

# 경부고속철도 천성산구간 원효터널공사와 늪지와의 상관성 분석

## Analysis of Correlation Between Wonhyo Tunnel(section of KTX line) Works and Swamp

함동선\*  
Ham, Dong-Sun

김병호\*\*  
Kim Byeong-Ho

전병규\*\*\*  
Jeon Byeong-Gyoo

김인수\*\*\*\*  
Kim In-Soo

---

### ABSTRACT

The Wonhyo Tunnel on KTX railroad line is a section of latest concerns from domestic environmental NGOs, which focus on potential destruction of ecosystem or the like due to ever-depleted swamp water at about 300m upward from the tunnel under construction.

As a result of study, out of all swamps in the vicinity of the tunnel, it was found that Mujechi 1st and 2nd swamps have been getting smaller in their area little by little since 50 years ago primarily under the influence of eroded streams around lower swamp and even ever-increasing annual mean temperature.

As the result of monitoring about swamp before work, it was found that swamp water depends absolutely on amount of rainfall.

Besides, the results of monitoring during work also didn't show any leakage generated in the tunnel during and after excavation works with regard to a wheat field swamp in the most vicinity of the tunnel (80m away).

On the other hand, it was found that the range affected by ground water sink in tunnel section without grouting process amounted to about 100m around the tunnel, which indicates that such ground water sink has no significant impact upon most of swamps near the tunnel.

As the result of testing by two well tracer test around swamps, it was noted that swamp water didn't run out from the bottom of swamp even with adjacent ground water level sunk in factitious ways.

And the results of physical survey showed that swamp kept saturated even in dry season when ground water level becomes lower than the bottom of swamp.

Therefore, even supposing that ground water level becomes sunk due to tunnel works, it is estimated that the water level of swamps would be still kept owing to impervious layer(peat beds).

---

## 1. 서 론

경부고속철도 천성산 원효터널은 터널공사로 인하여 무제치늪 등 환경부에서 지정한 생태계보존지역의 파괴를 주장하는 환경단체 등의 공사반대로 인하여 공사가 2차례나 중지되었던 구간이다.

환경 분쟁의 주요논지는 터널공사 시행 시 천성산에 있는 단층대로 지하수가 유출되고 이로 인하여 지하수위가 저하되어 터널상부(약 300m)에 위치한 무제치늪 등의 물이 감소되거나 고갈되어 늪지가 말라 생태계가 파괴될 수 있다는 것이었다.

---

\* 책임저자, 한국철도시설공단, 건설본부

E-mail : ef@ktx.or.kr

TEL : (042)607-4744 FAX : (042)607-4779

\*\* 한국철도시설공단, 고속철도사업단장

\*\*\* 한국철도시설공단, 기술본부

\*\*\*\* 한국철도시설공단, 경영혁신단

본 연구에서는 경부고속철도 천성산구간의 원효터널이 통과하는 구간에 대한 각종 현장조사 및 실내·외 시험 결과로부터 단층의 발달규모(단층의 주향방향, 폭, 심부연장성)의 파악과 단층대 및 주변 암반의 물리적, 역학적 특성을 파악함과 동시에 수치해석에 필요한 각종 지반공학적 정수를 산출하여 터널공사시 터널내로 유입되는 지하수량과 이에 따른 영향범위, 천성산의 자연생태계를 대표하는 무제치늪 등의 늪지와 계곡수에 미치는 영향 등을 검토하여 원효터널 공사가 천성산의 자연생태계(늪지 및 계곡수)에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 본 문

### 2.1 연구구간 단층대 현황

경부고속철도 천성산구간 원효터널은 서울~천안~대전~대구~경주~부산구간 중 경주~부산 구간에 위치한 터널로서 설계최고속도는 350km/hr이며 운행속도는 300km/hr로 운행하는 여객전용 철도 노선이며, 원효터널은 울산광역시 울주군 금곡리 - 경상남도 양산시 웅상읍 평산리에 이르는 연장 13.27km의 장대(長大)터널이다.



