

○○교량 안전진단 사례

박 구 준 우리 협회 토목진단부 전문위원
 김 주 범 우리 협회 토목진단부 고문
 윤 상 규 우리 협회 토목진단부 대리
 서 상 훈 우리 협회 토목진단부 대리

1. 서 론

본 안전진단의 사례는 전라선(신리~순천) 제○○공구 노반개량공사 현장내 “○○고가교 교각기초(P1~P9) 침하”에 따른 교량 기초지반의 침하량, 지지력 등을 파악함으로써 교각 구조물에 대한 안전성을 평가하며, 열차통행에 따른 신설교량의 안전성을 확보하고 공용기간동안 유지관리의 효율성을 제고시키는 데 있다. 이를 위하여 대상교량 교각 및 기초부에 대한 조사된 결과를 토대로 구조적인 안전성을 분석, 평가하고 이에 따른 효과적인 보수, 보강 및 효율적인 유지관리의 대책을 수립·제시하는 데 그 목적을 두었다.

본 안전진단은 ○○고가교 교각기초(P1~P9)에 대하여 현장에서 제공받은 설계도서, 지질조사서, 관련자료 등과 외관 및 장비조사, 현장시험 등을 통하여 안전진단에 필요한 자료를 실측하고 확인·검토하여 ○○고가교 교각기초

(P1~P9)의 안전성을 확보하는 것으로 한다. ○○고가교 교대(A1, A2) 및 교각(P10~P12), 상부구조물은 본 안전진단 과업범위 이외이므로 제외하였다.

2. 구조물 현황조사

본 안전진단 대상 구조물의 상태 파악을 위하여 외관조사는 교각 기둥, COPING, 상부슬라브 등의 항목으로 구분하여 실시하였으며, 교량 기초 콘크리트 및 기초 막돌다짐의 시공상태를 확인하기 위하여 안전진단시 지질조사를 교량 기초 하단부에 대하여 현장에서 실시하였다.

또한, 구조물의 침하상태를 파악하기 위하여 교각 COPING(전차주 설치부) 상단부 및 상부슬라브 상판부에 대하여 구간별로 현장에서 측량을 실시하였다.

항목별 조사사항은 다음과 같다.



1) 교각 기둥

본 진단 구조물의 교각 형식은 II형 교각이며, 기둥은 $\phi 1.6\text{m}$ 의 원형기둥으로 상태는 양호한 것으로 확인되나, 일부구간(P3, P4, P6~P9)에서 온도 및 건조수축으로 보이는 균열(폭 0.1~0.2mm)이 발생하였고, 콘크리트 이어치기면 1~2개소가 각각의 기둥에서 나타나고 있다.

일부구간(P2, P8, P9) 기둥에는 시멘트 몰탈의 덧칠흔적이 확인되고, P7 기둥 일부구간에는 표면불량 상태가 관찰된다. 기둥 하단부 약 1~2.3m 정도는 되메움된 상태이다.

2) COPING부

본 진단 구조물의 COPING부는 길이 8.4~10.9m, 폭 1.9m로 균열 및 골재분리 등이 관찰되지 않는 등 양호하게 시공된 것으로 조사되었다.

3) 상부슬라브

상부슬라브는 P.C BEAM(L=21.00m(지간)) 합성 SLAB 형식으로 계획되어 시공되어 있으며, 슬라브 하면부는 1경간에 P.C BEAM 6본을 1.5m 간격으로 설치되어 있는 것으로 확인되었다.

슬라브 상면부는 상판 콘크리트 타설을 완료한 상태이며, 신축 이음부 설치간격은 경간별로 4~5cm 정도로 시공된 것으로 확인되었다. 상판 콘크리트 시공은 별다른 파손 등이 관찰되지 않는 것으로 볼 때 양호한 상태였다.

또한, 배수 시설의 경우 배수공이 일정한 간격으로 설치되어 있으며, 체수 및 오염 등은 관찰되지 않았다.

