

2025

하부기초 배제하중 하중판 실험

Backyoung Geotechnical and Construction Engineering Co., Ltd.



하부기초 품질관리 방법



국가공인 품질검사 전문기관

(주) 백 경 지 엔 씨



Contents

1. 회사소개	3
2. 현장재하시험 적용	6
3. 양방향 재하시험	7
4. 압축 정재하시험	12
5. 동재하시험	17
6. 수평재하시험	23
7. 건전도시험	26
8. 연직도 측정	30
9. 슬라임 측정	32
10. EWL 측정	37



BKGNC





GREEN : 친환경 사업의 개발

NEW : 새로운 창조정신

CHALLENGE : 도전정신

CHANGE : 변화 의욕

주식회사 백경지엔씨 :BKGNC (Since 2001)

회 사 연 혁	
2001. 09.	(주)백경지엔씨 설립
2001. 11.	엔지니어링 활동주체 신고
2004. 08.	박봉근 대표이사 취임
2005. 06.	미국 루지애나주립대학 초청 세미나 개최
2006. 02.	기업부설연구소 설립
2006. 11.	기술혁신형 중소기업 선정(INNO-BIZ)
2007. 05.	양방향 복동식 말뚝재하시험 특허 등록
2007. 08.	ISO 9001:2008 / KS Q ISO 9001:2009 인증
2009. 07.	품질검사전문기관 등록(서울지방 국토관리청)
2009. 11.	Hi-FA 및 H.G.G. 공법개발
2010. 03.	건설업 등록(보링 그라우팅)
2012. 04.	지식경제부 NEP 인증 획득(Hi-FA)
2013. 06.	조달청 우수제품 지정
2013. 11.	쿠웨이트 CAUSEWAY PJT 수주(현대, GS)
2014. 11.	제8회 대한민국 우수특허상 대상 수상(특허청)
2015. 09.	제 16 회 중소기업기술혁신대전 대통령상 수상
2015. 12.	제52회 무역의날 백만불 수출의 탑 수상
2017. 05	칠레 차카오 교량 PJT 수주
2017. 01	쿠웨이트 NRP #5, LNGI PJT 수주
2020. 12	파나마 Metro 3 Line PJT 수주
2021. 02	필리핀 NSCR-EX CP N-01 PJT 수주
2023. 08	필리핀 NSCR-EX CP S-04,05,06 PJT 수주

회 사 등 록 현 황
건설기술용역 등록(품질검사: 서울-3-17호)
건설업 등록(보링그라우팅 사업:동작-10-12-01)
기업부설연구소(제20061352호)
ISO 9001:2008/KS Q ISO 9001:2009 (SKQ-10203)

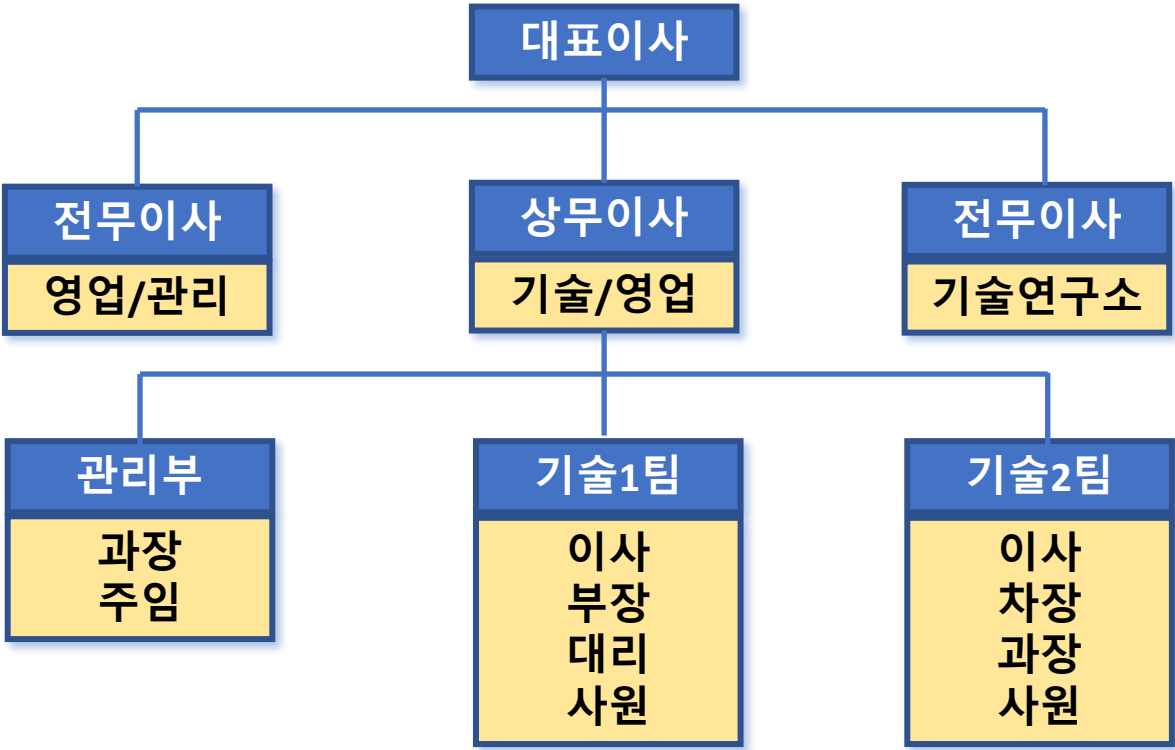
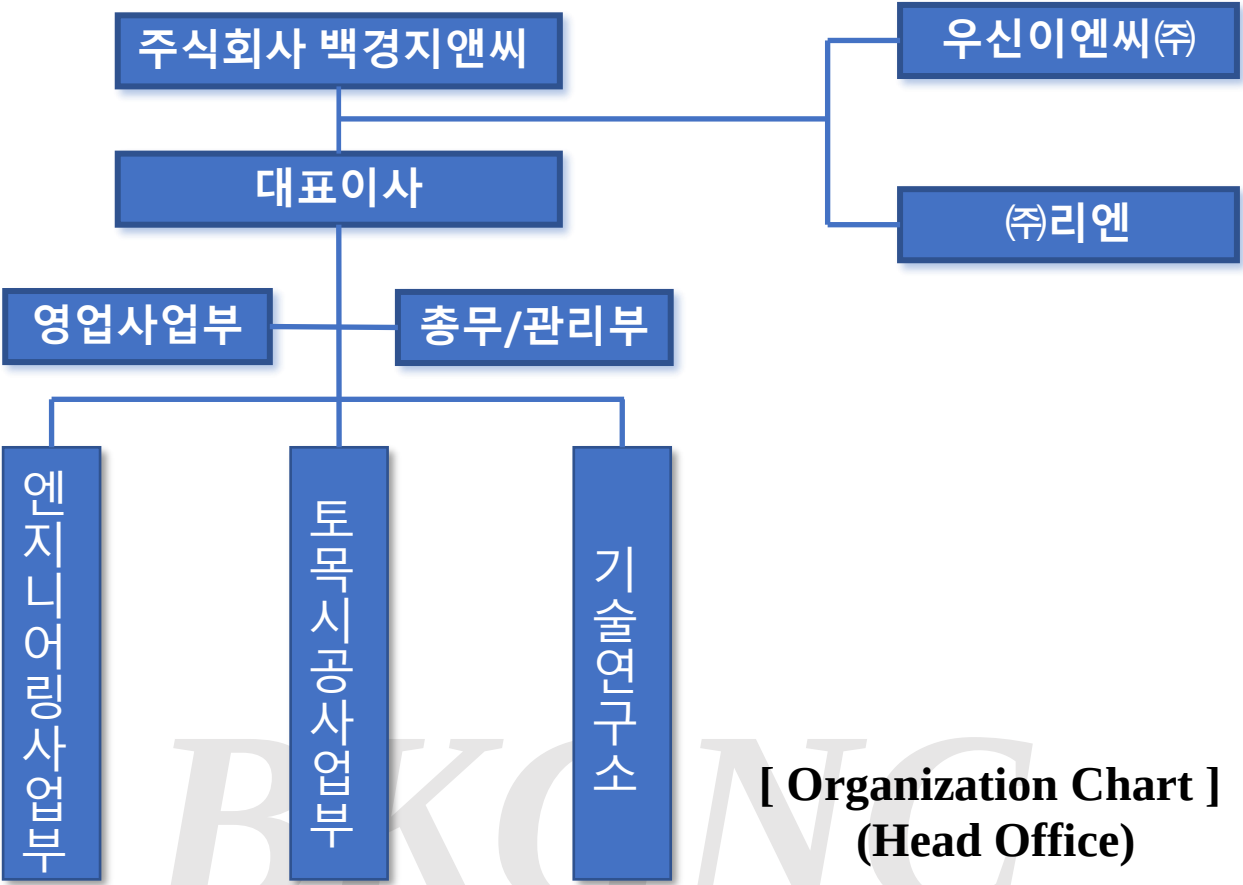
www.bkgnc.com

Tel. 02-588-7188

Fax. 02-588-8184

E-mail: loadtest@naver.com

엔지니어 보유 현황		
토질 및 기초 기술사	1 명	
공학 박사	2 명	
공학 석사	2 명	
공학사	10 명	토목기사, 재료기사



[Organization Chart (Engineering Part)]

❖ 국내 토목현장 주요 실적

NO	현장명	시공사	기간	말뚝 자원 (mm)	조건
1	새만금남북도로건설공사1단계4공구	SK건설	2019~	D 2000	육상
2	서해선(홍성~송산)복선전철 3공구	한라건설	2017~2018	D 3000	육상
3	동해선(포항~삼척) 철도건설 13공구	GS 건설	2017~2018	D 3000	육상
4	고성 하이화력 발전소 연료하역부두	SK 건설	2017	D 1,117.6	해상/육상
5	동해선(포항~삼척) 철도건설 12공구	현대건설	2016~2019	D2000~3000	해상/수상
6	파라다이스 시티 건설공사 1,2 단계	포스코/SK 건설	2014~2017	D 800~1000	육상
7	레고랜드 진입교락 건설공사	대림산업	2016	D 2500	수상
8	화양-적금 3공구 건설공사	현대산업개발	2014~2015	D 3000	해상
9	북항대교 건설공사	현대산업개발	2008~2012	D1500~2500	해상/육상
10	거금대교 건설공사	현대건설	2004~2006	D 2500	해상
11	마창대교 건설공사	현대건설/브이그	2005~2006	D1500, 3000	해상
12	명지대교 건설공사	롯데건설	2005~2007	D1500	해상
13	인천대교 연결도로 건설공사	현대건설	2005	D2000, 2500	연결
14	천성-눌차교 연결도로 건설공사	삼성건설	2007	D3000	해상
15	압해-운남 연결도로 건설공사	현대건설	2007	D2000	해상

❖ 해외 주요 실적

NO	현장명	수행 국가	시공사	기간	업무내용	조건
1	Philippines NSCR-EX CP S-04,05,06 Project	Philippines	현대건설	2023~2025	설계, 본 말뚝 시험	육상
2	Philippines NSCR-EX CP N-01 Project	Philippines	현대건설	2021~2024	설계, 본 말뚝 시험	육상
3	Panama Metro 3 Line Project	Panama	현대건설	2020~2021	시험 말뚝 시험	육상
4	Chacao Bridge Project	Chile	현대건설	2017~2018	설계, 본 말뚝 시험	해상
5	Al-Zour LNG Import Project	Kuwait	현대건설	2017~2018	설계, 본 말뚝 시험	해상/육상
6	Al-Zour LNG Refinery Project	Kuwait	현대건설	2016~2018	설계, 본 말뚝 시험	해상/육상
7	CAUSEWAY Project(Main Link)	Kuwait	현대건설	2013~2018	설계, 본 말뚝 시험	해상/육상
8	CAUSEWAY Project(Doha Link)	Kuwait	GS 건설	2015~2018	설계, 본 말뚝 시험	해상/육상
9	Az-Zour North Project	Kuwait	현대중공업	2013~2014	설계, 본 말뚝 시험	육상
10	Rabic II Project	Saudi	GS건설	2014	설계, 본 말뚝 시험	육상
11	Mubarak Al-kabeer Seaport Project	Kuwait	현대건설	2011~2013	설계, 본 말뚝 시험	해상
12	Caimap international seaport project	Vietnam	포스코 건설	2009~2011	설계, 본 말뚝 시험	해상
13	Ghana Kumasi KRI Road project	Ghana	중흥건설	2009~2010	본 말뚝 시험	육상
14	ISA Town Gate Interchange Project	Bahrain	성원건설	2008	본 말뚝 시험	육상
15	Chios Power Plant Extension Project	Greece	두산엔진	2006	본 말뚝 시험	육상

