

짧은 보강재를 사용한 철도보강노반의 시공 중 안정성 평가

Stability Evaluation of Reinforced Subgrade with Short Geogrid for Railroad During Construction

김대상^{1*}

Dae Sang Kim^{1*}

¹Member, Principal Researcher, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo Bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Republic of Korea

ABSTRACT

The behaviors and stability of reinforced subgrade with short geogrid were examined and evaluated during construction. First of all, analytical approach for the minimum length of geogrid was performed to guarantee stability during construction loading state. Secondly, the economic aspects for reinforced subgrade were compared with between domestic standards applying with 0.7 H reinforcement length and new way to mix short and long reinforcement. Full scale railroad subgrade was constructed with the size of 5 m high, 6m wide, and 20m long to verify the stability of the subgrade with the length of 0.3 H, 0.35 H, 0.4 H reinforcement. Total 51 sensors were installed to measure settlement, bulging, and the change of stress of the subgrade. It is concluded that the reinforced subgrade with short(0.35H, 35% of height) geogrid had stability within allowable level of deformation and stress increment during construction.

요 지

가 . (70%, 0.70H)
30%(0.30H),
* *
(35%, 0.35H)
35%(0.35H), 40%(0.40H)
(5m*6m*20m) . 51
(0.35H, 35%)

Keywords : Reinforced subgrade for railroad, Short geogrid, Stability evaluation, Full scale, During construction

1. 서 론

국내 보강재용벽의 보강재 적용길이는 용벽높이(H)의 70%로 설계하는 것이 일반적이다. Christopher et al(1989)은 기초지반 조건이 양호한 경우 보강재 길이가 0.7H에서 0.5H로 감소하면 시공 중 수평 변형은 50% 이상 증가한

다고 하였다. 이와 같은 의견에도 불구하고 일본에서는 0.35H의 짧은 보강재를 적용한 보강노반을 철도 영구구조물로 설계 및 시공하고 있다. 높은 안전성을 요구하는 철도분야에서 짧은 보강재 적용이 가능한 이유는 강성벽 일체형 보강노반을 적용하기 때문이다.

높이의 35% 수준의 짧은 보강재를 사용하는 강성벽 일체형 철도보강노반(Reinforced Subgrade for Railroad, RSR)은 노반 건설 시 용지 사용을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 또한, 토공을 선 시공한 후 벽체를 후 시공함으로써

Received 12 Sep. 2014, Revised 16 Oct. 2014, Accepted 27 Oct. 2014

*Corresponding author

Tel: +82-31-460-5305; Fax: +82-31-460-5032

E-mail address: kds@krri.re.kr (D. S. Kim)

써 토공에서의 잔류침하를 최소화할 수 있다는 장점도 있다. 이와 같은 장점에도 불구하고 국내에서는 아직 본격적으로 적용되지 못하고 있다. 이는 벽체를 횡과 전단에 대하여 강성을 가질 수 있도록 철근콘크리트 구조로 조성함으로써 얻어지는 장점이 벽체시공으로 인하여 증가하는 비용 및 떨어지는 시공 효율성을 상쇄시키지 못하기 때문이다.

한국철도기술연구원에서는 RSR 공법의 철도분야 적용을 위하여 강성벽 일체형 보강노반의 장점은 부각시키고, 단점을 최소화하기 위한 연구를 수행하였다. 짧은 보강재를 적용하여 외국에서 적용하고 있는 강성벽 일체형 철도 보강노반(Tatsuoka et al, 1997)의 안정성을 확보하면서도, 25% 이상 경제적이면서 시공성이 향상된 국내 실정에 적합한 보강노반을 개발하고 자 하였다.

동 기술은 인접선 열차 운행으로 인하여 장비 진입이 어려운 개소, 신설선 및 기존선 선로용량 증대 시 용지 확보가 어려운 개소, 선로법면 시공과 같이 가시설이 필요한 개소 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 최소 보강재 길이에 대한 이론적 고찰

국내 보강토옹벽 설계기준에 의한 보강재 길이 관련 규정은 다음과 같다.

- 보강재의 길이는 전면판 기초로부터 벽체높이의 0.7 배 이상이어야 하며, 최소 2.5m보다 길어야 한다. 실제 보강재 길이는 상재하중과 외력, 보강재와 뒤채움과의 마찰저항력을 고려하여 최종적으로 결정한다 (MOLIT, 2011).
- 보강재 길이는 높이에 따라 0.63H~0.8H범위의 보강재를 사용하여야 하나, 0.7H보다 작은 경우 벽체의 횡방향 변위가 과도하게 나타나는 것으로 보고되고 있으므로, 평균적으로 0.7H를 보강재의 적정 길이로 하는 것이 필요하며, 상세한 입력자료를 바탕으로 해석한 경우에는 보강재 길이를 0.7H와 달리할 수 있다고 하고 있다. 특히, 암반과 같이 견고한 지층을 굴착하고 보강재를 설치하는 경우 굴착을 줄이기 위해 하부 보강재 길이를 0.7H보다 짧게 할 수 있으며, 최소길이는 0.4H까지로 규정하고 있다(Fig. 1).
- 보강재 설치길이는 전체 높이에 걸쳐 동일하게 하며, 지진하중 등 특별한 하중조건이나 목적을 위해서 상

