

기존철도 비탈면공간을 활용한 철도수송용량 증대 방안 연구

**Research on the increase of transportation capacity
using space above the slope of existing railway embankment**

김대상*, 김웅진*†

Dae-Sang Kim, *, Ung-Jin Kim *†

Abstract In these days, it is difficult to secure new land for railway construction because of the increase of land fee and social complaint. Especially, in urban areas, it took much time and expenses. So, we did the research on the increase of transportation capacity using space above the slope of existing railway embankment. It could be realized by developed reinforced roadbed structure with wall stiffness and short geotextile. This study shows the results of safety evaluations according to minimum length of reinforcement, which were performed by developed design program for the structure. The reinforcement use of only 40% of height (0.4H) could keep secure in the structure for train load. Also, it was verified that its safety for overturning and sliding was satisfied with the condition for long reinforcement up to the installation angle of 35°.

Keywords : Transportation capacity, Construction cost down, Space above the slope, Reinforcement, Wall stiffness

초 록 대도시 철도 수송수요 증가로 철도수송용량 증대의 필요성이 대두되고 있으나 높은 용지 보상비용 및 민원 등으로 용지 확보를 위한 비용과 시간이 많이 소요되고 있다. 본 연구에서는 휨 강성을 갖는 벽체와 짧은 토목섬유로 보강한 노반구조를 기존 철도 비탈면 상에 적용하여 철도수송용량을 증대시키는 연구를 진행하였다. 보강노반 설계를 위하여 개발한 프로그램을 활용하여 보강재 최소길이 변화에 따른 안전성 평가를 실시하였다. 해석 결과 보강재 길이를 벽체 높이의 40%(0.4H)만 적용한 경우에도 열차하중 재하 시 충분한 안전성을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다. 또한, 장보강재는 설치각도 35° 까지 전도 및 활동에 대한 기준 안전율을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

주요어 : 철도수송용량 증대, 휨강성 벽체, 토목섬유 보강노반

1. 서 론

서울 등 대도시 철도 수송수요 증가로 기존 지하철 노선의 교통 혼잡도는 나날이 증가하고 있다. 그러나, 높은 용지비용으로 인한 추가 용지 확보의 어려움, 추가 노선 건설 시의 민원 문제 해결 등에 많은 노력과 시간이 필요한 것이 현재의 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 추가 용지 소요 없이 기존 철도비탈면 상의 공간을 활용하여 철도수송용량을 증대시키는 방안에 대한 연구를 수행하였다(Fig. 1).

