

TDR 시스템을 활용한 철도노반 다짐관리 Railroad Subgrade Compaction Control Using the TDR System

송민우*, 김대현*†, 최찬용**

Minwoo Song*, Daehyeon Kim*†, Chanyong Choi**

Abstract Soil water content and dry density are important factor to manage compaction of the railroad and road. The modern compaction control is used for measuring water content and dry density by using the TDR(Time domain Reflectometry). However, some problems are able to occur when TDR system is used. This study was conducted to minimize problems. In this study, flat-type probe is developed. Also, to verify the developed TDR system, TDR tests were examined by comparison of the measured values by TDR and the real value. Based on the test results, it has been confirmed that accuracy of the developed TDR system is similar with previous TDR system.

Keywords : Water contents, Dry density, Compaction control, Flat-type, Accuracy

초 록 철도 및 도로의 다짐관리를 위하여 흙의 함수비 및 건조밀도는 중요한 요소로 작용하며, TDR(Time Domain Reflectometry) 시스템을 이용한 현대식 다짐관리 방법이 이용되고 있다. 하지만 TDR 시스템에서도 발생할 수 있는 문제가 있으며, 이를 최소화 하기 위하여 본 연구는 진행되었고, 본 연구를 통하여 판형 Probe를 개발하였으며 개발한 시스템의 검증 을 위하여 실측 값과 TDR 시스템을 이용한 측정 값을 비교하였고, 그 결과 기존의 TDR 시스템과 개발한 TDR 시스템의 정밀도를 비교한 결과 비슷한 수준의 정밀도를 얻을 수 있었다.

주요어 : 함수비, 건조밀도, 다짐관리, 판형, 정밀도

1. 서 론

철도 및 도로 건설에서 다짐은 꼭 필요한 공정이며, 이를 관리하기 위하여 국내에서는 들 밀도시험 등의 재래식 다짐관리를 이용하고 있다. 하지만 이러한 다짐관리방법은 일점시험 으로 현장 전체의 다짐도를 판단할 수 없는 단점이 있으며, 소요시간이 길고 시험자에 의한 개인 오차 등으로 인하여 신뢰성이 떨어질 뿐만 아니라 침하 및 균열의 문제가 발생하기 쉽 기 때문에 비경제적이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 미국 및 유럽 등에서 다짐관리를 위해 시간영역반사법(Time Domain Reflectometry, 이하 TDR)의 활용이 증가하고 있는 추세이 다. 하지만 이러한 TDR의 활용에도 문제가 발생할 수 있다. 첫째로, probe를 관입시켜야할 지반이 잘 다져진 지반이기 때문에 관입하기 위한 소정의 작업이 필요할 수 있고, 둘째로, probe를 관입시킬 때 지반의 교란이 발생할 수 있어 원지반의 다짐도를 판명하는데 오차가 있을 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 지반에 관입시키지 않는 판형 probe를 개발하였고, 실내 실험을 통해 개발한 TDR 시스템을 검증하고, 이를 통해 현장 지반의 다짐관리를 위한 하나의 방법을 제시하고자 한다.

† 교신저자: 조선대학교 공과대학 토목공학과(dkimgeo@chosun.ac.kr)

* 조선대학교 공과대학 토목공학과

** 한국철도기술연구원 첨단인프라연구팀

2. TDR 시스템 개발

2.1 판형 probe 개발

본 연구에서 개발한 판형 probe는 기존의 TDR 연구에서 사용되었던 봉형 probe의 문제점을 개선하기 위하여 제작하였다. 기존의 probe와 달리 지반 위에 없어서 측정하기 때문에, 흙 표면과 공기의 매질차이로 인한 전과간섭의 문제를 해결하기 위하여 폴리머 재질의 판을 이용하였으며, 기존의 probe를 사용할 수 있게 교체 가능한 형태로 제작하였다.

Probe는 30.48cm X 30.48cm 의 판에 폭 5cm 구리띠를 5cm 간격으로 부착하였고, 총 폭은 25.4cm 이다. 이는 Knight 등[1]과 Ferre 등[2]이 제안한 유한요소해석의 과정을 통하여 결정하였다. 또한 개발한 Probe의 측정 가능한 깊이는 약 7cm 정도 이며, 측정 깊이를 증가시키기 위해서는 probe의 크기가 증가하게 되어 이동성에 문제가 발생할 것으로 판단하여 probe의 크기는 이와 같이 정하여 제작하였다. Fig. 1은 개발한 판형 probe이다.