❖ 국내 건축현장 주요 실적

NO	현장명	시공사	기간	말뚝 자원 (mm)	조건
1	여의도 아크로 더원 신축공사	DL E&C	2023.10~	Φ800	BDPLT, CSL
2	청라업무시설 B현장 신축공사	한양	2023.02~	Φ1700	BDPLT, CSL
3	케이스퀘어 데이터센터 신축공사	현대건설㈜	2023.03~	Φ800	BDPLT, CSL
4	고양 풍동 C-1 BL 신축공사	포스코건설	2022. 10~	Φ1000,1200	BDPLT, CSL
5	명지 듀클레스 신축공사	신세계건설	2022.08~	BARRETTE	BDPLT, CSL
6	이천 자이더 파크 신축공사	자이 S&D	2022.08~	Φ1200	BDPLT, CSL
7	마곡지구 CP4 개발사업	태영건설	2022.08~	Φ1200, 1650	BDPLT, CSL
8	서울 숲 I-PARK 리버포레 2차 신축공사	현대산업개발	2022.05~	Φ800, 1000	BDPLT, CSL
9	LG U+ NC센터 신축공사	S&I corp	2022.01~	Φ1000	BDPLT, CSL
10	화성 동탄 2지구 이상 10BL 업무복합시설 신축공사	대방산업개발	2021.10~	Φ1000	BDPLT, CSL
11	힐스테이트 시화호 라군인테라스 신축공사	현대건설㈜	2021.10~	Φ1000	BDPLT, CSL
12	고양덕은 지식산업센터 신축공사	현대건설㈜	2021.10~	Φ1000	BDPLT, CSL
13	안산 시화 MTV C1-1BL 생활숙박 복합시설	현대건설㈜	2021.07~	Φ1200	BDPLT, CSL
14	송도 국제업무지구 B2 블록 주거복합	현대건설㈜	2020.07~	Φ1000~1200	BDPLT, CSL
15	서울 중앙지사 복합시설 개발사업	계룡건설㈜	2020.08~	Φ1000	BDPLT, CSL

❖ 국내 건축현장 컬설팅 주요 실적

No.	수행연도	현장명	발주처/시공사	비고
1	2022.	수원 고색2지구 C1블록 내 오피스텔 복합시설	DL E&C	
2	2022.	e 편한세상 검단 어반센트로 신축공사	DL E&C	
3	2022.	인천 중구 항동 7가 주상복합 신축공사	DL E&C	
4	2022.	힐스테이트 봉담 프라이드시티 신축공사	현대건설㈜	
5	2022.	힐스테이트 불로 포레스트 공동주택 신축공사	현대건설㈜	
6	2022.	힐스테이트 레이크 송도 4차 신축공사	현대건설㈜	
7	2022.	창원 힐스테이트 마크로엔 신축공사	현대건설㈜	
8	2022.	천안두정 37-1번지일대 공동주택 신축공사	현대건설㈜	
9	2022.	창원 대상공원 특례사업지구 공동주택 신축공사	현대건설㈜	
10	2022.	충북 음성 성본산업단지 B2BL 공도주택 신축공사	대우건설㈜	
11	2021.	힐스테이트 레이크 송도 3차 신축공사	현대건설㈜	
12	2021.	주안 1구역 주택재개발 정비사업	현대건설㈜	
13	2021.	네이버 데이터센터 세종 신축공사	현대건설㈜	
14	2021.	인천 용현 학익 1블록 도시개발구역 신축공사	현대건설㈜	
15	2021.	안양시 덕현지구 주택재개발 정비사업	DL E&C	

❖ 재하시험 적용 방법

방법	축방향 압축 정재하시험			양방향 재하시험 (Bi-Directional)
	사하중 재하방식 (Kentledge)	반력 말뚝 방식 (Reaction Pile)	반력 앵커 방식 (Reaction Anchor)	
개요				
재하물	시험하중의 120% 중량물 필요	무관	무관	무관
재하대	필요	필요	필요	필요
재하용량	사하중 확보 한계	약 1,000ton 미만	최대 4,000 ton	Jack 용량에 따라 최대 30,000ton 실적
준비작업	두부정리, 보강 재하대 설치 중량물설치	두부정리, 보강 재하대 설치 반력 시스템 설치	두부정리, 보강 앵커시공 재하대 설치	Telltale Rod Reference beam

구분	동적재하시험	정적재하시험		비고
	PDA	말뚝 머리 재하방식	양방향 재하방식	
측정 결과	지지력 확인	지지력 확인	지지력 확인	신뢰도 동적<정적재하시험
위치 조건 (해상/수상부)	불가	제한적 적용 가능	적용 가능	
주면/선단 구분	구분 가능	하중전이 필요	구분 가능	설계적용 시 필요
시공 공법에 따른 적용가능 유무	PRD(역타)적용불가 RCD 적용 가능	PRD(역타) 적용불가 RCD 적용 가능	모두 적용 가능 (주면, 선단 저항력 사전 검토 필요)	
사용 하중 한계	설계하중 2,000ton 미만	설계하중 2,000ton 미만	한계성 거의 없음.	
적용 우선 순위	②	③	①	

Bi-Directional Pile Load Test

- ★ 특허 0480297
- ★ 특허 10-0725510
- ★ 특허 10-1806527
- ★ 국제특허
PCT/KR2016/007761

- ♣ O-Cell 국산화 → Bi-Directional Cell
 - ▷ 2003년 양방향 재하장치 및 시험방법 국내 특허
 - ▷ 2007년 복동식 양방향 재하장치 국내 특허
 - ▷ 2016년 개선된 양방향 재하장치 국제 특허
- ♣ 해상, 수상부 재하시험 적용
 - ▷ 직경 3,000mm 현장타설말뚝 → 30,000ton 시험설비

❖ 관련 규정 및 적용 수량

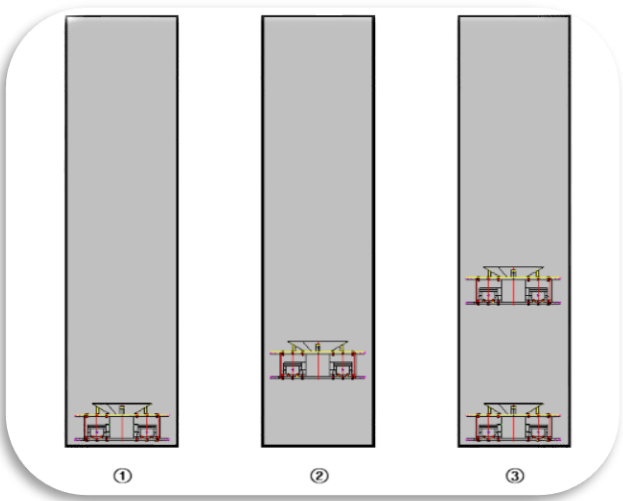
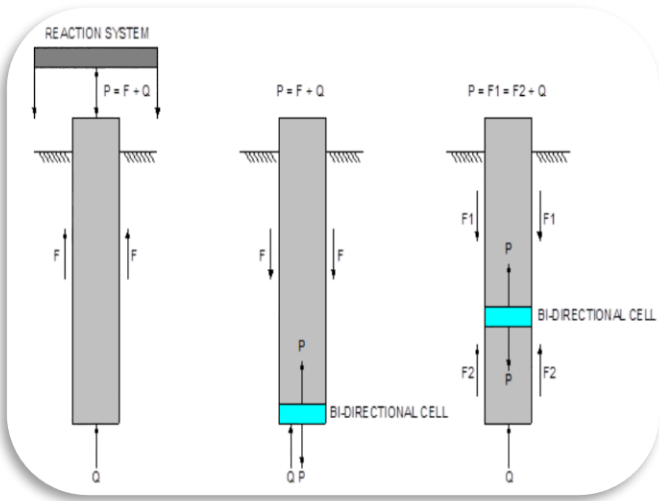
구분	국내 규정	국제 규정
적용 Code	KS F 7003 구조물기초 설계기준	ASTM D 8169 FHWA-HI-10-016 (Drilled Shaft)

구분	구조물기초 설계기준 해설 (2015) 도로교 표준시방서 (2018)	고속도로 전문시방서 (2012)	철도건설공사 전문 시방서 (노반편,2011)	LH 전문시방서(2012) 항만 및 어항공사 전문 시방서 (2014)
재하시험 수량기준	- 말뚝 본수의 1%이상 - 구조물별 1회 시행 (말뚝 본수 100본 미만)	❖ 구조물별 기초 수 기준 1~7기 : 1회 8~15기 : 2회 16~25기 : 3회 26기 이상 : 4회	250본당 1회 - 구조물별 1회 시행	250본당 1회 - 구조물별 1회 시행

❖ 재하시험 적용 하중 기준

구분	일반설계	철도설계	해상구조물	한계상태 설계시
하중조건	상시, 지진시	상시, 지진시, 운행시	운영시, 폭풍시, 지진시, 출동시	사용한계, 극한한계, 극단한계
재하시험 적용	상시	상시	운영시	사용한계(변위), 극한한계(하중)

❖ 양방향 재하시험 메카니즘



❖ $2P = F + Q$

❖ 선단과 주변 지지력 분리 측정

❖ Single Level Test : ①, ②

❖ Multi Level Test : ③

❖ 양방향 재하장치 특징



구분	내용
①	Hydraulic Jack
②	Upper Plate
③	Lower Plate
④	Concrete Flow Hole
⑤	Tremie Guide Funnel
⑥	Rebar Insert Hole
⑦	Tremie Insert Hole
⑧	Telltale Rod Insert Pipe



❖ 양방향 재하시험 흐름도

❖ 양방향 재하시험 특징

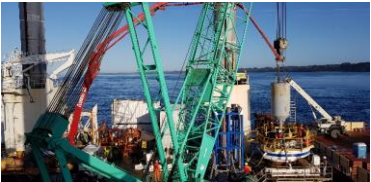
- ① 주면과 선단부 하중, 변위 분리 측정
- ② 말뚝 Size 및 재하하중의 한계극복 → 최대 직경 3,000mm 말뚝 30,000 ton 재하 실적
- ③ 해상/수상부 적용 가능
- ④ 공기 단축 가능 및 협소한 공간에서 적용 가능
- ⑤ 작업의 안정성 확보
- ⑥ 적용 전 사전 검토 필요 → 선단과 주면의 저항성이 시험하중 이상이 되어야 함.

❖ 말뚝 Type별 양방향 재하시험 적용

육상부 원형 현장 타설말뚝 (철근망 Type)

		
양방향 재하장치	하중전이 센서 부착	센서 및 유압 라인 설치
		
재하장치 철근망 연결	철근망 근입	레미콘 타설

해상부 원형 현장 타설말뚝 (철근망 Type)

		
해상 작업선단 구성	양방향 재하장치	철근망 및 재하장치 근입
		
레미콘 타설	양생 후 건전도시험	양방향 재하시험

❖ 말뚝 Type별 양방향 재하시험 적용

PRD 말뚝 (Column Type)



양방향 재하장치



탐측관 설치



재하장치 컬럼 연결



재하장치 컬럼 근입



레미콘 타설



양방향 재하시험

바릿트 말뚝



양방향 재하장치



하중전이 센서 설치



재하장치 하부 철근망 연결



재하장치 철근망 근입



근입 완료, 레미콘 타설

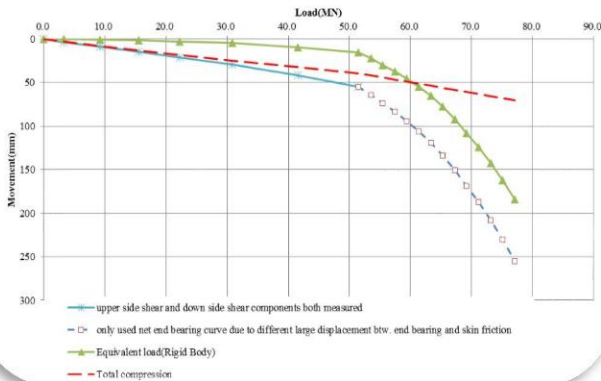


양방향 재하시험

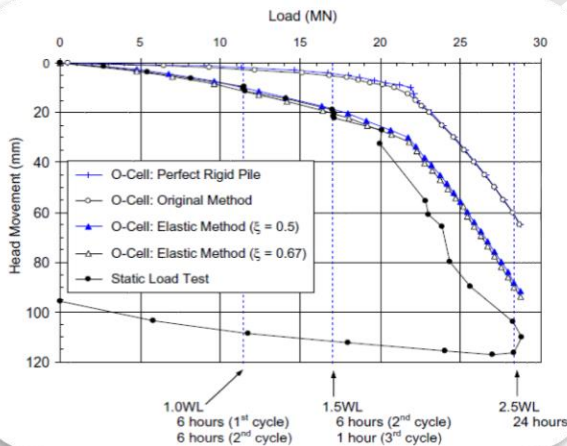
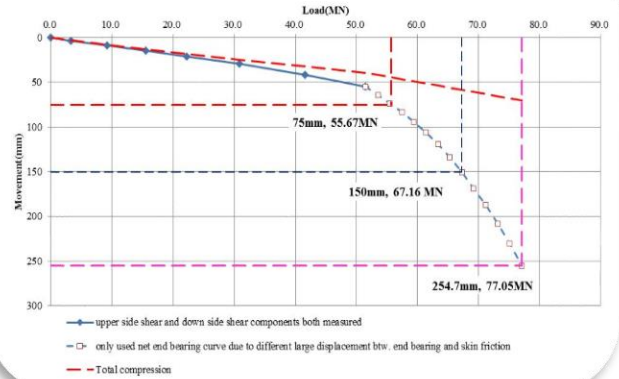
❖ 양방향 재하시험 분석 방법

- ① 강체 해석법(Rigid Body) → 말뚝 몸체를 강체로 가정, 구해석법
- ② 탄성체 해석법(Elastic Body) → 말뚝 몸체를 탄성체로 해석, 국제 적용 해석법
- ③ 외삽법(Extrapolated) → 극한 하중 해석, 국제 적용 해석법

