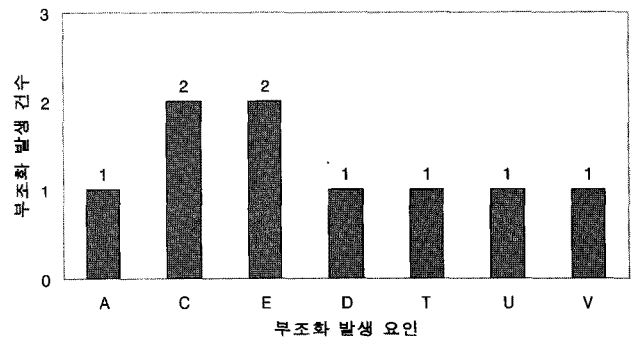


그림 9. 말뚝형상 콘크리트 불량

공벽붕괴의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 10과 같이 공벽선정의 부적격(1건), 조사결과와 지반의 차이(2건), 근접시공(2건), 과잉복류수의 존재(2건), 투수(1건), 공내액의 부적성(2건), 수두압의 부족(4건), 케이싱길이의 부적격(1건)으로 나타났다.

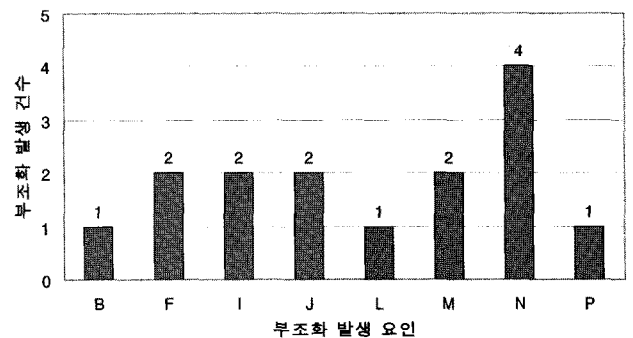


그림 10. 공벽 붕괴

굴착능력저하의 부조화를 발생시키는 요인들에 대한 응답결과를 분석해 보면, 그림 11과 같이 공벽선정의 부적격(1건), 조사결과와 지반의 차이(3건), 근접시공(1건), 과잉복류수의 존재(1건), 투수(2건)로 나타났다.

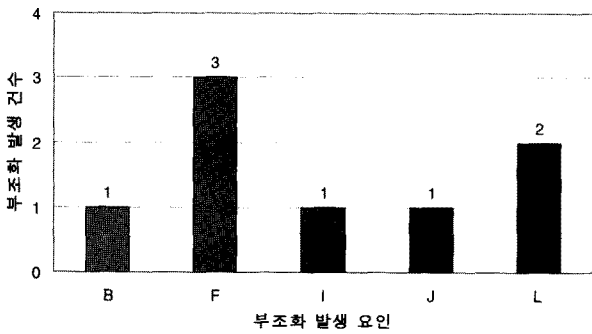


그림 11. 굴착능력 저하

Reverse Circulation Drilling공법을 종합해 보면, 말뚝형상 콘크리트 불량은 응답건수 총 9건 중 기계고장, 연약지반이 2건, 공벽붕괴는 응답건수 총 15건 중 수두압의 부족이 4건, 조사결과와 지반의 차이, 근접시공, 과잉복류수 존재, 공내액의 부족이 각각 2건씩 응답하였다. 굴착능력저하는 응답건수 총 8건 중 조사결과와 지반의 차이 3건, 투수 2건 등으로 응답빈도가 높았다.

### 3.3.2 공법간 비교분석

앞에서 분석한 각 공법에 대한 주요 부조화 종류별 발생요인을 종합하여 비교하였다. 그림 2에서 알 수 있듯이 공법간의 주요 부조화 발생요인은 공법별 특성에 따라 다소 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

즉, All Casing공법은 3가지 부조화 종류 응답건수 총 37건 중 시공관리 불량이 14건으로 37.8%를 차지해 시공관리의 중요성을 알 수 있었다. Earth Drill 공법은 3가지 부조화 종류 응답건수 총 31건 중 공내액의 부적성이 4건으로 12.9%, 콘크리트 도착지연, 근접시공이 각각 3건으로 9.7%를 차지하고 있어 주요 발생요인인 것으로 조사되었다. 또한, Reverse Circulation Drilling공법은 3가지 부조화 종류 응답건수 총 32건 중 수두압의 부족이 4건으로 12.5%, 조사결과와 지반의 차이가 3건으로 9.4%를 차지하고 있어 주요 발생요인인 것으로 분석되었다.