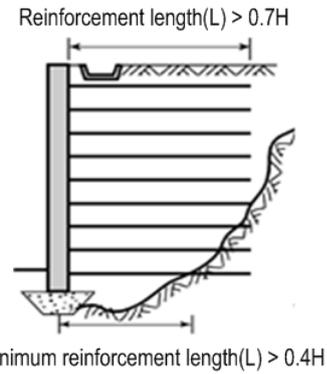


Fig. 1. Requirements for reinforcement installation length (MOLIT, 2011)

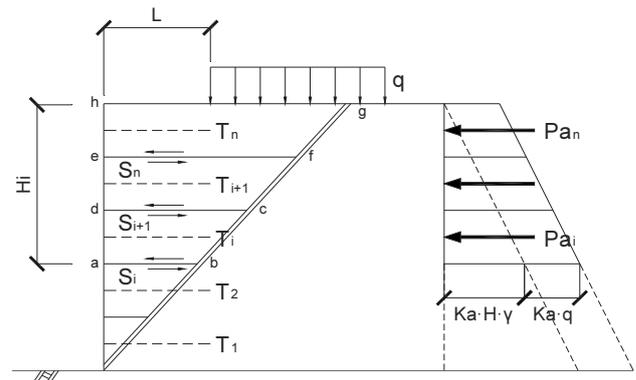


Fig. 2. Stability check for reinforced subgrade during construction (Associations of RRR, 2001)

부와 하부의 보강재 길이를 길거나 짧게 할 수 있다고 규정하고 있다(KISTEC, 2009).

동 기준은 영구구조물로서의 보강재 설치 기준으로 벽체와 보강재가 일체화되어 저항하는 강성벽체를 적용하는 경우에는 다르게 적용할 필요가 있다. 강성벽 전면벽체는 보강재와 강결되는 구조로, 토체의 구속력을 증가시켜 열차충 작용 시 발생 변위를 최소화할 수 있다(Kim et al, 2012).

짧은 보강재를 적용하는 강성벽 일체형 철도보강노반의 경우, 보강토체 구축 후 일정기간 방치기간을 갖고 벽체를 시공하는 단계시공을 실시한다. 따라서, 시공 중 및 방치기간 중에는 강성벽이 없는 상태인 임시구조물이며, 벽체가 시공된 이후는 영구구조물로서 안정에 대한 검토가 필요하다. Fig. 2는 시공 중 안정을 확보할 수 있는 최소보강재 길이를 검토하기 위한 보강노반 개념도를 보여준다.

보강노반의 시공 중 파괴면 형상을 Fig. 2와 같이 가정하면, 요소 abcd 상부에서는 보강재가 활동 파괴면 내측에 위치하므로, T_i/P_{ai} 에 대한 안전율은 “0”이 되어 수평방향으로 활동이 발생하는 상태가 된다. 그러나, 실제로는 경

계면 ab의 위치에서 보강재 길이(L)의 범위에서 전단저항력 S_i 가 발생한다. S_i 가 작용토압보다 큰 경우 하부요소에 힘을 전달하게 된다. 이는 토체 내부의 전단변형을 허용하고 전단저항력이 작용토압보다 큰 경우 부분적으로 수평방향에서의 힘의 평형이 만족되지 못하더라도, 전체계에서의 평형이 만족되면 시공 시 안정성이 만족된다는 개념에 기초한다. 요소 i에서의 작용 수평토압(ΣP_a)에 대하여 경계면 ab에 발생하는 흙의 전단저항력(S_i)이 시공 중 안전율(1.1)을 만족하면, 시공 중 안정성이 확보된다고 가정하며 이를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$S_i / \Sigma P_a > 1.1$$

$$S_i = (\gamma H_i L) \tan \phi$$

$$\Sigma P_a = K_a \gamma H_i^2 / 2 + K_a q H_i$$

$$f(H) = \frac{L}{H_i} > \frac{1.1 K_a (\gamma H_i / 2 + q)}{\gamma H_i \tan \phi} \quad (1)$$

여기서, γ : 토체의 단위체적중량,
 ϕ : 토체의 내부마찰각,
 q : 시공 중 상재하중,
 L : 보강재 길이

하나의 예로서, 식 (1)에 지반물성 및 시공 중 상재하중에 대한 아래 값을 적용하면,

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3, \phi = 30^\circ, q = 10 \text{ kN/m}^2$$

시공 중 안정성을 확보할 수 있는 높이별 최소보강재 길이는 다음 식 (2) 및 Fig. 3과 같이 결정할 수 있다.

$$L > 1.5 \text{ m} (H \leq 4.22 \text{ m}) \text{ and } (L/H) > 0.35 (H > 4.22 \text{ m}) \quad (2)$$

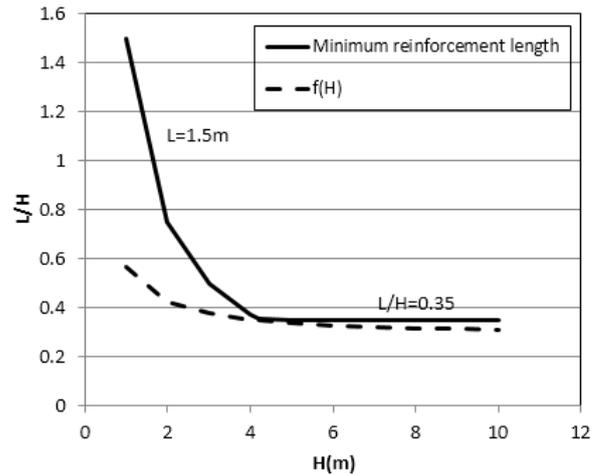


Fig. 3. Minimum length of reinforcement depending on height during construction

Fig. 3으로부터 높이 4.22m이하에서는 1.5m이하의 보강재도 계산상 적용 가능한 것을 알 수 있다.