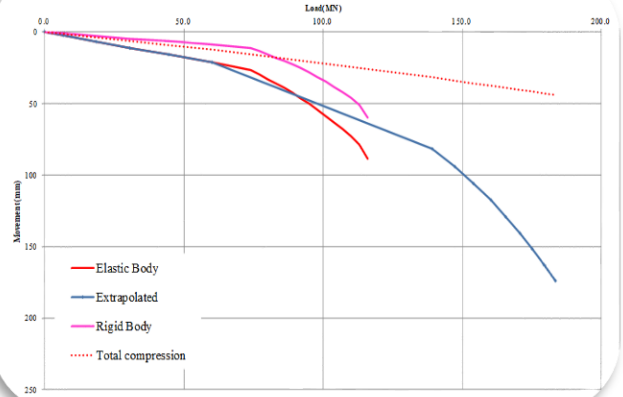
Equivalent Top Loaded Settlement Curve (Rigid VsElastic)



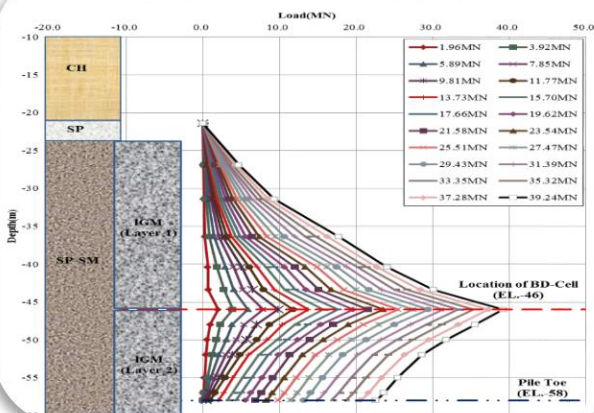
Equivalent Top Loaded Settlement Curve (Elastic Method)



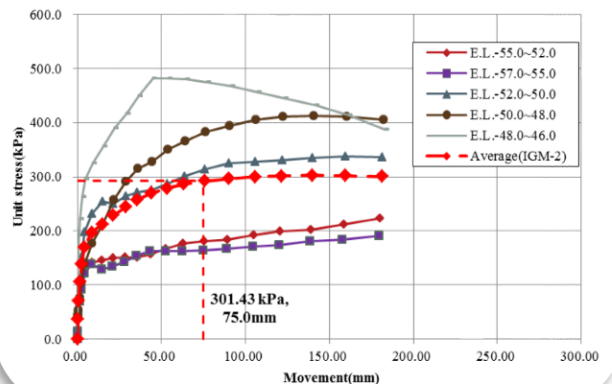
Equivalent Top Loaded Settlement Curve



Load Distribution Curve (Including interpolation curve btw. The last strain gauge and pile toe)



Downward Unit Side Shear(IGM:Layer-2)



Axial Compressive Pile Test

- ★ 4000ton 급 재하대 보유
- ★ 자동 계측 시스템 보유

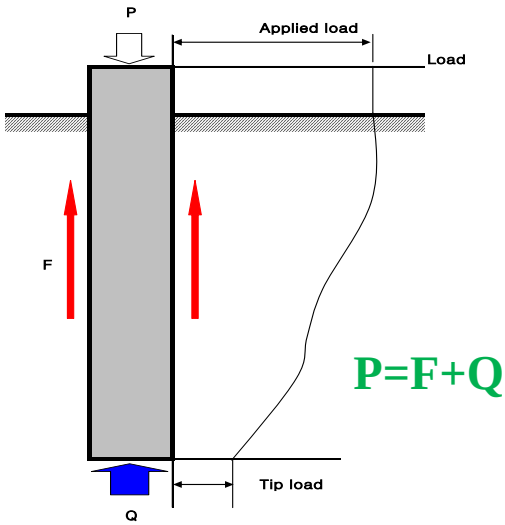
- ♣ 말뚝 머리 재하방식의 압축 정재하시험
 - ▷ 반력 말뚝 이용 → 최대 1760ton(현장타설말뚝)
 - ▷ 반력 앵커 이용 → 최대 3500ton(현장타설말뚝)
 - ▷ 사하중 이용 → 최대 1000ton(강관말뚝) 재하 실적 보유
- ♣ 해상부 재하시험 적용
 - ▷ 반력말뚝 이용 → 최대 1,600ton 재하실적보유

반력 말뚝 방식	반력 앵커 방식	사하중 방식	해상부 시험 방식
 	 	 	 

❖ 관련 규정 및 적용 수량

구분		국내 규정	국제 규정	
적용 Code		KS F 2445 구조물기초 설계기준	ASTM D 1143 FHWA-HI-10-016 (Drilled Shaft)	
구분	구조물기초 설계기준 해설 (2015) 도로교 표준시방서 (2018)	고속도로 전문시방서 (2012)	철도건설공사 전문 시방서 (노반편,2011)	LH 전문시방서(2012) 항만 및 어항공사 전문 시방서 (2014)
재하시험 수량기준	- 말뚝 본수의 1%이상 - 구조물별 1회 시행 (말뚝 본수 100본 미만)	❖ 구조물별 기초 수 기준 1~7기 : 1회 8~15기 : 2회 16~25기 : 3회 26기 이상 : 4회	250본당 1회 - 구조물별 1회 시행	250본당 1회 - 구조물별 1회 시행

❖ 메커니즘 및 주요 특징



주요 특징

- 실제 구조물 하중 거동과 유사한 시험방법.
- 재하시험 방법 중 가장 신뢰도가 높다.
- 반력 시스템 구성의 한계성(최대 ,3500ton)
- 수상, 해상 적용시 준비 사항이 많다.
- 작업 공간이 크다.
- 재하대 및 작업에 대한 위험성이 높다.

❖ 반력 시스템 설치 주요 규정 사항

제안 규정서	반력 SYSTEM	REFERENCE SYSTEM	사하중 SYSTEM	비고
기초의 재하시험 기준 및 해설 (한국지반 공학회 기초기술 위원회)	L>3.0D, 1.5m 이상	L1>2.5D(from 시험말뚝) L2>2.5d(from 반력말뚝)	L>3.0D, 1.5m 이상	기준빔을 사용 말뚝에 설치
		L1>2.5D or L1>2.0m (from 시험말뚝) L2>3.0d(from 반력말뚝)		기준빔을 가설 말뚝에 설치
ASTM D 1143	L1>5.0D or L1>8ft(2.5m) (from 시험말뚝)	L1>5.0D or L1>8ft(2.5m) (from 시험말뚝)	L>5ft(1.5m) 이상	국제 통용기준
BS 8004	L1>3.0D or L1>2.0m (from 시험말뚝)	L1>3.0D or L1>2.0m (from 시험말뚝)	L1>3.0D or L1>2.0m	

❖ 하중-측정시간 주요 기준

Procedure A	하중단계	측정시간/기준	적용기준
Quick Test	계획하중의 5% 단계	최소 4분 ~15분	본 말뚝 확인용 극한 확인용

Procedure B	하중단계	측정시간/기준	적용기준
Maintained Test	설계하중의 200%(단일) 설계하중의 150%(군말뚝) 25% 단계 재하	최소 20분 (Creep < 0.25mm/hr) → 최대 2hr 최종하중단계 (Creep < 0.25mm/hr→ 12hr) (Creep > 0.25mm/hr→ 24hr)	본 말뚝 확인용 극한 확인용

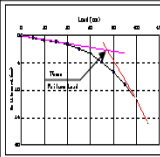
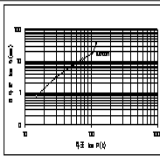
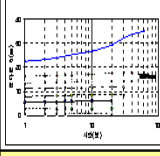
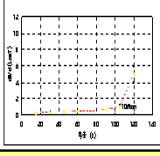
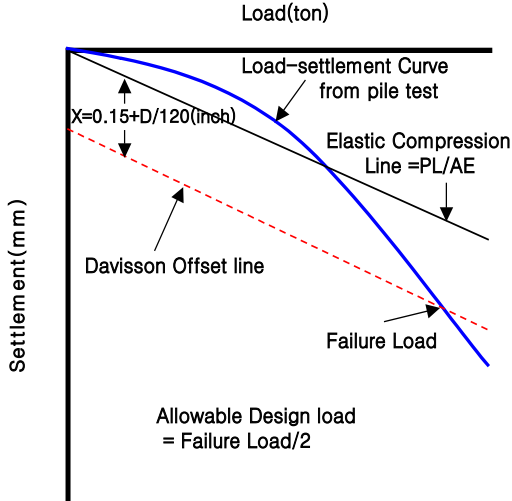
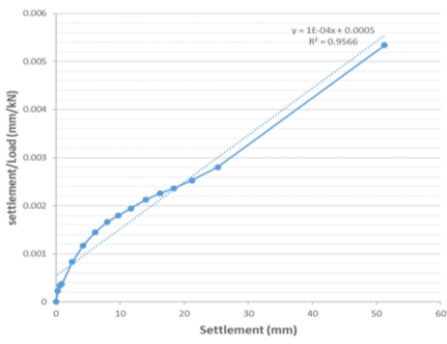
Procedure C	하중단계	측정시간/기준	적용기준
Loading in Excess of Maintained Test	최대시험하중 이후 추가 하중 재하 10% 단계로 재하	최소 20분 (Creep < 0.25mm/hr) → 최대 2hr(최종하중단계)	추가 지지력 확인용

Procedure D	하중단계	측정시간/기준	적용기준
Constant Time interval loading Test	계획하중의 20% 단계로 재하	1hr(각 단계 하중)	일정 시간 기준 재하

Procedure E	하중단계	측정시간/기준	적용기준
Constant Rate Penetration Test	(0.25~1.25mm/hr) → 연약지반 (0.75~2.5mm/hr) → 일반 사질토	말뚝 직경의 15% 변위 시까지 재하	일정 침하율 준 재하

Procedure G	하중단계	측정시간/기준	적용기준
Cyclic Loading Test	최대시험하중의 25,50,75,100% 반복재하 12.5% 단계 재하	최소 20분 → 최대 2hr (각 사이클 최종하중단계)	잔류 및 장기 거동 확인용

❖ 분석 방법 및 적용 기준

구분	분석방법	
항복하중분석	P-S, Log p-Log s, s-Log t, p/ds/d(log t)	 P-S 고서법  Log P - Log S 고서법  S-Log t 고서법  P- ds/d(Log t) 고서법 ▶ 곡선이 가장 크게 변했을 때의 하중 ▶ 곡선이 급변했을 때 절점에 대응하는 하중 ▶ S - log t 곡선 중 하중이 증가함에 따라 직선이 급변하는 하중. ▶ 곡선이 급변하는 점에서의 하중
Davisson 분석 (1973)	Dia<610mm(PL/AE+3.81+D/120) Dia>610mm(PL/AE + D/30)	
Chin's Method (1970)	하중-변위 관계를 쌍곡선으로 가정 기울기의 역수가 하중으로 계산 최대값 제공	
침하량 분석	전침하량 분석(F.S 3.0)	0.1D (Hansen, 1963) 0.05D(AASHTO)
	잔류 침하량 분석(F.S 2.0)	0.025D(DIN 4026)

❖ 분석 방법 및 적용 기준

기준명 또는 제안자	전 침하량기준 (mm)	허용지지력을 구할 때의 안전율	비 고
독일 (DIN 4014) 기준	20		현장타설말뚝
Hansen (1963)	0.1 D	3.0	
AASHOTO	0.05 D	3.0	
뉴욕시 기준	25.4		
Terzaghi / Peck (1961)	50.8	2.0	
Terzaghi / Peck (1961)	25.4		
Touma / Reese (1974)	25.4	2.0	
우크라이나 건축시공 과학연구소	80		부등침하에 민감하지않은 구조물
	40		부등침하에 민감한 구조물
중국 도로연구원(1974)	40		대구경현장타설말뚝
일본 토질공학회 (1993)	0.1D		제2한계하중
영국 기초공업기준	0.1D		
일본 토질공학회	25		
러시아	40 ~ 80		
De Beer	0.3D		현장타설말뚝

번호	기준명 또는 제안자	잔류 침하량 (mm)	허용지지력을 구할 때의 안전율	비고
①	미국 AASHTO	6.3		
②	미국 보스톤 건축 기준	12.7	2.0	
③	Woodward (1972)	12.7	1.5	
④	일본건축기초구조설계기준. 동 해설	0.025 D	3	타입말뚝
⑤	독일 DIN 4026 기준	0.025 D	2	타입말뚝
⑥	파리 Veritas 사무소 (1964)	20	2	
⑦	캐나다 건축기준 (1960)	25		
⑧	덴마크 기초실용기준 DS:415-1965	0.1D		

High Strain Dynamic Load Test

★ 특허 제 10-0779486

- 장비 보유현황
- ▷ PDA PAK Model → 1대

▷ PDA 8G Model → 2대

▷ SPT Rod → 1대
- 현장타설말뚝 용 Drop Hammer System
- ▷ Ram Weight 39.1ton

❖ 동재하시험 방법 분류

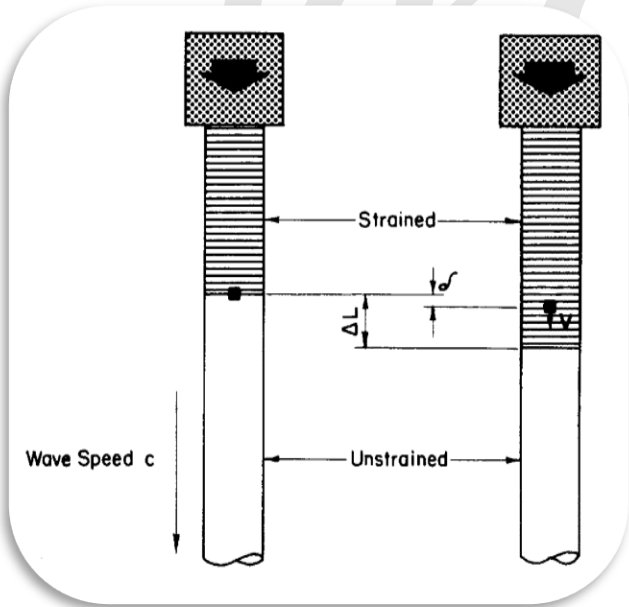
구분	내용	비고
EOID (End Of Initial Driving)	시항타시 수행하는 시험으로 시공관리기준을 선정하기 위한 시험 방법	EOID, EOD
Restrike Test	시공 후 일정기간이 경과 후 수행하는 시험으로 시간경과효과 및 지지력 증감 효과를 확인하기 위한 시험방법	

