

보수된 대구경 암반 소켓강관말뚝의 연직지지력에 관한 사례연구 Case Study on the Vertical Capacity of the Repaired Large Diameter Rock-Socketed Steel Pipe Pile

최용규¹⁾, Yongkyu Choi, 김승중²⁾, Seung-Jong Kim, 김병희³⁾, Byeung-Hee Kim, 이광욱⁴⁾, Kwang-Ook Lee, 김상일⁵⁾, Sang-II Kim

- ¹⁾경성대학교 건설·환경공학부 부교수, Associate Professor, Dept of Civil & Envir. Engrg, Kyungshung Univ.
²⁾부산광역시 건설본부 광안대교사업단장, P. M. of Kwangan Grande Bridge Construction Project, Construction Headquarters, Pusan Metropolitan City.
³⁾부산광역시 건설본부 교량 건설부장, Bridge Construction Department Manger, Construction Headquarters, Pusan Metropolitan City.
⁴⁾부산광역시 건설본부 과장, Manager, Construction Headquarters, Pusan Metropolitan City.
⁵⁾경성대학교 대학원 석사과정, Graduate Student, Dept of Civil Engrg, Kyungshung Univ.

SYNOPSIS : It had found that, as a result of cross-hole sonic logging test, concrete was not filled partially within the bottom 2.0 m of the large diameter ($\phi = 2,500\text{mm}$) rock socketed pile, MP20-P11(socket diameter ($\phi = 2,200\text{mm}$), which was a pile among piles group supporting a pier of Kwangan Grand Bridge. The pile was repaired by the combined cement grout injected through the pipes for the cross-hole sonic logging test and the bore holes for core samples. A month after the cement grouting, repairing was checked by coring and cross-hole sonic logging then 3 times of grouting and 2 times of coring were, in turns, performed, then repairing was completed successfully. The vertical compressive capacity of the repaired large diameter socketed pile was evaluated by several formulas and software ROCKET, and was more conservative than design load (1,882ton) of MP20-P11. It is expected that, in the case of the battered socketed piles, it could be more reasonable to analyze the behaviors of a battered pile using 3-D model. A 3-D analysis will be performed in the future study.

Key words : The repaired large diameter socketed pile, grouting, vertical capacity, software ROCKET, the estimating formulas for pile capacity.

1. 서론

○○대교 건설공사에서 직경 2,500mm의 경사된 현장타설 콘크리트 말뚝을 RCD공법에 의해 암반에 소켓시켜 시공하였다. 이 공사에서는 모든 시공된 말뚝에 대하여 크로스홀 방법에 의해 비파괴 검사를 실시 하였으며, 현장타설 콘크리트의 시공상태와 말뚝의 건전도를 확인하였다. 여기서, 시공상태가 다소 확실하지 않은 말뚝들이 발견되었으며, 이들 말뚝들은 고압 그라우팅 공법에 의해 확실하게 보수되었다. 본 연구에서는 보고된 사례를 찾기 어려운 시공이 다소 불량한 말뚝들에 대한 원인의 분석, 보수공법 및 보수사례에 대하여 자세하게 소개하고자 하였으며, 경사를 가진 암반 소켓 말뚝에 대한 연직지지력

을 각종 지지력산정공식과 해석코드인 ROCKET을 통하여 비교하였다.

2. 현장 타설 말뚝들에 발생가능한 결함들 및 보수 방안

현장 타설 콘크리트 말뚝 시공시에 발생가능한 결함들로는 말뚝 선단부 접촉불량과 콘크리트 불량, 측면 지반과의 접촉 불량, 말뚝상단부의 토사 혼합, 그리고 콘크리트 불량 (즉, 강도 미달)과 미투입 등을 들 수 있으며, 혼하지 않은 경우이지만 지반 오염 및 지하수 오염을 초래할 수도 있다. 혼하지 않은 적용사례로서 지반 오염 및 지하수 오염을 방지하기 위하여 채택된 현장타설 말뚝공법의 적용사례 (O'Neill, 1998)를 그림 1에 나타내었다. 현장타설 콘크리트 말뚝시공시 발생가능한 결함들을 표 1에 요약하였다. 또한, 영국에서 시공된 5,000개의 현장타설 말뚝들에서 발생된 결함들을 조사하였는데, 결함을 가진 말뚝은 조사된 말뚝의 1.5%정도였고, 시공 도중에 발생된 결함률은 0.6%정도 였는데, 그 구체적인 자료를 표 2에 요약하였다 (Sliwinski & Fleming, 1983). 보수방법으로는 토사혼합된 부위의 제거후 재시공 (또는 보수), 그라우팅, 언더피닝, 대체 보조 말뚝 (Straddle Shaft)의 시공 등을 들 수 있으며, 결함이 심각한 경우에는 말뚝을 제거한 후 재시공하는 방안도 있을 수 있다. 현장타설 말뚝들의 결함 보수 예를 그림 2에 나타내었으며, 표 1에도 요약하였다.

