

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.6.613>

JCCT 2024-11-74

순환자원을 활용한 지반안정재로 개량한 혼합토의 도로 노체 적용에 관한 기초연구

A Fundamental Study on the Application of Mixed Soil Road Body Improved with Soil Stabilizer using Recycled Resources

송상훤*

Sang-Huwon Song*

요약 본 연구는 도로 노체 적용이 불가능한 원지반토와 순환자원을 활용한 지반안정재를 적용하여 도로 노체의 요구성능(양생 28일 기준 일축압축강도 : 0.44MPa)을 확보하는 최적 혼합비율을 도출하고자 하였다. 이를 위하여 3가지의 지반안정재 혼합비율(1m³당 80kg, 100kg, 120kg)에 대해 양생 3, 7, 14, 28일에 일축압축강도를 측정하였다. 양생일 및 혼합비율 일축압축강도를 측정된 결과 순환자원 활용 지반안정재의 혼합비율이 증가하면 일축압축강도 증가하는 것으로 확인되었으며, 도로 노체의 요구성능을 만족하는 1m³당 100kg 이상의 순환자원 활용 지반안정재를 혼합해야 되는 것으로 확인되었다.

주요어 : 순환자원, 지반안정재, 도로노체, 혼합토, 일축압축강도

Abstract This study aimed to derive the optimal mixing ratio that secures the required performance of the road body(unconfined compressive strength: 0.44 MPa based on 28 days of curing) by applying soil stabilizer utilizing recycled resources and the in-situ soil that cannot be applied to the road body. To this end, the unconfined compressive strength was measured for three mixing ratios of soil stabilizer (80 kg, 100 kg, and 120 kg per 1m³) at 3, 7, 14, and 28 days of curing. As a result of measuring the unconfined compressive strength by curing day and mixing ratio, it was confirmed that the unconfined compressive strength increased as the mixing ratio of soil stabilizer utilizing recycled resources increased. It was confirmed that more than 100 kg of soil stabilizer utilizing recycled resources per 1m³ should be mixed to satisfy the required performance of the road body.

Key words : Circulating resources, Soil stabilizer, Road body, Mixed soil, Unconfined cpmressive strength

1. 서론

일반적으로 성토구간 도로의 구성은 노체, 노상, 포장으로 구성되며, 성토구간 노체는 단계적으로 토사를 성토하고, 다짐을 실시하는 토공을 실시한다. 일반적인 성토구간의 도로 구성은 그림 1과 같다. 이러한 성토공

사의 품질관리기준은 토사를 사용한 실내다짐시험에 의한 최대건조밀도(γ_{dmax})와 현장 성토체의 건조밀도(γ_d)로부터 다짐도를 평가하는 방법 등이 제시되어 있으며, 국토교통부에서 “도로토공(KDS 44 30 00)”의 설계기준을 마련하여 설계 및 시공에 반영하도록 하고 있다[1]. 성토와 관련된 연구는 주로 다짐관리 및 침하에

*정회원, 진주비전대학교 건축과, 교수 (제1저자)
접수일: 2024년 8월 14일, 수정완료일: 2024년 9월 25일
게재확정일: 2024년 11월 5일

Received: August 14, 2024 / Revised: September 25, 2024

Accepted: November 5, 2024

*Corresponding Author: shsong@vision.ac.kr

Dept. of Architecture, Vision college of Jeonju, Korea

대한 연구가 대다수를 차지하며, 조사된 연구로 2021년 박양흠 외 2명은 노상재료 다짐관리에 일반적으로 적용되고 있는 평판재하시험 및 들밀도시험에 많은 비용과 시간이 소요되는 불편함을 해소하기 위해, 소형충격재하시험(Light Falling Weight Deflecometer)을 통해 성토부의 다짐도를 편리하게 관리할 수 있도록 기초자료를 제공하는 연구를 수행하였으며[2], 2008년 이성진 외 4명은 고속철도 콘크리트궤도 구간 성토재료에 대한 연구를 수행하였으며, 4가지 종류의 토사/암석이 혼합된 성토재료에 대하여 수직응력에 따라 발생하는 침하 변형률과 포화도 상승에 따른 침하 변형률을 평가하였다 [3].