영구구조물로서 지진 등 큰 수평하중에 대한 전도 안정성을 확보하기 위해서는 짧은 보강재만으로는 부족하며, 장보강재를 필요에 따라 충분하게 배치하여야 한다. Fig. 4는 기존노반 범면공간을 활용하여 추가 노반을 건설하는 경우의 짧은 보강재와 장보강재 설치 개념도를 보여준다. 이와 같이 짧은 보강재와 장보강재를 혼용하는 철도보강노반의 보강재 설치 길이 측면에서의 경제성을 비교해 보면 Fig. 5와 같다. 가장 오른쪽이 국내 설계기준(KRNA, 2011)에 근거하여 제시된 보강재 길이(높이의 70%, 0.7H)이며, 짧은 보강재(0.35H)와 장보강재를 혼용하는 경우 51%의 보강재를 사용하여 국내 설계기준보다 19% 적은 보강재를 적용할 수 있음을 보여준다.

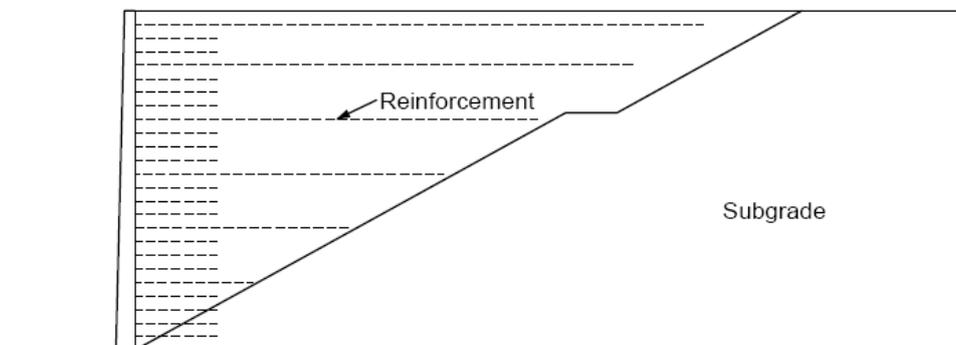


Fig. 4. Concept drawing to install reinforcement in the slope

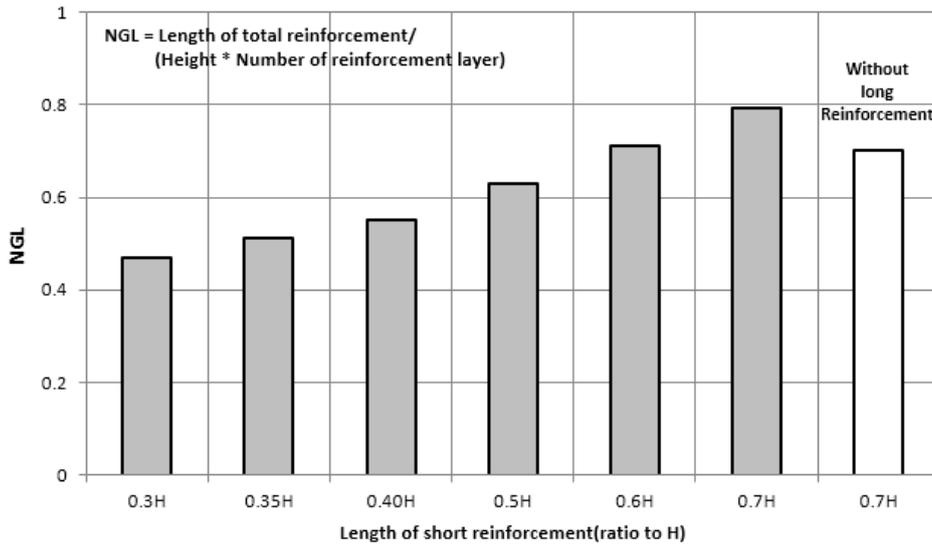


Fig. 5. Comparison of total reinforcement length depending on the length of short reinforcement