표 1. 결함들의 발생원인과 적용 가능한 대책

결함	원인	대책
선단부 접촉 불량	슬라임 미처리	고압 분사 그라우팅 (고압 세척수를 순환시킨 후)
	콘크리트 미투입	심한 경우 재시공해야 함
	측벽 붕괴로 인한 토사 잔류	
선단 소켓부 콘크리트 불량	최초 투입시 끝재 분리, 트래미관 막힘	그라우팅
불량 콘크리트 (강도 미달)	시공 불량 및 조골재 미투입	재시공 또는 허용 콘크리트 강도를 줄여서 사용
콘크리트와 측면 지반의 접촉 불량	1. 케이싱 회수시 콘크리트 미투입 2. 콘크리트 슬럼프치가 낮아 시공성이 좋지 않을 때	그라우팅
부분적으로 말뚝 내부에 공동 형성	콘크리트 미투입	그라우팅
크기 및 설치 위치 오류	측량오류, 시공오류	언더 피닝, 제거후 새로 설치, Straddle shaft 설치
부분적인 단면 감소	케이싱 회수시 측벽 붕괴	저항단면을 줄여서 사용
말뚝 상단부에 토사 혼합	시공 부주의, 유상공사에서 발생할 수 있음	· 케이싱의 길이만큼 깊게 연장하여 시공 · 혼합된 토사 제거 후 콘크리트로 보수
토질오염	벤토나이트 안경액 사용으로 인한 오염 및 지중 지하수 오염, 지표면 인근 지층의 오염	· 영구적 보호케이싱 (인발하지 않음)과 임시 케이싱 (인발해냄)사용 · 작업용 임시 가축도

표 2. 영국에서 시공된 대구경 현장타설말뚝에서 나타난 결함들 (Sliwinski and Fleming,1983)

Number Tested	5,000
Type of integrity test	Impact (Ext. inst.)
Type of defect	number
Soil contamination in top 6.5 feet	18
Soil contamination between 6.5 and 16.5 feet	7
Poor-quality concrete	4
Voids in soil adjacent to a drilled shaft	2
Surface damage due to trimming or traffic (post-construction)	42
Percent with defects	1.5
Percent with defects caused during drilled shaft construction	0.6

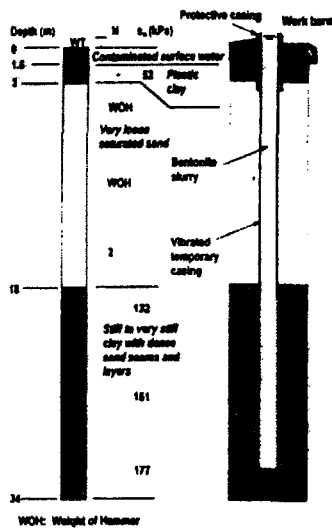
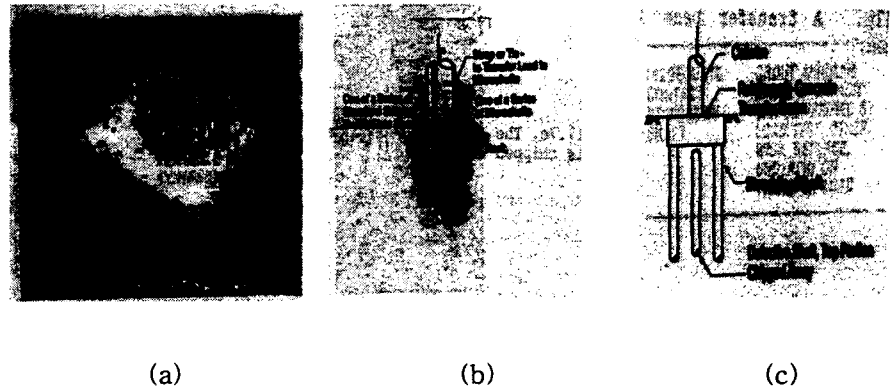


