

초연약지반에 시공된 현장타설말뚝의 시공방안 사례연구

A Case Study for Construction Method of drilled Shafts installed in Very Soft Soil

1. 서론
2. 연약지반에서의 현장타설말뚝 시공법
3. 현장타설 콘크리트의 품질관리사례
4. 경제성 비교
5. 수중 불분리성 콘크리트의 현장타설
6. 결론 및 제언

최용규

Choi, Yongkyu

경성대학교 건설·환경공학부 교수

이민희

Lee, MinHee

부산대학교 토목공학과 박사과정 수료

백동진

Baek, DongJin

금호엔지니어링

초연약지반에 시공된 현장타설말뚝의 시공방안 사례연구

A Case Study for Construction Method of drilled Shafts installed in Very Soft Soil

최 용 규^{*1)} Choi, Yongkyu 이 민 희^{*2)} Lee, MinHee 백 동 진^{*3)} Baek, DongJin

SYNOPSIS : During the installation of drilled shafts in very soft ground, to keep the pile shape and to control concrete quality, casing method (wrinkled pipe and embedded steel pipe) and non-casing method have been used.

In the construction cost, non-casing method was the most economical. When the wrinkled pipe and the embedded steel pipe casing method are used, an increase of 133% and 123% in the construction cost could be seen.

When concrete for drilled shaft was placed under groundwater, underwater unseparation concrete would be used to restrain the concretes's material separation and to control the concrete quality. On the condition of required unseparable and flowing property was assured, use of less amount of mixed material and flowing material must be recommended.

Key Word : drilled shafts, very soft ground, non-casing method, casing method, wrinkled pipe, embedded steel pipe, underwater construction, underwater unseparation concrete, mixed material

*1 정희원, 경성대학교 건설·환경공학부 교수

*2 정희원, 부산대학교 토목공학과 박사과정 수료

*3 정희원, 금호엔지니어링

1. 서론

타입말뚝은 가장 경제적이고 지지력에 대한 신뢰성이 높은 말뚝으로 널리 사용되고 있다. 그러나, 시공 현장이 도심지와 인구밀집지역에 근접해 있는 경우가 대부분이므로 항타 진동과 소음으로 인한 민원이 크게 발생하므로 그 사용이 제한되고 있는 실정이다.

이러한 진동과 소음의 문제를 해결하기 위해 천공된 대구경 시추공에 현장에서 콘크리트를 타설하여 말뚝을 형성하는 현장타설말뚝을 사용하고 있다. 현장타설말뚝은 타입말뚝 시공이 어려운 자갈, 전석층 및 암반 등의 지반에도 시공이 가능하고 지지력에 대한 신뢰성을 확보할 수 있는 확실한 공법이다.

그러나, 현장타설말뚝을 연약지반에 시공할 경우, 말뚝체의 형성이 어려워 품질관리와 소요 지지력에 대한 신뢰성이 떨어지므로, 말뚝체 손상 방지와 품질관리를 위해 희생 강관 또는 희생 주름관을 사용하기도 한다.

수중에서 현장타설된 굳지않은 콘크리트가 지하수의 흐름 등에 의해 재료 분리가 일어나고 시멘트가 물속에서 분산되어 콘크리트의 품질관리가 어려운 경우가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하는 방법으로 수중 불분리성 혼화제를 첨가한 수중 불분리성 콘크리트를 사용하여 수중에서 콘크리트의 수밀성, 내구성, 충전성에 대한 신뢰성과 고품질의 콘크리트를 확보해야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 현장타설 콘크리트의 시공방법별 시공성, 경제성 및 품질관리방안에 대하여 비교·분석하여 적용 가능한 시공방안에 대하여 연구하였으며 현재 현장타설말뚝의 수중시공에 사용되는 수중불분리성 콘크리트에 대하여 설명하였다.

2. 연약지반에서의 현장타설말뚝 시공법

연약지반에 현장타설말뚝 시공시 현장타설 콘크리트의 품질관리와 말뚝체 손상방지를 위해 적용 가능한 시공방법들은 표 1에 요약하였다. 여기서, 적용 가능한 공법들은 크게 무케이싱 방법과 보호케이싱 방법으로 구분할 수 있으며, 보호케이싱 방법에서는 희생주름관과 희생강관을 사용하였다.