❖ 관련 규정 및 적용 수량

구분		국내 규정	국제 규정	
적용 Code		KS F 2591 구조물기초 설계기준	ASTM D 4945 FHWA-HI-05-043 (DRIVEN PILE)	
구분	구조물기초 설계기준 해설 (2015) 도로교 표준시방서 (2018)	고속도로 전문시방서 (2012) 항만 및 어항공사 전문 시방서 (2014)	철도건설공사 전문 시방서 (노반편,2011)	LH 전문시방서 (2012)
재하시험 수량기준	말뚝 본수 기준 시항타 시험 : 1% 재항타 시험: 1% 본항타 시험: 1%	Footing별 말뚝 본수 기준 1~80본 : 2회 81~160본 : 3회 161본 이상 : 4회	말뚝 본수 기준 시항타 시험 : 1% 재항타 시험: 1%	말뚝 본수 기준 시항타 시험 : 1% 재항타 시험: 1%

❖ 동재하시험 개요 및 원리

구분		내용	비고
원리		1차원 파동 전달 이론 (1-D Wave Propagation Theory) - 항타시 발생하는 말뚝 몸체의 응력과 가속도를 측정하여 지지력, 응력 및 에너지등을 측정하는 방법	
현황		1960년대 미국에서 처음실용화 (Case Western대학의 Goble교수) - PDA(PDI), FPDS(TNO), DPAS(일본 건설성 토목연구소), 현대건설기술연구소 - 국내 1994년 최초도입, 한해 수천본 시험	
특징	장점	- 간편하고 비용저렴, 표준시험 : ASTM D-4945 - 사하중이 필요없고 항타기 또는 낙하추만 있으면 시험 가능 - 항타관리(말뚝손상여부, 항타시스템의 적절성, 항타에너지) - 지지력 확인(CASE, CAPWAP), 선단 및 주면마찰력 분리 가능	
	단점	- 지지력 예측의 신뢰도가 정재하시험에 비해 떨어짐 - 특이한 지반조건하에서 정재하시험 결과와 상이함	



• Wave speed $c = \frac{\Delta L}{\Delta t} \left(= \sqrt{\frac{E}{\rho}} \right)$

• Strain $\varepsilon = \frac{\delta}{\Delta L} = \frac{\delta}{\Delta t \cdot c}$

• Particle Velocity $V = \frac{\delta}{\Delta t}$

• Rearrangement $\varepsilon = \frac{V}{c}$

• EA → $F = \frac{EA}{c} V = ZV$

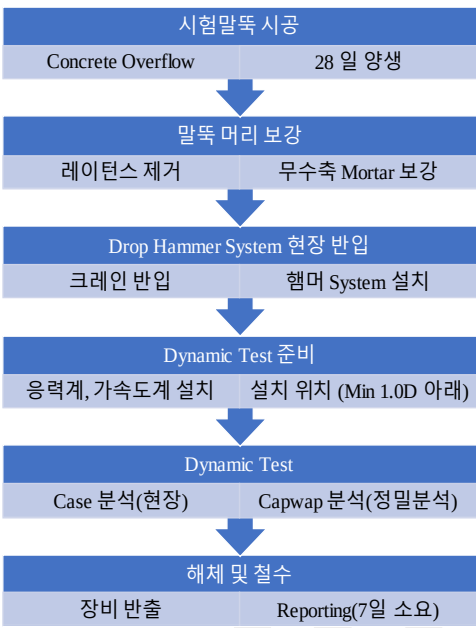
햄머의 타격에 의해 말뚝 내부에 압축 응력파가 발생하게 되고 발생한 응력파에 의해 지반 저항 및 말뚝 재료의 단면, 밀도 및 저항 변화에 의해 상향의 응력 반사파가 발생된다.

이때 발생한 응력파는 말뚝 상부의 힘과 속도로 분석할 수 있다.

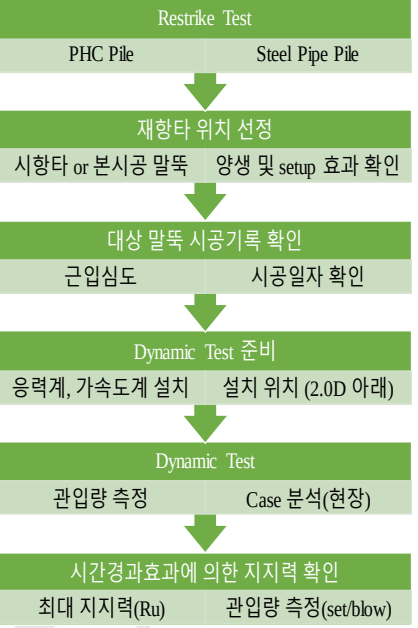
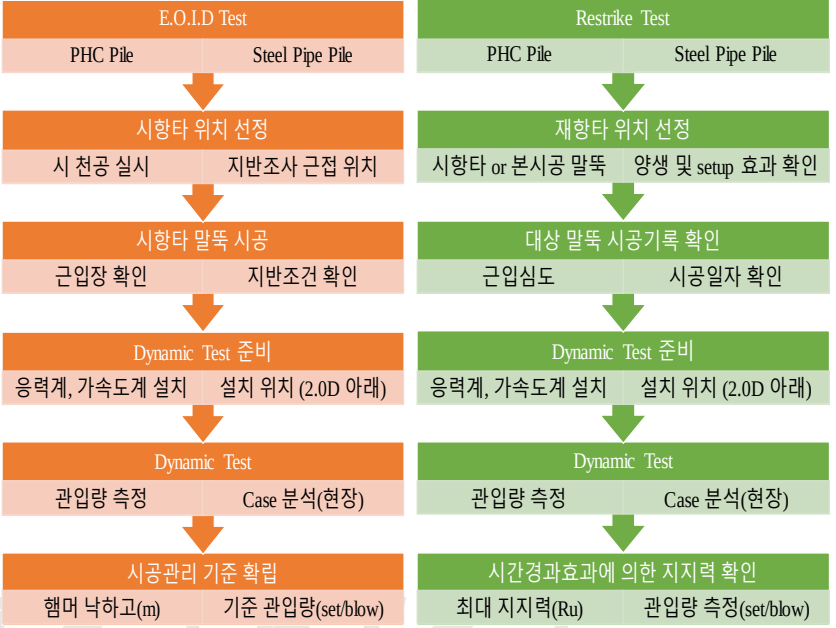
파동 방정식은 두개 함수의 중첩으로 이루어지며 하나는 말뚝 머리에서 선단으로 다른 하나는 선단에서 말뚝 머리로 전달되며 두 파형 모두 동일한 wave speed(C)를 가진다는 원리에서 시작된다.

❖ 동재하시험 흐름도

❖ 현장타설말뚝 동재하시험



❖ 기성말뚝 동재하시험

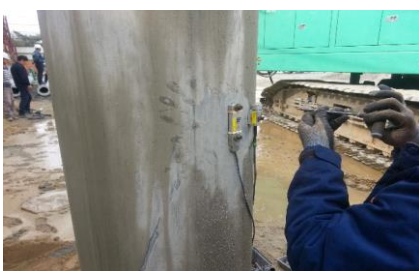


❖ 동재하시험 수행과정

기성말뚝 동재하시험 과정



센서 설치 준비



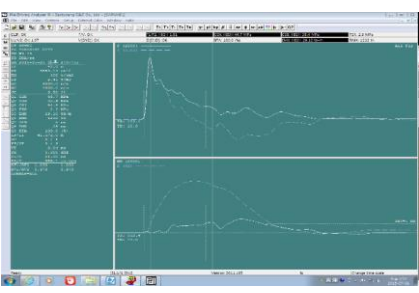
센서 설치(응력계, 가속도계)



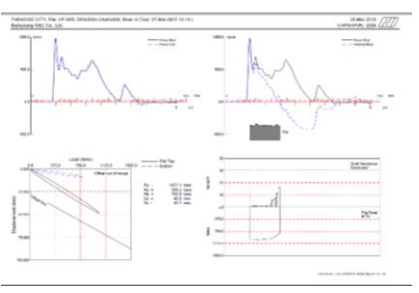
현장 동재하시험



관입량, Rebound 량 측정



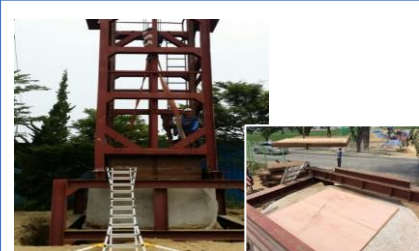
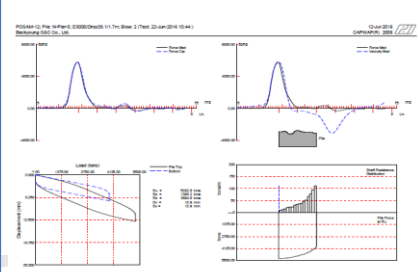
Case 분석(관리기준 선정)



Capwap 분석(정밀해석)

❖ 동재하시험 수행과정

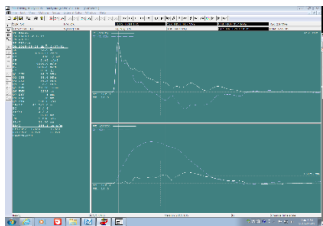
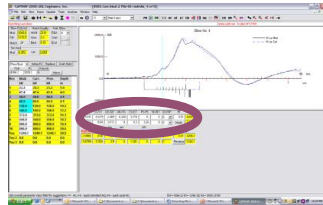
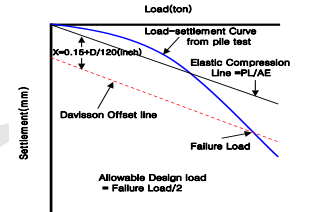
현장타설말뚝 동재하시험 과정

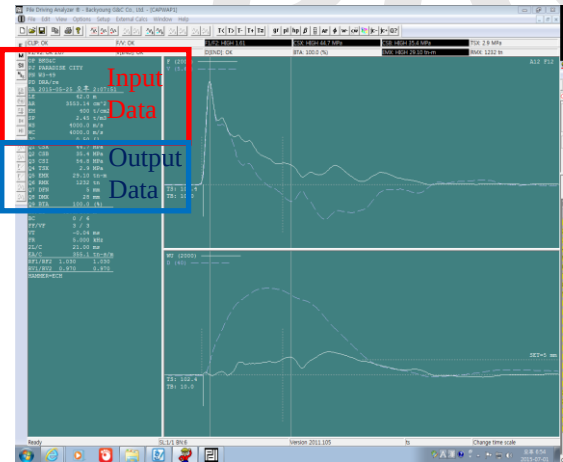
		
말뚝머리 보강	센서 설치(응력계, 가속도계)	리더(쿠션재) 설치
		
Hammer 설치	현장 동재하시험	Case 및 Capwap 분석(정밀해석)

❖ 동재하시험 수행 예

 공사명: 육상부기성말뚝 공종: 동재하시험 위 치: CP-500 내 용: 제정임 일 기: 2019.01.13		 PROJECT: AI-Door Refinery Project Construction Type: Steel Pipe Pile Test Pile No: TP01 Substance: PDA TEST(COLD) Date: 2016.09.02	
육상부 기성말뚝 (강관, PHC, 복합말뚝)	해상부 PHC말뚝 (Vertical, Raked Pile)	해상부 강관말뚝 (Vertical, Raked Pile)	현장타설말뚝 (직경 800~3,000mm)