그림 1. Fred Hartmann 교량
북측의 지반조건 (O'Neill, 1998)



(a) 말뚝두부의 혼합토사 제거 (b) 언더피닝 (c) 대체보조말뚝

그림 2. 현장타설 말뚝의 보수사례

3. 광안대로 기초 말뚝의 사례

3.1 광안대로 기초 말뚝의 시공 개요

광안대로 기초 말뚝의 시공 현황을 표 3에 나타내었다. 광안대로 기초 말뚝은 총 1,218개이며, 해상부에 설치되는 말뚝이 대부분을 차지하고 있는데, 기초형식은 연암부에 소켓된 강관 말뚝 기초로 볼 수 있었다. 현재까지 총 1,162개가 시공되었는데 시공된 말뚝 중 현재까지 검사가 완료된 결합말뚝의 비율은 약 3%였다. 여기서, 결합이 나타난 말뚝들은 대부분 초기에 시공된 것들이었으며 결합형태는 주로 말뚝 선단부의 콘크리트 타설 불량이었다. 결합이 다소 심각하였던 1개 말뚝 (MP20-P11)을 제외하고는 단순한 상태였으므로, 건전도 시험 검사공을 통한 한 차례의 고압분사 그라우팅으로 완전하게 보수되었으며, MP20-P11의 경우에는 3차의 고압분사 그라우팅과 건전도 시험 및 코아채취에 의한 육안확인을 반복하여 완전하게 보수하였다. 따라서, 본 연구에서는 MP20-P11의 기초 말뚝을 사례로 선정하였으며, 이 말뚝에 대한 결합사례, 결합원인 및 대책등을 분석하였고, 보수된 말뚝에 대한 연직지지력을 검토하였다.

이와 같이 시공초기에 결합이 발생할 수 있는 가능성은 우리나라 설계 및 시공관행에서 비롯되었다고 할 수 있을 것이다. 말뚝기초의 설계에서 시공시방에 대한 검증도 없이 시공시방을 개략적으로만 제시하고 있어 시공초기에 실제 말뚝에 대한 일종의 시험을 수행할 수 밖에 없는 실정이다. 따라서, 초기에 시공된 말뚝에서는 각종 시행착오를 초래할 수 밖에 없어 결합있는 말뚝의 시공은 필연적으로 나타날 수 밖에 없는 실정이다. 따라서, 설계시 시공시방설정을 위한 실물시험 (또는, 축소시험)을 수행하여야 할 것이며, 설계단계에서 극히 곤란하다고 판단될 경우에는 시공 초기에라도 실제말뚝이 아닌 시험말뚝에 대한 시험시공이 필요할 것으로 판단되었다. 광안대로 건설공사에서는 표 3에서 볼 수 있듯이 해상에 수중콘크리트로 시공한 대구경 말뚝에 대하여 100% 건전도 시험 (크로스홀 방식)을 실시하였으며 이와 같은 검사비율은 국·내외를 통하여 사례를 찾아볼 수 없을 정도의 정밀한 검사였다. 따라서, 미약한 결합도 감지하여 그라우팅에 의한 완벽한 보수가 가능할 수 있었다.