† 교신저자: 한국철도기술연구원(ujkim@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원

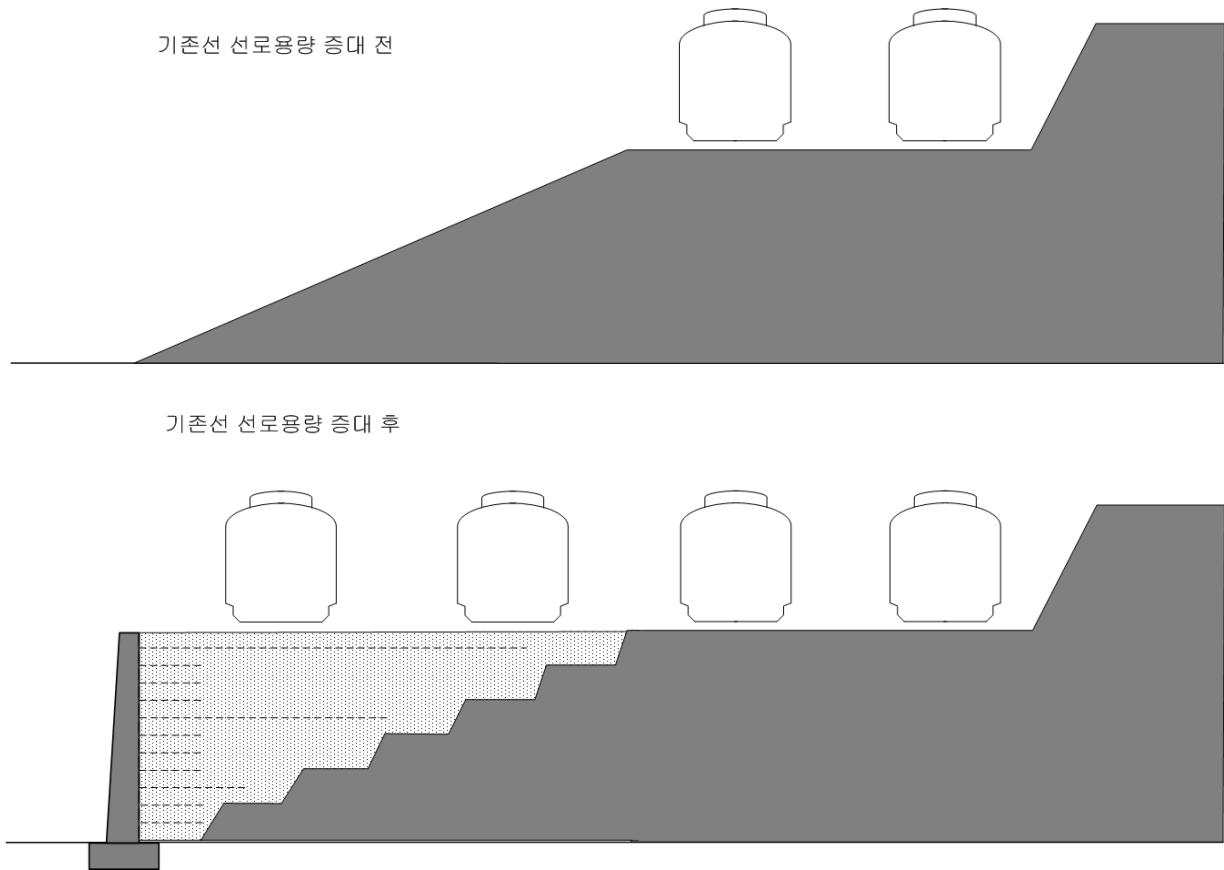


Fig. 1 The concept drawing of transportation capacity increase

이를 위해서는 법면 상의 좁은 공간을 활용할 수 있는 연직형 토류구조 형식이 필요하다. 본 연구에서는 옹벽과 보강토옹벽의 장점을 융합한 구조형식인 강성벽과 짧은 보강재를 활용한 새로운 보강노반에 대하여 설계를 수행한 결과를 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기존 철도 비탈면 공간 활용을 통한 선로용량 증대

2.1.1 기존 철도 쌓기 비탈면 공간

Table 1은 일반철도와 고속철도 쌓기 비탈면의 표준 기울기를 보여준다. Table 2는 건설공사 비탈면 설계기준이다. 고속철도의 경우 가장 보수적인 비탈면 설계기준을 적용하고 있는 것을 알 수 있다. 쌓기 비탈면 공간에 영향을 미치는 소단 폭의 경우 철도설계기준에서는 일반철도와 고속철도 모두 1.5m를 적용하고 있으며, 비탈면 설계기준에서는 1~3m의 소단폭 기준을 적용하여 소단폭 1m까지 적용이 가능토록 하고 있다.

Table 1 Slope inclination for railway embankment (Design standards for railway roadbed)

시공기면까지의 높이(H)		일반철도	고속철도
일반철도	고속철도		
H<5.0m	H<3.0m	1:1.5	1:1.8
5.0m≤H<10.0m	3.0m≤H<9.0m	1:1.8	1:1.8
10.0m≤H<15.0m	9.0m≤H<15.0m	1:2.0	1:2.0
H≥15.0m	H≥15.0m	1:2.3	1:2.3

Table 2 Slope inclination for embankment (Design guidelines for slope)

쌓기 재료	비탈면 높이 (m)	비탈면 상하부에 고정 시설물이 없는 경우 (도로, 철도 등)	비탈면 상하부에 고정 시설물이 있는 경우 (주택, 건물 등)
입도분포가 좋은 양질의 모래, 모래자갈암피, 암버럭	0~5	1:1.5	1:1.5
	5~10	1:1.8	1:1.8~1:2.0
	10 초과	별도검토	별도검토
입도분포가 나쁜 모래, 점토질 사질토, 점성토	0~5	1:1.8	1:1.8
	5~10	1:1.8~1:2.0	1:2.0
	10 초과	별도검토	별도검토