표 4. 공법간 부조화 종류별 주요 발생요인 비교

종류	공법	All Casing 공법	Earth Drill 공법	Reverse Circulation Drilling 공법
말뚝형상 콘크리트 불량	-	-시공관리 불량	-공내액의 부적성 -콘크리트 도착지연	-기계고장 -연약지반
공벽붕괴	-	-	-근접시공 -조사결과와 지반 차이 -투수	-수두압 부족
굴착능력 저하	-	-조사결과와 지반 차이	-	-조사결과와 지반 차이 -투수
철근부상	-	-시공관리 불량	-	-
기구매설	-	-	-기계고장 -지중장애물 -시공관리 불량	-

## 4. 기계굴착공법의 부조화 방지를 위한 주요 대책

본 연구는 앞의 3.3절에서 서술한 각 공법별 부조화 발생요인 분석에서 각 공법별로 응답수가 많은 주요 부조화 종류에 대한 발생요인을 중점적으로 분석하였다. 따라서 표 5~표 13에서 알 수 있듯이 본 장에서 제시한 부조화 방지대책 또한 이들 부조화 종류에 대한 주요 방지대책을 중심으로 기술함으로써 각 공법별 주요 대책을 용이하게 비교할 수 있도록 하였다.

### 4.1 All Casing공법

#### 1) 말뚝형상 콘크리트 불량

All Casing공법에 있어 말뚝형상 콘크리트 불량률의 주요 발생요인은 시공관리 불량으로, 이에 대한 주요 대책은 콘크리트 타설시 레미콘의 원활한 수급 및 타설장비의 고장이나 정비 불량에 따른 공사 중단이 발생하지 않도록 하고, 시공 중에 트레미관의 절연이나 이완이 발생하지 않도록 하는 등 공사현장의 시공에 대한 철저한 관리가 필요하다.

표 5. 말뚝형상 콘크리트 불량

주요 부조화 요인	방지 대책
시공관리 불량	· 콘크리트 타설 중단에 대한 콘크리트의 연속 공급 · 타설시 기계고장이나 정비 불량이 없도록 관리 · 시공중 발생하는 트레미관의 절연이나 이완 방지 · 철망의 접촉방지

#### 2) 굴착능력 저하

All Casing공법에 있어 굴착능력 저하의 주요 발생요인은 조사결과와 지반의 차이로, 이에 대한 주요 대책은 시공위치에 대한 면밀한 조사로 지반성질을 정확하게 파악하여 시공시 문제가 발생하지 않도록 설계상에 충분히 반영하여 사전에 해별방안을 수립하는 것이 필요하다.

표 6. 굴착능력 저하

주요 부조화 요인	방지 대책
조사결과와 지반의 차이	· 시공위치에 대한 면밀한 조사로 지반성질을 정확하게 파악하여 시공시 문제가 없도록 설계상에 충분히 반영하여 해결책을 수립

#### 3) 철근 부상

All Casing공법에 있어 철근 부상의 주요 발생요인 역시 시공관리 불량으로, 이에 대한 주요 대책은 콘크리트의 타설속도를 적정하게 조절하는 것이 중요하고, 특히 말뚝길이가 짧아 철근망이 가벼운 경우 콘크리트의 타설속도를 늦추는 것이 필요하다.

표 7. 철근 부상

주요 부조화 요인	방지 대책
시공관리 불량	· 시공관리 불량으로 콘크리트가 분리되지 않도록 시공하는 것이 중요함. 콘크리트 타설속도가 너무 빠른 경우 혹은 말뚝의 길이가 짧아 철근망이 가벼운 경우 콘크리트 타설 속도를 늦게 함.