2.2 실내 검증 실험

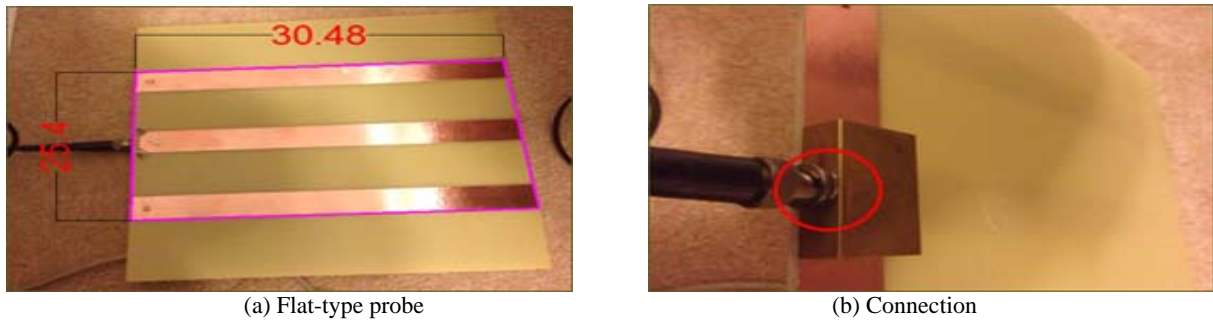


Fig. 1 Developed TDR probe

2.2.1 실험 조건

본 연구에서 사용한 흙 시료는 주문진 표준사 와 세 가지의 각기 다른 흙을 사용하였고, 연구에 사용한 시료의 물리적 성질은 Table 1과 같으며, 흙의 함수비와 다짐도에 따른 TDR 파형의 변화를 알아보기 위하여 함수비는 0~10%에서 변화시켰으며, 다짐도는 층당 타격횟수를 변화시켜 실험을 진행하였다.

2.2.2 실험 결과

Table 1 Engineering characteristics of the soils used in this research

Soil	USCS	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Gs	P<#200 (%)	OMC (%)	γ_{dmax} (g/cm ³)
Jumunjin sand	SP	100	0	0	2.65	0	-	1.568
Wonju sampling soil	SM	80	17	3	2.58	20	10.9	1.669
Seomjingang sand	SP	95	4	1	2.64	5	8.4	1.592
Okgwa sampling soil	SM	78	16	2	2.60	18	11.4	1.676

본 연구를 통하여 개발한 probe를 이용하여 실내 검증 실험을 실시하였고, 각 시료별 측정된 TDR 신호를 분석하고 Topp 등[3]이 제안한 식(1)과 Yu 등[4]이 제안한 식(2)를 이용하여 시료별 유전상수와 전기전도도를 도출하였고, 그 결과를 이용하여 유전상수 및 전기전도도와 함수비 간의 관계를 선형회귀분석을 실시하였으며, Table 2와 같이 시료별 특성상수 값을 산정하였다.

$$K_a = \left(\frac{L_a}{L_p} \right)^2 \quad (1)$$

$$EC_b = \frac{1}{C} \left(\frac{V_s}{V_f} - 1 \right) \quad (2)$$

여기서, L_a : 첫 번째 반사지점과 두 번째 반사지점의 거리

L_p : 흙 속에 관입된 probe의 길이

V_s : 스텝펄스의 두 배의 크기의 전압

V_f : 장주기전압레벨

C : 장주기전압레벨

도출한 유전상수, 전기전도도, 특성상수 값을 이용하여 시료별 함수비와 건조밀도를 Yu 등 [3]이 제안한 식(3)과 식(4)를 이용하여 구하였고, 실제 함수비 값과 건조밀도 값과의 비교를 통