해상구간에 설치된 (강관 + 암반소켓) 말뚝의 시공과정을 간략하게 설명하였다. 이것은 결합원인을 규

명하고 대책을 수립하는데 필요할 것으로 판단되었다. 먼저, 최종굴착위치까지 RCD (Reverse Circulation Drill)에 의하여 굴착하였다. RCD 굴착과정에서는 강관말뚝 (직경 : 2500mm)은 케이싱역할도 할 수 있었으며, 강관말뚝은 연암층에 관입되었다. 강관선단으로부터 암반소켓부가 설치될 위치까지 약 5.0m를 추가로 굴착하였으며, 여기서, 슬라임 및 암부스러기를 제거하고 순환수를 순환시켜 배출수의 청결도로서 선단 슬라임 제거여부를 확인하였다. 또한, 일정 시간경과 후 굴착공내에 잠수부를 투입하여 선단부의 청소상태 및 공벽상태를 확인하였다. 다음으로는 스페이서를 부착한 철근망을 굴착공의 바닥면에 위치시켰다. 이 때, 건전도 시험을 위한 파이프를 철근망에 조립하였다. 셋째, 직경 250mm (후에 350mm로 변경되었음)의 트레미관을 철근망의 내부에 위치시켰으며 트레미관의 하단에 스테빌라이저 (Stabilizer)를 부착하여 철근망에 걸리지 않도록 하였다. 넷째, 콘크리트 타설시 트레미관내에 물이 올라와 채워져 있으므로 최초 투입 콘크리트의 분리를 막기 위하여 스티로폼 공이나 함석꼬깔을 트레미관내에 삽입하고 수중 콘크리트를 연속으로 투입하였다. 콘크리트 타설중에는 트레미관을 콘크리트 속에 박아두었으며, 호퍼(Hopper)로부터 흘러 넘치지 않도록 하였다. 콘크리트 최종 타설높이는 암반 소켓부의 실제 길이보다 0.5~1.0m정도 높게 하여 최초 타설시의 불량 콘크리트와 소켓두부의 불량 콘크리트를 제거할 수 있게 하였다.

표 3. 광안대로 기초 말뚝의 시공 및 검사 개요

공구	말뚝형식	제원	설계수량	시공수량	건전도검사수량(개)	결함개소(보수필요)	결함율(%)	비고
1	대구경 강관말뚝 (강관+암반 소켓)	φ = 2,500mm l = 4,290m (평균 33m/本)	470	414	131	14	10.6	·최초시공 구간 ·해상부 ·결함은 대부분은 초기에 발생 (주로 선단부 발생)
2	현장타설 말뚝	φ 0.1= 2,500mm l = 2,500m (평균 41m/本)	60	60	48	4	8.3	·현수교 주탑 기초 말뚝 ·해상부 ·결함부위 주로 말뚝두부분
3	대구경 강관말뚝 (강관+암반 소켓)	φ = 2,500mm l = 2,616m (평균 31m/本)	84	84	84	-	-	·해상부
4	대구경 강관말뚝 (강관+암반 소켓)	φ = 2,500mm l = 6,921m (평균 35m/本)	198	198	116	1	0.8	·해상부
5	현장타설 말뚝	φ = 1,000mm l = 667m (평균 24m/本)	28	28	6	-	-	·해상부
	현장타설 말뚝	φ = 1,500mm l = 8,678m (평균 23m/本)	378	378	235	2	0.8	·육상부, 해상부 ·결함부위 선단부

· 해상 대구경 강관말뚝중 말뚝 공내에 양수가 가능하여 육안으로 확인이 가능한 말뚝은 Sonic test를 생략하였음(4공구)
· 결함율은 건전도검사 수량 개소 대비임
· 육상부분 현장타설말뚝은 검사 결과에 따라 검사빈도를 완화 조정하였음

말뚝시공 총수량 : 1,162개
건전도 검사 총수량 : 620개

· 결함 발생율 (시공 총수량 대비) : 1.8%
· 결함 발생율 (검사 수량 대비) : 3.3%

3.2 결함 및 보수 사례

광안대로 말뚝기초에서 발생된 결함은 시공 초기에 발생된 암반소켓부의 콘크리트 타설 불량이었으며, 결함 발생원인은 트레미관의 막힘현상, 플런저 (Plunger) 선정의 오류, 경사말뚝의 깊은 곳에 최초 투입 콘크리트의 퇴적 등을 들 수 있었으며, 대책은 트레미관의 교체, 수중 자유 낙하거리 최소화, 플런저 사용상의 오류수정, 초기타설 콘크리트의 단위 시멘트량 증가 등이었다. 결함 발생원인과 대책을 표 4에 요약하였다. 결함의 보수는 고압분사 그라우팅 방법에 의해 실시되었는데, 그라우트는 재료분리 방지제 (SPM-7) 4%와 팽창제 (SEILCON-S) 0.2%를 첨가한 시멘트 그라우트였으며, 물/시멘트비는 40%, 팽창율은 5~6%, 28일 강도는 335kg/cm²이었다. 보수작업은 비파괴검사용 파이프를 통해 이루어졌으며, 코아 채취를 한 경우에는 코아 채취용 시추공도 이용하였다. 그라우팅액을 주입하기 전에 말뚝내부를 통하는