표 1. 연약지반에서의 현장타설말뚝 시공법 개요

기 초 형 식	현 장 타 설 말 뚝		
시공방법 개요	올케이싱법 + 역순환굴착방식	올케이싱법 + 역순환굴착방식 + 희생 주름관	희생강관에 의한 올케이싱법 + 역순환굴착방식
특징	<ul style="list-style-type: none"> 진동, 소음 작음 대구경 말뚝 시공 가능 말뚝길이 변경이 용이 양호한 품질관리 곤란 여분의 콘크리트 추가 소요 상대적으로 공사비 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> 진동, 소음 작음 대구경 말뚝 시공 가능 말뚝길이 변경이 용이 말뚝체 손상 방지 희생 주름관 사용으로 품질확보 공사비 고가 	<ul style="list-style-type: none"> 진동, 소음 작음 대구경 말뚝 시공 가능 말뚝길이 변경이 용이 말뚝체 손상 방지 희생강관 사용으로 품질 확보 공사비 매우 고가
적용심도	말뚝의 최소길이는 10D이상 확보	말뚝의 최소길이는 10D이상 확보	말뚝의 최소길이는 10D이상 확보
적용지반	<ul style="list-style-type: none"> 일반토사, 호박돌층 암반층 적용가능 30cm 이상의 호박 돌, 전석 및 암반층 적용가능 	<ul style="list-style-type: none"> 연약 점토층이 두꺼운 경우에 적용 기반암 1.0m 이상 근입 	<ul style="list-style-type: none"> 연약 점토층이 두꺼운 경우에 적용 기반암 1.0m 이상 근입

2.1 방법 1(보호케이싱 미사용)

보호케이싱을 사용하지 않고 연약지반에 현장타설말뚝을 시공하는 시공방법은 그림 1과 같다.

