

한강교량기초시공의 문제점 및 대책

우재경*, 이수곤**, 이창노***

1. 서 론

교량의 기초공사시 지질특성을 고려치 않은 자료 및 기초지반 조사로 현장의 공사 시행시 당초 설계와 현장여건이 판이하게 달라 교량기초에 대해 근본적으로 재설계해야 하는 등 불합리한 경우가 많이 발생하고 있다. 본 연구에서는 한강상 교량의 시공사례를 중심으로 지반조사의 문제점 및 개선방안에 대하여 검토해 보고자하며 한강지역의 지질특성에 대한 분석과 교량기초별로 지반 시추시 나타난 암반선 실측사례 및 단층 파쇄대로 인한 교각기초설치 실패사례와 계획·조사, 시공단계에서의 지반조사의 중요성을 인식하여 이에 적절하게 투입하여야 할 장비 및 시추방법, 전문기술자의 배출, 암반역학 개념과 기준마련의 필요성 등을 제시하여 향후 교량 등 구조물의 계획, 시공시에는 보다 정밀한 기초지반 조사, 분석을 할 수 있도록 하며 시설물의 시공성, 안정성, 경제성 향상에 기여할 수 있는 방안에 대하여 고찰하였다.

2. 한강의 지질특성

한강은 서울 중심부를 동서방향으로 흐르며 강폭이 약 750~1,200m 정도로 넓은편인 범람원 지역으로서 한강지역 지질은 선캠브리아 시대의 경기 변성복합체인 편마암과 쥐라기시대의 화강암들을 가로지르는데 한강 자체가 대규모 단층파쇄대로 알려져 있다.(이수곤, 1999) 본 단층파쇄대에서 수행한 한강 하저터널공사시에도 암반상태가 매우 불규칙하여서 양호한 암반과 불량한 암반이 불과 수m 사이에서도 교호하는 것으로 판정되었다(송근백, 1999).

3. 한강에서의 교량기초 시공사례

3.1 암반선 실측현황

현장시공을 위한 지질조사를 하여보면 설계시 자료와 상당한 차이가 있는데 이는 시추 작업시 체계적이고 정확한 현장시료의 분석이나 기록관리가 이루어지지 않기 때문으로 판단된다. 참고로 몇개의 교량공사 현장의 지지기반암층에 대해 실시설계시와 현장 시공시 시추

* 서울특별시 지하철건설본부 토목과장, 공학석사

** 서울시립대학교 토목공학과 교수, 토목지질공학박사

*** 서울시립대학교 토목공학과 박사과정

결과를 보면 그림 1, 2, 3과 같이 상당한 차이를 보이고있는데 이는 설계변경으로 해결되는 것이 아니고 근본적으로 구조물에 대한 재설계의 가능성도 있으므로 지반조사자, 설계자, 시공자, 감리자 모두의 책임 의식 수준의 향상이 요구되며, 근래 건설공사 전반에 대한 실명제 도입 등으로 사회적 손실책임을 보상시키려는 추세로 보아 조사에 정밀성을 기하여야 할 것으로 판단된다.