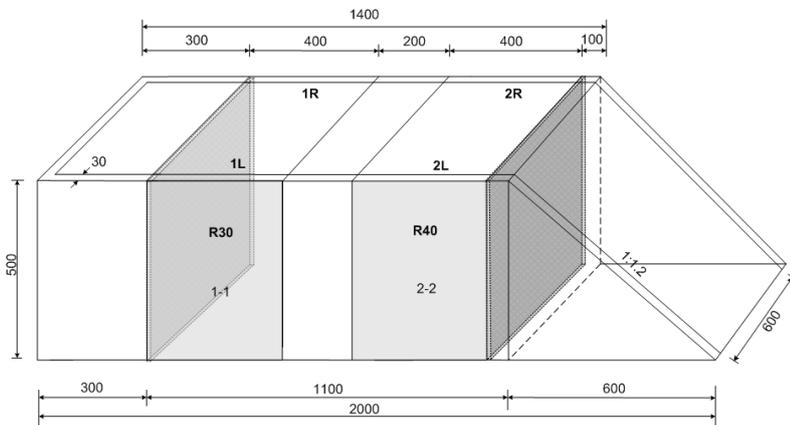


Fig. 6. Concept drawing for reinforced subgrade

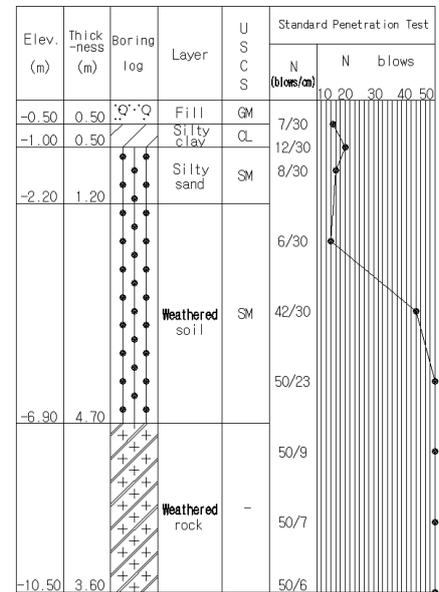


Fig. 7. Results of site investigation boring

3. 현장시공을 통한 시공 중 안정성 평가

짧은 보강재를 적용한 시공 중 안정성을 확인하기 위하여 높이*폭*길이 5m*6m*20m인 철도노반을 설계 시공하였다. 사용된 짧은 보강재 길이는 높이의 30%, 35%, 40%인 1.5m, 1.75m, 2m를 각각 적용하였다. 시공 중 노반의 안정성 및 사용성을 확인하기 위하여 변형(침하 및 수평변위) 및 토압 계측을 실시하였다.

3.1 시험체 조성

Fig. 6은 단선용 철도보강노반 시험체 개념도이다. 1층

두께 30cm와 40cm 2개의 노반을 조성하였다. 시험체 조성 부지에 대한 지반조건, 뒤채움 흙의 종류 및 특성, 시험체 구성, 작업 순서 및 내용은 다음과 같다.

Fig. 7은 시험체가 조성된 부지에 대한 시추조사 결과로, 지표로부터 심도에 따라 매립층(GM), 실트질 점토층(CL), 실트질 모래층(SM), 풍화토(SM), 풍화암(WR) 순으로 지층이 분포하는 것을 확인할 수 있다. 표준관입시험을 통하여 3~4m까지 N값은 6~12 범위의 분포를 갖고 있는 것을 알 수 있었다. 지반조건 및 5m 쌓기고를 고려할 때, 어느 정도의 시공 중 및 시공 후 침하가 예상되었다.

시험체 조성은 Fig. 8과 같이 철도설계기준의 상하부노반 기준에 적합한 재료의 흙을 사용하였다. 상하부노반에

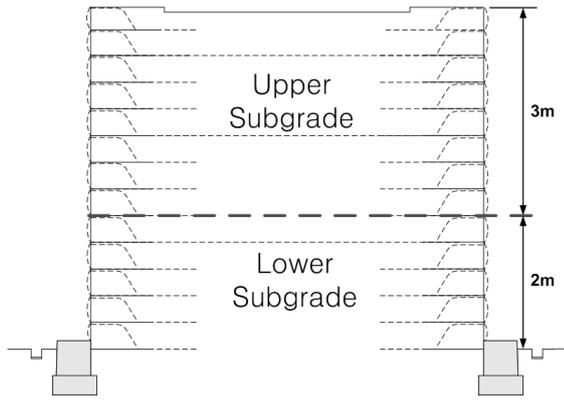


Fig. 8. Section view of reinforced subgrade

사용된 재료의 공학적 특성은 Table 1과 같다. 상부노반에

는 자갈질 흙(GP-GM)을, 하부노반에는 모래질(SP-SM) 흙을 사용하였다. 시험에 사용된 보강재는 국내에서 생산되고 있는 OOO사의 지오그리드형 토목섬유를 사용하였다. 동 제품의 제조사 제시 인장강도는 60kN/m이었고, 시공성 감소계수 등을 고려한 장기 설계인장강도는 34.9kN/m였다.

Fig. 9와 Table 2는 시험체 평면도에 보강재 연직 배치 간격 및 설치 길이 변화를 보여준다. 보강재 연직 배치 간격은 30cm와 40cm의 2종류를 적용하였으며, 보강재 길이는 높이의 30~40%까지 변화시켜 적용하였다.

Fig. 10은 보강노반 시공순서를 보여준다. 시공은 다음과 같은 순서로 반복시공하였다.

Table 1. Mechanical properties of backfill soils

Mechanical properties	Characteristic values	
	Upper subgrade	Lower subgrade
Specific gravity	2.64	2.65
Maximum dry density, γ_{dmax} (kN/m^3)	17.8	17.7
Plastic index	N.P	N.P
Natural water content, ω_n (%)	4.9	8.9
Optimum water content, ω_{opt} (%)	11.8	13.5
Cohesion, c (kPa)	1	1
Internal friction angle, ϕ (°)	31.3	30.6
USCS	GP-GM	SP-SM

Table 2. Important design factors for test sections

No.	Sections	Items	
		Vertical spacing of reinforcement (cm)	Reinforcement length (m)
1	1L (R30)	30	1.75 (35%H)
2	1R (R30)	30	1.5 (30%H)
3	2L (R40)	40	2.0 (40%H)
4	2R (R40)	40	1.75 (35%H)