이와 같은 기준을 적용하여 개략적으로 검토해 보면, 높이 5m에 대하여 9m 이상, 높이 10m에 대하여 18m 이상의 비탈면 상의 용지 폭을 확보할 수 있는 것을 알 수 있다. Fig. 2는 높이 10m의 철도노반 설계 시 확보 가능한 비탈면 상의 용지폭으로, 19.5m의 추가 용지폭을 확보할 수 있는 것을 알 수 있다. 경부고속철도 상부노반 폭이 14m인 것을 고려하면, 강성벽과 보강재의 보강노반 구조를 기존 토공에 적용할 수 있다면 충분한 선로 용량 증대가 가능할 것으로 예상된다.

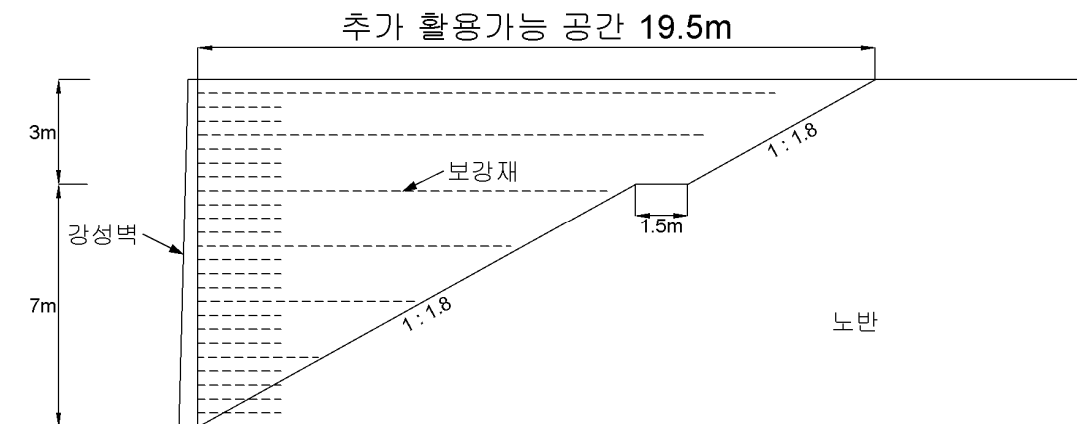


Fig. 2 The useful space above the slope of existing railway embankment

2.1.2 보강재 설치량 비교

국내에서 적용되고 있는 보강토옹벽 구조는 벽체가 구조적 역할을 하지 못하기 때문에, 상대적으로 긴 보강재(높이의 70%, 0.7H)를 적용하고 있다. 이와 같이 긴 보강재를 적용해야 하는 경우 비탈면 공간 활용을 위해서는 비탈면 절취량이 많아져 기존 비탈면의 안정성을 저하시킬 우려가 있으므로, 절취량을 최소화할 필요가 있다. 따라서 제안된 보강노반 구조에서와 같이 강성벽과 짧은 보강재(높이의 40%, 0.4H)를 적용하는 경우, 기존 노반의 절취량을 최소화하여 노반 안정성을 확보하면서 시공할 수 있다. 또한, Fig. 3은 보강재 설치 길이 변화에 따른 보강재 사용량을 비교한 것으로, 강성벽과 짧은 보강재(0.4H) 적용 시, 기존 보강토 옹벽(0.7H)보다 21% 적은 보강재를 사용한다.