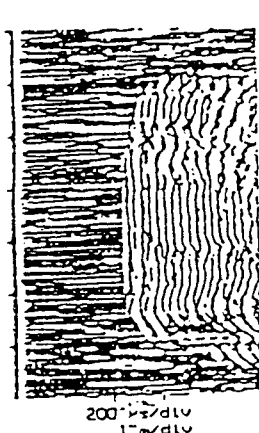
모든 구멍은 밀폐시키고 말뚝내부의 수압보다 높은 압력의 순환수를 말뚝내부에 주입시켜 이물질이나 슬라임을 제거하였다. 그라우트액을 충분히 주입한 후 약 8kg/cm²의 압력으로 가압시켜 주었으며, 일정시간 경과 후까지 압력의 변화가 없을 때 보수작업을 완료하였다. MP20-P11의 경우에는 3차의 그라우팅, 2차의 비파괴검사, 3차의 코아채취에 의한 육안검사를 실시하였으며, 1차 그라우팅은 비파괴검사공과 코아채취공을 통하여 주입하였고, 그 이후의 그라우팅은 코아채취공을 통하여 주입하였다. MP20-P11말뚝의 자세한 보수과정을 표 5에 나타내었다. 1차 비파괴검사 결과에서 주요결함들이 말뚝선단에서 1.5~2.0m에 걸쳐 심각하게 분포하고 있는 것이 발견되었다. 1차 그라우팅후 실시된 2차 비파괴검사에서는 결함들이 선단부에서 0.5~1.0m에 나타나는 것을 발견하였으나, 2차 코아채취결과에서는 선단부 1.0m이내에서 약 10~15cm의 취약부가 나타나는 것을 확인하였다. 여기서, 비파괴검사 결과와 코아채취결과가 다소 상이하게 나타났는데, 미소한 부위의 확인은 코아 채취에 의한 육안 확인이 정확할 수 있으므로 이에 신뢰성을 부여하였다. 2차 그라우팅을 실시한 후 3차로 코아채취를 하여 보수가 완전하게 되었음을 확인하였으나 3차 그라우팅을 추가로 실시한 후 보수를 종결하였다. 1차와 2차 비파괴 검사 결과와 3차 코아채취 결과를 그림 3에 나타내었다.

표 4. 결함 발생원인과 대책의 요약

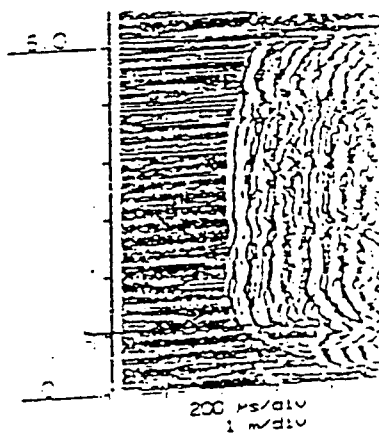
결함내용	원인	대책
트레미관의 막힘현상	혹서기 수중콘크리트 대비체 미비	컨베이어 이동시 예상 증발량 고려하여 함수량 조정
	비분리제 첨가로 정착력 증가	트레미관의 직경 변화 (250mm → 350mm)
	콘크리트 강도를 위해 유동(flow)치의 최저치 관리	유동성 증가 (flow치 : 48→52이상)
불량 타설 콘크리트	최초 타설콘크리트의 재료 분리	· 수중낙하고 50cm이하 유지 · 적합한 플린저 사용
	트레미관 하단의 위치 오류	콘크리트속에 2m정도 깊이를 유지
경사말뚝하단에 최초 투입 콘크리트 퇴적	말뚝선단하단 깊은 곳에 퇴적	· 최초 타설시 모르타르 사용 · 초기 콘크리트의 단위 시멘트량 증가
공벽분리(광안대로말뚝에서는 발생되지 않았음)	RCD장비 제거시와 철근망 삽입시 공벽 붕괴 가능	철근망 삽입후 잠수부를 투입하여 슬라임의 존재여부 확인하였음