3.2 기초시공의 실패사례

1993년도 가양대교건설공사 현장에 교량기초 시공을 위해 현장 타설 말뚝 기초 시공전에 시추조사를 한 결과 보링홀 4공중 1공은 설계 깊이인 지하 22m보다 깊은 42.9m까지 시추하였으나 설계 지지력을 확보를 위한 연암층이 발견되지 않아 이의 검토를 위하여 현장 수리 시험, 공내 재하시험 및 지오레이다 토모그래피시험(Crosshole Georader Tomogrphy)으로 지반조사한 결과 이는 서울의 강남지역 한강주변에 일부 분포되어있는 변성암지대로서 국부적인 범위의 단층대로 형성된 지역이었다.(그림5) 해당 교각주변의 대체적인 지질상태는 지표로부터 약 22m 부근까지 모래/자갈층이고 그 하부에 약10m 두께의 풍화암층이며 그 하부에는 편마암층이 자리잡고 있었다. ③번 말뚝하부의 문제의 불량지질은 주변의 지질과 대비시킬 수 없었으므로 연속성 있는 지질 구조대가 아닌 매우 국부적인 수직방향의 단층파쇄/변질대로 보이며 이는 근래 지하철공사 하저터널 등에서도 자주 나타나고 있는 국부적인 단층파쇄대로서 구조물의 위치이동 없이 지반보강을 통하여 재설계시까지의 공사 중단 및 설계비용 손실을 최소화 할 수 있을 것으로 판단하였으나, 위치이동 시공시는 변경위치의 추가적인 지반조사를 해야 하는 문제점이 있는 것으로 판단된다. 이러한 단층파쇄대 지지층을 보강하여 기초를 시공한 사례는 거의 없는데, 향후 설계시는 단층 파쇄대 지역의 지질조사에 정확도를 기하여야 할것으로 보이며 지질특성에 맞는 보강공법의 연구가 필요하다.

4. 한강에서의 지질조사의 문제점 및 사례분석

가. 부정확한 지반조사 사례와 개선방안

일반적인 시추장비로 지질조사시는 시추코어의 주향, 경사의 확실한 파악이 되지 않는데 '90년초 발주된 한강상 교량 실시설계 당시는 대부분이 BX규격 시추로 코어 회수율이 매우 낮아(20~40%) 신뢰성이 낮은 지반조사 보고서가 작성된 사례가 대부분으로 교량건설 규모가 본선교량 연장 1,115m, 입체시설 2개소를 건설중인 현장의 지반추가조사 사례를 살펴보면 표 1과 같다. 설계시 조사된 지반의 확인과 시공 정밀성을 기하기 위하여 시공사 별도의 비용투입으로 시추조사한 결과 상당한 차이를 보이고 있어 교각 전체에 대한 보링조사로 확대 되었는데, 이처럼 시추조사의 신뢰성이 없어 3차례나 추가로 조사를 하여야 하는 문제가 발생되었다. 이는 BX 규격의 조사시 코어 회수율이 낮아 지반조사가 정확히 이루어지지 못하는 현상으로 초기의 정확한 시추조사가 오히려 경제적임을 알 수 있는 사례로서 개략조사

이외에는 가급적 NX 규격을 이용하여 조사의 정밀성을 기하는 것이 유리하다고 판단된다. 또한 통상 BX가 NX시추 보다도 RQD% 가 적은데도 시추코아 크기의 차이에 따른 암반 추정의 차이를 감안 하지않고 시추 주상도의 결과를 동일하게 해석하는 경향도 있는데 민감한 지지층에서는 주의하여야 할 부분이며, 가급적 주요부위는 다소의 비용이 들더라도 Tripple Tube Core Barrel로 코어회수율을 높여 정밀조사를 할 필요가 있다. 시추조사 결과를 설계에 반영하게 되는데 조사가 불확실 할 경우는 암 등급 자체가 크게 다르게 나타나게 된다.

표 1. 건설중인 현장의 지반조사 현황

구 분	1 차 조 사	2 차 조 사	추가조사(2회)
1.조사구간	공사장 전체구간	공사장 전체구간	수상부 추가조사
2.조사시기	'93. 7.~'93. 9.	'97. 3.~'97. 8.	'95. 6~9
3.시추조사	총 62공 : 1,791.2M -육상:BX4공 L=1,401.8M -수상:BX13공 L=231.4M NX8공, L= 158.0M	총70개소 : 994.2M -육상 : NX42개소 -수상 : NX28개소	총 15공 : 249.1M
4.표준관입시험	총 818회	총 123회	총 158회
5.토질시험	비중,함수비,입도분석,액성,소성,체분석,들밀도,CBR시험	비중, 함수비, 입도분석,액성,소성, 체분석,들밀도, CBR시험	비중,함수비,입도분석,액성,소성,체분석,들밀도,CBR시험
6.압축시험	비중,흡수율,압축강도,탄성계수,포아송비,탄성파속도	일축압축강도:78회,비중및흡수율:79회, 집하중시험:282회, 영율(탄성계수):76회, 포아송비:71회	비중,흡수율,압축강도, 탄성계수, 포아송비, 탄성파속도
7.현장투수시험	총 12회		총 3회