4) 기초 콘크리트 및 기초 막돌다짐

본 안전진단 구조물의 하부 기초 콘크리트는 당초 가로 8.0m, 세로 6.1m, 두께 1.4m 규격의 철근 콘크리트를 토사와 풍화토 경계부에 버림콘크리트 0.1m를 타설한 후 설치하도록 계획되었으나, 기초터파기시 용수가 발생하고 기초지반이 당초 설계와 달리 연약하여 기초 막돌다짐 1.5m, 버림콘크리트 1.0m로 기초를 보강한 후 기초 콘크리트를 설치하는 것으로 설계 변경하여 시공되었다고 현장관계자에게 청취할 수 있었다.

교량 구조물의 기초 콘크리트 및 기초 막돌다짐의 시공상태를 확인하기 위하여 안전진단시 현장에서 실시한 지질조사서를 확인한 결과, 기초 콘크리트의 두께는 1.9~3.4m로 설계된 기초 콘크리트 두께 2.4m(버림 및 기초)를 대부분이 유지하는 것으로 나타나고 있다. P6번 지질주상도에서 확인된 기초 콘크리트는 현장 지질조사시 기초 콘크리트(두께 : 1.9m) 구간과 기초 막돌다짐(두께 : 2.0m) 구간의 경계부 구분이 불명확하여 발생된 오차인 것으로 추정된다.

기초 막돌다짐의 두께는 P6 구간에서 2.0m로 나타나고 있어 설계된 두께 1.5m를 유지하고 있는 것으로 확인 되었다.

이외의 구간에서 막돌다짐의 두께가 0.2~1.4m로 부족되게 나타나는 것은 지질조사시 기초 콘크리트 구간과 막돌다짐 구간 경계부의 판단착오인 것으로 추정되나, 교각 P9(기초 콘크리트 두께 : 3.0m, 막돌다짐 : 0.2m), P7(기초 콘크리트 두께 : 2.9m, 막돌다짐 : 0.6m) 기초 막돌다짐 구간의 두께 부족은 현장 지질조사시 발생된 오차인지 침하에 의한 것인지는 확인하기 어려운 상태이다.

5) COPING(전차주 설치부) 상단부 및 슬라브 상판부 현시점 E.L CHECK(현장 제공)

(1) 교각 COPING(전차주 설치부) 상단부

교각 COPING 상단부 E.L은 전차주 설치를 위하여 COPING부를 확폭(P2, P4, P6, P8, P10, P12) 연결한 양단부에서 실시하였으며, 측정된 오차는 0.3~5.7cm 정도인 것으로 측정되었으며, 최대 오차는 P2번 위치에서 측정진행방향 좌측 3.8cm, 우측 5.7cm로 측정되었다.

(2) 상부슬라브 상판부

상부슬라브 상판부의 E.L은 P1~P12번이 위치하고 있는 슬라브 중앙부에서 실시하였으며, 측량치는 -1.2~3.7cm 정도인 것으로 측정되었으며, 최대 오차치는 P11번에서 기준치(E.L 147.700)보다 3.7cm 정도 높게 시공되었다.

3. 지질조사 결과

본 안전진단 대상 구조물인 ○○고가교(P1~P9)의 교각 하부에 대하여 안전진단시 현장에 서 실시한 지질조사 보고서(1997. 6. (주)지오콘)를 참고로 기술하면 지층상태가 상부로부터 매립층, 콘크리트, 기초석, 풍화토, 풍화암, 연암, 경암 순으로 분포하고 있다.

매립층은 자갈 및 잡석으로 구성되어 있으며, 색은 회색 내지 담갈색을 띠며, 습윤한 양상을 보이고 층후는 1.0~2.3m의 두께로 나타난다. 콘크리트층은 교각의 기초를 실시한 콘

크리트이며(A-1의 경우 나타나지 않음), 부분적으로 $\varnothing 2\text{cm}$ 의 철근이나 철사를 함유하기도 하며, 철근 절단 흔적을 보인다. 층후는 1.9~3.4m의 두께를 보인다. 기초석층은 교각의 기초를 실시하기 위하여 인위적으로 매립한 층으로서, 자갈 및 잡석으로 구성되어 있으며, 색은 주로 회색을 띠며, 층후는 0.2~2.5m의 두께로 나타난다.