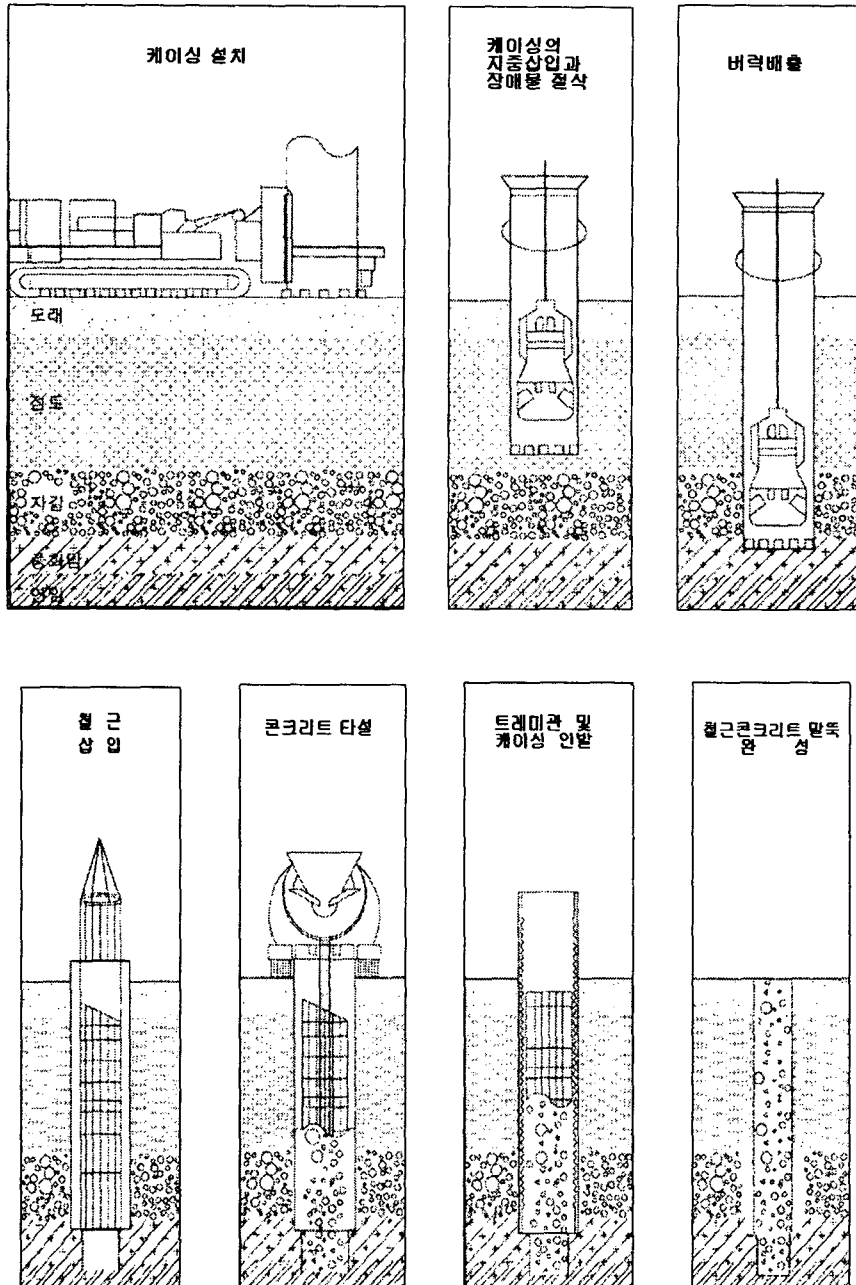


그림 1. 시공방법(보호케이싱 미사용)

2.2 방법 2(희생주름관 사용)

주름관을 사용하여 말뚝을 시공하는 방법은 그림 2와 같다.