나. 보링 위치 선정 오류 사례

설계시 개략적인 평면도에 의거 교량 기초의 지반보링 조사를 하는 경우가 많아서 시공시 실제 교각설치 위치에 대한 보링 결과와 실시설계 도면과의 차이로 잦은 설계변경이 필요하게 되어 시공시의 손실이 자주 발생하였는데 이는 대부분의 현장에서 공통으로 나타나고 있는 현상이다.

다. 불확실한 지층에서의 지지기반층 선정사례

교량기초 지지기반암층 확인을 위한 시추시 우물통 내부 좌,우 2개의 시추공을 통해 같은 높이에서 좌측은 연암, 우측은 풍화암으로 연암층이 경사진 지층분포가 형성된 사례의 시추조사 결과가 몇몇 교량에서 발견되었는데(그림5) 설계시는 대부분 기초중양부 1공만 시추하여 작성된 설계도면으로 시공되고 있어 경사지층을 만날 경우는 육상에서 미리 제작한 우물통이 이미 시공중에 있으므로 절단이 불가피 하거나, 추가로 연결시공을 하여야 할 경우가 생기는데 대부분이 기초를 깊게 설치하여 비경제적으로 시공하고 있는 것으로 판단되었으며, 또한 장래 풍화층 세굴로 인한 구조물기초의 편심에 대한 검토의 필요성도 있으므로 연약층 보강공법에 대한 기술축척이 불확실한 지층에 기초지반 확정과 경제적인 구조물축조

및 기술력을 향상시킬 수 있는 방법이라고 생각된다.

라. 침하 영향선을 고려치 않는 짧은 깊이의 시추사례

교량기초 암반의 수중발파 시공시 잠수부가 들고 나온 암시편만을 믿고 잘못 지지층을확정할 경우가 많으므로 반드시 우물통 기초속은 Dry 상태에서 육안관찰 및 Face Mapping하여 지반에 대한 분석은 물론 지반굴착에도 주의를 기울여야 할 것이며, 구조물 기초 조사시 우물통 직경의 약 2배 이상을 시추하여 장기적인 지반 압밀침하 등의 변위여부에 대한 검토를 충분히 하여야 할 것으로 판단된다.

마. 지질조사 비용의 반영미흡

현실적으로 시설물 건설비용에 비해 지반조사비용의 적용은 근래 시행되고 아래 한강상교량 건설공사의 시추비용 분석표에서 나타나듯이 일반적으로 총 사업비의 0.1~0.2%로서 매우 작으므로 적절한 조사비용의 반영이 절실한 실정이다.

표 2. 한강상 교량 건설공사의 시추비용

구분	교량명	보링비(천원)	보링수(공)	평균보링비(공/원)	총사업비(억원)	비 고
1	광진교	90,000	33	2,728,000	1,059	
2	잠실대교	74,000	131	564,000	1,439	
3	성수대교	280,000	162	1,728,000	1,526	
4	한남대교	200,000	92	2,174,000	1,815	
5	마포대교	200,000	76	2,632,000	1,041	
6	양화대교	35,000	20	1,750,000	947	
7	가양대교	335,000	108	3,102,000	1,714	
8	청담대교	35,000	20	1,750,000	947	
9	방화대교	335,000	108	3,102,000	1,714	

(계약연도, 낙찰율, 보링종류, 시추위치 등이 다르므로 단순비교는 할 수 없음)

