

짧은 보강재와 일체형 강성벽체를 활용한 철도 붕괴노반 보강 및 선로용량 증대 기술

김대상

한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부

Reinforcement of Collapsed Railway Subgrade and Line Capacity Increase Using Short Reinforcement with Rigid Wall

Dae-Sang Kim

Metropolitan Transportation Research Center, KRRI

요약 본 논문에서는 추가 용지 없이 철도노선의 선로 용량을 증대시킬 수 있는 RSR(철도보강노반)의 장기성능을 평가하고자 한다. 철도보강노반은 짧은 보강재를 강성벽체와 일체화하는 특징을 갖고 있어 협소한 공간에서의 적용이 가능하다. RSR의 장기성능을 평가하기 위한 시험시공은 높이 7m, 연장 40m의 규모로 장항선 주포역에서 실시되었다. 동 구간은 집중 호우로 인하여 노반이 붕괴된 구간으로 버스가 운행하는 도로가 인접한 구간이다. 시공 후 2년에 걸친 장기간의 계측을 통하여 새로운 형식의 철도보강노반에 대한 성능을 검증하였다. 성능평가를 위한 장기계측은 지표 및 원 지반 침하, 벽체 수평변위, 보강재 인장 변형률, 인접선로 레일의 연동침하에 대하여 실시하였다. 계측에 대한 분석결과 현 시점까지 철도노반으로서의 안전성 및 사용성은 충분히 확보 되고 있는 것으로 평가되었다. RSR기술은 쌓기재 부족현장 과 안전도 확보가 중요한 운행선 인접현장, 용지 경계 민원 발생구간 등을 중심으로 그 활용성이 높아질 것으로 기대된다.

Abstract This study evaluated the long-term performance of RSR (Reinforced Subgrade for Railways) technology which increases the railway line capacity without the need for additional land. Its characteristics include the use of a short reinforcement with rigid wall, which make it possible to apply it in confined spaces. The 7m high and 40m long testbed employed to evaluate the long-term performance was designed and constructed near Jupoo station on the Chang-hang line. This line, located close to a local bus route, had collapsed at the subgrade following heavy rainfall. The performance of the new type of subgrade was verified with long term measurements over a 2 year period including the surface and ground settlement, horizontal displacement of the wall, tensile strain of the reinforcement, and settlement of the rail top on the side track. Based on the results of the measurements made until now, we concluded that it had sufficient safety and serviceability for use as a railway subgrade. It is expected that RSR technology could be frequently used at sites which lack the necessary construction materials for an embankment and are located close to functional railway lines and boundaries, in order to settle civil complaints.

Keywords : Rainfall, Failure slope, Short Reinforcement, Rigid wall, Line Capacity

1. 서론

철도노반을 건설하는데 있어서 흙 재료는 경제적인

측면에서 매우 매력적인 재료이나, 철도 건설 지역에 따라 양질의 흙 재료 수급에 어려움을 겪고 있는 노선이 있다. 이로 인하여 원거리 운반에 따른 운반비용 증가 및

본 논문은 한국철도기술연구원의 주요 연구사업으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Dae-Sang Kim(KRRI)

Tel: +82-31-460-5305 E-mail: kds@krri.re.kr

Received August 11, 2016

Accepted November 10, 2016

Revised (1st October 17, 2016, 2nd October 31, 2016)

Published November 30, 2016

세립분 함량이 높은 재료의 사용으로 인한 다양한 문제가 발생하고 있는 것이 사실이다.

최근 기상재해로 인한 집중 강우는 품질이 상대적으로 낮은 재료를 사용한 흙 쌓기 노반 법면의 파괴를 점진적으로 증가시키게 될 것으로 예상된다. 본 논문에서는 이와 같이 법면이 붕괴되거나 유실된 철도 노반을 급속히 복구함과 동시에 법면 공간을 활용하여 추가 용지 없이 선로용량 확보가 가능한 기술인 철도보강노반(RSR, Reinforced Subgrade for Railways)의 장기성능을 평가하고자 한다(Fig. 1).