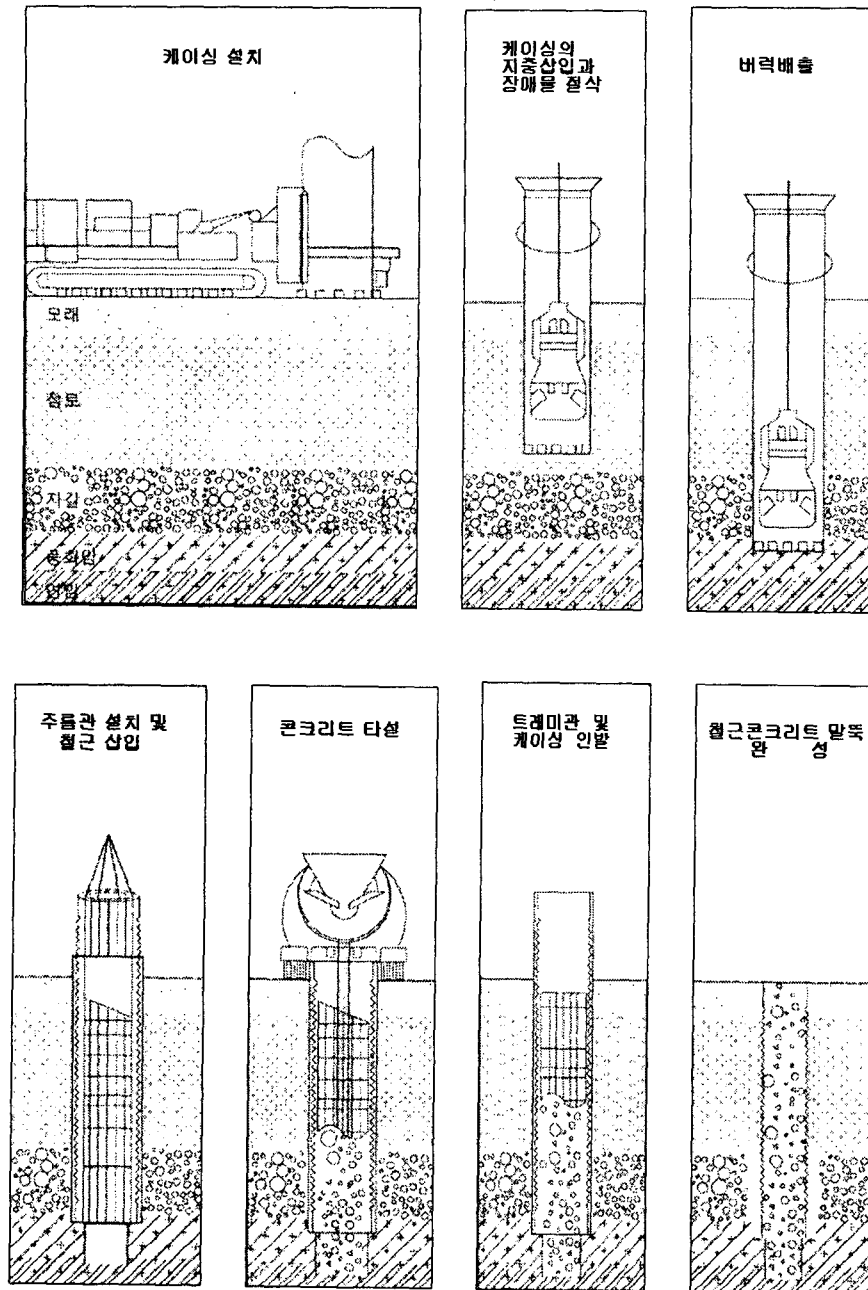


그림 2. 시공방법(희생주름관 사용)

2.3 방법 3(희생강관 사용)

희생강관을 사용하는 말뚝 시공방법은 그림 3과 같다.