그림 1 경부고속철도 천성산구간 노선도

### 2.2 무제치늪 현황

터널 통과구간 상부지역의 주요 습지 현황을 조사한 결과 20여개의 크고 작은 습지가 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이중, 생태계 보존지역인 무제치 1,2늪은 늪지의 물이 정체할 수 있도록 늪지와 하천이 연결되는 지점이 제방처럼 바위와 세립토로 구성되어 지난 수십년간 늪지의 물이 정체되어 늪의 생태계를 유지토록 하고 있으나 늪지하부의 하천이 두부침식을 계속 진행함에 따라 늪지의 세립토가 하천하부로 침식 운반되어 늪지의 배수가 이루어지고 있으며, 1946년부터 1999년까지 54년간 늪지의 기온 및 강수량의 변화를 분석한 결과 늪지의 수원 증발을 유발하는 연평균기온은 약 12℃에서 14.5℃로 높아진 반면 연평균 강수량은 거의 변동이 없어 육화가 촉진되고 있다.

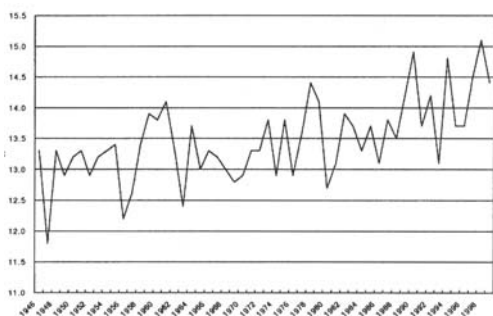


그림 2 연 평균기온변화(1946-1999)

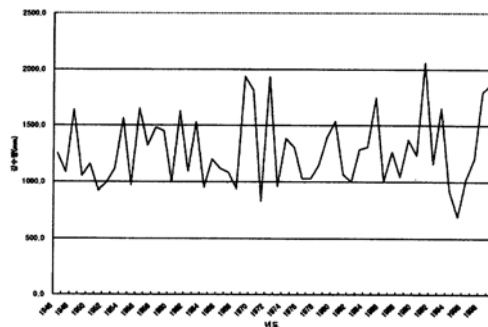


그림 3 연 강수량변화 (1946-1999)

이로 인하여 무제치1늪의 면적은 1978년 32,182m<sup>2</sup>에서 1998년 16,845m<sup>2</sup>으로 감소하였고, 무제치 2늪 또한 1978년 9,855m<sup>2</sup>에서 1998년 9,009m<sup>2</sup>로 감소하였다.

이는 경부고속철도 터널이 2005년 2월에 착수한 점을 감안하면 앞으로 터널공사에 따른 무제치늪의 영향이 전혀 없다고 하더라도 늪지의 육화 및 면적감소는 계속 이뤄질 것으로 예측되므로 무제치늪 등 천성산의 늪을 보호하기 위하여 육화에 기인하는 인자분석 및 인자별 기여도를 조사하는 등 늪지를 중심으로 한 근본적인 대책의 수립이 필요하다고 할 것으로 판단된다.



그림 4. 천성산 일원의 주요습지

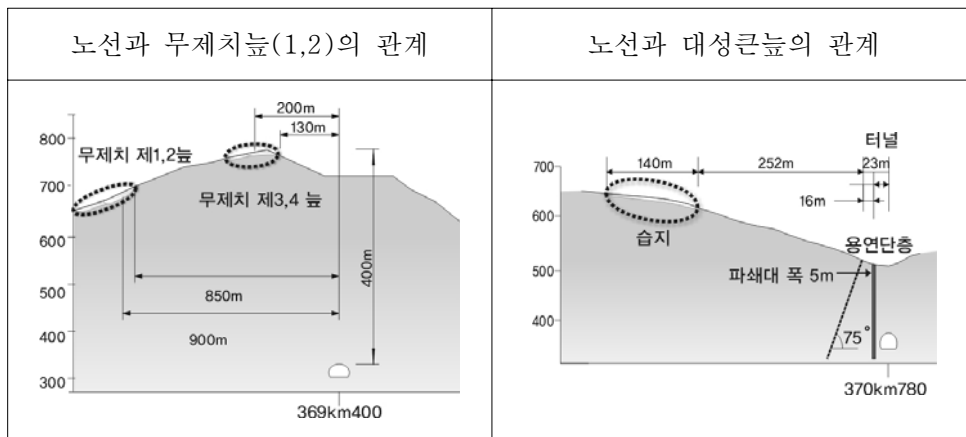


그림 5. 터널과 늪지의 이격현황

### 2.3 물리탐사 분석 결과

원효터널 구간에 대한 선구조분석, 야외조사, 시추조사, 지구물리탐사 등을 통하여 원효터널 일원에는 총 15개의 대소규모의 단층이 존재하고 있고, 이중 9개가 원효터널 노선과 교차하고 있는 것으로 조사되었으며, 이중 주요단층은 4개소로서 그림 6과 같다.