**4.2 Earth Drill공법**

**1) 말뚝형상 콘크리트 불량**

Earth Drill공법에 있어 말뚝형상 콘크리트 불량의 주요 발생요인은 공내액 부적성과 콘크리트 도착지연으로, 공내액 부적성에 대한 주요 대책은 공내액에 사용되는 안정액은 연속사용으로 인해 모래 혼입량이 증가된 경우 콘크리트와의 치환성이 저하되어 말뚝머리부근에 불량이 발생되므로 반드시 탈수 처리를 해야 한다. 그리고, 콘크리트의 도착지연에 대한 주요 대책은 콘크리트 도착시간 등을 확인하여 콘크리트의 유동성을 철저하게 관리할 수 있는 관리체계의 개선이 필요하다.

표 8. 말뚝형상 콘크리트 불량

주요 부조화 요인	방지 대책
-공내액의 부적성	-공내액의 부적성 · 공내액에 사용되는 안정액은 연속사용으로 모래 혼입량 이 증가된 경우 탈수처리(콘크리트 치환성 유지로 말뚝머 리부근에 불량방지 됨).
-콘크리트 도착지연	-콘크리트 도착지연 · 도착시간 확인 등 유동성 관리체계 수립.

**2) 공벽 붕괴**

Earth Drill공법에 있어 공벽 붕괴의 주요 발생요인은 근접시공, 조사결과와 지반의 차이, 투수 등으로, 근접시공에 대한 주요 대책은 상재하중의 약 33.3%정도가 수평하중으로 작용하므로 상재하중의 증가로 인해 공벽붕괴가 유발될 수 있으므로 하중의 상재를 금지해야 한다.

표 9. 공벽 붕괴

주요 부조화 요인	방지 대책
-근접시공	-근접시공 · 중장비 상재를 금지함. 상재하중 증가로 공벽이 붕괴 될 수 있음. 상재하중의 33.3%가 수평하중으로 작용됨.
-조사결과와 지반의 차이	-조사결과와 지반의 차이 · 굴착조작의 부적성이 발생하는 주요요인은 조사결과와 지반의 차이, 지지층의 경사에 의한 것임. 설계전 정확한 지반조사가 중요함. · 어스드릴공법의 공벽붕괴 조기발견방법으로 버킷상부 보강재에 토사가 상재됨. 요동압입이나 전선회 압입으로 케이싱을 세울 수 없을 경우, All Casing공법으로 공법변경 고려.
-투수	-투수 · 표층케이싱을 세워 공내 수위를 상승시킴. · 안정액의 배합조정이 필요함.

그리고, 조사결과와 지반의 차이에 의해 굴착조작의 부적성이 발생되므로 설계전에 정확한 지반조사가 반드시 요구된다. 투수에 대한 주요 대책은 우선 표층케이싱을 세워 공내의 수위를 상승시키고, 안정액의 배합을 조정하는 것이 필요하다.

**3) 기구매설**

Earth Drill공법에 있어 기구매설의 주요 발생요인은 기계고장, 지중장애물, 시공관리 불량으로, 기계고장에 대한 주요 대책은 시공전에 구체적인 시공계획을 통하여 기계 수급 및 정비에 대한 철저한 계획을 수립하고, 고장이 발생할 경우를 대비하여 대체 장비 및 부품확보계획을 면밀히 수립하여야 한다. 굴착중에 고압의 피압수 및 복류수가 존재하면 시공이 어려우므로 안정액의 처리가 불가능할 경우에는 약액주입공법이나 All Casing공법으로의 공법변경을 신중히 검토하여야 한다. 또한 굴착중에 암반이 발생할 때에도 All Casing공법으로의 공법변경을 검토할 필요가 있다. 시공관리 불량에 대한 대책으로는 굴착기구의 결합방법에 미흡한 점이 없도록 공사전에 충분한 검사와 정비가 요구된다.

표 10. 기구매설

주요 부조화 요인	방지 대책
-기계고장	-기계고장 · 구체적인 시공계획 작성 및 시공전 철저한 기계 정비. · 대체장비 및 부품 확보계획 수립.
-지중장애물	-지중장애물 · 굴착중에 고압의 피압수 및 복류수가 존재하면 시공이 어려우므로, 안정액 처리가 불가능할 때는 약액주입공법 적용 또는 All Casing공법으로 공법변경 고려.
-시공관리불량	-시공관리불량 · 굴착중 암반이 발생할 때도 All Casing공법으로 공법변경 고려. · 굴착기구 결합방법에 있어서 미흡한 점이 없도록 충분한 검사와 정비 등의 시공관리가 중요함.