풍화토층은 기반암인 편마암의 풍화잔류토로 굴진시 실트질 및 세립질 모래로 산출된다. 풍화정도는 주로 완전풍화 상태로 나타나며, 색은 갈색을 띤다. 층후는 3.3~13.2m의 두께로 나타난다. 표준관입시험은 51회로 N치는 11/30~43/30 및 50타에 11~31cm의 관입심도, 상대밀도는 보통조밀~매우조밀한 양상을 보이고 있다.

풍화암층은 기반암의 풍화암으로서 굴진시 암편상 및 중립질 모래로 산출된다. 풍화정도는 주로 심한풍화 상태로 나타나며, 색은 주로 갈색을 띤다. 층후는 1~8.5m이다. 표준관입시험은 10회로 N치는 50타에 0~11cm의 관입심도, 상대밀도는 매우 조밀한 양상을 보인다.

연암층은 기반암의 연암으로 균열이 발달하여 굴진시 암편상 내지 단주상의 코아로 산출된다. P-5, 6, 8에서는 본 층이 형성되어 있지 않다. TCR은 0(Slime으로 산출)~100%를 보이는데 평균 약 48% 정도이다. RQD는 0~10%로 저조한 편이다. 색은 주로 회색을 띠며, 층후는 0.4~4.5m의 두께를 보인다.

경암층은 기반암의 경암으로 굴진시 암편상, 단주상 및 장주상의 코아로 산출된다. TCR은 3~100%를 보이는데 평균 약 59% 정도이다. RQD는 0~39%로 평균 약 29%이다. 색은 주로 회색을 띤다.

따라서 ○○고가교 교각 하부의 지층은 구간별로 차이는 있으나 매립층에서 기초석까지는



인위적으로 형성된 층이므로 각각의 지층이 일괄적인 분포를 보이고 있다. 기초석 하단부에 위치하고 있는 풍화토층은 A1~P4 구간에서 9.0m 이상으로 두텁게 분포하고 있으나, P5~P9 구간에서는 풍화토의 두께가 6.1m 이하로 약 3m의 차이를 두고 분포하고 있다.

특히 P3 하단부 지층은 연약층(풍화토층)이 13.2m의 두께로 분포하고 있어 가장 취약한 지층의 분포를 보이고 있다.

4. 대상 구조물 현장시험 결과

1) 슈미트햄머에 의한 콘크리트 표면강도 시험 결과

본 진단대상 구조물인 ○○고가교(P1~P9)의 교각 기둥 및 COPING부에 대하여 비파괴 강도 시험기인 SCHMIDT HAMMER를 이용하여 측정 한 결과, 전체강도는 210.0~286.0kg/cm²으로 나타나며, 교각 기둥부 평균강도는 242.4kg/cm², 교각 COPING부 평균강도는 226.9kg/cm²인 것으로 측정되었으며, 이는 콘크리트 설계기준 강도 210Kg/cm²을 모두 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

2) 공시체에 의한 콘크리트 압축강도 시험 결과

본 구조물의 교각 기둥부(P2, P4, P5, P6, P8)에서 5개의 콘크리트 코어를 채취하여 압축강도 시험을 실시한 결과, 교각 기둥의 압축강도는 244.6 ~ 298.4kg/cm²(평균 278.0kg/cm²)으로 측정되어 설계기준강도($\sigma_{ck} = 210\text{kg/cm}^2$)를 모두 상회하는 것으로 측정되었다.

3) 균열깊이 조사 결과

본 구조물에 대한 균열깊이 측정을 위해 ULTRA SONIC TR-300 비파괴 장비를 사용하여 교각 교각 기둥(4개소)에 대하여 균열 심도를 측정하였다.

측정결과 교각 기둥 P4 후면에 발생된 균열부(균열폭 0.1~0.2mm)는 표면에서부터 54~56mm 깊이까지 균열이 진행된 것으로 나타났으며, 교각 기둥 P7 후면에 발생된 균열부(균열폭 0.1~0.2mm)는 표면에서부터 63~66mm 깊이까지 균열이 진행된 것으로 나타나고 있다. 이는 철근의 매입위치까지는 균열이 진행되지 않은 것으로 분석된다.