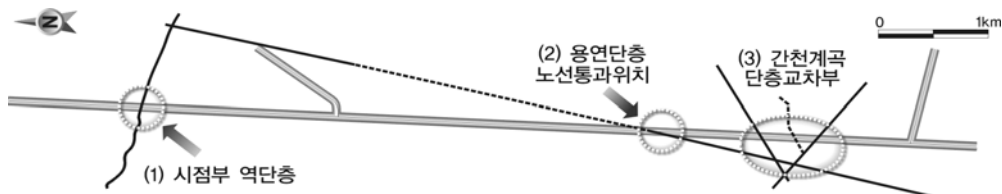


그림 6. 원효터널 취약 지질구간

생태계보존지역인 무제치늪에 대한 직접시험이 어려운 상황에서 인근의 유사지역인 대성늪에서 채취한 시료분석결과, 습지하부에 20cm 두께의 이탄층이 조사되었으며, 대성늪 지역에서 시험한 유기질 및 소성점토층을 함유하고 있는 습지점토층(이탄층)은 CH-OH에 해당하고 수리전도도는  $4.48 \times 10^{-7} \sim 7.38 \times 10^{-7} \text{cm/s}$  범위를 보이며 평균치는  $6.11 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 로서 투수성이 매우 낮아 댐기초의 설계기준인  $3.9 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 보다 매우 양호한 수리전도도를 나타내었다.

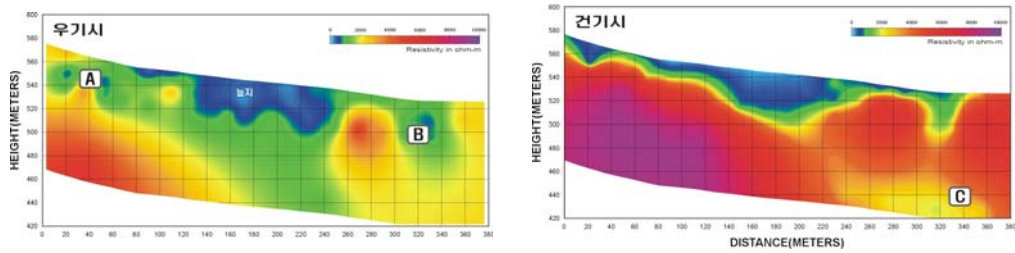


그림 7. 대성늪 전기비저항 모니터링 결과

대성 늪 하부 기반암은 전기 비저항 모니터링 결과 주변에 비해 다소 낮은 비저항을 보이고 있으며, 건기 시 늪지와 기반암의 경계는 뚜렷하게 관찰되며, 건기와 우기 시의 단면을 비교할 때 늪지의 물이 늪지하부로 유입되는 통로의 구조는 관찰되지 않았다.

이는 늪지 상부토사층 내에 30cm정도의 유기질토가 건기시에도 늪지를 포화상태의 저비저항영역으로 유지하기 때문인 것으로 판단되며, 이는 무제치늪 전비비저항 모니터링결과에서도 확인 되었다.

#### 2.4. 수리학적 시험·분석 결과

천성산 원효터널의 지하수 문제는 시공과정에서 터널내 유출수에 의한 안정성 해석뿐 아니라 터널 주변 지하수계 변동에 의한 고산습지환경에 미치는 영향여부를 판단하는데도 중요하다.

따라서 고산습지 하부를 통과하는 지역에서 터널 노선과 습지와의 이격거리, 습지의 규모, 단층 파쇄대의교차여부를 근거로 하여 터널과 최근거리에 위치한 무제치 3늪 하부 통과구간(Sta.369.82km), 대성뒀늪 하부 통과구간(sta.370.40km), 대성큰늪 하부 통과구간(sta.370.780km)를 해석위치로 선정하였다.