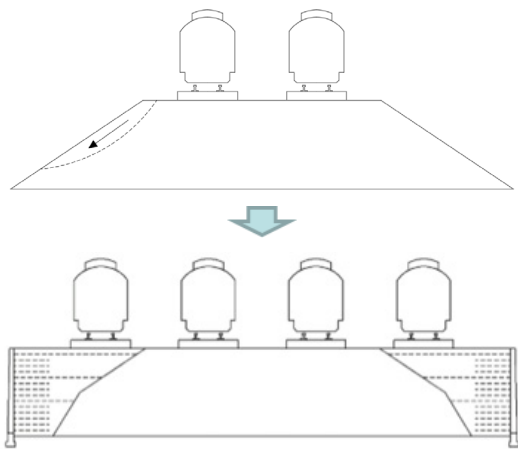


Fig. 1. Concept drawing of line capacity increase for embankment with slope failure

RSR기술은 짧은 지오그리드 보강재와 강성벽체를 힌지형 연결재로 일체화시켜 철도노반을 조성하는 기술로, 높이 10m의 철도노반 건설 시 기존 노반과 비교하여 단면적은 42%, 용지 폭은 29%수준으로 작아 노반 건설에 사용되는 흙 재료 사용량을 획기적으로 줄일 수 있는 특징이 있다. 또한, 토공을 선 시공한 후 초기 침하에 대한 수렴기간을 거친 후 강성벽체를 일체화하기 때문에 구조물 구축 후 공용 중에 잔류 침하를 최소화할 수 있는 특징이 있다.

RSR기술과 유사한 짧은 보강재를 강성벽체에 일체화시키는 기술은 일본에서는 일반화되어 사용되고 있다[1, 2]. 국내에서는 김대상 등[3, 4]이 짧은 보강재를 적용한 철도보강노반의 설계특성 및 시공 중 거동을 평가한 바 있으나, 현재까지 본격적으로 사용되고 있지 않다. 국토면적이 작은 우리나라에서 효율적인 국토 이용이라는 측면에서 보다 적극적인 적용이 필요할 것이다.

2. 본론

충청남도 보령 인근 장항선 주포역 구내 신호장 설치 구간 STA.80km760 ~ 80km800은 강우로 인하여 노반 법면 유실이 발생(Fig. 2)하여 부직포 등을 이용하여 임시로 복구되어 사용되고 있었다. 따라서, 보다 완전한 법면 복구 필요성과 추가 용지 없이 기존선 용량 증대 혹은 선로 상 작업장 확보라는 두 가지 목적을 달성하기 위하여 기존 노선의 대피선 외측에 테스트베드를 Fig.3과 같이 구축하였다.



Fig. 2. Slope failure of embankment

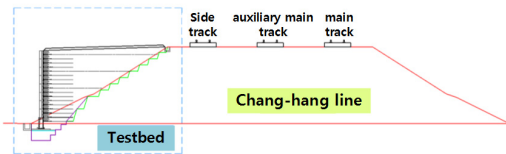


Fig. 3. Section view applying with RSR of Chang-hang conventional line

2.1 기존 법면 상 RSR 설계 및 시공

강우로 유실된 노반에 대하여 높이 7m, 연장 40m의 RSR을 적용하였다. 설계 및 시공을 위하여 우선 지반조사를 실시하였다. 지반조사 결과 쌓기 노반이 조성되는 원 지반은 지표에서 1.8m까지는 N값 3~7사이의 실트질 모래 매립층으로, 그 하부 3.5m까지는 N값 5~8사이의 실트질 점토층으로 연약지반을 구성하고 있었다. Fig. 4는 동 구간에 대한 지반조사 결과 N값 변화를 보여준다.

Fig. 5는 RSR 설계 횡단면도를 보여준다. 기초를 포함한 높이는 7.7m이다. 대표 노반단면에 대한 안정성 해석을 통하여 전도, 활동 및 원호활동에 대한 안전율이 각각 1.924, 2.097, 1.525로 설계기준에서 규정하는 안전율을 만족하는 것으로 나타났다. 설계에 사용한 토질정수 및 보강재 물성 값은 Table 1과 같다.