4) 철근배근 조사 결과

○○고가교의 교각 및 COPING부에 대하여 철근배근 상태를 확인하기 위해 RC RADAR 측정기를 사용하였고, 임의의 개소에 대하여 측정한 결과, 설계시의 단위 m당 철근량과 시공된 철근량은 일치하고 있으며, 교각 기둥 P2의 수직철근(설계 : 100mm, 측정 : 100~140mm), 수평철근(설계 : 250mm, 측정:220~250mm)과 교각 기둥 P4의 수직철근(설계 : 100mm, 측정 : 70~140mm), 수평철근(설계:250mm, 측정 : 270~280mm), 교각 COPING P4 수직철근(설계 : 200mm, 측정 : 190~240mm)의 철근 배근간격은 대체적으로 설계도면과 일치하고 있는 것으로 측정되었다. 측정된 결과치의 차이는 판독 오차 또는 콘크리트 타설시 철근의 이동 등에 기인한 것으로 판단된다.

5. 교각 침하 및 지지력 검토 결과

본 구조검토는 시공된 00고가교 중 교각(P1~P9) 기초부에 미치는 하중(사하중, 활하중 등)을 산정하여 침하량(탄성, 압밀) 및 지지력의 안전성을 검토하였다.

침하량 검토시 본 교량의 허용 침하량에 대한 기준을 제공받지 않은 상태이므로 안정·불안정을 판단하기 어려우며, 정량적인 수치에 대하여 하중재하에 따른 기초지반의 침하검토를 수행하였다.

하중산정시 지진에 의한 하중은 고려되지 않은 상태이며, 침하량 산정은 탄성 및 압밀 침하량으로 구분하여 실시하였고, 지지력 검토는 안전진단시 현장에서 제공받은 ○○고가교 교대(A1) 위치에서 실시한 평판재하시험 결과를 이용하여 교각의 구조적인 안전성을 평가하였다.

1) 침하검토

본 안전진단 대상 구조물의 침하검토는 안전진단시 현장에서 실시한 교량 기초부의 지질조사(교각 P1~P9) 결과 P3에 해당되는 지층이 연약층(풍화토)의 두께가 가장 두터워서 하중재하에 의한 침하량이 가장 클것으로 추정되어 P3 구간에 대하여 실시하였다.

또한, 침하검토는 압밀침하 및 탄성침하로 구분하여 실시하였으며, 현 시공상태(기초 CON`C 시공부터 상부 SLAB 시공까지) 침하 발생 및 추후 침하예정(도상 및 궤도설치, 열차통행시 활하중 재하시) 등으로 구분하여 기술하면 다음과 같다.

- 본 ○○고가교 P3 교각 상부 SLAB의 고저차는 시공중에 발생된 오차인지 침하에 의한 것인지는 확인하기 어려우나, 압밀침하 및 탄성

침하에 대한 안전성 판단을 위한 침하량 계산 결과에 의하면 시공중에 발생된 침하(압밀침하 5.869cm, 탄성침하 0.748cm)량이 6.617cm, 기초 CON`C~상부 SLAB 시공후 약 2년간 경과된 안전진단시 까지 침하(압밀침하 4.512cm, 탄성침하 0.126cm)량이 4.638cm이므로 현 시공상태에서 발생된 것으로 추정되는 침하는 총 11.255cm인 것으로 계산된다.

또한, 도상 및 궤도설치, 열차통행시 활하중 재하시 등에 의하여 추후 발생될 것으로 추정되는 침하는 압밀침하 발생 예정량이 1.341cm, 탄성침하가 3.699cm로서 총 5.040cm의 침하가 추가로 발생될 것으로 계산상 검토된다.

따라서, 본 안전진단 대상 구조물인 ○○고가교 교각(P1~P9) 기초부에 추가 발생될 수 있는 침하가 5.040cm이므로 교각의 침하를 방지하기 위하여는 보수·보강방안의 검토가 필요할 것으로 판단된다.