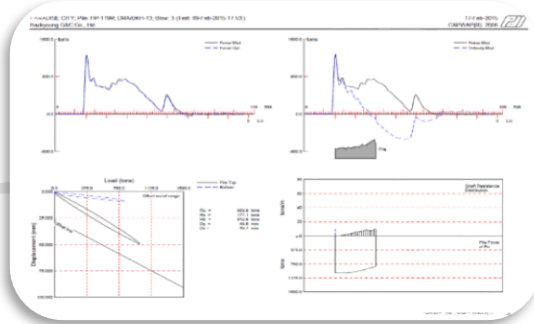
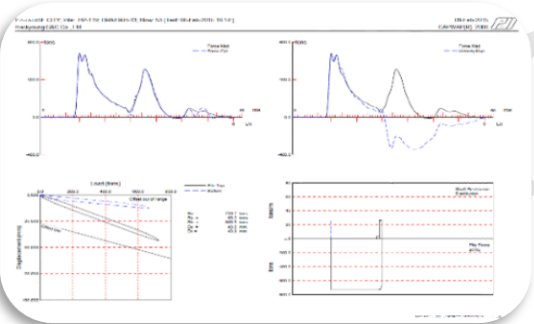
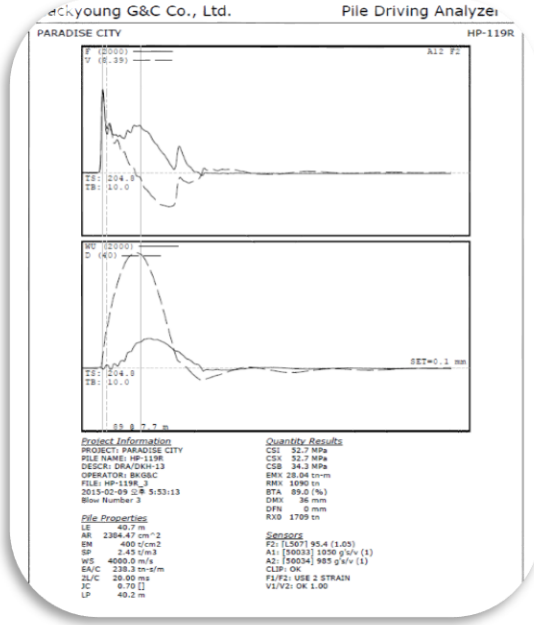
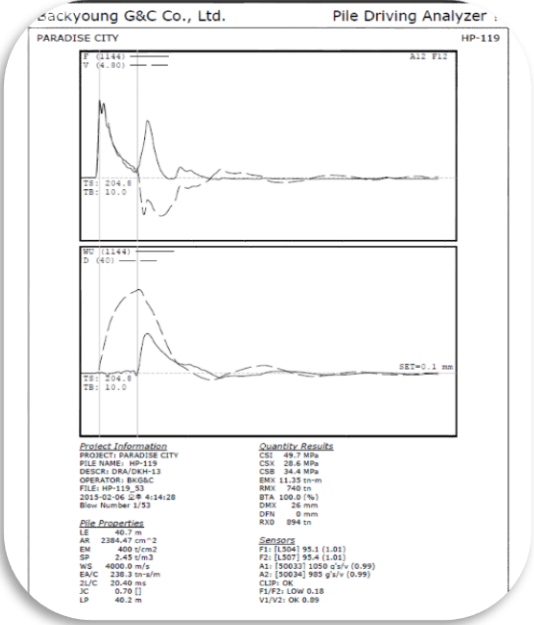
❖ 동재하시험 분석방법

구분	내용	비고
Case Method	- 현장에서 주요 출력화면을 가지고 간략 분석 - Damping Factor 가정(지반조건 참조) (RMX, CSB, CSX, EMX, BTA etc.)	
Capwap Method	- Capwap program을 활용하여 정밀분석 - Signal Matching program - 응력 재분배에 의한 선단 / 주면 마찰력 구분 가능 - 안전율 2.5	
Davisson Method	- 말뚝 재료 및 지반 탄성거동량 고려 - 직경 610mm 미만:(PL/AE+3.81+D/120) - 직경 610mm 이상:(PL/AE+D/30)	



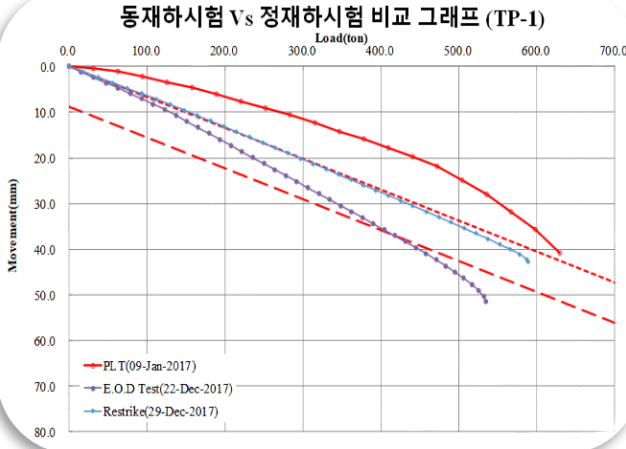
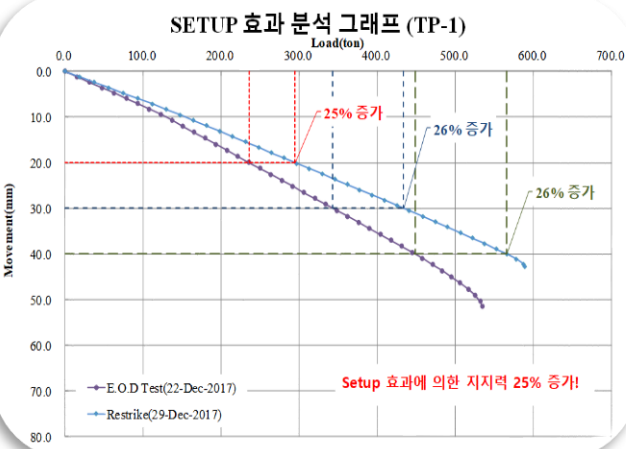
Division	Data	Description
Input Data	Le (m)	센서 부착위치
	AR(㎠)	말뚝 단면적
	SP	Specific Weight(con 2.45, Steel 7.85)
	WS	Wave Speed(Con 4000, Steel 5160)
	JC	Damping Factor(0.4~1.0)
	Lp(m)	관입심도
Output Data	CSX	게이지 위치에서의 압축 응력
	CSB	말뚝 선단에서의 압축 응력
	CSI	말뚝 내 최대 측정 압축응력
	TSX	말뚝 내 최대 측정 인장응력
	EMX	게이지 위치에서의 최대 항타에너지
	RMX	최대 정적 극한 지지력
	BTA	말뚝 건전도 지수

❖ 동재하시험 분석 예



시항타 동재하시험 결과

재항타 동재하시험 결과



정, 동재하시험 결과 비교

Lateral Pile Load Test

★ 150ton 사하중 보유

★ 자동 계측 시스템 보유

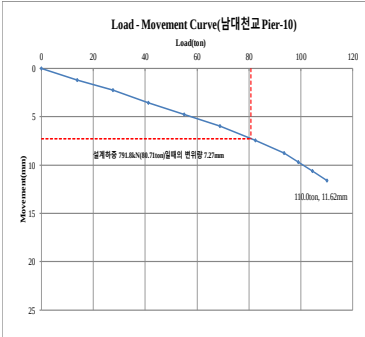
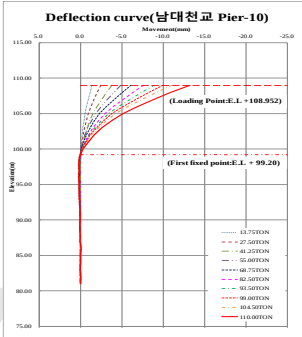
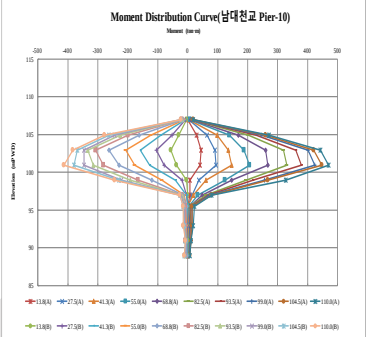
육상부 수평재하시험 방법

- ▷ 반력 말뚝 이용 → 일대일 동시재하, 삼대일 반력 재하
- ▷ 사하중 이용 → 최대 150ton(현장타설말뚝)

해상부 수평재하시험 방법

- ▷ 반력말뚝 이용 → 최대 16m 간격 재하실적보유

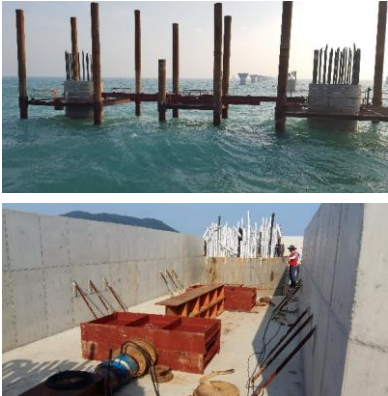
수평재하시험 방법

구분	간편재하 방식	Deflection 측정	Moment 측정
측정 예			
측정 방법	➢ 말뚝 상부 횡방향 하중-변위 측정	➢ 경사계 측정 ➢ 심도별 변위 측정	➢ 하중전이 측정 ➢ 심도별 모멘트 측정
측정 목적	➢ 설계 수평력 확인 ➢ 극한 수평력 확인	➢ 제 1부동점 확인	➢ 최대 모멘트 발생 지점 확인

관련 규정 및 적용 수량

구분		국내 규정	국제 규정	
적용 Code		구조물기초 설계기준	ASTM D 3966 FHWA-HI-10-016 (Drilled Shaft)	
구분	구조물기초 설계기준 해설 (2015) 도로교 표준시방서 (2018)	고속도로 전문시방서 (2012)	철도건설공사 전문 시방서 (노반편,2011)	LH 전문시방서(2012) 항만 및 어항공사 전문 시방서(2014)
재하시험 수량기준	▪ 구조물별 1회 (검토 필요시)			

❖ 수평재하시험 방법(육상부)

구분	반력말뚝 이용	사하중 이용	해상부 반력말뚝 이용
측정 사진			
측정 방법	➢ 일대일 동시재하 & 3대일 반력 재하	➢ 사하중 블럭을 이용한 재하 방식	➢ 일대일 동시재하 ➢ PC House 내 반력 재하
경제성	➢ 가장 저렴	➢ 사하중 사용으로 고가	➢ 수상 설치 장비 필요

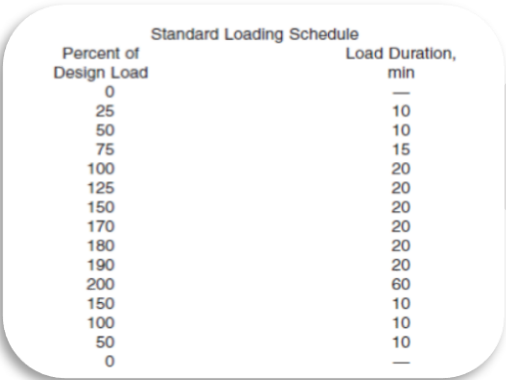
❖ 수평재하시험 방법(해상부)

구분	수상조건 반력말뚝 이용	육상화 조건하 반력 말뚝 이용
수행 사진		
수행 조건	➢ 반력 말뚝 이용(일대일 동시재하) ➢ 계측 용 작업대 제작 필요	➢ PC house 내 일대일 동시 재하 ➢ 시험말뚝을 PC house에서 분리

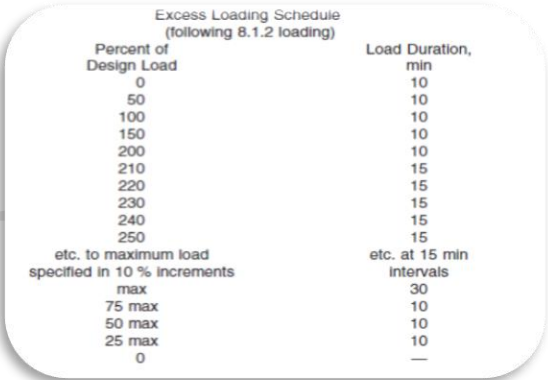
❖ 수평재하시험 관련 기준

구분	KS 규정	ASTM D 3966	비고
반력말뚝 or 반력 앵커 설치 규정	없음.	말뚝 직경의 5배 최소 8 ft 이상 이격	
사하중, 고정단		최소 5 ft 이상 이격	
Reference Beam 설치		말뚝 직경의 5배 최소 8 ft 이상 이격	
사용 하중주기		Procedure A. Standard Loading Maintained Test→ Optional	

❖ 수평재하시험 wogk 방법 및 분석 방법

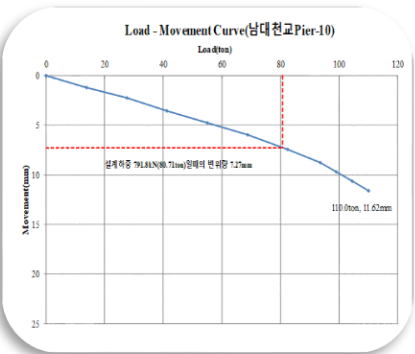
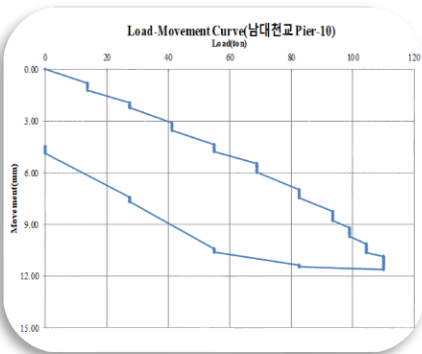
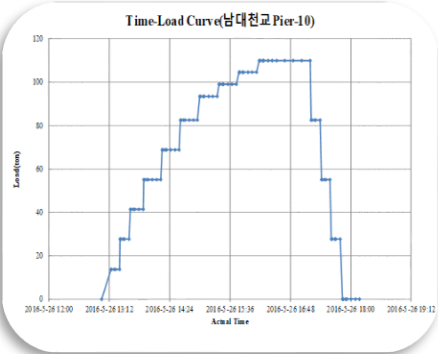


Procedure A. Standard loading



Procedure B. Excess loading

구분	적용 기준	관련 규정	비고
허용 변위 분석	15.0mm	도로교 표준 시방서	
극한 변위 분석	0.1 D	구조물 기초 설계기준	



Cross hole Ultra Sonic Logging Test

★ CHA 장비 4 set 보유

♣ Concrete 품질검사 방법

- ▷ 탐측관 사이의 초음파 송,수신 (최대 3.5m)
- ▷ Concrete 재료분리, 단면 변화 등 측정

❖ 관련 규정 및 적용 수량

구분	국내 규정	국제 규정
적용 Code	구조물기초 설계기준	ASTM D 6760 FHWA-HI-10-016 (Drilled Shaft)