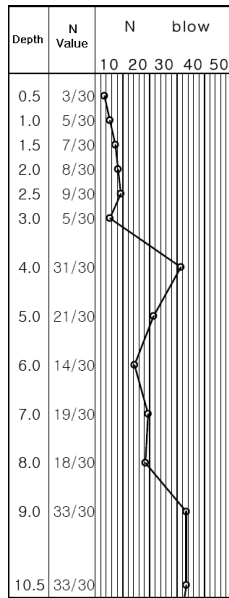


Fig. 4. Geological Conditions

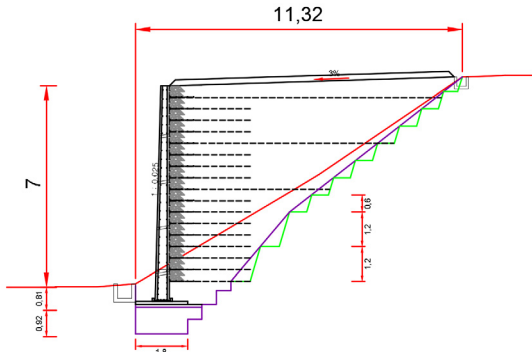


Fig. 5. Section view of RSR design

Table 1. Design Parameters

Items	Parameters
Backfill	$\gamma=19\text{kN/m}^3$, $\phi=30^\circ$
Ground	$\gamma=18\text{kN/m}^3$, $\phi=29^\circ$, $c=15\text{kN/m}^2$
Reinforcement	Tensile Strength $T_k=60\text{kN/m}$

동 기술의 주요 특징인 짧은 보강재는 0.4H(2.8m)를 적용하여, 기존 노반 절취량을 최소화함과 동시에 토공 쌓기량을 줄이고 절취사면의 안정성을 확보할 수 있도록 하였다.

원지반이 연약지반임을 고려하여 벽체 구축 후 잔류 침하가 어느 정도 예상되어 폭 1.5m, 깊이 1.8m까지 시

멘트 처리된 혼합석으로 원지반을 치환하였다. 원지반 치환 후 기초를 설치하고 양생기간을 둔 후에 17단 (6.8m)의 상하부노반을 조성하였다.

흙쌓기에는 하부노반 흙으로 통일분류법상 SM재를, 상부노반 흙으로 SP-SM재를 사용하였다. 다짐 품질관리를 위하여 철도설계기준에 따라 반복 평판재하시험을 수행하였다[5]. 하부노반은 다짐기준 $E_v > 60\text{MPa}$, $E_v/E_{v1} < 2.7$ 을, 상부노반은 다짐기준 $E_v > 80\text{MPa}$, $E_v/E_{v1} < 2.3$ 을 모두 만족하였다.

벽체 수직도 관리를 위해 좌측 끝단 및 우측 끝단 기준틀을 기준점으로 하여 기준 철근을 설치하고 노반 전체의 수직도를 유지하면서 시공을 수행하였다. 수평도는 각 단의 다짐작업이 끝날 때마다 레벨측량을 통하여 확인하여 층 두께 오차를 최소화하였다.

상하부노반 조성 시 철근으로 조성된 기준틀 및 자갈 흐름방지막을 벽체와의 경계부에 설치하여 시공 중 다짐을 용이하게 하였다. Fig. 6은 기초 및 상하부노반 조성이 완료된 상태를 보여준다.

동 구간의 경우 공기에 여유가 있었으므로 토공 완료 후 벽체 시공 전까지 방치기간 동안 신설 노반 및 기존 선 근접케도에 대하여 계측을 실시하였다. 약 6개월에 걸친 방치기간 동안 쌓기 노반 및 원지반에서의 침하가 충분히 수렴한 후 철근 콘크리트 벽체를 Fig. 7과 같이 구축하였다. 철근 콘크리트벽체는 목표 설계 휨강도 $70\text{kN}\cdot\text{m}$ 를 만족할 수 있도록 H16 주철근을 250mm 간격의 복철근으로 배근하였으며, 벽체 단면은 상부 두께 300mm, 전면 경사 1:0.025로 시공하였다. 배수공은 벽체 콘크리트 타설 전에 4m^2 당 1개씩 흙 쌓기 노반과 강성벽체 사이에 설치된 자갈 배수층에 관입 설치하였다.