<Banking Part>

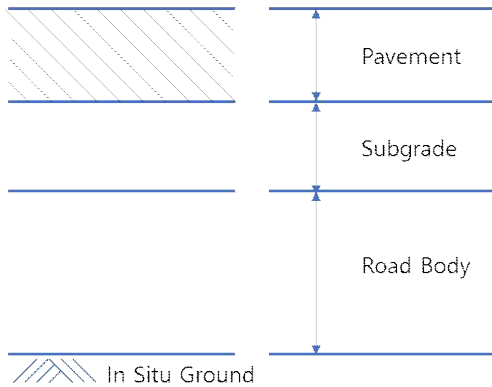


그림 1. 성토구간 도로 구성 및 명칭[1]
Figure 1. Names and road composition banking part[1]

또한, 최근 사회적으로 환경문제의 중요성이 커지고 있으며, 폐기되는 자원을 재활용하고, 순환자원을 이용한 새로운 용도 개발을 통한 고부가가치화 기술개발을 통해 사회적 환경부하와 경제성을 확보하고자 매립되었던 석탄 혼합회를 성토재 및 뒤채움재로 활용하는 연구가 수행되어 도로 노체의 성능은 만족하는 것으로 확인되었으나[4], 이동 시 발생하는 운반비 등으로 인한 경제성 문제로 전국적으로 확대 적용이 되지 못하고 있다. 그러나 순환자원을 활용한 지반안정제를 건축물 알은 기초지반에 사용하여 불량한 원지반을 개선하여 지지력을 확보하는 연구가 수행되었으며[5], 또 순환자원을 활용한 지반주입제로 터널의 강관다단공법 및 노후 저수지 차수공법에 사용되는 시멘트를 대체하는 연구 [6, 7]도 수행되어 순환자원을 고부가가치 원료로 재활

용하는 연구들이 수행되었으며, 실제 현장에서 사용되고 있다.

본 연구에서는 순환자원을 활용한 지반안정제로 개량한 혼합토에 대하여 도로 노체 적용에 필요한 기초연구로 현장에서 채취한 원지반토와 순환자원 활용 지반안정제를 3가지 혼합비를 적용하여 현장에서 지지력을 확보할 수 있는 혼합비를 도출하였다.

II. 원지반토 채취 위치

원지반토를 채취한 곳은 행정구역상 전북 익산시에 위치하며, 익산 석교지역과 익산 금마면 지역을 연결하는 도로공사 현장이다. 원지반토 채취 전경은 그림 2에 나타내었다. 당 현장의 경우 연약지반의 층후가 1-2m 정도이며, N값은 4-6으로 비교적 단단한 점토로 이루어져 있다. 또한 약 1.0m 정도의 낮은 성토고로 설계되어 있다(그림 3).



그림 2. 원지반토 채취 전경
Figure 2. Sampling of in-situ soil

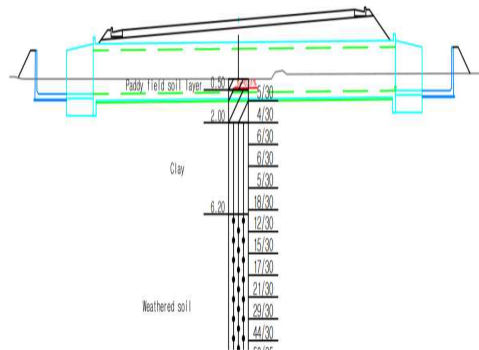


그림 3. 현장 횡단면도 및 지반주상도
Figure 3. Cross section & drill log

III. 관련기준 및 현장 요구성능

도로 노체의 관련 표준시방서인 “쌓기(KCS 11 20 20)”에서 도로 노체의 기준 아래의 표 1과 같으며, 흙을 성토재료로 활용하는 경우 다음의 조건을 만족해야 한다. ① 최대치수: 300.0mm 이하, ② 다짐도: 90% 이상, ③ 지반반력계수(K_{30})는 아스팔트 포장의 경우 147.1 MN/m³이상 시멘트 포장의 경우 98.1MN/m³이상을 확보해야 한다[8].

표 1. 노체의 관리기준[8]
 Table 1. road body construction standard[8]

Type		Road body material		
		Rock	Soil	
compaction depth after 1 layer(mm)		600	300	
Compaction ratio(%)		-	90 over	
Type of compaction		-	A, B	
P.B.T	Asphalt pavement	settlement (mm)	1.25	2.5
		Bearing capacity (K_{30} : MN/m ³)	196.1	147.1
	Cement pavement	settlement (mm)	1.25	1.25
		Bearing capacity (K_{30} : MN/m ³)	196.1	98.1

지반안정재를 이용한 혼합토의 경우 다짐도 등의 관리기준에 적합하지 않은 불량토를 개량하여 노체에 적용하는 것이므로 현장의 포장 조건을 고려하여 안정적인 기능확보를 고려하여 아스팔트 포장 지지력 계수 조건을 만족하는 조건을 요구성능으로 선정하여 혼합토의 압축강도 기준을 설정하였다.