Table 2 Calibration soil constants

Soil	a	b	c	d
Jumunjin sand	0.9763	0.0373	0.5671	0.0030
Wonju sampling soil	0.9725	0.0292	0.5636	0.0008
Seomjingang sand	0.9080	0.0446	0.5554	0.0015
Okgwa sampling soil	1.0121	0.0148	0.5654	0.0012

하여 TDR을 이용한 측정 값과 비교하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다.

$$w = \frac{c\sqrt{K_a} - a\sqrt{EC_b}}{b\sqrt{EC_b} - d\sqrt{K_a}} \quad (3)$$

$$\rho_d = \frac{d\sqrt{K_a} - b\sqrt{EC_b}}{ad - cb} \rho_w \quad (4)$$

여기서, a, b, c, d : 흙의 특성상수

본 연구를 통해 개발한 TDR 시스템을 이용하여 함수비와 건조밀도를 측정하고, 그 값을 실

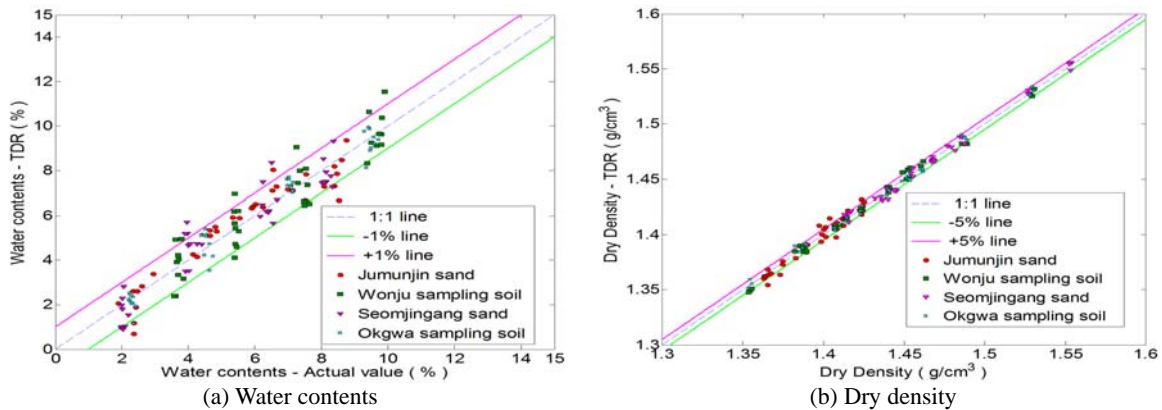


Fig. 2 Comparison of water contents and dry densities measured by TDR and accrual value

제 값과 비교한 결과 건조밀도의 경우 약 2%의 오차를 보이고, 함수비의 경우 약 0.5%의 오차를 보임을 확인할 수 있었으며, 이는 기존의 봉형 probe를 이용하여 측정한 것과 비슷한 정확도를 가짐을 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 기존의 TDR의 문제점을 개선하기 위하여 수행되었으며, 이를 통해 관형 probe를 개발하였고, 네 가지 시료를 이용하여 검증실험을 실시하였다. 실험결과 기존의 TDR 시스템을 이용하여 측정한 값의 정확도와 개발한 TDR 시스템을 이용하여 측정한 값의 정확도가 비슷한 수준임을 확인할 수 있었다. 이를 통해 지반에 관입시키지 않는 TDR 시스템을 이용한 다짐관리 방법의 가능성을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(과제번호 : 15RTRP-B067919-03)에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] Knight, J.H., Ferré, P.A., Rudolph, D.L., and Kachanoski, R. G. (1997) A numerical analysis of the effects of coatings and gaps upon relative dielectric permittivity measurement with time domain reflectometry, *Water resources research*, 33(6), pp.1455-1460.
- [2] Ferré, P.A., Knight, J. H., Rudolph, D.L., and Kachanoski, R. G. (1998) The sample areas of conventional and alternative time domain reflectometry probes, *Water Resources Research*, 34(11), pp.2971-2979.

- [3] Topp, G.C. Davis, J.L. and Annan, A.P. (1980) Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines, *Water resources research*, 16(3), pp.574-582.
- [4] Yu, X., and Drnevich, V.P. (2004) Soil water content and dry density by time domain reflectometry, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(9), pp.922-934.