**4.3 Reverse Circulation Drilling공법**

**1) 말뚝형상 콘크리트 불량**

Reverse Circulation Drilling공법에 있어 말뚝형상 콘크리트 불량의 주요 발생요인은 기계고장과 연약지반으로, 기계고장에 대한 주요 대책은 역시 Earth Drill공법과 마찬가지로 시공전에 구체적인 시공계획을 통하여 기계 수급 및 정비에 대한 철저한 계획을 수립하고, 고장이 발생할 경우를 대비하여 대체장비 및 부품 확보 계획을 면밀히 수립해 두는 것이 필요하다.

표 11. 말뚝형상 콘크리트 불량

주요 부조화 요인	방지 대책
-기계고장	-기계고장 · 구체적인 시공계획 작성 및 시공전 철저한 기계 정비. · 대체장비 및 부품 확보계획 수립.
-연약지반	-연약지반 · 시공전 철저한 지반조사를 통해 지반성질을 파악, 설계에 반영하여 해결책을 미리 수립하는 것이 중요함

연약지반에 대한 대책은 지반조사를 통해 분석된 지반의 성질을 면밀히 검토하여 설계시에 이에 대한 해결책을 미리 수립해 두는 것이 중요하다.

2) 공벽 붕괴

Reverse Circulation Drilling공법에 있어 공벽 붕괴의 주요 발생요인은 수두압 부족으로, 수두압의 부족이나 투수가 존재할 때에는 지하수+2m의 수두를 반드시 유지하여 수두압을 유지하는 것이 매우 중요하다. 또한

표 12. 공벽 붕괴

주요 부조화 요인	방지 대책
수두압 부족	· 수두압의 부족이나 투수가 존재할 때는 지하수+2m의 수두를 반드시 유지하여 수두압을 유지하는 것이 중요함.

3) 굴착능력 저하

Reverse Circulation Drilling공법에 있어 굴착능력 저하의 주요 발생요인은 조사결과와 지반 차이 및 투수로, 굴착조작의 부적성은 주로 조사결과와 지반의 차이에 의해 발생되므로 설계전에 정확한 지반조사가 반드시 요구된다. 또한, 투수에 대한 주요 대책은 우선 표층케이싱을 세워 공내의 수위를 상승시키고, 안정액의 배합을 조정하는 것이 필요하다.

표 13. 굴착능력 저하

주요 부조화 요인	방지 대책
-조사결과와 지반 차이	-조사결과와 지반 차이 · 굴착조작의 부적성이 발생하는 주요요인은 조사결과와 지반의 차이에 의한 것임. 설계전 정확한 지반조사가 중요함.
-투수	-투수 · 표층케이싱을 세워 공내 수위를 상승시킴. · 안정액의 배합조정이 필요함.

