

대규모 단층대를 통과하는 교량설계를 위한 물리탐사의 활용 Application of Geophysical Results to Designing Bridge over Large Fault

정호준¹⁾, Ho-Joon Chung, 김정호²⁾, Jung-Ho Kim, 박근필²⁾, Keun-Pil Park,
최호식³⁾, Ho-Sik Choi, 김기석⁴⁾, Ki-Seog Kim, 김종수⁵⁾, Jong-Soo Kim

- 1) (주)희송지오테크 차장, Manager, HeeSong Geotek Co.
- 2) 한국지질자원연구원 책임연구원, Principal Researcher, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources
- 3) (주)희송지오테크 부장, General Manager, HeeSong Geotek Co.
- 4) (주)희송지오테크 대표이사, President, HeeSong Geotek Co.
- 5) 현대산업개발(주) 부장, General Manager, Hyundai Development Co.

SYNOPSIS : During the core drilling for the design of a railway bridge crossing over the inferred fault system along the river, fracture zone, extends vertically more than the bottom of borehole, filled with fault gouge was found. The safety of bridge could be threatened by the excessive subsidence or the reduced bearing capacity of bedrock, if a fault would be developed under or around the pier foundation. Thus, a close examination of the fault was required to rearrange pier locations away from the fault or to select a reinforcement method if necessary. Geophysical methods, seismic reflection method and electrical resistivity survey over the water covered area, were applied to delineate the weak zone associated with the fault system. The results of geophysical survey clearly showed a number of faults extending vertically more than 50m. Reinforcement was not desirable because of the high cost and the water contamination, etc. The pier locations were thus rearranged based on the results of geophysical surveys to avoid the undesirable situations, and additional core drillings on the rearranged pier locations were carried out. The bedrock conditions at the additional drilling sites turned out to be acceptable for the construction of piers.

Key words : railway bridge, fault system, geophysical method, electrical resistivity method

1. 서 론

본 논문에서는 강 하부에 발달한 단층대를 통과하는 철도 교량 건설 예정 부지의 단층대 정밀 분석을 위한 하상 물리탐사 적용 및 교량 설계에 활용한 사례를 소개하고자 한다. 북한강을 가로지르는 철도 교량 설계를 위한 시추조사 과정에서 심도 30m 이상까지 단층가우지가 포함된 단층파쇄대가 발견되었다(그림 1). 이러한 단층파쇄대 위에 교량의 기초가 설치되게 되면 과도한 침하가 발생한 가능성이 있으며 이로 인해 교량의 안전성이 위협받을 우려가 있다. 따라서 이러한 연약지반을 보강하거나 다른 적절한 위치에 기초를 설치하여야 한다. 연약지반 보강의 경우 기초의 위치를 자유롭게 선정할 수 있는 장점이 있으나 공사비용의 증가, 시공의 난이성, 수질 오염등의 문제점이 발생한다. 따라서 상세한 지반조사를 바탕으로 기초 지반으로 적절한 위치를 선정해서 교량을 설계하는 것이 바람직하다. 이 지역은 조구조 규모의 주향이동 단층인 경강단층이 북한강을 따라 발달하고 있는 것으로 알려져 있으나 강 하부에 발달하고 있어 단층의 상세한 발달 상황을 파악하기가 곤란하다. 그러므로 물리탐사 방법들을 적용

하여 강 하부에 발달한 단층대를 정밀 파악하고자 하였으며, 물리탐사 결과 및 시추조사 결과를 통해서 최적의 교각 위치를 결정하고자 하였다.