무제치 3늪은 보호습지인 무제치 1,2늪 보다 터널에 매우 가까운 곳에 위치한 습지로서 무제치3늪에서 수리적 안정성이 확보된다면, 보호습지인 무제치1,2늪의 안정측에 있다고 할 수 있는구간으로 해석결과, 터널의 차수공사(Grouting)의 유무에 관계없이 터널굴착 후 10년경과 시에도 무제치 3늪의 초기 지하수위에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

또한 천성산의 늪지 중 터널과 100m인근에 위치하고 단층대가 통과하여 터널 공사로 인한 영향이 가장 클 것으로 예상된 대성뒀늪의 경우 터널굴착 10년경과 후의 지하수위를 검토한 결과, 단층파쇄대의 수리전도도가  $10^{-5}$ m/sec일 때, 그라우팅을 시행하지 않을 경우 대성뒀늪 전 영역에 걸쳐서 지하수위가 강하하는 것으로 나타났다.

그러나 터널시공시 시행할 차수공사(Grouting)를 실시할 경우 수리전도도가 1/100로 감소하여 대성뒀늪의 지하수에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

#### 2.5 터널굴착시 지하수위 저하 범위

터널굴착시 grouting등으로 차수 및 보강공사를 시행하지 않을 경우 지하수위 저하 영향범위가 터널을 중심으로 어느 정도 이격된 거리까지 미치는 지를 조사하기 위하여 현장대수성 시험을 실시하였다. 대수성시험은 무제치늪과 대성늪지역으로 2곳에서 시행되었다.

무제치늪 지역은 무제치늪지와 원효터널 예상노선사이 구간에 설치한 P-1 양수정에서 적정 양수량인 12m<sup>3</sup>/일의 채수율로 장기 대수성시험을 실시하여 산정한 지하수계의 영향범위는 약 104m 정도 였다



그림 8 대수성 시험결과 영향범위

이는 터널과 보호습지인 무제치 1,2층과의 수평거리가 최소 880m이상이므로 터널굴착시 그라우팅 등 차수공사를 시행하지 않더라도 보호습지인 무제치1,2층에는 지하수위의 저하가 일어나지 않을 것으로 판단된다.

대성늪지역은 대성늪지와 원효터널 예상노선 사이 구간에 설치한 P-2 시험정에서 적정 양수량을 약간 상회하는 1일 8m<sup>3</sup>~10m<sup>3</sup>의 채수율로 장기대수성시험을 실시한 결과 지하수저하 영향반경은 약 76.2m이다

이는 터널과 대성늪이 수평으로 398m이상 떨어져 있는점을 감안하면 터널굴착시 착수 및 보강기능이 있는 Grouting을 실시하지 않더라도 대성늪에서는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

이를 준용하면 원효터널 인근에 위치한 늪은 밀밭늪을 제외하고는 모두 터널과 수평으로 100m이상 이격되어 있으므로 터널공사시 차수공사를 하지 않는 조건에서도 터널공사의 영향권 밖에 있다고 판단된다.

## 2.6 습지하부 이탄층의 기능성 시험

습지의 하부는 30cm이상의 이탄층으로 구성되어 있으므로 이탄층의 방수역할에 대한 이견이 있어 이를 검증하고자, 습지하부 이탄층에 현장추적자 시험을 실시하여 갈수기에 습지인근의 지하수위가 습지 바닥보다 아래로 하강 할 경우 습지의 물이 바닥으로 유출되는지 여부를 검토하였다.

이는 습지의 생태계가 계속 유지되려면 우기 및 갈수기 등에 상관없이 습지는 일정한 수분을 함유하고 있어야 하기에 습지바닥을 구성하는 이탄층의 방수층 기능시험을 실시하였다.

현장추적자 시험은 대성늪지 가운데 저투수성 이탄층의 최상단 구간에 H-1주입정(심도 0.15m)을 설치하여 추적자(염소이온)를 연속적으로 주입시키면서, 약 300m 이격된 터널위치의 양수정에서 수중모터를 설치하여 지하180m까지 지하수위를 저하시켜 인위적인 지하수 흐름을 유도한 다음 H-1주입정과 양수정 사이에 관측공을 설치하여 추적자를 검출하기위해 추적자시험을 실시하였다.

10일간 추적자시험결과, 주입정(H-1)에서 주입한 비반응 추적자 (염소이온)가 주입정으로부터 10.4m 떨어진 관측공 B-3공에서 검출되지 않았다.