표 5 MP20-P11말뚝의 보수 과정

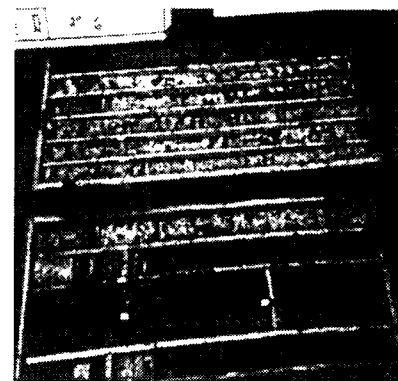
일자	과정
96/7/30	콘크리트 타설 (최초 시공 말뚝)
96/8/17	1차 비파괴 검사 실시 (크로스홀 방법) (그림 3(a)참조)
96/10/15	1차 코아 채취 (C1)후 육안 확인
96/11/9~12/18	1차 그라우팅 (S2, S4, S6, C1사용)
97/1/25	2차 비파괴 검사 실시 (크로스홀 방법) (그림 3(b)참조)
97/2/20~3/3	2차 코아 채취 (C2-1, C2-2)후 육안 확인 C 2-1 : (콘크리트 : 5.57m, 압 : 2.0m) C 2-2 : (콘크리트 : 6.0m) ※코아 채취에 의한 육안 확인이 더 신뢰성있는 것으로 판명되었음
	2차 그라우팅 (C 2-1, C 2-2 사용)
97/5/27, 6/12	3차 코아 채취 (C 3-1, C 3-2)후 육안 검사 (그림 3(c)참조) C 3-1 : (콘크리트 : 5.17m, 압반 : 0.4m) C 3-2 : (콘크리트 : 6.12m, 압반 : 1.4m) ※보수는 완전한 것으로 판정하였음
	3차 추가 그라우팅 (C 3-1, C3-2 사용) → 보수 종료



(a) 1차 비파괴 검사



(b) 2차 비파괴 검사



(c) 3차 코아채취

그림 3. 그라우팅 효과의 확인

4. 보수된 대구경 말뚝에 대한 연직 지지력 분석

4.1 검토 조건

광안대교 기초 말뚝 (MP20-P11)은 1 : 5의 경사도를 갖는 직경 2,500mm의 대구경 강관말뚝으로 강관 내부에는 콘크리트만 속채움하였으며, 말뚝선단부는 연암에 5m정도 소켓되어 있는 현장타설 콘크리트로 구성되었다. MP20-P11 말뚝은 경사말뚝이어서 3차원적으로 모델링하여 검토하는 것이 더 합리적일 것으로 사료되었으나 현 단계에서는 2차원적으로 고려하였다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 지반의 구성은 실트질 모래 (SM), 자갈섞인 모래층, 풍화암, 연암, 경암으로 되어 있으며, 각 지반의 특성치도 같이 나타내었다. 여기서, 풍화암, 연암, 경암의 일축압축강도와 탄성계수는 채취된 암석코아의 일축강도 시험결과를 이용하여 결정하였으며, 평균치 및 최소치를 함께 나타내었다. 소켓부의 콘크리트 강도도 보강 그라우팅의 정도를 확인하기 위한 코아 채취시 얻은 콘크리트 코아에 대한 일축압축강도시험에서 구하였으며, 평균치와 최소치를 함께 나타내었다.

4.2 산정공식에 의한 지지력 산정

지지력 산정에 사용한 방법들은 PMT방법 (구조물기초설계기준, 1997), O'Neill 방법 (캐나다 지반공학회방법 (1985)과 동일함, 1988), Wyllie 방법 (1992), Rowe & Armitage 방법 (1987), SPT 방법 (도로교표준시방서, 1996) 등이었으며, 선단지지력과 주변 마찰력을 각각 산정하였고, PMT방법과 STP방법 이외의 경우에는 암석과 콘크리트의 일축압축강도가 사용되었다. 지반이 먼저 파괴된다고 가정하였을 때 지지력 산정공식들에 의해 산정된 말뚝의 허용 지지력을 표 6에 요약하였다. 연암코아의 최소값을 이용하여 지지력 공식들에 의해 계산된 말뚝의 허용지지력은 설계하중인 1,882톤을 크게 초과하고 있으나, 그 크기는 설계하중의 1.4 ~ 5.8배 정도의 큰 분산을 나타내었다. 그러나, 일축압축강도를 이용하여 계산한 값들은 설계하중의 2.5 ~ 3.2배의 범위 내에 있었다. 말뚝의 그라우팅 보수부위의 일축압축강도의 최소값은 연암코아의 최소 일축압축강도값보다 적으므로 그라우팅부의 일축압축강도의 최소치를 이용하여 Rowe & Armitage의 방법에 의해 구한 보수된 말뚝의 허용지지력도 표 6에 수록하였다. 가장 안전측으로 계산되는 Rowe 등의 방법에 의하여 그라우팅부의 허용지지력은 설계하중의 1.8배를 초과하고 있으므로 보수된 말뚝은 연직하중에 대하여 안정할 것으로 판단하였다.