▽ 건전도시험 수량 규정 (구조물기초 설계기준 해설, 2015, 404 page)

평균말뚝길이(m)	검사 수량 (%)	비고
0 ~ 30	20	검사수량은 교각당 소요되는 말뚝 총수량에 대한 백분율 (단, 교각당 최소 1개소 이상)
30 이상	30	

▽ 건전도시험 탐사용 튜브 설치 규정 (구조물기초 설계기준 해설, 2015, 404 page)

말뚝직경(D)m	권장 튜브 설치개수	검측경로의 수	비고
D<0.6	2	1	ASTM D6760 에는 직경대비 0.25~0.3m에 한개의 탐측관 수량을 배치하고 2012년 개정에는 최대8개 설치하도록 권장.
0.6<D<1.2	3	3	
1.2<D<1.5	4	6	
1.5<D<2.0	5	10	
2.0<D<2.5	7	15	
2.5<D<3.0	8	21	

▽ 건전도시험 탐사용 튜브 재원 (ASTM D 6760)

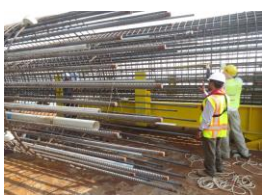
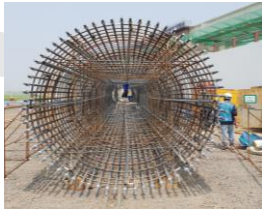
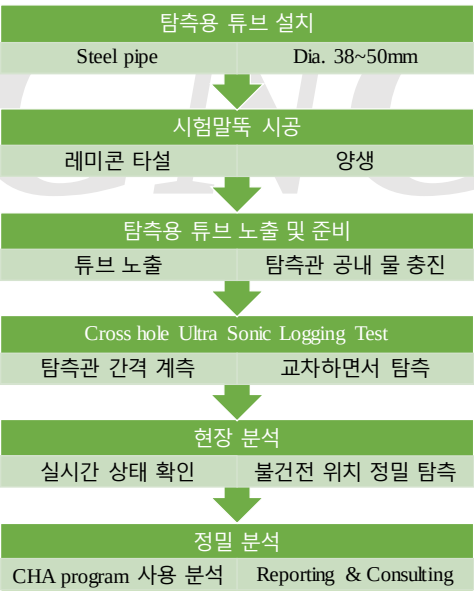
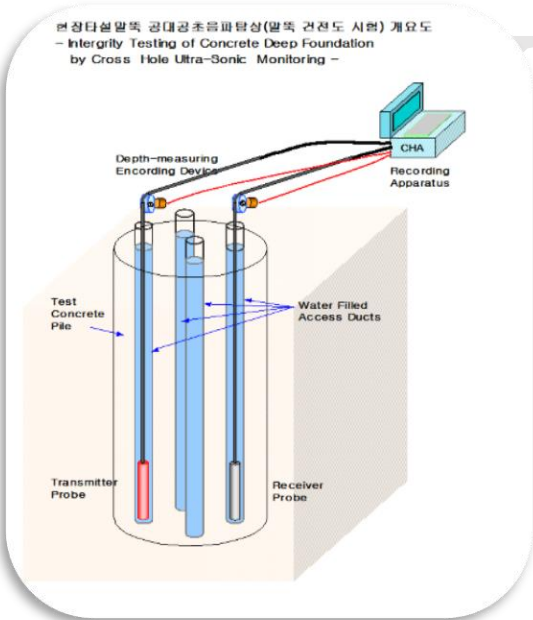
구분	튜브 직경(mm)	재질	연결방식	시험시기
내용	최소 38 ~ 50	Steel Pipe	Coupler 연결	타설 후 96시간 이후

❖ 건전도 시험 장비 및 시험방법

▽ 건전도시험 장비 제원 (CHA)

시험기기명	규격	수량
 Cross hole analyzer Cross Hole Sonic Analyzer (CHA) <제작사>미국 Pile Dynamics Inc.	Main Unit (signal generating and conditioning electronics)	1
	pair of ultrasonic probes with data storage	1
	Meter wheel & Depth length-mete	2
	Tube receiver probe with 60m cable *. Cross-hole Analyzer software 2002.0007	1
	*. Cross-hole Analyzer software 2006.0009	1

▽ 건전도시험 모식도 및 흐름도



❖ 건전도 시험 분석방법

▽ 건전도시험 판정기준

구조물기초 설계기준 해설 "제5장 깊은기초 p405"의 <표 5.4.7>에 의하여 동일 심도별 검측경로별 점수를 합산하여 검측 경로의 수로 나눈 평균값을 구하여 종합 판정한다.

말뚝심도 (단면) 평균점수 = $(1/n) \sum (\text{해당심도에서의 검측 경로별 프로파일 그래프의 점수})$

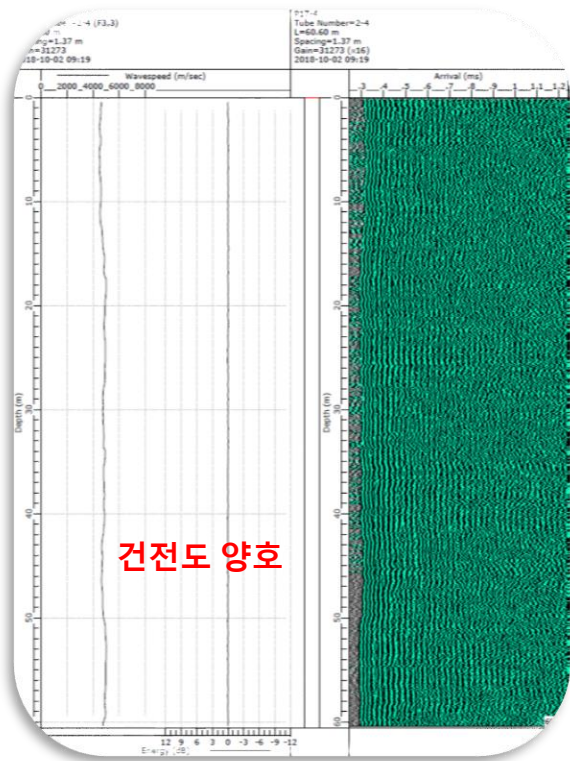
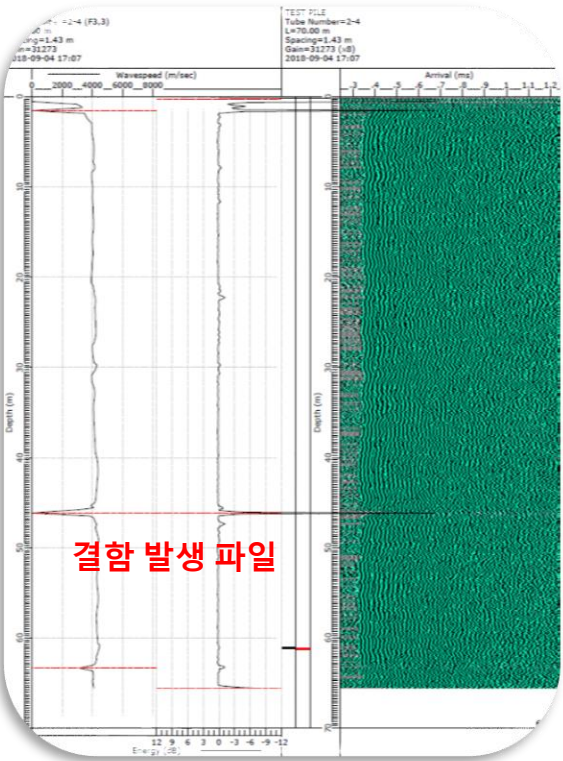
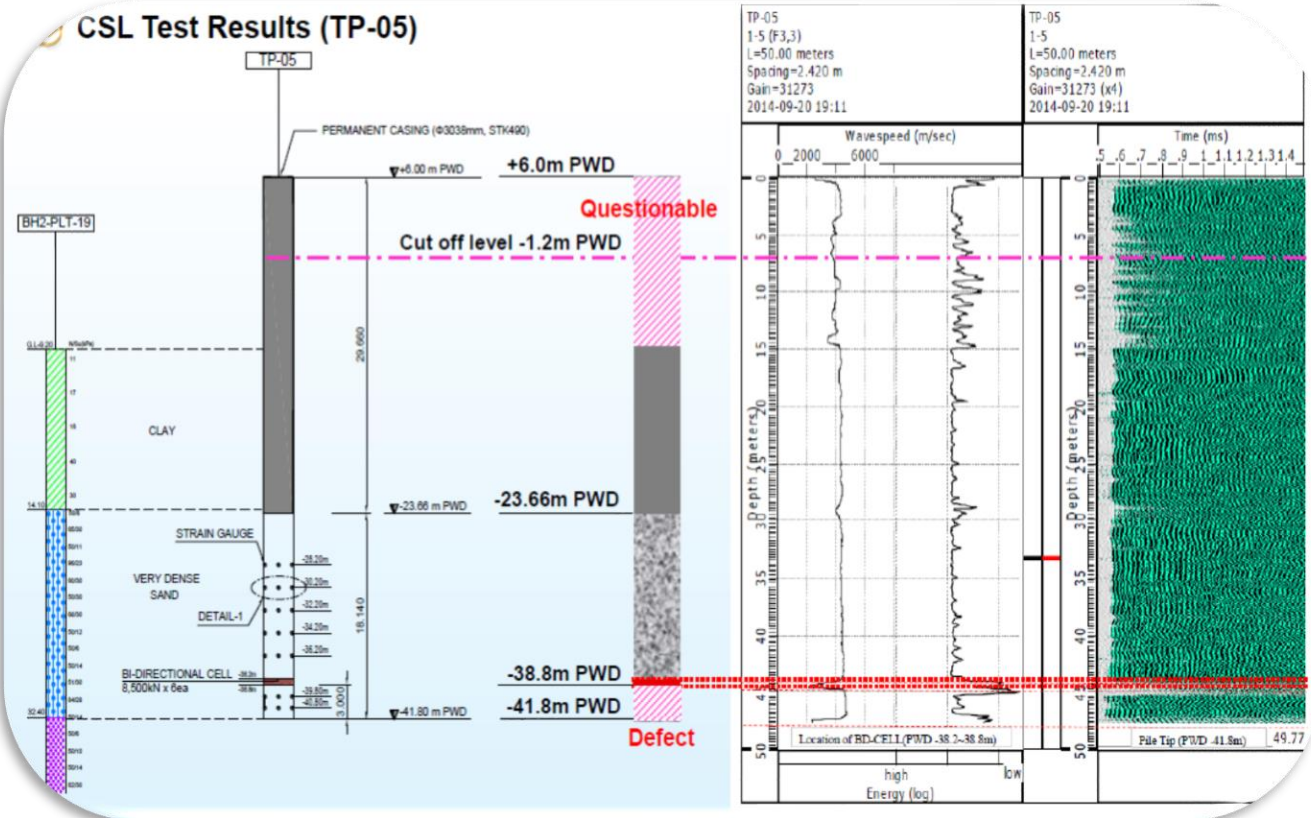
▽ 건전도시험 등급 판정기준(구조물기초 설계기준 해설, 2015, 405page)

등급	판정기준	점수	비고
A	- 음파 주시곡선의 신호왜곡(Signal distribution)이 거의 없음. - 건전한 콘크리트 초음파 전파속도의 10% 이내 감속에 해당하는 전파시간 검측	0	V:전파속도 S:튜브간의 거리 T:전파속도
B	- 초음파 주시곡선의 신호왜곡이 다소 발견. - 건전한 콘크리트 초음파 전파속도의 20% 감소에 해당하는 전파시간 검측	30	
C	- 초음파 주시 곡선의 신호왜곡의 정도가 심함. - 건전한 콘크리트 초음파 전파속도의 20% 이상 감소에 해당되는 전파시간 검측	50	
D	- 초음파 신호 자체가 감지되지 않음. - 전파시간이 초음파 전파속도 1500m/sec에 근접	100	

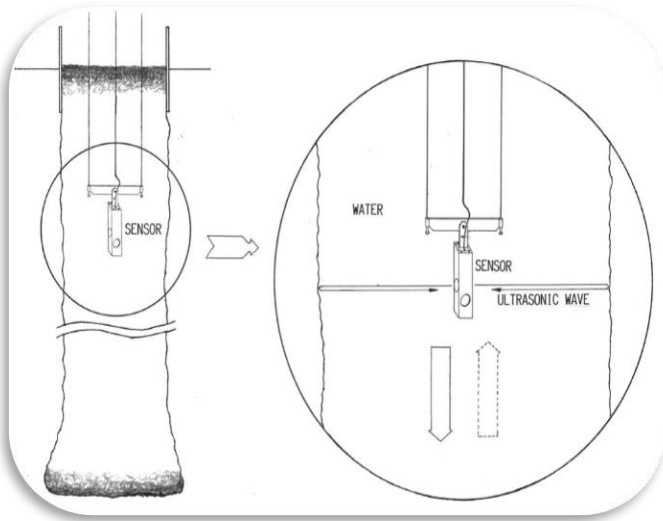
▽ 건전도시험 등급 판정기준(FHWA, 2010)

Velocity Reduction VR(%)	Signal Distortion/Strength	Concrete Rating	Indicated Conditions
0 – 10	none/normal energy reduction≤6dB	Good(G)	Acceptable quality concrete
10 – 20	minor/lower energy reduction6.1 to 9dB	Questionable(Q)	Minor contamination, intrusion, or questionable quality concrete
>20	severe/much lower energy reduction>9dB	Poor/defect (P/D)	Contamination, intrusion, and/or poor quality concrete
No signal	None	No. Signal (NS)	Intrusion or severe defect; could also be caused by tube debonding
≈60	severe/much lower energy reduction≥12dB	Water(W)	Water intrusion or water-filled gravel intrusion with few or no fines

❖ 건전도 시험 분석결과 예



❖ 연직도 측정 개요



- 초음파를 이용한 연직도 측정은 기본 매질을 물로 하여 다른 매질에 초음파가 도달하고 반사되는 초음파의 속도를 이용하여 정해진 기록용지에 거리로서 나타내게 된다.
- 이는 초음파가 각 매질에 따라 속도가 일정한 특징 및 반사 되서 돌아오는 초음파를 감지하여 측정된 초음파 속도 및 시간을 이용하여 반사되는 매질까지의 거리로서 나타내게 된다.