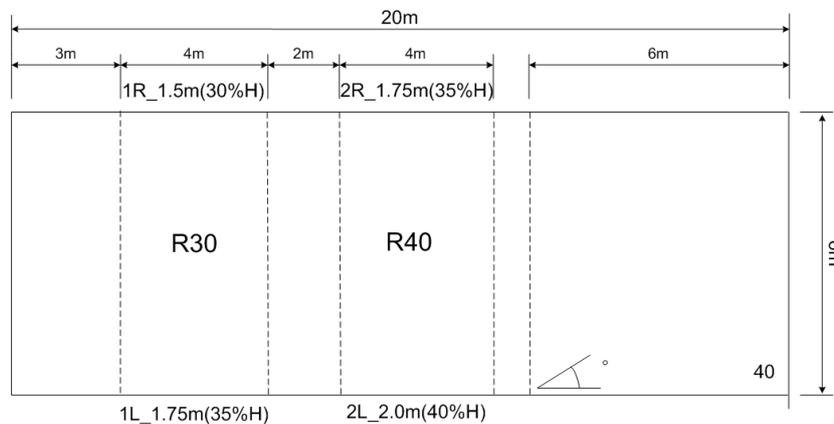


Fig. 9. Plan view of reinforced subgrade



(a) Foundation



(b) Install primary reinforcement



(c) Install secondary reinforcement



(d) Backfill soils



(e) Backfill gravel



(f) Compaction



(g) Roll reinforcement



(h) Construction completed

Fig. 10. Construction procedures of reinforced subgrade

① 기초 터파기 및 버림콘크리트 타설, ② 벽체 기초 설치, ③ 보강재 부설, ④ 기준틀 및 유실방지막 설치, ⑤ 뒤채움재 및 쇄석자갈 포설, ⑥ 다짐 후 보강재 말아감기, ⑦ ④~⑦까지의 작업 반복, ⑧ 뒤채움 시공완료

벽체 기초 설치 후 ④~⑦까지의 공정을 반복하여 계획고 5.0m까지 완료하였다. 근입 깊이 20cm를 포함하여 총 높이는 5.2m로, 수직 기준틀 높이가 30cm인 개소의 경우 17.5층으로, 40cm인 개소의 경우 13층으로 시공되었다.

기초 터파기부터 뒤채움 시공완료 시까지 총 27일이 소요되었다.

시공 중 다짐 작업 효율성 확보 및 수평 변형을 최소화하기 위하여 각 층 전면에 “L”자형 철근망 기준틀과 투수가 용이한 유실 방지용 흐름방지막을 설치하였다. 시험시공을 통하여 상하부노반의 다짐은 각각 100kN 다짐 롤러 15회 및 12회를 적용하였다. 다짐 장비는 100kN 롤러, 10kN 롤러 및 소형 컴팩터 3종류를 사용하였다. 소형 컴팩터는

전면에 설치되는 배수층 자갈 다짐용으로, 10kN 롤러는 벽체 전면으로부터 1.5m이내의 다짐용으로, 100kN 롤러는 전면벽체로부터 1.5m이상 이격거리의 다짐용으로 사용하였다. 100kN 롤러를 적용 근접 다짐 시 벽체 배부름 정도를 평가하기 위하여 전면 0.5m까지 근접 다짐을 추가로 실시하였다.

3.2 계측을 통한 시공 중 안정성 평가

시공 중 계측을 위하여 Fig. 11과 같이 계측기를 설치하였다. 1L-1R 단면과 2L-2R 단면에 각각 토압계, 변형률계,

침하 및 수평변위를 계측할 수 있는 비접촉식 레이저 변위계 및 측정용 타겟을 Fig. 12 및 Fig. 13과 같이 설치하였다.

총 51개의 계측기가 사용되었으며, 63채널 데이터로거를 사용하여 매시간당 1회씩 자동계측을 수행하였다. Table 3은 계측에 사용된 계측기의 종류와 수량을 보여준다. 2L 단면 변위 계측용 거치대는 시공 중 망실되어 계측을 수행할 수 없었다.