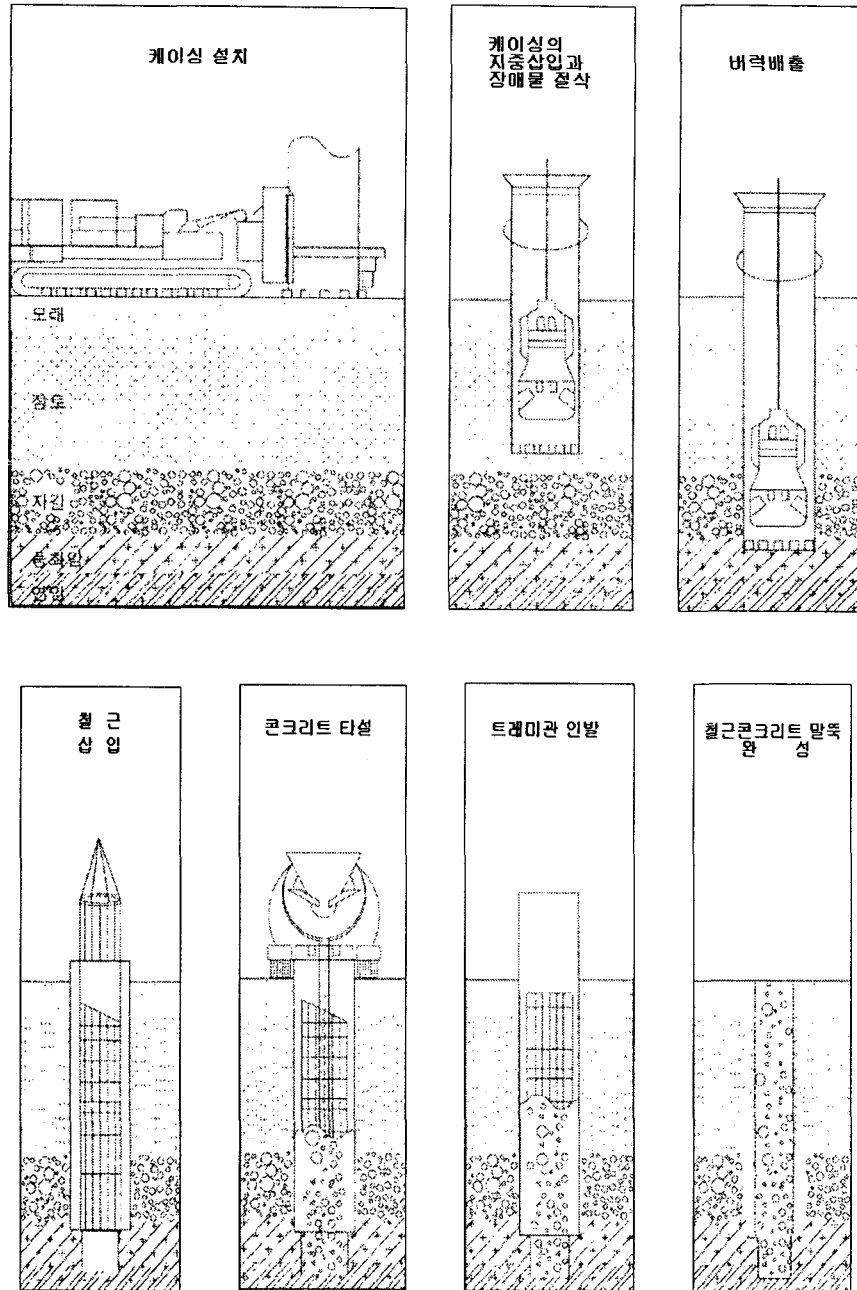


그림 3. 시공방법(희생강관 사용)

3. 현장타설 콘크리트의 품질관리사례

3.1 방법 1(보호케이싱 미사용)

000현장에서는 보호케이싱을 사용하지 않고 현장타설말뚝을 시공하였으며 수중불분리성 콘크리트를 사용하여 말뚝 시공을 하였다. 보호케이싱 미사용으로 인하여 추가로 소요 되는 콘크리트의 할증은 일반적으로 지층과 공법의 종류에 따라 차이는 많으나 특별한 경우를 제외하고는 5~20%정도이다. 올케이싱공법에서는 10%정도이고 무케이싱공법에서는 20%정도로 보고되고 있다(한국지반공학회, 1997).

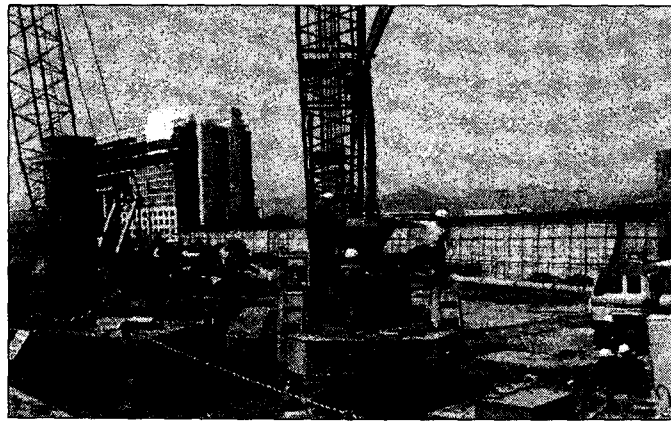


사진 1. 시험시공 광경(보호케이싱 미사용의 경우)

표 2. 보호케이싱 미사용한 현장타설말뚝의 시험시공 및 실제 시공시 콘크리트 소요량

말뚝번호	설계시 소요량	시공시 소요량	추가소요량의 백분율(%)	비고
A11	111 ¹⁾ (120) ²⁾	192	73	시험시공말뚝 1
B5	109 ¹⁾ (118) ²⁾	126	16	시험시공말뚝 2
B17	106 ¹⁾ (115) ²⁾	119	13	실제시공말뚝
C1	107 ¹⁾ (115) ²⁾	126	19	실제시공말뚝
A15	108 ¹⁾ (116) ²⁾	120	12	실제시공말뚝
B9	108 ¹⁾ (116) ²⁾	119	11	실제시공말뚝

비고 :

1) 순소요량

2) 할증을 8%를 고려한 설계소요량

본 현장에서는 희생강관을 사용하지 않았을 때 발생 가능한 문제점을 확인하고 추가로 필요한 콘크리트량을 측정하기 위해 사진 1과 같이 시험시공을 실시하였다. 시험 결과는 표 2와 같다. 표 2에서와 같이 말뚝 시험 A11시공시 천공단계에서 보일링 현상으로 인하여 지반이 함몰되어 콘크리트 소요량의 73%정도가 추가로 필요하였다. 첫 번째 시험말뚝 A11의 시공시 발생되었던 문제점들을 고려하여 B5말뚝 시험 시공시 케이싱내의 수위를 지표면까지 채워서 굴착을 실시하였고, 그 결과, 설계콘크리트량과 비교하면 16%정도의 콘크리트가 추가로 필요하였다. 시험 시공결과를 토대로 실제말뚝시공시의 추가소요물량을 15%로 정하였다. 표 2에서 알 수 있듯이 실제 말뚝시공시의 추가 소요물량은 11~19%정도로 나타났다.