Fig. 6. A view of embankment construction



Fig. 7. A view of reinforced concrete wall installation

2.2 RSR 장기성능평가

토체 시공 중, 방치기간 및 벽체 완료 후 약 2년에 걸친 장기계측을 통하여 RSR 구조가 철도노반으로서의 성능을 확보할 수 있는지에 대한 평가를 실시하였다. 성능평가를 위하여 원지반 및 지표 침하, 벽체 침하, 인접 선로의 연동 침하, 보강재 인장 변형률, 벽체 수평변위를 계측하고 평가하였다.

2.2.1 원지반 및 지표침하

Fig. 8은 원지반 및 지표 침하를 측정한 결과이다. 원지반 최대 침하량은 32.5mm, 지표 최대 침하량은 58.5mm로 지표침하량이 26mm 더 크게 계측되었다. 벽체 시공 후에는 시공 전과 비교하여 원지반 12.5mm, 지표 32.5mm의 추가 침하가 발생하였다. 허용잔류침하량을 25mm로 가정하였을 때 토공 시공 후 방치기간은 6개월로 평가되었다. 동 구간이 N값 3~9범위의 연약지반임을 고려할 때, 공기가 부족한 경우 벽체 하부기초 처리의 중요성을 확인할 수 있었다.

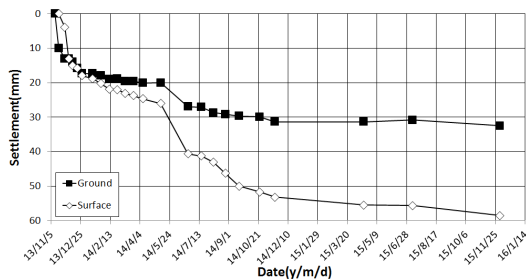


Fig. 8. Settlement of embankment surface and ground

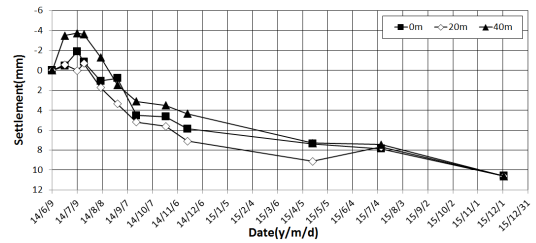


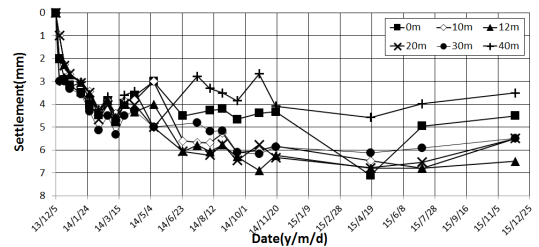
Fig. 9. Settlement at the top of wall

2.2.2 벽체 침하

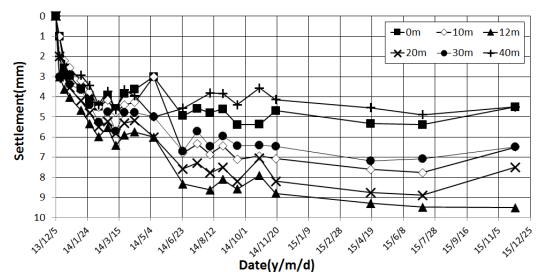
Fig. 9는 벽체상부의 침하를 벽체 좌측으로부터 0m, 20m, 40m 지점에서 측정한 결과를 비교한 그래프이다. 각각 10.58mm, 10.60mm, 10.61mm로 벽체 우측에서 침하가 상대적으로 크게 발생한 것으로 나타났으나, 그 차이는 크지 않았다.

2.2.3 인접선로 연동 침하

Fig. 10은 시공 상부 끝단으로부터 2m 떨어진 기존선 측선 내외측 레일 두부 침하량을 측정한 결과이다. 쌍기 폭 40m중 좌측으로부터 12m지점에서 내측레일은 6.9mm, 외측레일은 9.5mm 연동침하가 발생하였으며, 이는 선로 정비 먼틀립 기준인 10mm 범위 이내인 것을 알 수 있었다.