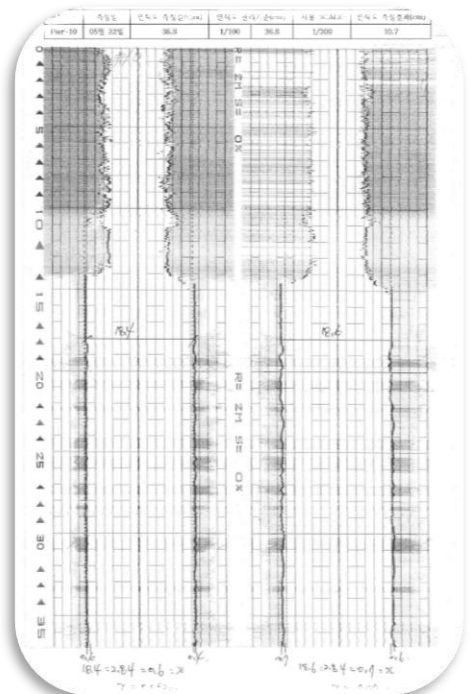
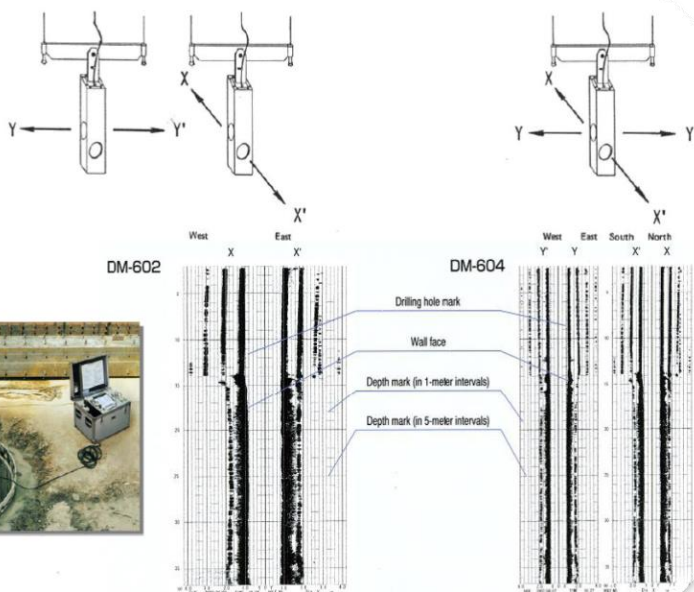


Drilling Monitor DM-602 / DM-604



- 연직도 관리를 위한 기준 : 1/100
(고속도로공사 전문 시방서
6-2 기초공 케이싱 및 기계설치 참조)

❖ 연직도 측정 결과





슬라임 측정

(Slime Meter Test)



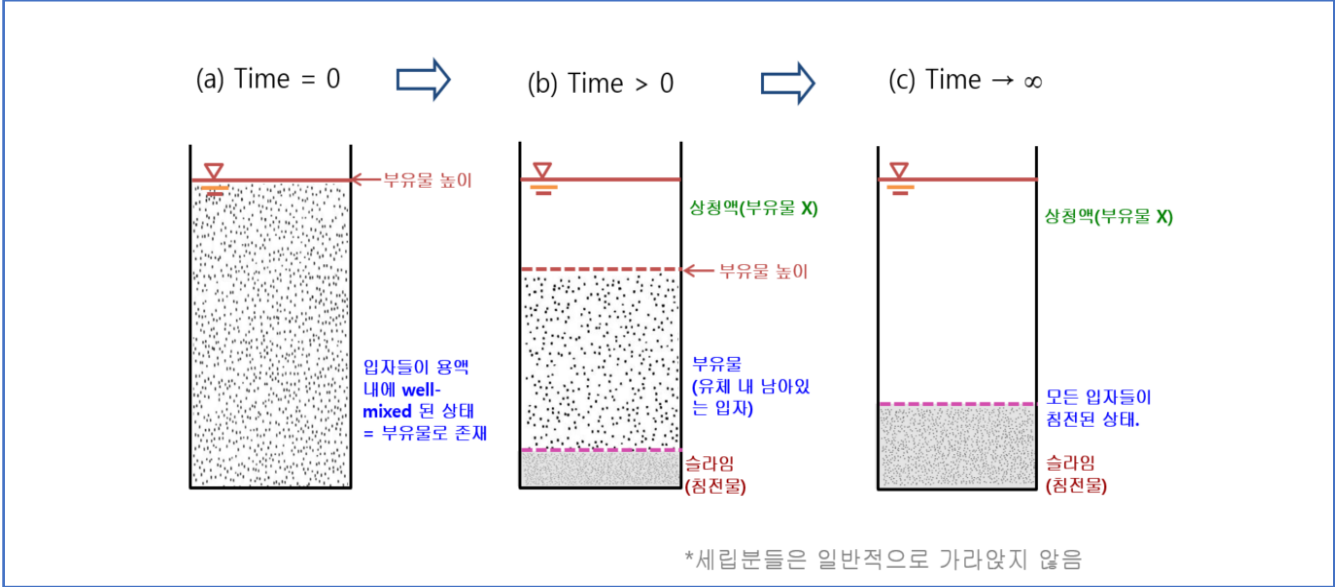
BKGNC

❖ 슬라임 측정 개요

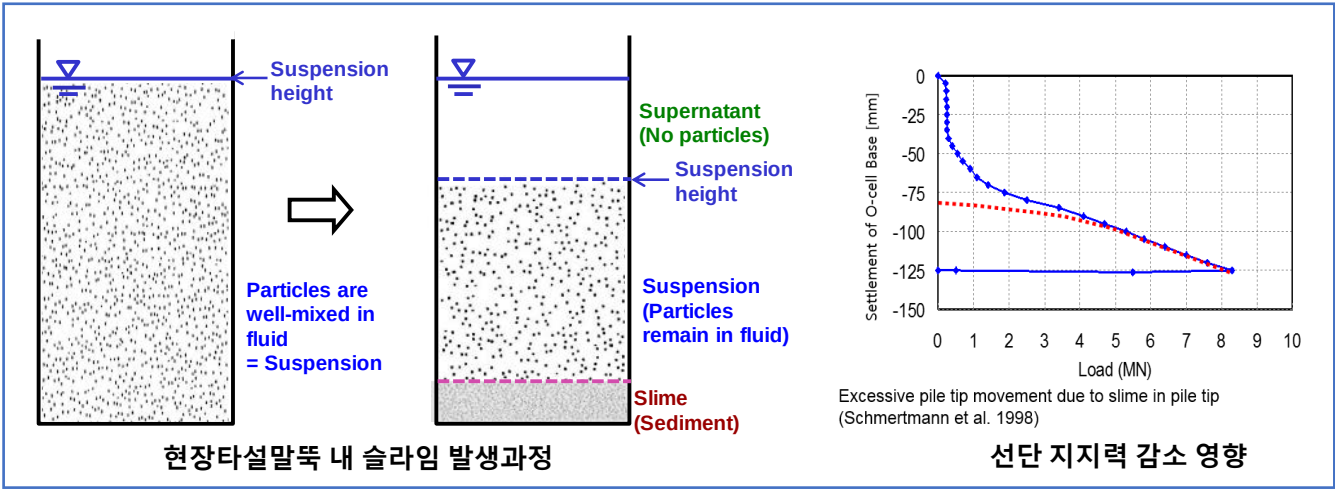
▽ 슬라임이란?

구분	내용	비고
Slime 정의	- 굴착 토사중 지상으로 배출되지 않고 굴착공 바닥에 잔존하다가 굴착 중지와 동시에 곧바로 침전된 것 - 순환수 혹은 굴착공내의 수중에 떠 있던 미립자가 굴착 중지 후 시간이 경과함에 따라 서서히 공저에 침전된 것	
발생 Risk	침하의 원인이 됨, 말뚝의 선단 지지력 감소 원인.	

▽ 슬라임 형성과정

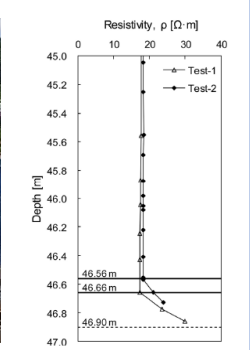
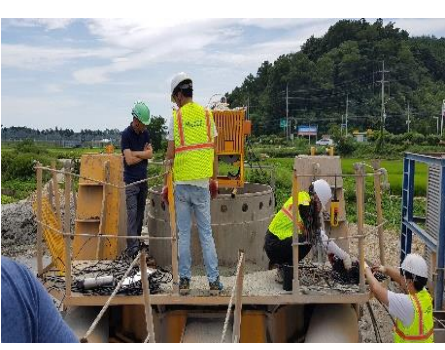


▽ 현장타설말뚝 시공상 슬라임의 영향



❖ 슬라임 측정 개요

▽ 슬라임 측정 방법

기존 방법	전기 비저항 측정 방법
	
- 다림추를 이용한 재래식 인력 측정 방법 - 정량적 측정 불가 - Only 경험적 측정 - 사분량(Sand contents) 측정 불가	- 전기 비저항 센서를 이용한 정량적 측정 방법 - 온도보정을 통한 정확도 향상 - 신속하고 간단한 구동장치 기능 - 측정 data의 높은 객관성 - 조사결과 파일 저장, 심도에 따른 Profile 제공

▽ 슬라임 측정 기준

구분	국내 기준	국제 기준
규정	최대한 제거	76.2mm
적용 문헌	-	AASHOTO 2010
적용 장비 사진		
적용 장비명	Slime Meter	MINI-SID (Mini Shaft Inspection Device)
개발자	고려대학교 지반연구실	Den Brown(USA)
원리	전기 비저항 특성 활용	Inspection Bell 영상 촬영
특징	매질에 따른 전기 비저항 특성 활용으로 정량적 슬라임 측정 가능	Bell 내부에 고압의 물을 주입 순환시켜 슬라임 과소 평가 위험성

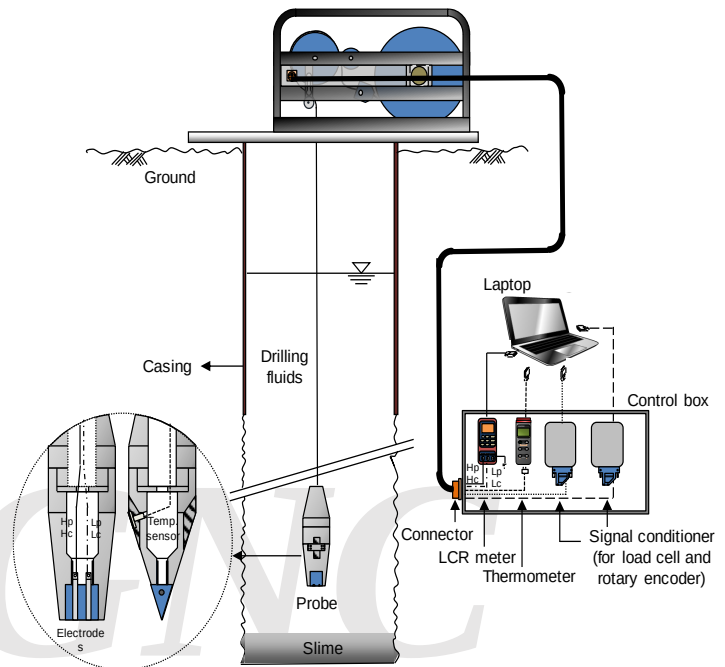
❖ 슬라임 측정

▽ 슬라임 측정 원리

Slime Meter 측정원리

- 전기저항, 온도, 케이블 장력, 심도 측정
- 굴착공 내 굴착토와 유체 혼합물의 전기비저항은 유체의 전기비저항과 흙입자의 간극률에 의해 결정됨.
- 유체로 포화된 흙의 전기비저항은 간극률에 반비례함.
- 공내 부유물질이 많거나 점도가 큰 경우 전기비저항 수치 증가함.