추적자의 불검출 사유로는 대성늪 이탄층의 수리전도도(K)가  $7.56 \times 10^{-7}$ cm/sec로 매우 낮아 시험기간 동안 추적자가 점토층을 통과할 수 없었다는 것으로 천성산의 습지바닥에 위치한 이탄층이 습지 물을 습지하부로 이동하는 것을 막아, 갈수기에 습지인근의 지하수위가 습지보다 낮아지는 경우에도 습지의 수원을 계속 유지하여 습지의 생태계를 유지할 수 있게 할 수 있었다고 판단된다.

## 2.7 모니터링 및 터널굴착 내용 분석

습지구간의 원효터널공사가 2005. 2월 착수함에 따라 공사 착수전에 측정된 무제치늪의 강우량과 수위와는 관계는 2004.11.10일 85.2mm/일 강우시 무제치늪의 수위가 20cm에서 25.9cm로 상승하였고 대성늪의 수위 또한 2004.11.10일 85.2mm/일 강우시 대성늪의 수위가 9.4cm에서 16.4cm로 상승하는 등 대성늪 및 무제치늪의 수위는 강우량에 절대적인 영향을 받는 것으로 조사되었다.

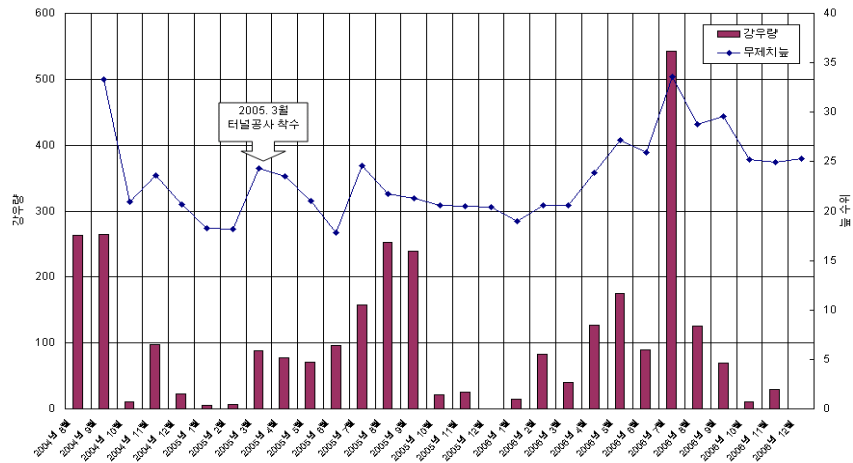


그림 9 무제치늪 수위 모니터일 결과(2004. 8 ~ 2006.12)  
표 1 공사전후 무제치늪의 강우량 및 월평균수위

구 분	월평균 강수량	월평균 수위	비 고
공사 착수전	95.9mm	22.5cm	'04.8 ~ '05.2
공사 착수후	106.2mm	23.7cm	'05.3 ~ '06.12

이는 습지에 물을 공급하는 system이 지하수맥과 연결되어 있어 터널공사시 지하수위가 저하되면 습지가 고갈 될 수 있다는 일부의 주장과는 다르다고 할 것이다.

또한, 터널굴착이 완료된 구간에 위치한 밀밭늪은 터널과 수평으로는 80m, 수직으로는 420m 떨어져 있어 고속철도 터널인근의 가장 가까운 위치에 있는 늪지 중 한 곳으로 터널굴착공사가 완료되었으나 터널 내에는 누수가 전혀 발생하지 않아 터널굴착공사로 인한 밀밭늪의 영향은 전혀 없는 것으로 조사 되었다.

### 3. 결 론

1. 경남 양산시 천성산에 산재한 터널인근의 늪지 중 생태계 보전지역인 무제치 1, 2늪은 늪지하부 하천의 두부침식 및 증발량에 영향을 미치는 연평균기온 상승 등으로 인하여 늪지의 면적이 계속 감소하고 있으며, 늪지의 공사전 모니터링 결과 늪지의 수위유지는 강우량에 절대적인 영향을 받는 것으로 조사되었다. 공사 중 모니터링 결과에서도 터널과 가장 인접한 밀밭늪(80m이격) 통과구간의 경우 터널 굴착 중 및 굴착 후에도 터널 내 누수가 전혀 발생하지 않았다.