지반안정재를 활용한 혼합토의 표준 개량층의 목표 강도를 설정하기 위해 관리기준에서 제시한 지지력 계수(K_{30})를 허용지지력으로 환산하면 약 37ton/m³으로 아래와 같이 계산된다,

$$K_{30} = 147.1MN/m^3$$

$$q_u = 147.1MN/m^3 \times 0.0025m = 37.5ton/m^2$$

일반적인 허용지지력 공식은 다음과 같으며, Terzaghi 및 Mayerhof의 제안된 지지력 계수는 다음의 표 2와 같다[9].

$$q_a = \frac{1}{3} (\alpha \times c \times N_c + \beta \times B \times N_r + \gamma_2 D_f \times N_q)$$

표 2. Terzaghi 및 Mayerhof의 제안 지지력 계수[9]
 Table 2. Bearing capacity factors of Terzaghi & Mayerhof[9]

ϕ	Terzaghi			Mayerhof		
	N_c	N_r	N_q	N_c	N_r	N_q
0	5.7	0	1.0	5.14	0	1.0
5	7.3	0.5	1.6	6.5	0.1	1.6
10	9.6	1.2	2.7	8.3	0.4	2.5
15	12.9	2.5	4.4	11.0	1.1	3.9
20	17.7	5.0	7.4	14.8	2.9	6.4
25	25.1	9.7	12.7	20.7	6.8	10.7
30	37.2	19.7	22.5	30.1	15.7	18.4

본 현장의 조건을 토질 중 가장 연약한 점토로 가정하면, 지반 내부마찰각은(ϕ)은 0°이며, 근입깊이는 0이므로, Mayerhof의 지지력계수를 이용하여 필요한 개량 지반의 점착력을 산정하면 0.22MPa로 산출되며, 점토 지반에서 점착력과 일축강도의 관계인 $q = 2.0c$ 를 이용하여, 지반안정재 혼합토의 목표 일축압축강도를 산정하면 0.44MPa 이상인 것으로 나타나, 혼합토의 요구성능으로 선정하였다.

IV. 지반안정재 혼합토의 실내시험

지반안정재 혼합토의 도로 노체 적용을 위한 적정 지반안정재 혼합재 도출을 위한 실내시험으로 다음 표 3에 나타난 것과 같이 3종류의 지반안정재 혼합비(80kg/m³, 100kg/m³, 120kg/m³)를 사용하였으며, 시료 제작 후 습윤 양생을 실시하였다. 그리고 양생일 3, 7, 14, 28일에 각 혼합비별 혼합토의 일축압축강도를 측정하여 도로 노체 기능(양생 28이 기준 일축압축강도 0.44MPa 이상)을 확보할 수 있는 최적 배합비를 도출하고자 하였다.

표 3. 실내시험 조건 및 배합비

Table 3. Laboratory test condition & Mixing ratio

Type	dosage(kg/m ³)	Curing(day)
No.1	80	3, 7, 14, 28
No.2	100	3, 7, 14, 28
No.3	120	3, 7, 14, 28

1. 혼합토 압축강도 시험용 시료 제작

지반안정제 혼합토 압축강도 시험용 시료 제작은 원지반토 계량, 지반안정제 계량, 원지반토 및 지반안정제 혼합, 혼합토 시료 성형의 순으로 수행하였으며,



그림 4. 원지반토 계량
Figure 4. Measurement of in-situ soil



그림 5. 1회용 몰드 및 캡
Figure 2. Disposable molds and cap



그림 6. 지반안정제 계량
Figure 6. Measurement of soil stabilizer



그림 7. 원지반토 및 지반안정제 혼합
Figure 7. Mixing of soil stabilizer and in-situ soil



그림 8. 혼합믹서를 이용한 혼합토 제작
Figure 8. Mixing process using mixing equipment



그림 9. 혼합토 다짐 실시
Figure 9. Compaction of mixture soil



그림 10. 일축압축강도시료 제작 완료
 Figure 10. Completed making of unconfined compressive strength specimen



그림 11. 습윤 양생 전경
 Figure 11. Curing of wet condition



그림 11. 양생일별 일축압축강도 측정
 Figure 11. Unconfined compressive strength measurement by curing date

양생일에 맞춰 압축강도시험을 실시하였다. 지반안정재 혼합토 압축강도 시험용 시료의 제작과정 및 일축 압축강도측정 전경은 다음의 그림 4-11과 같다.

지반안정재 혼합비율 및 양생일별 일축압축강도를 측정된 결과 혼합비 80kg/m³의 경우 양생 3일 평균 0.29MPa, 양생 7일 평균 0.33MPa, 양생 14일 평균 0.36MPa, 양생 28일 0.42MPa의 일축압축강도가 측정되었다. 혼합비 100kg/m³의 경우 양생 3일 평균 0.34

MPa, 양생 7일 평균 0.46MPa, 양생 14일 평균 0.54MPa, 양생 28일 0.61MPa의 일축압축강도가 측정되었다. 혼합비 120kg/m³의 경우 양생 3일 평균 0.48MPa, 양생 7일 평균 0.59MPa, 양생 14일 평균 0.86MPa, 양생 28일 0.93MPa의 일축압축강도가 측정되었다. 양생일별 일축압축강도 측정결과 지반안정재의 혼합비가 증가하면 혼합토의 양생일별 일축압축강도가 증가하는 경향으로 확인되었으며, 혼합비 100kg/m³ 이상 투입하여야 현장 요구성능을 만족하는 지지력을 확보할 수 있는 것으로 판단된다. 을 것으로 예측된다.