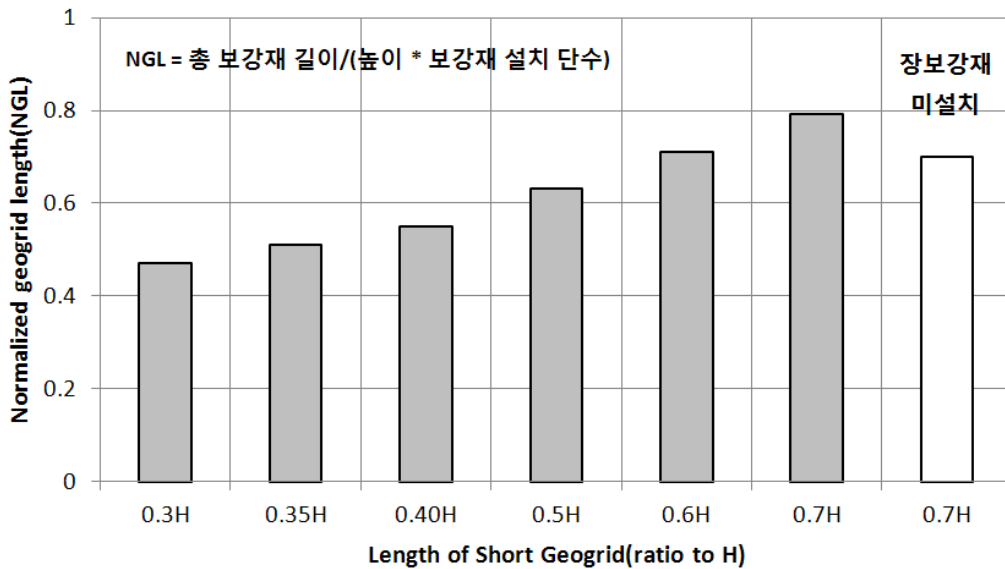


Fig. 3 Comparison of normalized reinforcement lengths according to length of short geogrid

2.2 보강노반 설계 예 및 결과분석

2.2.1 설계 예

본 연구에서는 Fig. 5와 같이 보강재 최소길이 확인을 위하여 궤도 및 열차하중이 작용하는 보강노반에 대한 매개변수 해석을 수행하였다. 기본 설계조건은 벽체 높이 6m, 보강재 설계인장강도 60kN/m, 짧은 보강재 수직간격 0.4m, 짧은 보강재 길이 2.4m(0.4H), 장보강재 수직간격 1.6m(단보강재 4개당 1개), 장보강재 설치각도 30°로 정하였다. 쌓기재와 원지반 물성값을 고정하고, 매개변수는 짧은 보강재의 길이와 장보강재 설치각도로 결정하였다. 짧은 보강재 길이는 벽체 높이에 대한 보강재 길이의 비를 0.3H~0.7H로 변화시키며 해석하였고, 장보강재의 길이는 장보강재의 설치각도를 30~35°로 변화시키며 해석하였다. 해석에 사용한 입력변수 값은 Table 3과 같다.