(a) Inner rail



(b) Outer rail

Fig. 10. Settlement at the top of rail on side track

2.2.4 보강재 변형률

보강재 발생력을 평가하기 위하여 기준틀 6단, 12단, 17단에 변형률계를 설치하였다. 짧은 보강재에 설치된 변형률계는 기준틀 전면에서 후면방향으로 30, 100, 170cm 위치에 설치하였고, 장보강재에는 30, 100, 170, 310cm 위치에 설치하였다. Fig. 11은 보강재의 인장변형률을 기준틀 전면에서의 거리별로 측정된 결과이다. 전체적으로 토체 하부에서 보강재의 변형이 크게 발생한 것을 볼 수 있다. 변형률은 시간경과에 따라 (-)값으로 증가하여 압축이 발생하는 경향을 볼 수 있다, 이는 성토체 전면은 기준틀에 의해 구속되고 토체는 지속적으로 침하가 발생하여 성토체가 압축되는 효과가 발생하였기 때문으로 분석되었다. 벽체 시공 후(2014년 6월 10일) 보강재 변형은 (+)방향으로 증가하여 인장거동을 보이는데 이는 콘크리트 타설에 의해 기준틀에 토체 바깥방향으로 외력이 가해져 보강재에 인장이 발생한 것으로 해석된다. 보강재 설계에서 고려되는 설계인장 변형률이 5%이므로, 적용 보강재에서의 발생 변형률은 설계 범위 이내인 것으로 평가되었다.

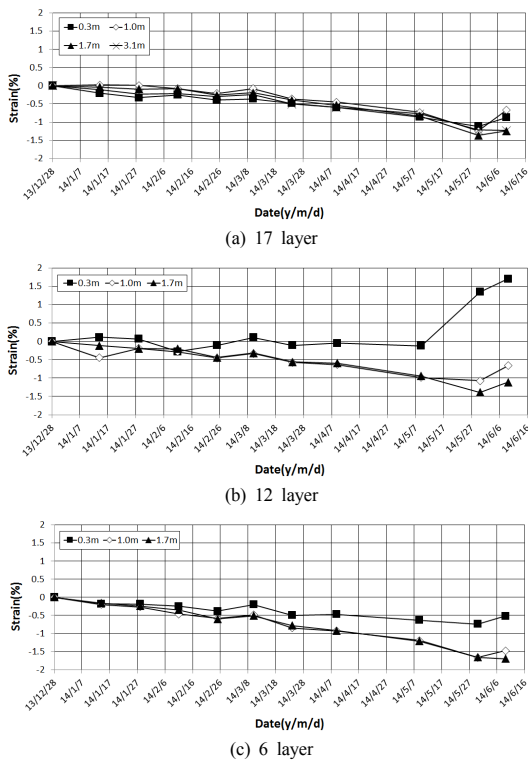


Fig. 11. Strains of reinforcement at layers

2.2.5 벽체 수평변위

Fig. 12는 벽체 시공 후 벽체의 수평변위를 날짜별로 정리한 결과이다. 최대 벽체 수평변위는 높이 7m, 벽체 좌측에서 24m의 위치에서 발생하였으며, 최대 수평변위량은 10.7mm가 발생되어 옹벽의 수평변형 허용기준인 높이의 3% 이내의 수평변위 기준을 만족하였다. 24m의 위치는 단부가 구속되어 있지 않아 상대적으로 큰 수평변위가 발생한 것으로 판단되었다. 벽체 중앙 위치인 좌측에서 12m 위치에서의 최대 수평변위는 6mm 수준으로 높이 7m를 고려할 때 높이의 0.1%보다 작은 수평변위가 발생한 것을 알 수 있다. 또한, 높이 3.4m에서의 벽체 수평변위로부터 배부를 현상은 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