바. 지반관련 전문가의 적극적인 조사 및 자료분석 미흡

시추기술자 및 책임기술자의 전문적인 경험이 조사결과에 많은 영향을 미치며, 정밀한 지질조사 자료는 구조물의 설계에 중요한 역할을 하게 되는데 같은 지질조건이라도 시설물의 종류와 목적을 고려하여야 하며, 지질주상도 결과만으로 판단하여 설계하는 것은 곤란하다. 지반 시추시 기능공이 지질주상도 작성, 시추과정에서의 지반상태 관찰기록 누락 및 보관미흡 등의 문제점에 대한 개선책으로는 ①시추위치 선정 ②지질변화 및 지반조건에 맞는 코어회수용 장비의 선택 ③시추용 장비의 시추속도 및 작동법 조정 숙달 ④시추작업 경험이 많은 지질관련 기술자의 상주로 작업감독 및 기록관리 철저히 하고 지반조사 책임기술자가 시작부터 끝까지 입회 분석하여야 한다. 현장에서 설계시 제시된 기준 지지력을 확보할 수 없을 경우 현재의 연약층에도 지지될 수 있을 것인지, 보강공법 결정에 필요한 자료와 구조적 검토를 판단하기 위해 보다 정확한 지질분석 자료제공이 뒷받침 되어야 한다.

사. 압판정 개념의 모호성

지질, 토질, 구조기술자간에 용어의 불확실성이 있을 수 있는데, 지질기술자는 「연암」을 「연암석」으로, 구조설계 기술자 「연암」을 「연암반」으로의 의미로 구조물 해석을 할 수도 있는데 이는 실지 현장에서도 개념의 혼돈이 초래될 수 있으며, 현장에서 채취된 지지기반층의 암석시편으로 구조해석된 암석강도를 기준으로 삼을 경우 암반 전체에 대한 옳은 평가인지의 여부에 대하여 혼돈이 초래될 수 있다. 그러므로 압판정의 정량화 기준 마련과 암반역학 개념에 대한 이해가 필요할 것으로 판단된다.