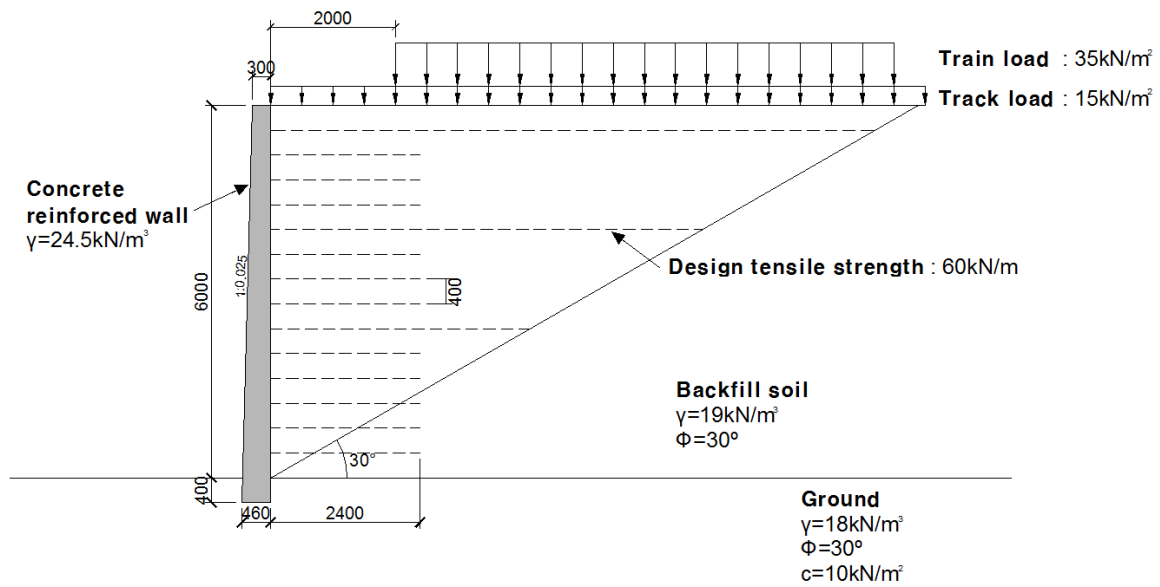


Fig. 4 Basic analysis model

Table 3 Analysis examples

해석변수	입력값
보 강재 설계 인장강도 (kN/m)	60
짧은 보 강재 길이 (벽체 높이와의 비)	0.3, 0.35, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7
장보 강재 길이 (설치각도, °)	30, 32, 35
쌍면재 물성값	단위중량, γ (kN/m ³) : 19 내부 마찰각, ϕ (°) : 30
원지반 물성값	단위중량, γ (kN/m ³) : 18 점착력, c (kN/m ²) : 10 내부 마찰각, ϕ (°) : 30

2.2.3 설계 결과분석

가. 짧은 보강재 설치길이 변화

Fig. 5와 6은 짧은 보강재 설치길이에 따른 전도 및 활동안전율 변화를 보여준다. 짧은 보강재의 길이가 증가함에 따라 전도안전율과 활동안전율이 증가하지만 기본 설계조건에서는 짧은 보강재의 길이가 0.3H의 경우에도 기준 안전율(1.5)을 만족하는 것으로 나타났으며, 벽체의 자중과 바닥 경계면 마찰력 고려의 영향으로 전도보다 활동에 대한 안전율이 전체적으로 큰 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 짧은 보강재 적용으로 인한 시공 시 안전성을 확보하면 큰 무리 없이 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