3.2 방법 2(희생주름관 사용)

000 현장에서는 콘크리트 타설시 케이싱 인발로 인한 말뚝체의 형성과 콘크리트 유실방지를 위해 희생주름관을 사용하는 것으로 설계되었다.

주름관을 사용하는 경우 올케이싱공법에 의해 천공을 한 후 굴착공내에 희생주름관을 삽입하여야 하므로 공정이 다소 복잡해지게 될 수 있다. 또한, 소요의 말뚝 직경을 확보하기 위해 시공장비를 개선하거나 새로 제작해야 할 필요가 있을 수도 있다. 또한 케이싱 인발후 지반과 희생주름관사이를 지반이 밀려들어와 채워야 하므로 지반의 이완으로 인한 주변마찰력의 감소가 나타날 수도 있을 것으로 보인다.

주름관을 사용하는 경우는 보호케이싱을 사용하지 않는 경우 보다 약 33%정도의 공사비가 증가하였다. 이는 자재비의 증가보다는 시공공정의 복잡성으로 인하여 공사비의 증가요인이 발생하는 것으로 보인다.

3.3 방법 3(희생강관 사용)

000현장에서는 연약지반에 형성되는 현장타설말뚝의 말뚝체 형성과 콘크리트의 품질관리를 위해 사진 2와 같이 희생강관을 사용하였다.

희생강관 사용으로 인해 보호케이싱 미사용시 보다 약 23%정도의 공사비가 증가하였다. 즉, 희생강관 사용으로 콘크리트의 추가 소요량은 필요하지 않으나 희생강관의 영구매몰으로 인한 자재비의 증가 때문에 공사비가 다소 증가하였다. 이 공법은 콘크리트의 현장 타설중 길 이 3m정도의 조립 케이싱을 사용하지 않아도 되므로 시공공정은 단순한 장점이 있고 현장타설 콘크리트의 품질관리도 확실한 장점이 있다.

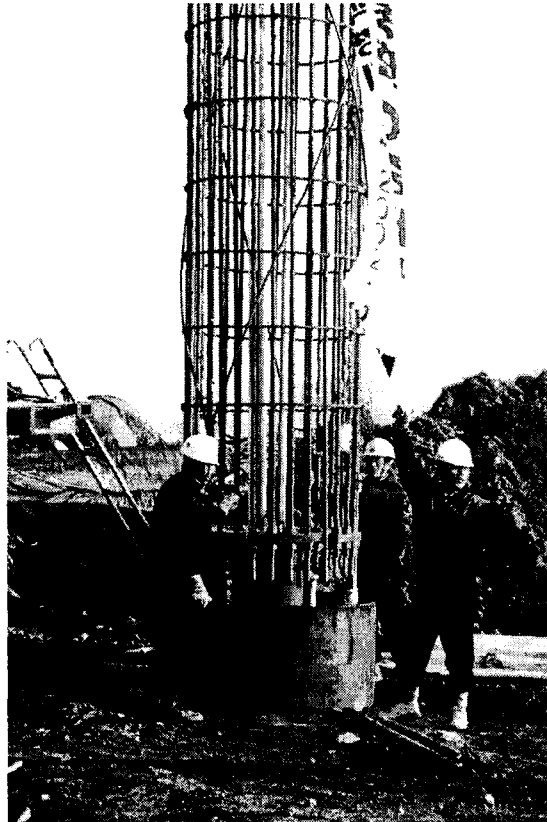


사진 2. 현장타설말뚝 시공 광경(희생강관 사용)

4. 경제성 비교

연약지반에 현장타설말뚝 시공시 말뚝체의 형성과 품질관리를 위해 사용하는 시공방안에 대하여 경제성을 비교 분석하면 표 3과 같다.

대상현장의 시공 및 설계시점이 모두 상이하여 정확하게 비교하는 것은 곤란하였으나 2002년을 기준 연도로 하여 물가상승율을 고려하여 공사비를 추정하였다. 표 3의 공사비 비교결과 보호케이싱을 사용하지 않은 경우가 가장 경제성 있는 공법이었으며, 희생강관과 주름관을 보호케이싱으로 사용하는 경우 33%와 23%만큼 공사비가 증가하였다.