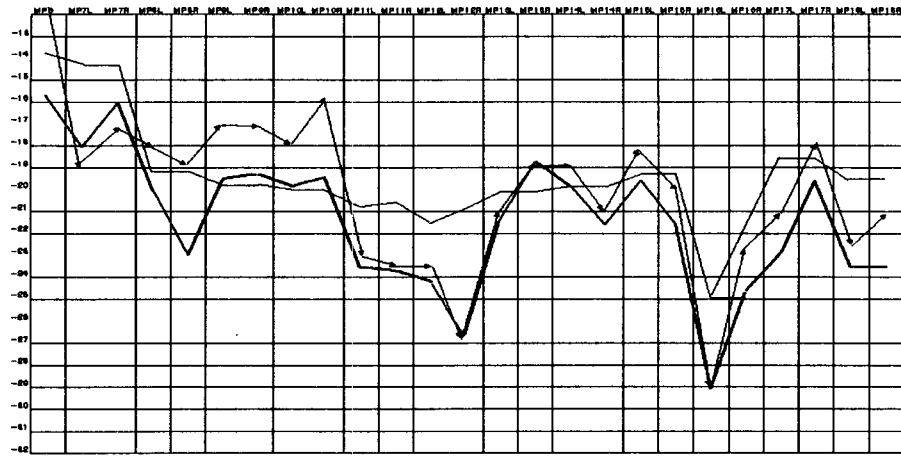
5. 결 론

한강에서의 교량의 우물통기초 시공을 중심으로 지반조사에 대한 문제점과 원인을 분석하고 개선방안을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 한강지역은 지질특성상 단층파쇄대 존재지역이 많아 교량기초 지반조사 잘못으로 시공기간과 비용이 과다하게 소요된 사례가 있었으므로 정확한 위치에 정밀 시추토록 하고, 우물통 기초의 좁은 공간내에서도 국부적인 단층대가 있으므로 지반이 나쁜 곳은 한 우물통내 에서도 적어도 2공이상의 시추조사를 통해 판단해야 하며, 지지기반층에서 우물통 직경의 2배이상 시추하여 지반분석 하여야 장기압밀 침하에도 대비할 수 있다.
2. 지반관련 전문가의 적극적인 조사 및 자료분석 제공과 지반조사시 적정장비의 투입 시추시 BX규격보다 NX규격이 코어 회수율이 월등히 좋은데 이는 교량기초 시공시 발파지점의 결정이나 굴착방법, 우물통길이 및 콘크리트 타설등에 주된 자료로 활용되므로 일시적으로는 추가 시추비용이 드나 장기적으로는 전체 공사비용을 훨씬 절감할 수 있다고 생각된다.
3. 교량건설에 대한 기초 지반조사 비용 분석결과 총사업비의 0.1%~0.2%로서 매우 작았는데 기초는 모든 구조물의 근간을 이루는 중요한 부분이므로 현실적인 조사비용 반영이 부실시공 방지와 경제적인 설계에 도움이 될것으로 판단되었다.

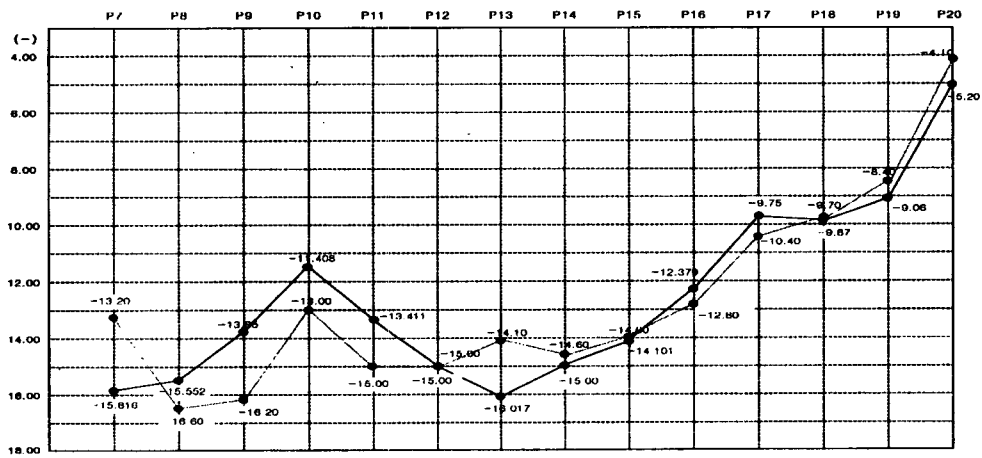
참 고 문 헌

1. 우재경, 1999, 석사학위논문 : 교량기초조사 문제점 및 개선방안에 관한 연구
2. 송근백, 1999, 석사학위논문 : 한강하저 터널구간의 지반조사분석 연구
3. 이수곤, 1999, 서울의 지반정보관리시스템 연구, 서울특별시