2) 지지력 검토

본 구조물의 지지력 검토는 교각(P3) 기초부에 대하여 실시하였으며, 교각(P3) 기초에 작용하는 하중산정은 최대반력이 $P_{max} = 46\text{ton/m}^2$ 로 계산되어 안전율을 2.0으로 가정할 경우 $P_{max} = 92\text{ton/m}^2$ 의 지반 지지력이 요구된다.

따라서, 안전진단시 현장에서 제공받은 ○○고가교 교대(A1) 위치에서 실시한 평판재하시험 결과 92ton/m^2 의 하중강도에 해당되는 하중·변위의 관계가 선형적인 기울기를 나타내는 지반 항복점 이내이므로 지지력에 대한 교각의 안전성은 확보되는 것으로 판단된다.

6. 보강대책

본 안전진단 대상 구조물인 ○○고가교 교각 (P1~P9) 기초부에 대한 침하 및 지지력을 검토한 결과, 지지력에 대해서는 안전진단시 현장에서 제공받은 교대(A1) 위치에서 실시한 평판재하시험 결과의 하중강도(92ton/m²)에 해당되는 하중 범위의 관계가 선형적인 기울기를 나타내는 지반 항복점 이내이므로 지지력에 대한 교각의 안전성은 확보되는 것으로 판단되나, 교각 (P1~P9) 기초부에 발생될 수 있는 추가 발생 침하는 5.040cm로 계산되므로 침하발생에 따른 교량의 사용성 측면에서 교각의 침하를 방지하기 위하여는 다음과 같은 보강대책이 필요할 것으로 판단된다.

1) 교각 기초부 CEMENT MILK GROUTING 보강(막돌다짐 구간)

안전진단시 현장에서 실시한 지질조사 결과

를 참고하면 기초 막돌다짐의 두께는 P6 구간에서 2.0m로 나타나고 있어 설계된 두께 1.5m를 유지하고 있는 것으로 확인되었다.

이외의 구간에서 막돌다짐의 두께가 0.2~1.4m로 부족하게 나타나는 것은 지질조사시 기초 콘크리트 구간과 막돌다짐 구간 경계부의 판단착오인 것으로 추정되나, 교각 P9(기초 콘크리트 두께 : 3.0m, 막돌다짐 : 0.2m), P7(기초 콘크리트 두께 : 2.9m, 막돌다짐 : 0.6m) 기초 막돌다짐 구간의 두께 부족은 현장 지질조사시 발생된 오차인지 침하에 의한 것인지는 확인하기 어려우나, 막돌다짐 구간의 두께가 부족한 상태인 것으로 확인되었다.

막돌다짐 구간은 입자가 모나고 공극이 크므로 하중재하에 의해 막돌상호간 침하와 연약지반으로 함몰되어 침하가 증가될 수 있다.

따라서, A1 교대부의 침하발생 현황을 참고할 때, 막돌다짐 구간 공극부에서의 침하발생 및 연약지반 압밀침하, 탄성침하가 함께 발생된 것으로 추정되므로, 침하발생의 감소를 위해서