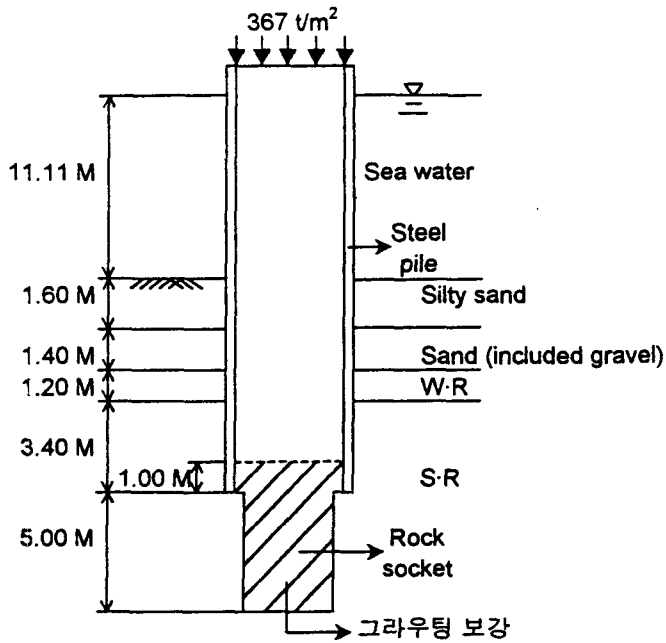
4.3 ROCKET에 의한 지지력 분석

ROCKET은 암반소켓말뚝의 해석 전용 프로그램이다. 연암부에 설치된 콘크리트 소켓부만을 모델링하였으며, 연암과 보수된 콘크리트부의 탄성계수와 일축압축강도등은 채취된 암석코아의 실내시험에서 구하였으며, 평균치와 최소치를 사용하였다.

ROCKET에 의해 예측된 보수된 대구경 소켓말뚝의 연직지지력, 주변 마찰력, 선단지지력을 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 암반에 소켓된 콘크리트 주변부에서는 8mm의 연직 변위에서 최대마찰력을 나타낸 후 미끄러짐 현상이 발생하였으나, 선단지지력은 계속적으로 증가하는 양상을 나타내었는데, 이와 같은 양상은 말뚝의 하중지지거동을 잘 반영하는 것으로 볼 수 있었다. 8mm의 연직 변위에서의 하중을 극한지지력으로 하였다. 허용지지력을 표 6에 나타내었으며 설계하중의 약 1.1배였다.

5. 결론 및 제언

1. MP20-P11 말뚝의 결함은 설계 및 시공상의 잘못된 관행과 이로 인해 발생한 여러 가지 문제점들 (트레미관의 막힘 현상, 콘크리트 타설 불량, 경사말뚝하단에 최초 투입된 콘크리트의 퇴적 등)에 의하여 발생되었다.