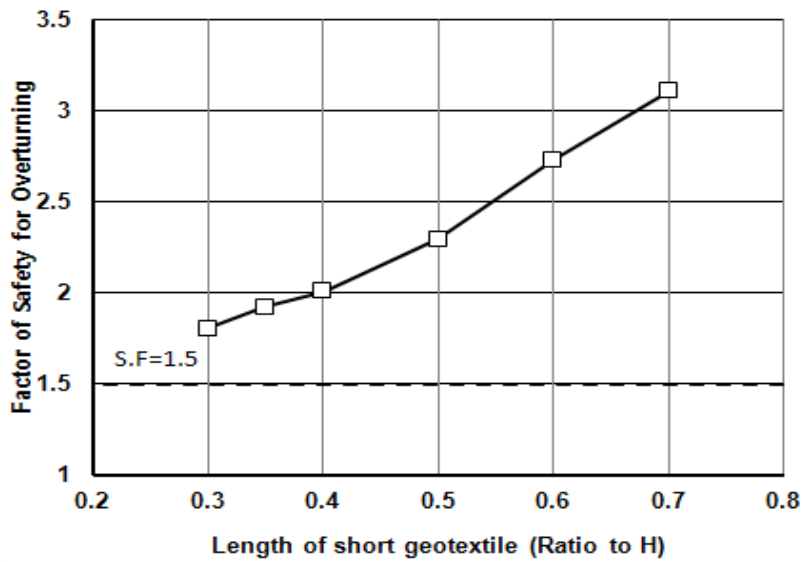


Fig. 5 Factor of safety for overturning according to length of short geotextile

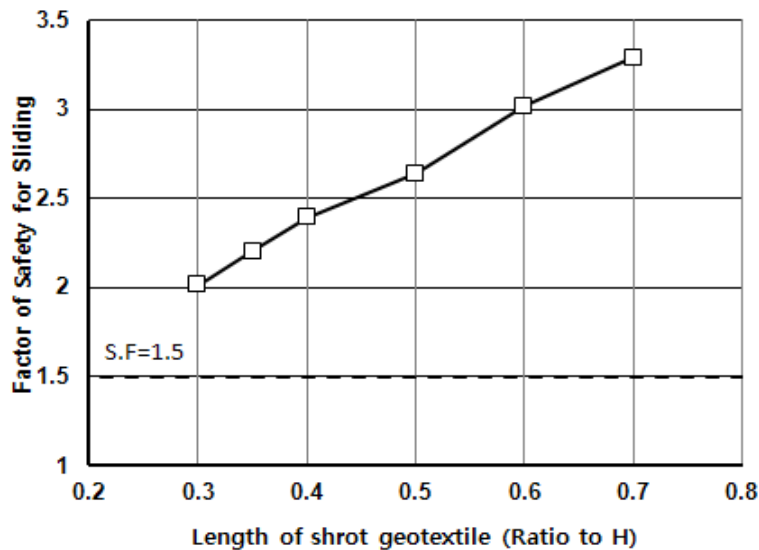


Fig. 6 Factor of safety for sliding according to length of short geotextile

나. 장보강재 설치길이 변화

Fig. 7과 8은 장보강재의 설치길이에 따른 열차하중 재하 시의 전도 및 활동안전율 변화를 보여준다. 장보강재 설치 길이를 각도 35° 까지 저감시킨 경우에 대한 전도안전율의 경우(Fig. 7), 전도안전율에 변화가 없으며 기준안전율을 만족하는 것으로 나타났다. 전도안전율이 장보강재 설치각도 30~35° 의 범위에서 일정한 이유는 동 각도 범위 내에서 보강재 인발저항력이 설계인장강도보다 크므로 보강재 저항력으로 설계인장강도가 적용되고, 2웨이 파괴면의 형상 변화가 없어 토압 및 전도모멘트에 변화가 없기 때문이다.

장보강재 길이를 설치 각도 35° 까지 저감시킨 경우에 대한 활동안전율의 경우(Fig. 8), 활동안전율이 장보강재의 설치각도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 설치각도 35° 까지 기준 안전율을 만족하는 것으로 나타났다.

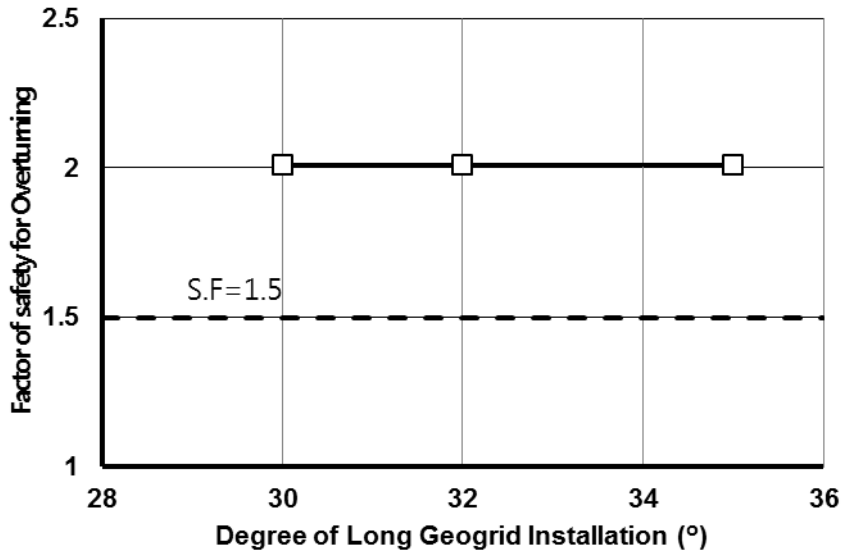


Fig. 7 Factor of safety for overturning according to installation angle of long geotextile