5. 결 론

본 연구는 현재까지 알려진 현장타설말뚝공법 중 일반적으로 널리 활용되고 있는 기계굴착공법인 All Casing, Earth Drill, Reverse Circulation Drilling의 3가지 공법을 중심으로, 부조화의 종류 및 발생요인을 공법별로 비교·분석하고 이에 대한 대책을 제시함으로써 향후 건설현장의 기계굴착공법 활용시 부조화를 최소화할 수 있는 효과적인 기초자료를 제시할 목적으로, 최근 2년(2007. 3-2009. 2)간 기계굴착공법으로 말뚝공사를 수행하였거나 수행 중에 있는 현장실무자들을 대상으로 설문조사를 실시하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공법별 부조화 종류는 All Casing공법은 철근부상, 굴착능력저하, 말뚝형상 콘크리트불량 등의 순으로 높게 나타났다. Earth Drill공법은 말뚝형상 콘크리트불량, 공벽붕괴, 기구매설 등의 순으로 높게 나타났다. Reverse Circulation Drilling공법은 공벽붕괴, 말뚝형상 콘크리트불량, 굴착능력저하 등의 순으로 높은 것으로 나타났다. 전체적으로 보면, 말뚝형상 콘크리트 불량이 가장 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로 공벽붕괴, 굴착능력저하, 철근부상, 기구매설, 지지력부족 및 지반이완, 경사 및 편심의 순인 것으로 조사되었다.
- 2) 주요 부조화 종류별 발생요인은 All Casing공법은 시공관리 불량, 조사결과와 지반의 차이 등이 높게 나타났고, Earth Drill공법은 공내액 부적성, 콘크리트 도착 지연, 근접시공 등이 높게 나타났다. Reverse Circulation Drilling공법은 수두압 부족, 조사결과와 지반의 차이 등이 높은 것으로 나타났다.
- 3) All Casing공법, Earth Drill공법, Reverse Circulation Drilling공법의 주요 부조화 종류별 부조화 발생요인들은 상당부분이 기본적인 현장관리요인들에 의한 것임을 알 수 있었다. 따라서 대책도 우선 기본에 충실해야 될 것이며, 주의 깊은 사전조사와 그 조사에 따른 면밀한 시공계획의 입안 및 철저한 시공관리가 필요하다. 기계 기구의 점검·정비도 주요한 대책으로, 이들에 의해 부조화의 상당부분은 피할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) All Casing공법, Earth Drill공법, Reverse Circulation Drilling공법의 시공 중에 발생하는 주요 부조화에 대한 방지대책을 현장실무자들의 의견수렴을 통하여 구체적으로 제시하였다. 이는 향후 건설현장의 기계굴착공법 적용시 부조화를 최소화할 수 있는 효과적인 실무적 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.
- 5) 본 연구는 응답자의 수가 다소 적다는 한계점을 가지고 있으므로, 향후 연구결과에 대한 보다 더 높은 신뢰성 확보를 위해서는 응답자의 수를 확대할 필요가 있으며, 연구대상도



All Casing공법, Earth Drill공법, Reverse Circulation Drilling공법 이외의 굴착공법으로 확대하여 굴착공법 전반에 걸친 종합적인 연구가 수행될 필요가 있다.

### 참 고 문 헌

1. 가우건설, 기초파일공사공법 소개서, pp.22~23, 1994
2. 강인석외 2인, 시공기술 해설집, 구미서관, pp.329~348, 1997
3. 건설협회, 콘크리트말뚝, 매입공법 시공편람, pp.101~121, 1994
4. 김동성의 3인, 공사감독일정 체계화 연구, 대한주택공사 주택연구소, pp.5~8, 1997
5. 박용부의 2인, 말뚝의 저소음·저진동 시공법에 관한 연구, 대한주택공사 주택연구소, pp.12~26, 1996
6. 이규철외 2인, 도로소음의 예측모델에 대한 비교, 평가 연구, 한국소음진동학회지, 제9권 제6호, pp.1~3, 1999
7. 조원희외 1인, 건설소음이 인근주민에게 미치는 영향에 관한 연구, 한국소음진동학회지, 춘계학술대회논문집, pp.2~5, 1999
8. 채수근, 기초공사실무, 건설산업교육원, pp.21~25, 2004
9. 한국소음진동공학회, 소음·진동 편람, pp.29~34, 2008
10. 홍원표외 2인, 매입말뚝의 지지력 특성, 지반공학회 현장기술자를 위한 말뚝기초세미나 논문집, pp.32~33, 1998

(접수 2009. 4. 20, 심사 2009. 6. 1, 게재확정 2009. 7. 2)

### 요 약

현재 기계굴착공법인 올케이싱, 어스 드릴, 역순환공법이 널리 활용되고 있음에도 불구하고, 시공 현장에서 발생하는 부조화로 인하여 말뚝의 품질이 저하되거나 부실시공이 빈번히 발생되고 있다. 본 연구에서는 이 문제를 줄이는 방법으로 올케이싱, 어스 드릴, 역순환공법을 중심으로 현장 콘크리트타설 말뚝 시공시 발생하는 부조화 종류별로 부조화 발생요인을 현장기술자들을 대상으로 설문조사를 수행 하였다. 그리고 설문분석결과를 토대로 부조화 종류별로 빈번히 발생하는 부조화 요인을 분석함으로써 대응방안을 제시하였다. 본 연구에서 분석된 자료는 향후 건설현장에서 기계굴착공법으로 시공될 때, 부조화를 최소화할 수 있는 효과적인 자료가 될 것으로 사료된다.

키워드 : 기계굴착공법, 말뚝부조화, 올케이싱, 어스드릴, 리버스 서클레이션