Slime Meter 구성 요소



▽ 슬라임 측정 결과

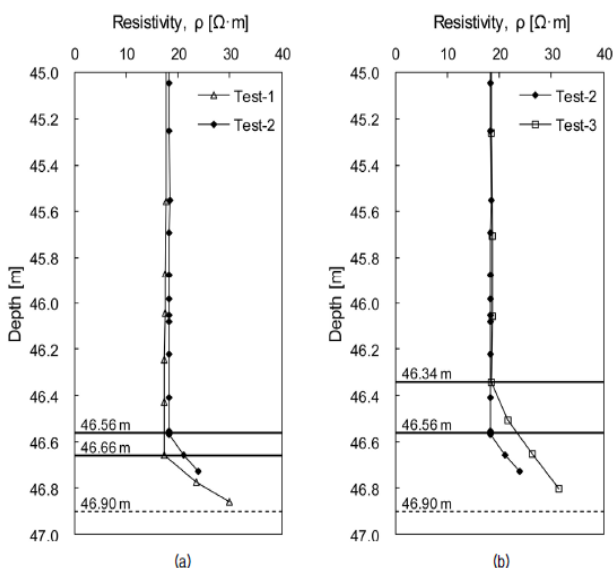
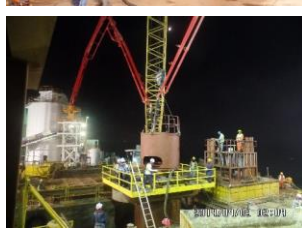


Fig. 8. Comparison of experimental results: (a) Test-1 and Test-2; (b) Test-2 and Test-3

- TEST-1(1차 슬라임 제거 직후)
 - 중앙부 슬라임 두께 240mm
- TEST-2(1차 슬라임 제거 후 9시간 경과)
 - 중앙부 슬라임 두께 340mm
- TEST-3(1차 슬라임 제거 후 9시간 경과)
 - 굴착공 가장자리 슬라임 두께 560mm

→ Mechanical Pump 사용 슬라임 추가 제거

❖ 슬라임 처리 방법

Mechanical pump (All Casing공법)	Surging (RCD공법)	Air Lifting (Tremie Pipe)	수중불분리 Concrete 사용
 	 	 	 
Plunger 왕복운동에 의한 피스톤 원리를 이용하여 슬라임 처리	Suction Pump를 이용한 역순환 장치로 슬라임을 처리하고 공내 청수 유지	Tremie Pipe에 고압의 Air를 가하여 슬라임을 띄우고 타설하여 슬라임 배출 처리	수중불분리 concrete를 사용하고 Plunger를 사용하여 슬라임 배출 처리

❖ 슬라임 미터 기술 증빙자료

➤ 관련 특허 등록 3건

- 특허 제 10-1135599 호
- 특허 제 10-1189072 호
- 특허 제 10-1918348 호

➤ 발표 논문 SCI 2건, 비SCI 2건

- 전기 비저항을 이용한 현장타설말뚝의 슬라인층 두께 평가 (2012.10, 한국지반공학회)
- 굴착공내 슬라임 두께 평가를 위한 슬라임미터의 개발 및 적용 (2018.10, 한국지반공학회)
- Slime thickness evaluation of bored piles by electrical resistivity probe (Journal of Applied Geophysics, 2014)
- Slime-meter for assessment of slime thickness based on electrical properties in borehole (Automation in Construction, 2020)





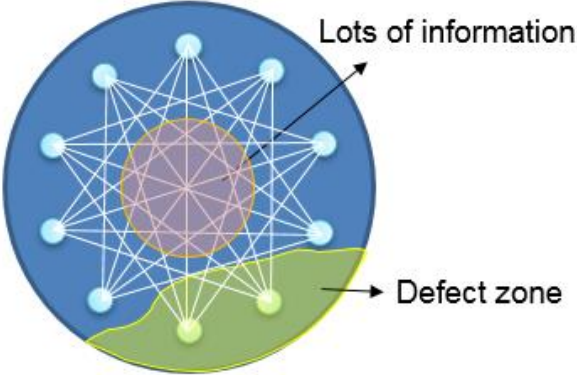
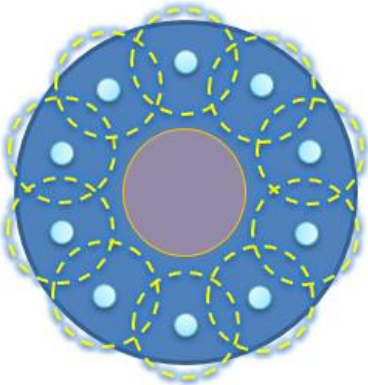
건전도시험

(Electromagnetic Wave Logging)

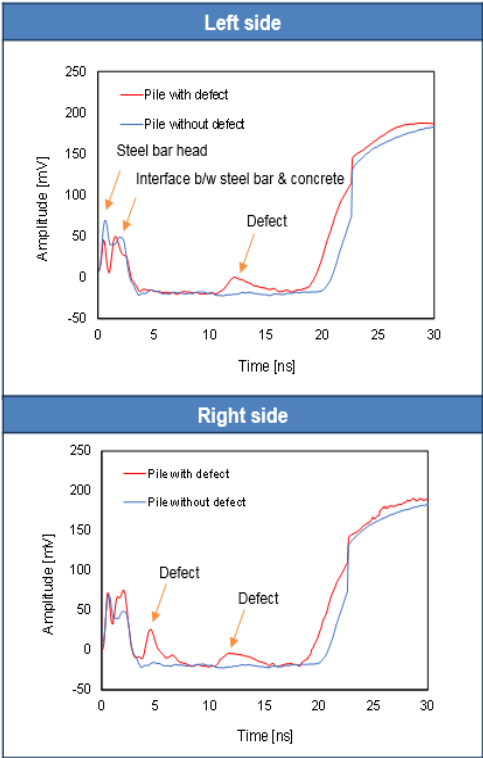
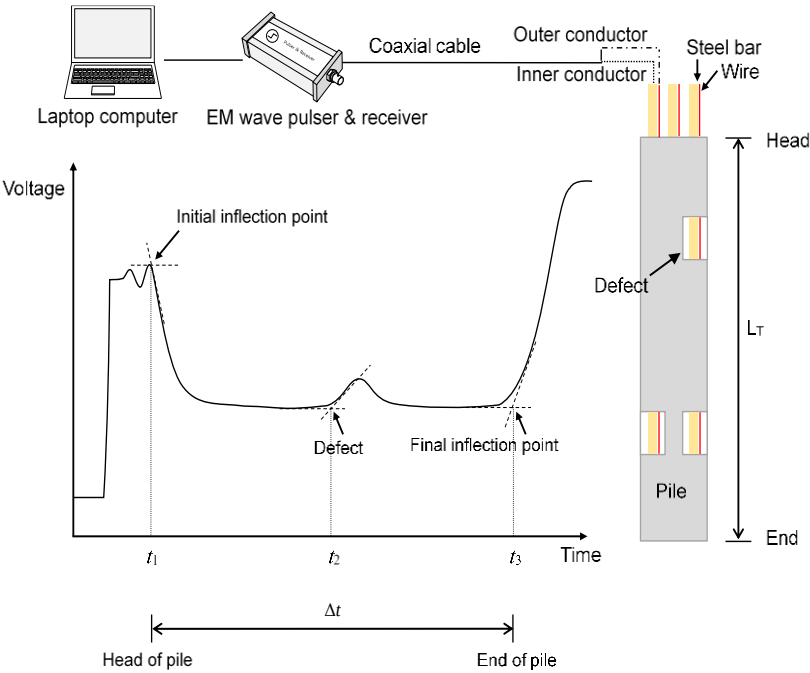


BKGNC

❖ 전자파를 이용한 말뚝 건전도 시험

Crosshole Sonic Logging (CSL)	Electromagnetic Wave Logging
	
• 초음파 속도와 에너지 강도는 말뚝 중앙부를 cross checking 하여 측정됨. • 시험수행을 위해서는 철근망 내부에 tube를 설치해야 함. • 시험과정이 복잡하고 시간이 소요됨.	• 건전도 정보는 철근망에 설치된 전기 cable에서 측정됨. • 전기 케이블 설치가 간단하고 시험측정이 단순함.

❖ EWL 측정 개요



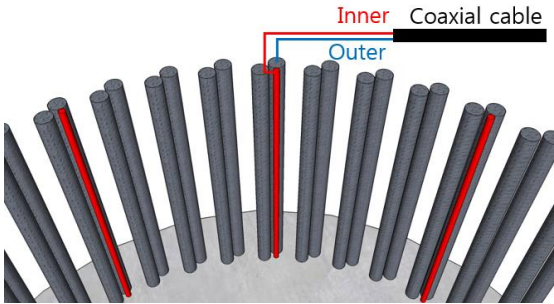
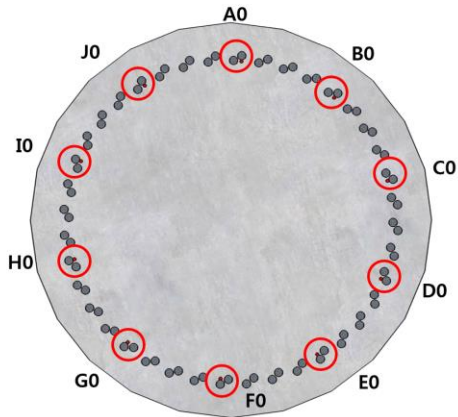
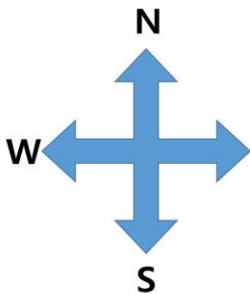
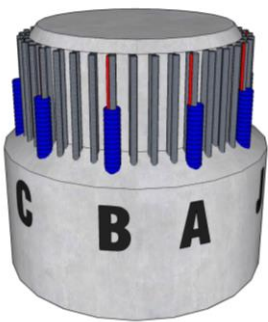
❖ 말뚝 건전도 시험 (기존 방식: PIT, CSL)



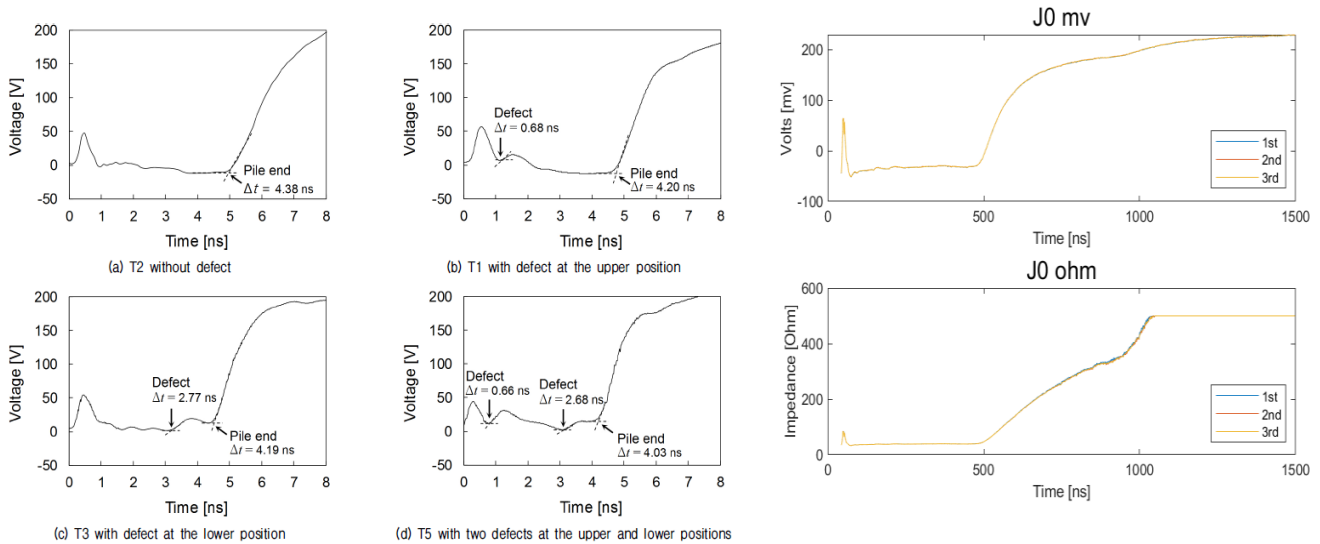
Pile Defect

- PIT(echo method) 측정 한계 ($L/D < 30$).
- Cross-hole sonic logging (CSL) 는 대구경 현장타설말뚝에 주로 사용.
- 현장타설말뚝의 주요 결함 위치는 철근망 주변에서 발견됨.

❖ EWL 측정 방법



❖ 말뚝 건전도 시험 측정결과 (EWL Test)



❖ 기술 증빙 자료

- 관련 특허 등록 1건
- 특허 제 10-1897905 호
- 관련 특허 준비 2건
- 신기술 준비

- 발표 논문 SCI 3건, 비SCI 1건



- 현장타설말뚝의 네킹 결함 평가를 위한 전자기파의 적용성 연구 (2018.04, 한국지반공학회)
- Application of time domain reflectometer for detecting necking defects in bored piles (NDT and E International, 2018)
- Non-destructive Method for Evaluating Grouted Ratio of Soil Nail Using Electromagnetic Wave (Journal of Nondestructive Evaluation, 2019)
- Smart Sensing Using Electromagnetic Waves for Inspection of Defects in Rock Bolts (MDPI, 2020)



감사합니다!!!

BKGNC



(주) 백 경 지 앤 씨

BACKYOUNG Geotechnical & Construction Co., Ltd

(07030) 서울시 동작구 사당로 160 백경빌딩 2층

Tel. 02-588-7188

Fax. 02-588-8184

[www. bkgnc.com](http://www.bkgnc.com), e-mail : loadtest@naver.com