3.2.1 침하 및 수평변위

보강노반 시공 중 노반의 변형정도를 파악하기 위하여 기준틀 외측 총 12개 지점(단면별 3개 지점)에 레이저 변

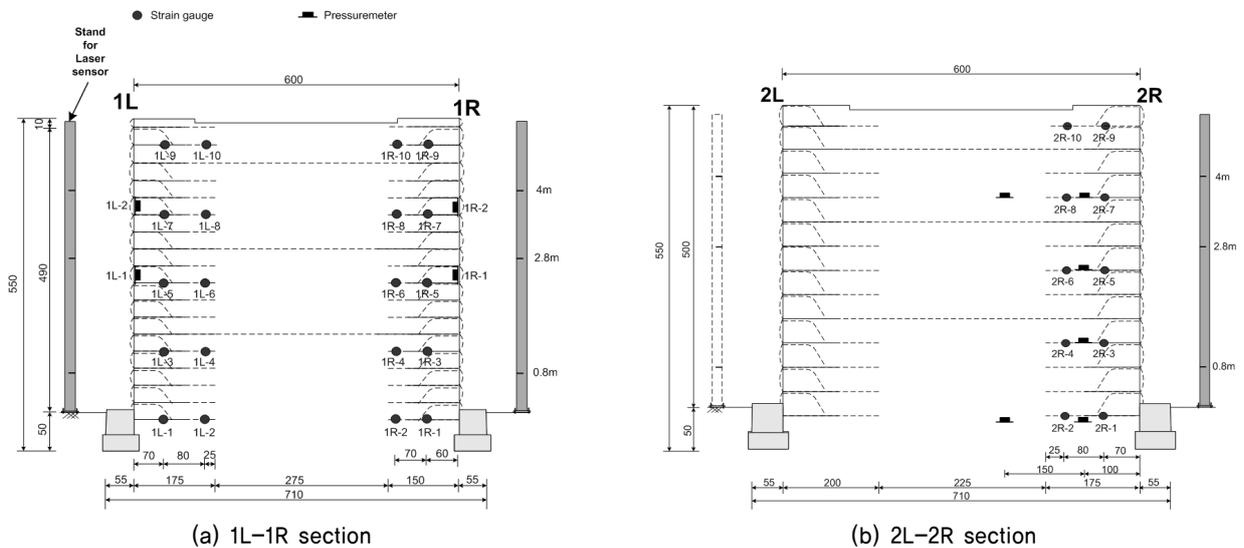


Fig. 11. Location of sensors



Fig. 12. Laser sensor to measure deformation

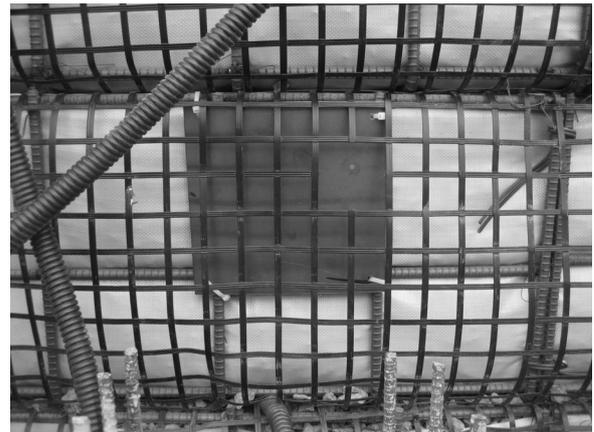


Fig. 13. Target for laser sensor

Table 3. Number and type of sensors

Section	Laser sensor	Pressuremeter	Strain gauge
1L-1R	6	4 (horizontal)	20
2L-2R	3 (except 2L)	6 (vertical)	10

위계를 설치하였다. Fig. 14는 노반 3단 시공 후 1L-1R 단면 높이 0.8m 지점에서 측정된 결과를 보여준다. 토공 완료시점에서의 발생침하량은 29mm였고, 232일간의 침하는 27mm 발생하였다. 이는 각각 높이의 0.6%와 0.5%에 해당하는 수준으로 지반 조건의 영향으로 시공 완료 이후에도 점진적으로 침하가 발생하였음을 알 수 있다.

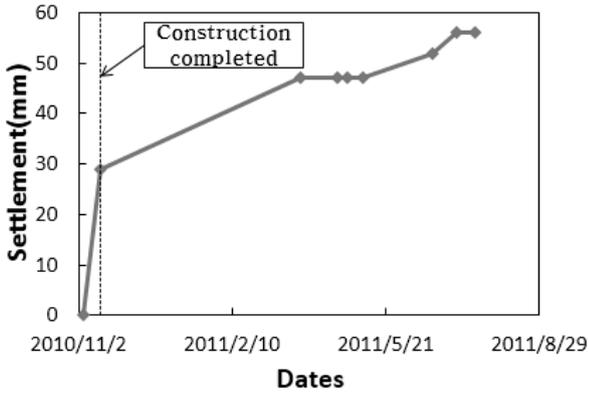


Fig. 14. Settlement of reinforced subgrade during construction

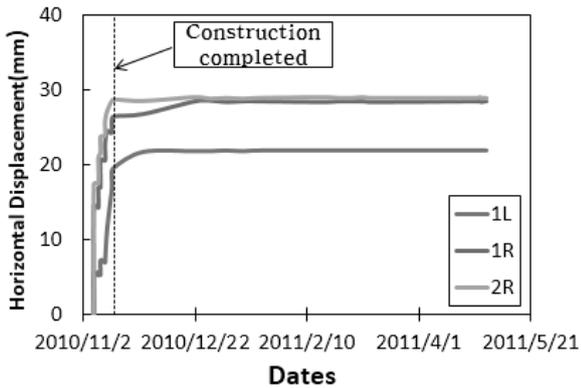


Fig. 15. Horizontal displacement of reinforced subgrade during construction

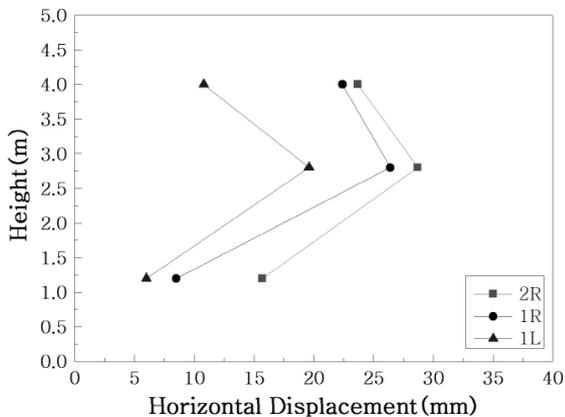


Fig. 16. Maximum horizontal displacement of reinforced subgrade depending on height

Fig. 15 및 Fig. 16은 시공 중 및 시공 완료 후 발생한 수평변위이다. 각 단면에서 수평변위가 가장 크게 발생한 지점인 높이 2.8m에서의 수평변위 측정 결과로, 2R 단면 28.7mm, 1R 단면 26.4mm, 1L 단면 19.6mm의 수평변위가 발생하였다. 수평변위 발생량은 2R > 1R > 1L 순으로 보강재 연직간격 배치 증가(30cm → 40cm)와 수평변위 증가와의 연관성을 확인할 수 있었다. 1L과 1R에서의 수평변위 발생량에서의 역전현상(보강재 길이가 상대적으로 긴 단면에서 더 큰 수평변위 발생)은 기계장비의 근접시공 등 다짐 시공 방법의 영향이 보강재 적용길이에 의한 영향보다 클 수 있음을 시사한다. Fig. 16에서는 시공높이 별 수평변위 발생량으로 2.8m 높이에서 배부름과 수평변형이 가장 크게 증가한 것을 확인할 수 있었다.