각 현장의 조건이나 시공여건 등이 상이하여 공사비를 일반화하여 비교·분석하는 것은 곤란할 수 있으나, 표 3에서 비교한 자료는 실제 시공시 참고가 될 수 있을 것이며 설계시 가이드라인이 될 수 있을 것이다.

표 3. 각 시공방안별 공사비의 비교

개요	방법 1	방법 2	방법 3
	보호케이싱 미사용	희생주름관 사용	희생강관 사용
말뚝개수(EA)	132	31	64
평균시공길이(m)	64.3	45.9	21.0
총시공길이(m)	8882.3	1422.9	1344.0
공사비총액(원)	7,026,585,180	1,501,004,404	1,305,130,176
m당 단가(원)	791,079	1,054,891	971,079
할증율(%)	100	133	123

5. 수중 불분리성 콘크리트의 현장타설

현장타설말뚝은 수중에서 시공되므로 콘크리트 현장타설시 재료 부리가 발생할 가능성이 있다. 따라서, 재료분리를 방지하기 위하여 수중 불분리성 콘크리트를 타설하게 되는데 수중 불분리성 콘크리트의 특징 및 시공절차를 살펴보면 다음과 같다.

5.1 수중 불분리성 콘크리트의 필요성

(1) 개발개요 및 국내사용

1975년 서독에서 개발된 수중 불분리성 콘크리트는 개발 초기에 호안·수문의 기초, 교각의 보강 및 안벽의 개량공사에 사용되었으나, 현재 혼화제의 개발과 더불어 품질이 향상되어 교량 기초 및 대형 수중 구조물공사 등에 사용되고 있다.

국내에는 1984년 수중 불분리성 혼화제가 도입된 이후 시공실적이 증가되는 추세이며, 1996년 콘크리트 표준시방서 개정과 더불어 시공에 대한 일반적인 지침이 세워졌으며, 1995년 대한토목학회의 “콘크리트용 수중 불분리성 혼화제 품질규준(안)(대한토목학회, 1991)”이 제정되었고, 1999년 건설교통부와 한국도로공사가 주관하는 연구일환으로 “수중불분리성 콘크리트 설계, 시공지침(안)(건설교통부 & 한국도로공사, 1999)”이 제정되었다.

최근에는 영종도 신공항의 영종대교 및 부산 광안대교의 수중기초, 서해대교, 부산등대공사, 서해안 고속도로 13공구, 동진교 등과 같은 대형 수중 콘크리트 구조물에 사용되고 있다.

(2) 수중 불분리성 콘크리트의 필요성

수중 콘크리트를 시공할 때 가장 큰 문제점은 굳지 않은 콘크리트가 지하수의 흐름 등에 의해 재료가 분리되고 시멘트가 물속에서 분산되어 콘크리트의 품질관리가 어렵다는 것이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 수중 불분리성 혼화제를 사용한 수중 불분리성 콘크리트를 사용하여야 한다. 수중 불분리성 콘크리트는 수중에서 수밀성, 내구성, 충전성에 대한 신뢰성과 고품질의 콘크리트를 확보할 수 있는 재료이다.

5.2 수중 불분리성 콘크리트의 특징

수중 불분리성 콘크리트란 일반 콘크리트 재료에 특수 수중 콘크리트용 불분리성 혼화제를 혼합한 것으로 물에 대한 재료 분리 저항성이 높고 자기편탄성(self-leveling), 충전성이 우수한 콘크리트를 말한다.

(1) 혼화제의 종류 및 특징

혼화제의 종류와 특징을 요약하면 표 4와 같다.

(2) 배합설계

수중 불분리성 콘크리트의 배합설계시 소요의 수중 불분리성, 유동성에 따라 수중 불분리성 혼화제와 유동화제의 사용량을 정하고 그 다음에 배합수량을 설정한다.

수중 콘크리트의 배합에 관한 콘크리트 표준시방서의 규정은 다음과 같다.

- ① 물-시멘트비는 50%이하를 표준으로 한다.
- ② 단위시멘트량은 370kgf/m³이상을 표준으로 한다.
- ③ 콘크리트의 점성이 풍부한 것이라야 한다.