표 4. 혼합비 및 양생일별 압축강도 측정결과
 Table 4. Results of unconfined compressive strength measurement by curing date and dosage

No.	dosage (kg/m ³)	Curing 3days		Curing 7days		Curing 14days		Curing 28days	
		UCS	Ave.	UCS	Ave.	UCS	Ave.	UCS	Ave.
1	80	0.27		0.39		0.34		0.42	
		0.29	0.29	0.26	0.33	0.35	0.36	0.44	0.42
		0.32		0.35		0.38		0.40	
2	100	0.36		0.45		0.44		0.55	
		0.35	0.34	0.50	0.46	0.59	0.54	0.64	0.61
		0.30		0.42		0.58		0.65	
3	120	0.46		0.63		0.55		0.94	
		0.48	0.48	0.53	0.59	0.64	0.86	0.92	0.93
		0.48		0.61		0.65		0.93	

V. 결론

본 연구에서는 순환자원을 활용한 지반안정재로도 도로 노체에 적합하지 못한 원지반토를 개량하여 도로 노체 현장 요구성능을 만족할 수 있는 지반안정재 혼합비에 대하여 지반안정재 혼합비별 혼합토의 양생일별 일축압축강도를 측정하여 실내에서 최적 지반안정재 혼합비율을 산정하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 양생 28일까지 각 배합비의 평균 압축강도는 투입량 80kg의 경우 0.42MPa, 투입량 100kg의 경우 0.61MPa, 투입량 120kg의 경우 0.93MPa으로 측정

되었다.

- 2) 혼합비 및 양생일별 혼합토 일축압축강도 시험 결과 지반안정재의 혼합량이 증가할수록, 양생일이 경과할수록 혼합토의 일축압축강도 역시 증가하는 것으로 확인되었다.
- 3) 원지반을 채취한 현장의 요구성능(0.44MPa 이상)을 만족하는 지반안정재 혼합비는 1m³당 100kg 이상의 지반안정재를 혼합하여야 현장 요구성능을 확보하는 것으로 판단된다.
- 4) 향후 본 연구를 토대로 현장에서 순환자원을 활용한 지반안정재를 혼합한 혼합토 지반에서 평판재하시험을 통한 지반반력계수를 측정 등을 수행하는 후속 연구를 수행할 계획이며, 지반보강공법에 적용되는 시멘트를 대체할 수 있는 순환자원 활용 지반안정재에 대해 지속적으로 연구를 수행할 계획이다.

References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Road Earth Work(KDS 44 30 00 : 2022)", Korea Design Standard, pp. 3-13. Jan. 2022.
- [2] Y.H. Park, I.Y. Jang, and J.N. Do, "Utilization of LFWD for Compaction Management of Embankment in Expressway Construction", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 22, No. 3, pp. 45-51, Mar 2021.
- [3] S.J. Lee, I.H. Lee, E.S. Im, D.H. Shin, and S.E. Cho, "Wetting-Induced Collapse in Fill Materials for Concrete Slab Track of High Speed Railway", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 24, No. 4, pp. 79-88, Apr. 2008.
- [4] D.H. Kim, W.S. Ki, S.H. Kim, "The Utilization of Pond Ash as Embankment and Backfill Material", *The Journal of the Engineering Geology*, Vol. 20, No. 3, pp. 297-310, Sep 2010.
- [5] S.H. Song, "Study on application case of reinforce building shallow foundation for soil stabilized materials using circulating resources", *The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT)*, Vol. 8, No. 3, pp. 457-462, May 2022. <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.3.457>
- [6] S.H. Song, "A Fundamental Study on The Expression of Initial Strength of Injection Materials for Steel Pipe Multi-Stage Method using Circulating Resources," *The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT)*, Vol. 9, No. 3, pp. 557-562, Sep 2023. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.5.557>
- [7] S.H. Song and S.G. Seo, "A Study on the Application of Chemical Grouting Method for Aging Reservoir Reinforce According to the Change of Binder and Using Water," *Journal of the Korean institute of rural architecture*, vol. 21, no. 4, pp. 45 - 52, Nov. 2019. <https://doi.org/10.14577/kirua.2019.21.4.45>
- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Embank(KCS 11 20 20 : 2023)", Korean Construction Specification, pp. 14-15, 2023.
- [9] G.G. Mayerhof, "Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations", *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 16-26, Sep. 1963.