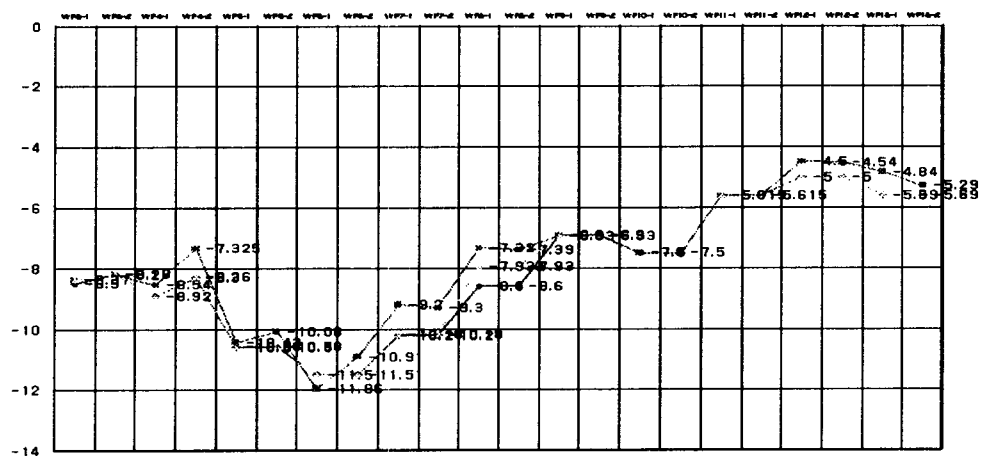
— 당초설계 — 보링연암 — 시공연암

그림 1. 가양대교 우물통기초 암반선 실측현황



— 실측값 설계

그림 2. 양화대교 우물통기초 암반선 실측현황



◆ 설계 ■ 실시공 ▲ 보링

그림 3. 한남대교 우물통기초 암반선 실측현황

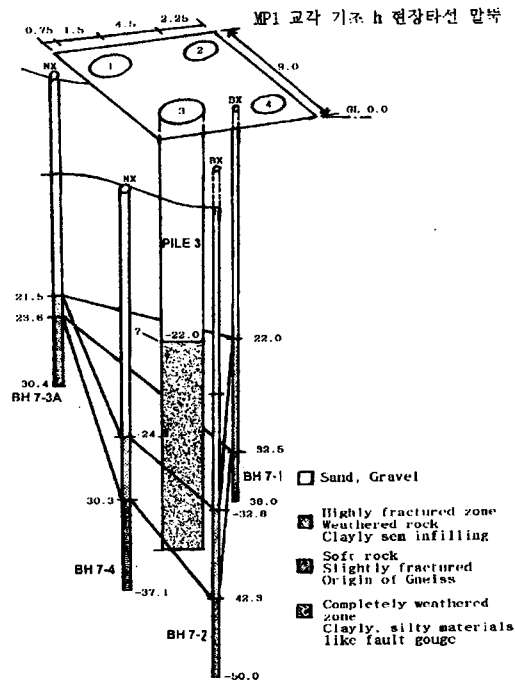
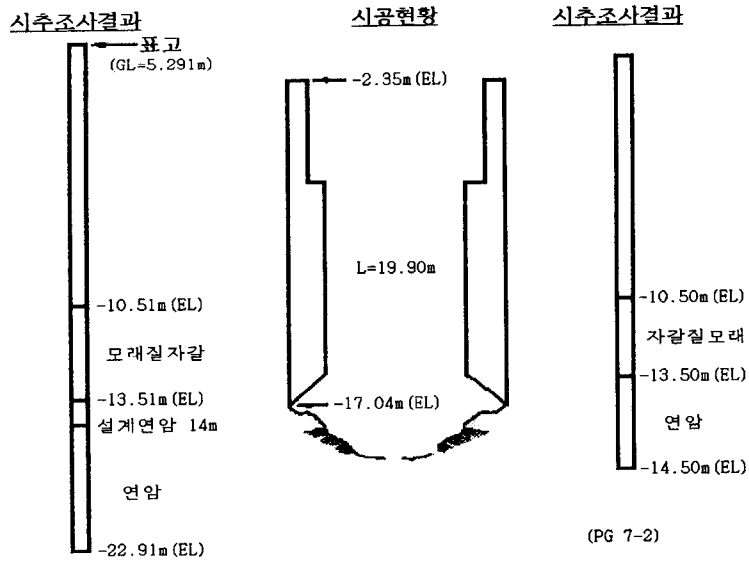


그림 4. 현장보링 주상도



(PG 7-1)

- EL=-15.20m에서 압검측 시행
약 30% 면적 풍화대 및 점성토 발견
- EL=-17.04m에서 2차 압검측 시행
전면적 (약 70%)에 걸쳐 풍화암 파쇄대
및 점성토 발견

그림 5. 우물통시공 및 지반조사시 편차 사례