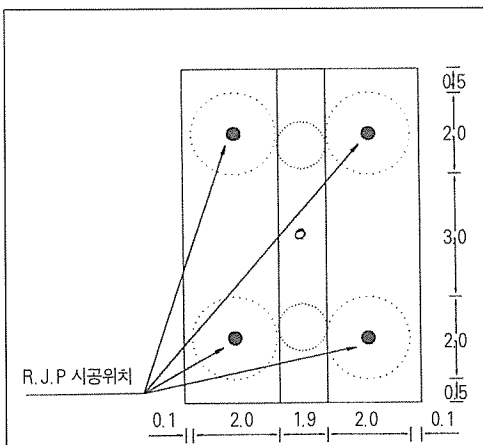


그림 1. 보강 평면도

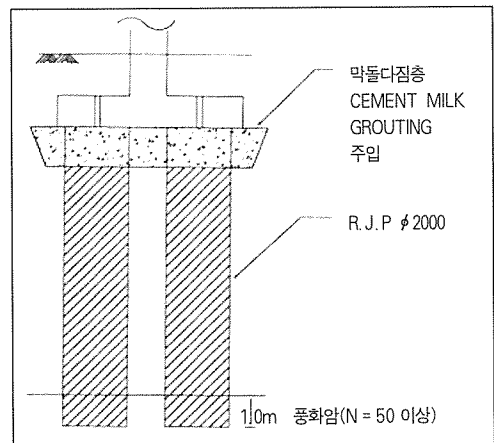


그림 2. 보강 단면도

는 막돌다짐 공극부에 시멘트 몰탈로 채움하여 기초 콘크리트와 막돌다짐 구간의 일체화를 이루는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.(그림 1, 2. 참고)

2) 교각 기초부 R.J.P 보강 (막돌다짐 구간 저면)

본 ○○고가교의 기초부에 대한 침하 및 지지력을 검토한 결과, 지지력에 대한 교각의 안전성은 확보되는 것으로 판단된다. 그러나, 본 교량은 철도교량으로서 안전에 대한 중요성이 첨예하므로 지지력을 증대시키고, 도상 및 궤도 하중 추가시공에 따라 교각 기초부에 발생할 수 있는 장기압밀에 의한 추가적인 압밀침하 및 탄성침하를 감소하기 위해 R.J.P공법으로 교각 기초부와 일체화된 막돌다짐 구간 저면에서 풍화암 1m까지 보강하는 것이 교량전체 안전성에 도움이 될 것으로 판단된다.

전항 막돌다짐 구간의 CEMENT MILK GROUTING 보강작업과 R.J.P 보강작업은 동시에 실시되도록 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.(그림 1, 2. 참고)

7. 제안사항

본 안전진단 대상 구조물의 안전검토 결과를 토대로 그에 따른 제안사항 및 향후 공사시 유의사항을 기술하면 다음과 같다.

1) 본 교량의 교각부에는 극히 일부구간에 온도균열로 추정되는 0.1~0.2mm 정도의 허용균열치(0.3mm) 이내의 균열이 발생된 상태이다. 향후 상기 균열이 확대되거나 추가로 발생된 허용균열치 이상의 균열을 방치하는 경우 균열폭 및 균열깊이 증대에 따른 공기 및 수분

의 침투로 인한 콘크리트의 열화가 촉진될 수 있고, 또한 철근의 부식, 부착응력 저하 등을 초래하여 구조물의 내구성이 약화될 수 있으므로 발생된 균열은 EPOXY 등으로 충전 보수하는 등의 유지 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2) 본 교량의 교각 기초 막돌다짐 구간의 공극부에 시멘트 몰탈로 채움하여 기초 콘크리트와 막돌다짐 구간의 일체화를 위한 보강작업시에는 안전진단시 현장에서 실시한 지질조사 보고서에 나타난 막돌다짐 구간의 두께를 각각의 교각별로 고려하여 CEMENT MILK GROUTING의 주입량을 확인하면서 보강작업을 실시하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

3) 본 진단대상 구조물의 보강작업시 R.J.P 시공은 시험 GROUTING을 실시하여 직경 2000mm 정도의 구체가 형성되지 않을 경우에는 R.J.P GROUTING 공수를 직경 2000mm에 해당되는 면적만큼 공수를 추가하여 시공하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

또한, 본 보강공법은 Under-Pinning GROUTING 공법이므로 R.J.P 양생기간을 고려한 시공진행 계획을 수립하여 보강공사를 진행하고, GROUTING 보강작업시 주입압에 의한 진단대상 구조물의 이상변위가 발생되지 않도록 주의시공이 요망된다.

4) 본 교량의 보수·보강공사 완료한 후 공사준공시까지 및 열차통행시 정기적인 점검 등을 실시하여 교량의 구조적인 문제가 발생할 경우에는 즉각적으로 대처할 수 있는 유지관리 계획을 수립하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. ㉞