3.2.1 토압

Fig. 17은 2R단면에 설치된 연직토압계 위치 및 최하단 토압계 P1(80.85kPa) 및 P2(69.9kPa)에서 측정된 시공 중 토압 증가를 보여준다. 토압계 P1에서의 토압은 기초 바닥면으로부터 시공 높이 증가와 함께 거의 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 다만, 토압계 P2의 경우 초기 상대적으로 큰 연직토압이 작용한 후, 토압 증가량은 상대적으로 감소하는 경향을 보였다. 이는 벽체 기초의 구속 효과 차이에 기인한 것으로 판단되었다.

Fig. 18은 설치된 전체 토압계의 시공 중 및 시공 후 연직토압 변화를 보여준다. P3(134.3kPa) 및 P4(137.1kPa)에서 계측된 토압은 다른 계측값보다 상대적으로 큰 값을 보였다. 이는 동 층 시공 전후 강우로 인하여 간극수압이 증가되어 함수비가 높은 흙을 충분히 건조시키지 않고 다

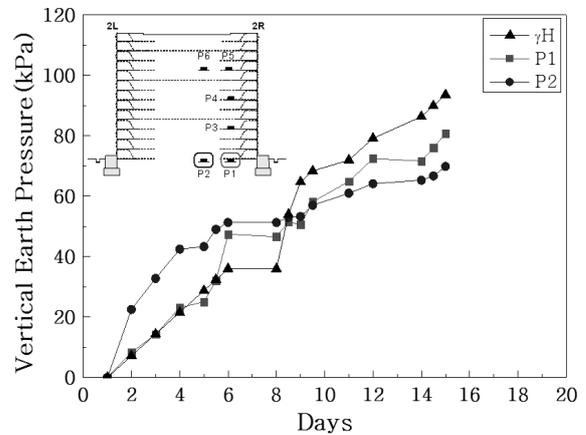


Fig. 17. Vertical earth pressures at P1 and P2

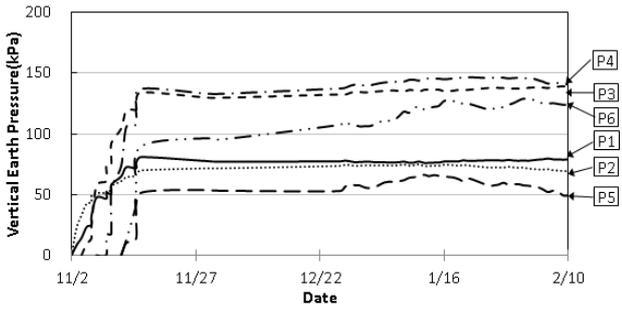


Fig. 18. Change of vertical earth pressure depending on time

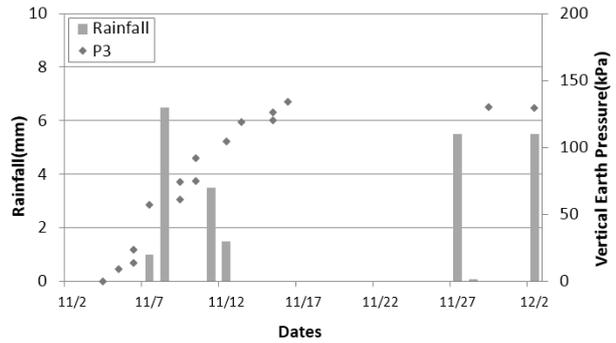


Fig. 19. Increase of vertical earth pressure after rainfall at P3

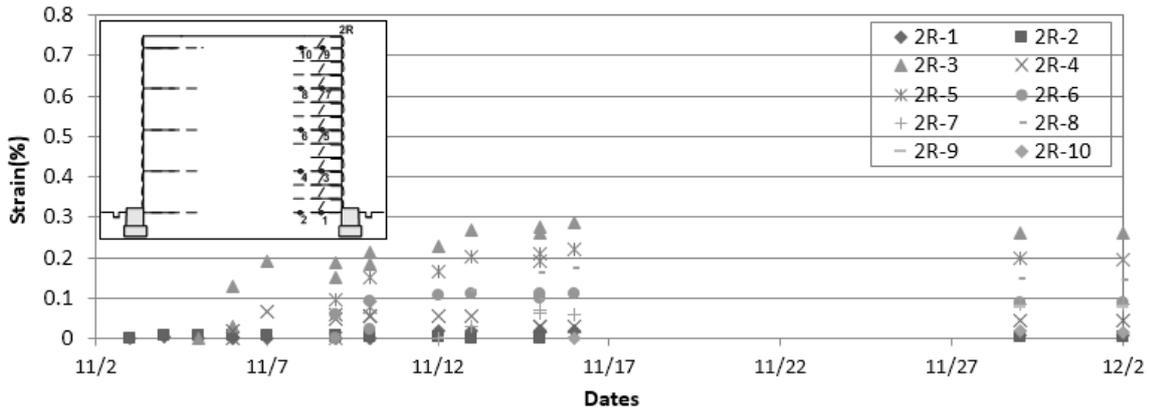


Fig. 20. Change of strain on reinforcement geogrid depending on time

짐을 한 결과로 판단된다(Fig. 19). P5(51.5kPa) 및 P6(89.6kPa)에서의 토압 측정 결과로부터 상부노반 토체 전면 근처의 다짐이 부족하여 P5에서 측정된 연직토압이 상대적으로 낮은 값을 보인 것으로 판단되었다. 대형 기계다짐이 상대적으로 부족한 부분(P5)과 과했던 부분(P4)에서의 토압 차이는 85.6kPa로, 향 후 균질한 다짐 품질 확보를 위한 기계장비 사용범위 및 방법에 대한 세심한 관리가 필요할 것으로 판단되었다. 시공 중 발생하는 수평토압을 측정하기 위하여 전면 끝단 기준틀 내측에 토압계를 설치하였다. 시공 중 수평토압 변화량은 미미하였으나, 시공 후 시간 경과와 함께 최대 21.2kPa의 수평토압이 발생되어 점진적으로 하중이 전이되어 가는 것을 확인할 수 있었다.

3.2.3 보강재 변형률

Fig. 20은 2R단면에서 측정된 시공 중 보강재 변형률의 경시변화를 보여준다. 시공 중 최대 인장 변형률은 1.2m 높이에 설치된 2R-3에서 0.29%가 발생하였다. 이는 설계 시 고려하는 보강재 인장변형률의 5%의 6%에 해당되는 낮은 수준으로, 상대적으로 작은 보강재 변형이 발생되었음을 의미한다. 전면부 근접 보강재에서의 변형이 후면부

보강재 변형보다 높은 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

기존 설계기준의 50%수준의 짧은 보강재를 적용한 보강노반의 시공 중 안정성을 평가하기 위하여 최소 보강재 길이 및 경제성에 대한 이론적 고찰을 실시하였다. 짧은 보강재 적용 보강노반의 안정성 검증하기 위하여 높이*폭*길이(5m*6m*20m)의 단선 철도노반을 설계 시공하였으며, 계측을 통한 안정성 평가 결과는 다음과 같다.

- (1) 시공 중 안전율 1.1을 적용한 활동 안정성에 대한 이론적 고찰을 통하여 시공 중 안정성을 확보할 수 있는 높이별 최소보강재 길이에 대하여 다음과 같은 기준을 제시하였다.