2. 대수성시험결과 차수공사(Grouting)를 시행하지 않은 터널의 지하수의 저하영향범위는 반경 약 100m정도로써 터널 인근 늪지인 무제치늪 및 대성늪을 비롯한 대부분의 늪지가 최소 300m이상 이격되어 있는점을 감안하면 늪지는 터널공사로 인한 영향을 받지 않는 것으로 조사되었으며, 수리학적 분석 결과 또한 이를 입증하였다.

3. 늪지 하부 이탄층의 저투수성(방수성능) 시험인 현장추적자 시험결과 늪지 하부의 지하수위를 인위적으로 저하하여도 늪지의 물이 늪지 바닥으로 유출되지 않았으며, 물리탐사 결과 지하수위가 늪지 바닥보다 낮아지는 건기시에도 늪지는 포화상태를 유지하였다. 따라서 터널공사로 인하여 늪지 주변의 지하수위가 저하된다고 가정한 경우에도 늪지의 수위는 늪지하부의 저투수층(이탄층)으로 인하여 계속 유지될 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 손명원. “무제치 제2늪의 형성과정”, 한국지역지리학회지 제10권 제1호, 206~214page, 2004.
2. 도운호. “습지성 곤충군의 분류학적 다양성과 시분할 공간점유에 관한 연구”, 고신대학교 석사학위 논문, 9~11page, 2004.
3. 유호상. “습지의 지리적 분포와 환경요인(정족산 무제치늪을 중심으로)”, 경희대학교 석사학위 논문, 48~59page, 73~86page, 2001.
4. 신영호. “산지습지 퇴적물 분석을 통한 침식·퇴적 환경변화와 식생변화간의 관계에 관한 연구(정족산 무제치늪을 사례로)”, 지질공학회 제40호, 122~126page, 2002.
5. 주광수의 3인. “터널굴착에 따른 고원습지 영향 최소화 방안 연구”, 1~6page
6. 김명섭. “수자원 정책을 둘러싼 지역주민들의 갈등 분석”, 안동대학교 석사학위 논문, 80page, 2002.
7. 김익환. “터널 시공시 지하수 유입에 따른 굴착면의 안정성 확보 사례연구”, 충남대학교 석사학위 논문, 18~19page, 2003.
8. 이영준외 7명. “철도건설사업의 주요 환경영향에 관한 연구”, 한국환경정책·평가 연구원, 109~135page, 2004.
9. 최정환. “양산단층대를 통과하는 터널의 안정성확보에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위 논문, 16~22page, 2000.
10. 이병대의 3인. “단열암반내 터널 굴착에 따른 지하수유출 및 주변지역의 지하수위 하강예측 모델링”, The journal of Engineering Geology, Vol.15, No.3, 289~301page, 2005.
11. 김태희외 6인. “터널건설에 따른 인근 하천 영향 평가를 위한 연구”, The journal of Engineering Geology, Vol.14, No.1, 81~91page, 2004.
12. 이석용. “터널건설에 따른 지하수 유동변화 해석”, 충남대학교 석사학위 논문, 1~3page, 38~41page, 2004.
13. 경부고속철도 부산·경남권 건설사업 환경영향평가 최종보고서, 한국고속철도건설공단, 1994.
14. “경부고속철도 천성산(원효터널)지역 자연변화 정밀조사보고서” 한국고속철도건설공단, 2003.
15. “경부고속철도 13-3공구 설계보고서, SK건설, 2003.
16. “경부고속철도 13-4공구 설계보고서, 현대건설, 2003.
17. “경부고속철도 13-4공구 지반조사보고서, 현대건설, 2003.
18. “경부고속철도 13-3공구 지반조사보고서, SK건설, 2003.
19. “경부고속철도 부산·경남권 건설사업 사후환경영향조사 종합보고서(2004년 연말보고서)”, 한국철도시설공단, 2004.
20. “경부고속철도 제13공구 실시설계보완서상 종합보고서, 한국철도시설공단의 1개사, 2005.
21. “경부고속철도 13-3공구 환경모니터링보고서(2004~2005년)”, SK건설, 2005.
22. “경부고속철도 13-4공구 습지 및 생태계 보전을 위한 모니터링 보고서”, (주)바이텍코리아, 2005.
23. “경부고속철도 천성산구간 환경영향공동조사 보고서”, 한국철도시설공단, 2006.