표 5는 3가지 배합설계의 예를 보여주고 있으며, 이에 대한 시험을 실시하여 표 6과 같은 결과를 얻었다. 표 5에서 보는 바와 같이 3가지 모두 수중에서 압축강도 (σ_{28})가 240kgf/cm² 이상인 것을 볼 수 있었으며, 유동화제의 양이 가장 작은 배합설계에서 가장 큰 압축강도가 나타났다.

표 4. 혼화제의 종류 및 특징

혼화제 종류	특징	비고
수중 불분리성 혼화제	<ul style="list-style-type: none"> · 금속염이나 유기전해질에 안정적임 · 계면활성을 보이는 보호 콜로이드, 유화안정제, 분산제로서의 우수한 기능을 가짐 · 친수성이 있고 점도가 높기 때문에 높은 보수성을 가짐 · 시멘트에 흡착하여 응결 지연성을 가짐 	분리저감제, 증점제
유동화제	<ul style="list-style-type: none"> · 물의 표면장력을 저하시켜 시멘트 응집체를 제거함 · 시멘트 입자 분산작용 · 시멘트풀의 유동성 증가 · 강재에 대한 부식성 없음 · 비공기 연행성 	고성능감수제
소포제	· 적정 공기량을 유지시켜 기포크기 억제	
경화촉진제	· 응결시간 조절	

표 5. 배합설계 예

배합설계 종류	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	단위	물-시	절대잔	단위	단위	혼화제 (kgf/m ³)	
				시멘트량 (kgf/m ²)	멘트비 (%)	골재율 (%)	잔골재량 (kgf/m ³)	굵은골재량 (kgf/m ³)	유동화제	증점제
A	25	50±5	4.5이하	440	47.7	41.0	651	970	8.36	2.52
B	25	50±5	4.5이하	450	47.3	43.0	695	978	8.6	2.00
C		50±5	4.5이하	450	47.3	42.5	687	959	9.0	2.25

표 6. 배합설계에 대한 시험 결과

배합설계종류	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	염화물량 (kgf/m ³)	탁도 (mg/L)	pH	압축강도 (σ ₂₈) (kgf/cm ²)	
						기건	수중
						50±5	4.5이하
A	51	2.0	0.078	12	9.21	370.5	334.6
B	50	2.3	0.160	29	10.00	344.3	308.4
C	50.5	3.9	0.111	70	10.00	360.8	307.4

6. 결론 및 제언

초연약지반에 현장타설말뚝을 시공할 경우 말뚝체의 형성과 콘크리트의 품질관리를 위해 사용할 수 있는 시공방안으로는 보호케이싱을 사용하지 않는 방법과 보호케이싱(희생주름관, 희생강관)을 사용하는 방법을 들 수 있다.

각 방법에 따른 공사비를 비교한 결과 보호케이싱을 사용하지 않는 경우가 가장 경제적이었으며 희생주름관과 희생강관을 보호케이싱으로 사용하는 경우에는 전자의 경우에 비해 약 33%와 23% 만큼 공사비가 증가하였다.

본 연구에서 분석한 대상 현장의 개소가 제한되어 있어 다양한 지반 종류와 현장 여건 등을 충분히 고려하지 못하였다. 차후 더 많은 시공현장을 조사·분석하여 다양한 지반 종류와 현장 여건 등을 고려한 연구가 이루어져야 할 것이다.

현장타설말뚝은 통상적으로 수중에서 시공되어지는데 수중에서 현장타설된 콘크리트의 지하수 흐름 등에 의한 콘크리트의 재료 분리 억제와 품질관리를 위해서 수중 불분리성 콘크리트의 사용이 필요하며, 배합설계시 소요의 불분리성, 유동성이 확보되는 조건에서 가능한 수중 불분리성 혼화제와 유동화제의 양을 작게 사용하는 것이 콘크리트의 품질 향상에 효과적이다.

7. 참고문헌

1. 한국지반공학회(1997), “ 깊은기초”, pp. 279 ~ 280
2. 건설교통부, 한국도로공사(1999), “수중 불분리성 콘크리트 설계 시공지침(안)”
3. 대한토목학회(1991), “콘크리트 수중 불분리성 혼화제 품질규격(안)”