$L > 1.5m (H \leq 4.22m)$ and $(L/H) > 0.35 (H > 4.22m)$ 이와 같이 짧은 보강재(0.35H)와 장보강재를 혼용하는 경우 국내 설계기준(0.7H)보다 19% 적은 보강재를 사용하게 되어 보강재 사용측면에서 보다 경제적인 설계가 가능할 수 있음을 확인하였다.

- (2) 시공 중 계측을 통하여 토공 완료시점에서의 발생침하량은 29mm(0.58%H)였고, 232일간의 잔류침하량은 27mm 발생하였다. 시공 중 발생 수평변위 검토 결과, 보강재 간격(40cm)이 클수록 큰 수평변위가 발생하였으며, 짧은 보강재 길이에 대한 영향(0.30H와 0.35H)은 크지 않았으며 근접 시공 등 시공 품질 영향이 클 수 있음을 확인할 수 있었다. 비록 100kN 대형 다짐롤러를 사용한 0.5m 근접 시공을 실시하였으나, 시공 중 최대 28.7mm(0.57%H)의 배부름 현상이 확인되었다. 노반의 안정성을 해치는 파괴수준까지는 도달하지 않았으나, 향후 시공 중 배부름을 최소화할 수 있는 연직도 확보가 가능한 품질관리 노력이 필요할 것으로 판단되었다.
- (3) 시공 중 토압 측정결과로부터 강우로 인한 높은 함수비의 흙 사용은 연직토압 증가의 주요원인이며, 벽체 전면의 다짐 부족으로 인한 낮은 토압이 관찰되었다. 동 결과로부터 강우 시 다짐 흙 관리와 100kN 장비에 의한 기계다짐의 영향 및 그 중요성을 확인할 수 있었다. 시공 중 보강재에 발생한 변형률은 0.29%로 설계 시 고려 변형률인 5%보다 작았다. 이는 다짐 시 전면 에 설치한 기준틀이 수평토압을 구속하는 효과가 있으므로, 보강재 변형률이 상대적으로 작게 발생한 것으로 판단된다.

국내 보강토 설계기준에서는 높이의 35% 수준(0.35H)의 짧은 보강재를 적용한 기준이 고려되어 있지 않다. 본 연구를 통하여 검증된 결과를 토대로 향후 현 국내 설계 기준보다 짧은 보강재가 현장에 적용될 수 있도록 설계 기준 보완이 이루어질 수 있기를 기대해 본다.

References

1. Christopher, B. R., Gill, S. A., Giroud, J. P., Juran, I., Mitchell, J. K., Schlosser, F. and Dunncliff, J. (1989), *Reinforced Soil Structures Volume I. Design and Construction Guidelines*, FHWA Report No. RD-89-043.
2. Tatsuoka, F., Tateyama M., Uchimura T. and Koseki J. (1997), "Geosynthetic-reinforced soil retaining walls as important permanent structures (1996-1997 Mercer Lecture)", *Geosynthetics International*, Vol.4, No.2, pp.81-136.
3. Ministry of land, Infrastructure, and Transport (2011), *Slope standard manuals*.
4. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (2009), *Slope standard manuals*.
5. 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.
6. Associations of RRR (2001), *RRR-B design and construction manual*, pp.23.
7. Korea Railway Network Authority (2011), *Railway design standard for roadbed*, pp.6-11.