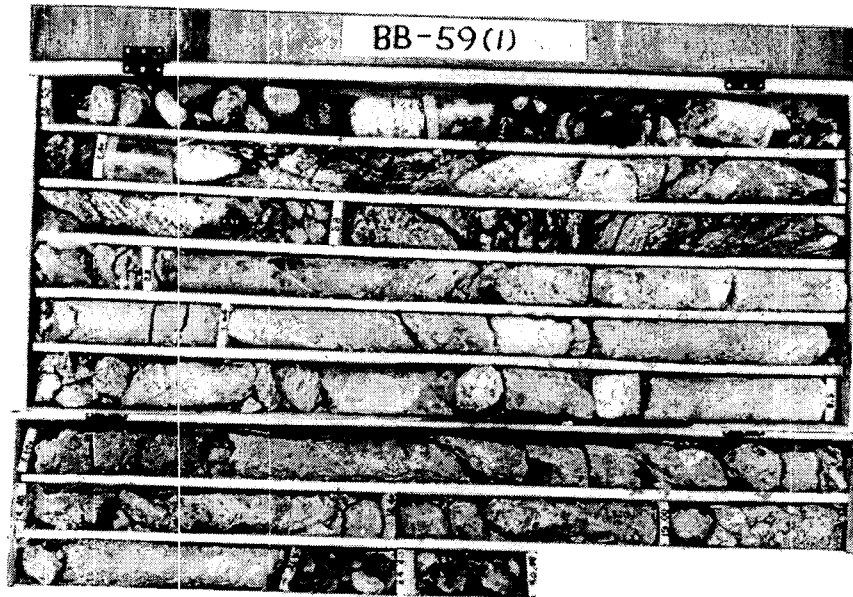


그림 1. 단층가우지를 포함한 단층파쇄대를 보여주는 시추코어 사진

2 물리탐사

2.1 하상전기비저항 탐사

전기비저항탐사는 지하에 전류를 흘린 후 지하의 전기비저항 분포를 반영하는 전위의 공간적 분포를 측정, 분석하여 지하구조를 밝히는 탐사법으로 지반조사, 지열 및 지하수 개발, 환경 문제 등 다양한 분야에 성공적으로 적용되고 있다. 전기비저항탐사에서 지하구조에 대한 분해능 및 측정자료의 신호대 잡음비는 주로 전극배열에 의존하게 되며, 따라서 현장 상황에 맞게 적절한 전극배열이 선택되어야 한다. 본 조사 지역에서 탐사 대상체인 단층은 강 하부에 존재하므로 대상체에 대한 민감도를 증대시키기 위하여 강바닥에 전극을 설치하였다. 강에서 전기비저항 탐사를 실시하는 경우 육상 탐사와 비교해서 측정되는 신호수준이 매우 낮기 때문에 육상 탐사에서 주로 사용되는 전극배열법을 사용하기가 곤란하다. 따라서 신호대 잡음 수준을 향상시키고 지하구조에 대한 분해능을 높이기 위해서 변형된 쌍극자배열 및 변형된 단극배열(김 등, 1999)을 적용하여 탐사를 수행하였다. 측정자료의 역산은 유한요소 모델링 및 ACB(Active constraint balancing)기법(Yi and Kim, 1998)에 기반한 2.5차원 역산 프로그램을 사용하였다. 이 역산 프로그램은 GPR(Ground penetrating radar) 탐사로 구한 하상 지형 및 강물의 전기전도도를 역산에 포함시켜서 정확한 지하 전기비저항 영상을 획득할 수 있도록 고안된 것이다.

2.1 반사법 탄성과 탐사

반사법 탄성과 탐사는 인공적으로 발생시킨 탄성파가 지하로 전파하다가 지하의 지층 경계면에서 반사되어 돌아오는 파를 수신하여 지하구조를 밝히는 탐사법이다. 탄성파를 발생시키기 위하여 에어건이 사용되었으며 반사파의 수신은 6채널 하이드로폰 스트리머를 사용하였다. 탐사 자료의 획득은 DGPS 및 하이팩 항해 시스템(Hypack navigation system)을 이용하여 미리 정해진 항로를 항해하면서 이루어졌

다. 측정자료에 이득회수, 디콘블루션, 대역통과 필터링, 에어건 지연 보정등의 처리과정을 거쳐 탄성과 단면을 획득하였다.

3 물리탐사 결과

3.1 하상전기비저항 탐사

탐사자료 역산 결과 얻어진 전기비저항 단면들은 400 - 1000 ohm-m의 전기비저항을 보이는 기반암 위에 모래 및 자갈로 구성된 얇은 퇴적층이 분포함을 보여주며, 특히 낮은 전기비저항을 보이는 6개의 수직 이상대들이 비저항 단면상에서 뚜렷하게 영상화 된다. 그림 2는 비저항 단면상에서 영상화된 저비저항 이상대들의 위치를 나타낸 것이다. 이상대 A, B, C가 가장 뚜렷하게 발달하고 있으며 심도 50m 이상 연장되어 나타난다. 이 이상대들은 경강단층대의 주 단층과쇄대로 판단된다. 특히, 이상대 C는 BB-59공의 시추결과 단층가우지로 채워진 단층과쇄대로 확인되었다. 이상대 D, E는 이상대 A, B, C보다 상대적으로 높은 전기비저항을 보이며 소단층들로 판단된다.