지층	단위중량 (t/m^3)	내부마찰각 ($^\circ$)	점착력 (t/m^2)	포아슨비	탄성계수 (t/m^2)	일축압축강도 (t/m^2)	
						평균	최소치
실트질 자갈	1.80	20	0.0	0.30	1,000	-	-
자갈포함된 모래	1.80	30	6.0	0.30	10,000	-	-
풍화암	2.0	35	2.0	0.25	20,000	-	-
연암	2.2	38	5.0	0.25	54,000	6,840	2,580
경암	2.4	40	10.0	0.25	155,000	-	-
그라우팅부	2.01	-	-	0.16	4.0×10^5	2,290	1,630

그림 4. 지반조건

표 6. 여러 가지 방법들에 의해 산정된 소켓부의 허용지지력 (지반의 지지력)

방법	선단지지력 (톤)	주변마찰력 (톤)	지지력 (톤)
구조물 기초 설계기준 (1997) PMT 방법	10,747	213	10,960
도로표준시방서 (1996)	1,538	1,070	2,608
캐나다 지반공학회 (1985) O'Neill 방법 (1988)	1,323	4,458	5,781
Wyllie (1992)	4,410	1,755	6,165
Rowe & Armitage (1987)	2,134	2,633	4,767
ROCKET			
설계하중			1,882
보수된 그라우팅부의 허용지지력	1,359	2,093	3,452

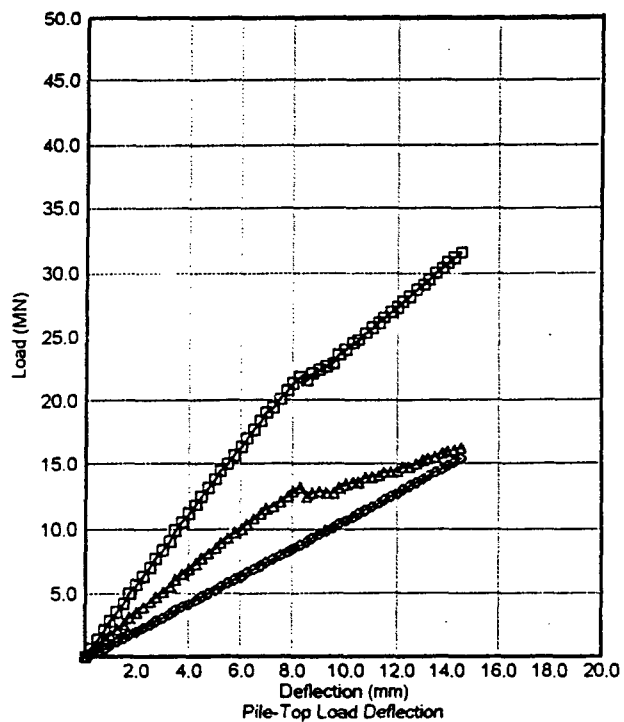


그림 5. ROCKET에 의한 연직지지력

2. 시공초기에 건설된 대구경 암반 소켓부에 발생된 부분적인 콘크리트 타설 결함은 고압 분사 그라우팅공법에 의해 완전하게 보수되었다.
3. 지지력 산정 공식과 해석코드인 ROCKET에 의해 산정된 보수된 대구경 소켓말뚝의 허용 지지력은 상시 설계하중인 1,882톤을 훨씬 초과하였다. 또한, 광안대로 건설공사에서 시공된 기초말뚝의 지지력과 침하량측정을 통한 안정성과 품질확인을 위한 말뚝정재하시험이 수행되고 있으므로, 실측된 지지력을 기초로 각 방법들에 의해 산정된 연직지지력 산정방법의 적용성에 대한 연구를 수행할 예정이다.
4. MP20-P11의 대구경 암반 소켓말뚝은 경사말뚝이어서 3차원적으로 모델링하는 것이 더 합리적일 것으로 사료되므로 이에 관한 연구를 계속 수행해야 할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

1. 부산광역시 광안대로 사업소 (1994), "광안대로건설 실시설계 종합보고서," 1994. 8.
2. 부산광역시 광안대로 사업소 (1994), "광안대로건설 실시설계 구조계산서, 강상관, 접속교," 1994. 8.
3. O'Neill, M. W. (1988), "Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods," FHWA-HI-88-042, FHA
4. O'Neill, M. W. (1988), "Applications of large-diameters bored piles in the United States," Theme lecture 1 : American experiences with large diameter bored piles, Deep Foundations on Bored and Auger Piles, BAP III, Proceedings of the 3rd International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles / Ghent / Belgium / 19 -21, Oct. 1998
5. Rowe, R. K. & Armitage, W. H. (1986), "A design method for drilled piers in soft rock," Canadian Geotechnical Journal, 24. 1987, pp. 126 -142.
6. Wyllie, D. C. (1992), "Foundations on Rock," E & FN SPOH