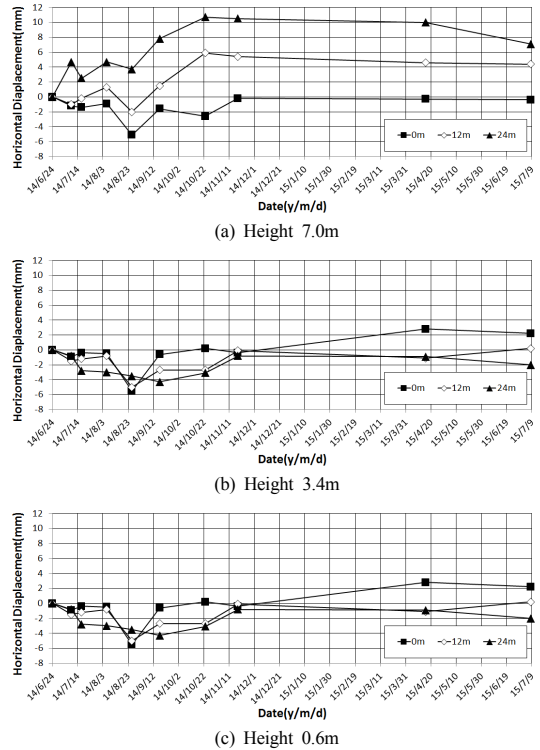


Fig. 12. Horizontal displacements of wall

3. 결론

본 논문에서는 집중 강우로 노반이 붕괴된 기존 장항선 철도 법면공간을 보강하기 위하여 RSR기술을 적용

하였다. 기존 국내기술보다 짧은 보강재와 일체형 강성벽체를 사용하는 특징을 갖춘 동 기술은 인접도로와의 간섭 및 추가 용지 없이 새로운 노반 건설이 가능한 기술이다. 보강노반 건설 후 2년 동안 수행한 원지반 및 지표 침하, 주변 선로의 연동침하, 벽체 변위, 보강재 변형에 대한 장기 성능평가를 통하여 철도노반으로서의 활용 가능성을 평가하였다.

- 1) RSR 적용 대상구간이 연약지반 구간으로 일반적으로 적용하는 말뚝기초를 시공하지 않았음에도 불구하고 6개월의 방치기간 후 벽체 시공으로 철도노반으로서의 기능을 확보할 수 있을 것으로 판단되었다. 현장 여건 상 방치기간 단축이 필요한 경우에는 벽체 하부를 중심으로 연약지반 대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.
- 2) 보강재 발생 인장변형률은 설계 인장변형률 5% 이내로, 토체 시공 중에는 압축 변형이, 벽체 시공 이후에는 인장 변형이 발생하는 것으로 확인되었다.
- 3) 벽체의 배부름 현상은 발생하지 않았으며, 최대변위가 발생한 벽체 상부의 수평변위는 높이의 0.1% 보다 작은 수준으로 허용범위 이내인 것으로 평가되었다.
- 4) 기존선 근접시공으로 인한 인접 선로의 연동침하를 계측한 결과, 선로정비 면틀립 기준인 10mm 범위 이내인 것으로 확인되어 유지관리를 통하여 충분히 대응 가능한 수준으로 평가되었다.

지반조건 변화에 따른 방치기간을 적절하게 평가하고 결정한다면 RSR기술은 노반 구축 후 잔류침하를 최소화할 수 있는 최적의 기술임을 확인할 수 있었다. 향후 실 열차하중 재하 시의 장기 거동 평가 경험이 축적된다면, 토사부족개소, 용지 경계 민원 발생구간 및 시공 공간이 협소한 운행선 인접 현장 등을 중심으로 그 활용성이 높아질 것으로 기대된다.

References

[1] Tatsuoka, F., Tateyama M., Uchimura T. and Koseki J. "Geosynthetic-reinforced soil retaining walls as important permanent structures(1996-1997 Mercer Lecture)", *Geosynthetics International*, vol. 4, no. 2 pp. 81-136, 1997.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/gein.4.0090>

- [2] Associations of RRR, *RRR-B design and construction manual*, pp. 23, 2001.
- [3] D. S. Kim, S. H. Hwang, U. J. Kim, Y. K. park, S. Y. Park, "Evaluation of Design Characteristics in the Reinforced Railroad Subgrade Through The Sensitivity Analysis", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, vol. 12, no. 3, pp. 15-22, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12814/jkgss.2013.12.3.015>
- [4] D. S. Kim, "Stability Evaluation of Reinforced Subgrade with Short Geogrid for Railroad During Construction", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, vol. 13, no. 4, pp. 11-20, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12814/jkgss.2014.13.2.011>
- [5] Korea Railway Network Authority, *Railway design standard for roadbed*, 2011.

김 대 상(Dae-Sang Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 서울대학교 대학원 자원공학과 (공학석사)
- 2000년 3월 : 동경대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 2002년 6월 : 서울대학교 지진공학연구소 전임연구원
- 2002년 6월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

지반공학, 궤도토목