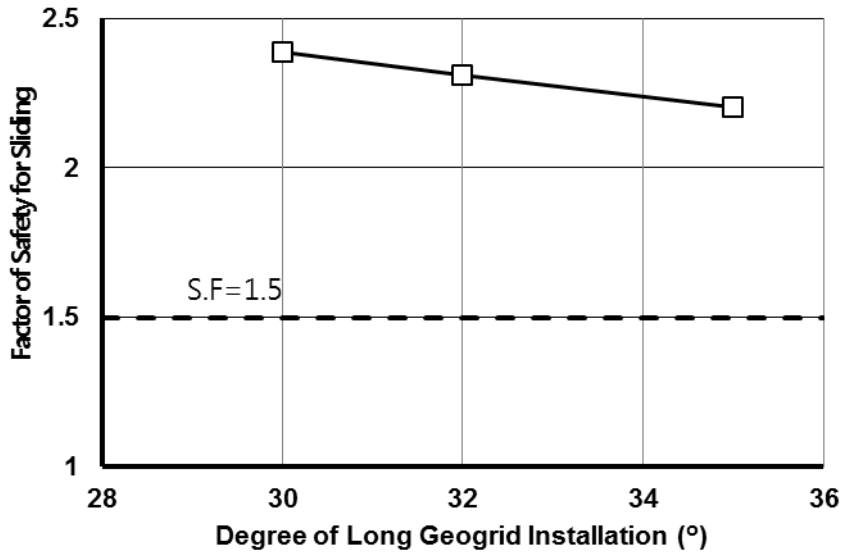


Fig. 8 Factor of safety for sliding according to installation angle of long geotextile

3. 결론

본 연구에서는 강성벽과 짧은 토목섬유 보강재를 결합한 보강노반구조를 적용하여 추가 용지 없이 기존 철도 비탈면 상에 철도수송용량을 증대시키는 연구를 진행하였다. 동 연구결과는 기존선 뿐만 아니라 신선 철도 노반 건설 시에도 사업비 저감 대책으로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

1) 철도 설계기준에 의한 비탈면 기울기를 고려하였을 때, 높이 10m 철도노반 설계 시 동 구조 적용으로 확보 가능한 비탈면 상의 용지 폭은 19.5m였다. 경부고속철도 상부노반 폭이 14m인 것을 고려하면, 강성벽과 보강재 결합 보강노반구조를 기존 토공에 적용하면 추가 용지 소요 없이 충분한 선로용량 증대가 가능할 것으로 예상된다. 또한, 강성벽과 짧은 보강재(0.4H)를 적용하는 경우, 기존 노반의 절취량을 최소화하여 노반 안정성을 확보하면서 시공할 수 있으며, 기존 보강토 옹벽(0.7H)보다 21% 적은 보강재를 사용하는 장점이 있다.

2) 비탈면 상에서의 안정성을 평가하기 위하여 개발한 프로그램을 활용하여 보강재 길이 변화에 따른 안전성 평가를 실시하였다. 해석결과 보강재 길이를 벽체 높이의 40%(0.4H)만 적용한 경우에도 내용량 열차하중 재하 시 충분한 안전성을 확보할 수 있는 것으로 확인되어 기존 비탈면 공간을 활용할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한, 장보강재의 최소 길이는 설치각도 35° 까지 기준 안전율을 만족하는 것을 확인하여 일반철도 상부노반을 포함한 모든 철도 범면에 적용이 가능할 것으로 검토되었다.

참고문헌

- [1] Kim, K.H., Kim, D.S., Park, S.Y. and Park, J.S. (2011) A Study on the Behavior during Constructing of Rigid Reinforced Roadbed to apply for the Slab Track, *Conference of the Korean society for railways*, pp. 298-309.
- [2] Kim, D.S., Park, S.Y. and Kim, K.H. (2012) Effects of Vertical Spacing and Length of Reinforcement on the Behaviors of Reinforced Subgrade with Rigid Wall, *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.11, No.4, pp. 27-35.
- [3] KISTEC(2006) *Design guidelines for slope*, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation.
- [4] Korea Railway Network Authority (2011) *Design standards for railway roadbed*.
- [5] Tatsuoka, F., Tateyama M., Uchimura T., Koseki J. (1997) Geosynthetic-reinforced soil retaining walls as important permanent structures(1996-1997 mercer Lecture), *Geosynthetics International*, 4(2), pp. 81-136.
- [6] Tatsuoka, F. (2005) *All of the new reinforced earth retaining wall*, General Civil Engineering Research Institute(Japan).
- [7] Tatsuoka, F. (2008) Recent Practice and Research of Geosynthetic-Reinforced Earth Structures in japan, *Journal of GeoEngineering*, 3(3), pp. 77-100.