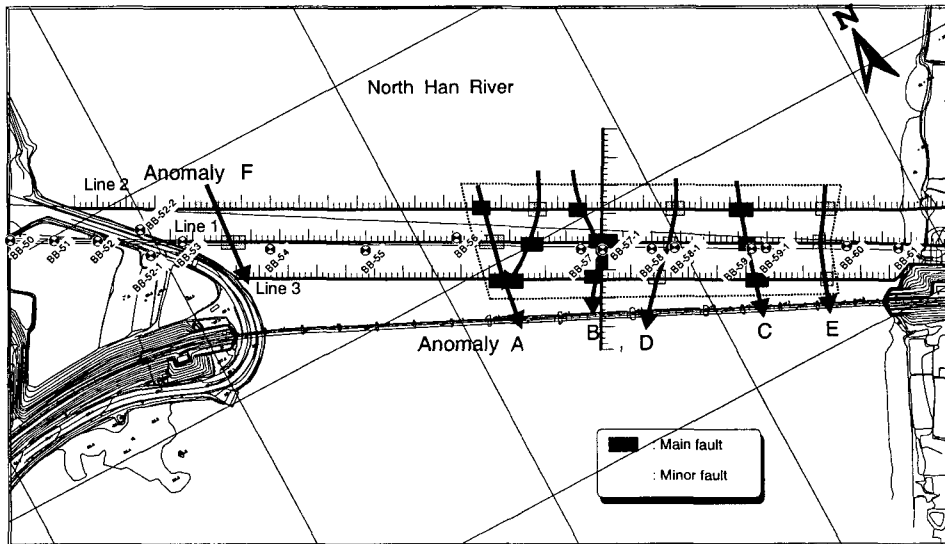


그림 2. 저비저항 이상대의 공간적 분포

3.2 반사법 탄성과 탐사

탄성과 단면상에서 기반암의 심도는 6.5 - 14m 정도의 범위를 보이며 3조의 기반암 융기대들이 인지 된다. 기반암 반사파들의 진폭을 살펴보면 강의 오른쪽 부분에서 작게 나오는데 이는 이부분에서 기반암의 풍화나 파쇄가 더 많이 진행되었을 가능성을 시사한다. 그림 3은 탄성과 단면상에서 확인되는 기반암 융기대의 공간적 분포를 나타낸 것이다. 강의 오른쪽 부분에서 기반암 융기대가 휘어지는 양상을 보이는데 이는 이 부분에 더 많은 파쇄가 진행되었을 가능성을 시사한다.

4. 교각 기초 위치의 선정

반사법 탄성과 탐사 결과는 강의 오른쪽에 기반암 파쇄대가 발달할 가능성을 시사하고 있으며 전기비저항 탐사 결과 밝혀진 저비저항 이상대도 주로 강의 우측에 분포한다. 특히 주요 전기비저항 이상대들은 심도 50m 이상 수직으로 발달되는 것으로 나타난다. BB-59의 시추 결과를 바탕으로 지층조건을 구

성하여 단층파쇄대 위에 교각 기초가 위치하는 경우의 기초 침하량을 계산한 결과, 기준치를 초과한 66mm의 침하가 일어날 것으로 예측되었다. 따라서 새로운 기초위치를 선정하기 위해 물리탐사 결과 및 가능한 최대 교각 사이의 거리를 고려하여 3개소에서 추가 시추조사를 실시하였다. 추가 시추조사를 실시한 시추공들에서는 단층파쇄대가 발견되지 않았으며 기반암은 기초를 설치하기에 적절한 것으로 밝혀졌다. 이상의 결과들을 바탕으로 주단층의 영향을 최소화 할 수 있도록 교각 위치를 재배치하였다. 그 결과 1개 교각의 일부분이 소단층위에 위치하는 것으로 나타났으나 FLAC 모델링 결과 안전한 것으로 판단되었다.

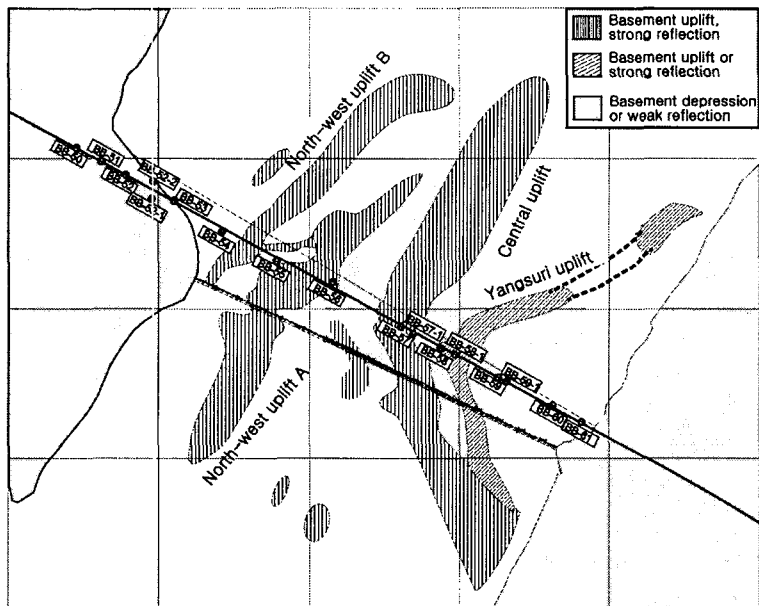


그림 3. 탄성과 탐사에서 인지되는 기반암 기복 분포

5. 결론

향상된 하상 물리탐사 기법 및 해석 기법의 적용으로 강 하부에 존재하는 단층대에 대한 정밀 영상을 획득할 수 있었으며, 물리탐사 해석 결과들은 시추조사 결과에 매우 잘 일치하였다. 물리탐사 및 시추조사 결과들을 바탕으로 지반보강 공법을 적용하지 않고도 교각 간격을 조정함으로써 안전하고 경제적인 교량을 설계할 수 있었다.

참고문헌

김정호, 이명중, 정승환 (1999), "2차원 전기비저항 탐사를 위한 전극배열법의 비교", 제 73 차 한국자원공학회 학술발표회, pp. 134-138.

Yi, M.J., and Kim, J.H. (1998), "Enhancing the resolving power of the least-squares inversion with active constraint balancing", 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, pp.485-488.