

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.3.277>

JCCT 2022-5-34

반발경도법을 이용한 침목플로팅 궤도의 콘크리트 침목 강도추정 기법 연구

A Study on Estimation Method of Concrete Sleeper Strength for Sleeper Floating Track using Rebound Hardness Test Method

정지승*, 이정숙**, 최정열*

Jee-Seung Chung*, Jeong-Sug Lee**, Jung-Youl Choi*

요약 본 연구의 대상궤도구조인 침목플로팅궤도(STEDEF)는 상대적으로 얇은 콘크리트 침목(RC Block) 하부에 매우 소프트한 방진패드가 설치되어 있는 궤도형식으로서 방진패드가 콘크리트 강도 추정결과에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상되었다. 이에 본 연구에서는 일반적인 토목구조물의 콘크리트 압축강도 추정기법인 반발경도시험법을 철도 궤도의 콘크리트 침목에 적용하기 위한 현장 적용성 평가를 수행하였다. 본 연구에서는 일반적인 토목구조물과 다른 궤도구조의 특성이 반영된 콘크리트 침목의 강도추정기법을 분석하고자 공용중인 콘크리트 침목의 강도추정결과에 영향을 미칠 수 있는 매개변수 실험을 수행하였다. 연구결과, 콘크리트 침목의 단면형상을 고려한 적정 타격위치를 제시하였으며, 콘크리트 침목의 상태와 지지조건에 따른 강도추정결과의 차이를 도출하였다.

주요어 : 반발경도, 침목플로팅 궤도, 방진패드, 콘크리트 침목, 강도

Abstract The sleeper floating track (STEDEF) in this study was a track type in which a very soft resilience pad was installed under a relatively thin concrete sleeper (RC Block). Therefore it was expected that the resilience pad could affect the estimation results of the concrete strength. In this study, field applicability evaluation was performed to apply the rebound hardness test method, which was a general method for estimating the compressive strength of concrete in civil structures, to concrete sleepers of railway tracks. In order to analyze the strength estimation technique of concrete sleepers reflecting the characteristics of track structures different from those of civil structures, the parameter experiments that could affect the strength estimation results of concrete sleepers in a serviced line were performed. As a result of the study, the appropriate hitting position was suggested considering the shape of the concrete sleeper, and the difference in strength estimation results according to the condition of the concrete sleeper and supporting conditions was derived.

Key words : Rebound Hardness, Sleeper Floating Track System, Resilience Pad, Concrete Sleeper, Strength

*정희원, 동양대학교 건설공학과 교수

**정희원, 서울교통공사 토목사업소 소장 (교신저자)

접수일: 2022년 4월 21일, 수정완료일: 2022년 5월 5일

게재확정일: 2022년 5월 8일

Received: April 21, 2022 / Revised: May 5, 2022

Accepted: May 8, 2022

**Corresponding Author: smsctrack@gmail.com

Dept. of Track Engineering office 1, Seoul Metro, Korea

1. 서론

최근 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률 및 궤도시설의 성능평가에 관한 세부지침이 새롭게 제, 개정되었다. 궤도시설에 대한 성능평가 세부지침에는 콘크리트 침목의 성능평가를 안전성과 내구성 등으로 구분하여 시행하도록 규정화되어 있으며, 대부분은 육안조사에 의한 정성평가이나 콘크리트 강도에 대한 평가방법인 반발경도시험이 유일한 정량평가 항목이다. 그러나 일반적인 토목구조체와 달리 궤도구조의 형식별로 각기 상이한 다양한 형상과 재료 및 구조적 특징을 갖는 콘크리트 침목에 대한 반발경도시험 및 이를 통한 콘크리트의 강도를 추정하는 구체적인 시행방법에 대한 설명은 부족한 실정이다. 궤도의 성능평가는 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률(2020. 6.9 개정, 2021.6.10. 개정)에 의해 궤도시설물에 대한 성능평가를 시행이 법률화 되었다. 이에 따른 표 1과 같이 RC(블록)침목에 대한 성능평가 방법이 선택 과업에 제시됨에 따라 공중의 안전을 확보하고 국민의 복리증진에 기여함을 목적으로 궤도시설물에 대한 성능평가를 시행하도록 규정되었다.

표 1. 콘크리트 침목 성능평가 항목

Table 1. Performance evaluation items for concrete sleeper

	Evaluation items	Methodology	Concrete sleeper			A	B
			PSC	RC sleeper			
				E type	A type		
Safety	Surface crack, defect, shoulder condition	Visual inspection	Entire			O	
	PS exposed	Visual inspection	Entire	-	-	O	
	Rebound hardness test	Non-destructive test	3section / 500m			O	
Durability	Accumulated tonnage, velocity, used year	Maintenance data	Entire			O	
	Rebound hardness test	Non-destructive test	3section / 500m			O	
	Depth of Carbonation	Field test	1section / 500m			O	
	Surface crack	Visual inspection	Entire			O	

E type : Embedded sleeper type, A type : Anti-vibration type
 A : Compulsory items, B : Elective items

현재 성능평가 시행 세부지침의 콘크리트 침목에 대한 평가는 표면균열, 표면손상, 솔더상태, 콘크리트 강도 비파괴 시험이 포함되어 있다[1,2]. 콘크리트 강도시험을 위한 세부 시험방법에 대한 제시는 없는 실정이다.

궤도분야에서의 콘크리트 침목의 반발경도법 시행은 초기 단계이며 토목구조물과는 다른 특성이 반영된 새로운 시험방법의 제시가 필요한 실정이다. 일반적인 토목구조물의 콘크리트와 콘크리트 침목의 강도 추정은 측정 및 평가(타격위치, 타격방법, 각도 보정, 강도보정 등)는 동일한 기준을 준용하기에 기술적 제약이 따른다. 따라서 도시철도 침목플로팅궤도에서 사용되는 콘크리트 침목에 적합한 반발경도시험법에 대한 세부기법에 대한 연구가 필요한 실정이다.

침목플로팅궤도용 콘크리트 침목(Reinforced concrete sleeper, RC block)은 침목하부에 방진상자 및 방진패드 가 삽입되어 강도 측정 시 콘크리트 침목의 강도 추정 결과에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단되었다. 이에 본 연구에서는 보다 정량적인 콘크리트침목의 구조적 건전성을 평가하고자 현장적용이 용이한 간편 시험기법(비파괴시험 : 슈미트해머 시험)을 제안하고 이에 대한 강도 추정 기법을 제시하는 데에 본 연구의 목적이 있다.

신대형은 모달 시험기법을 통해 콘크리트 침목의 구조적 건전성을 평가하여 손상된 콘크리트 침목의 강성 및 손상유무를 분석할 수 있는 시험기법을 제시하고 이에 대한 적정성을 현장 및 실내시험을 바탕으로 입증하였다[3-5]. 이수재는 도시철도 구조물의 압축강도와 반발경도의 상관관계를 분석하고자 반발경도 측정결과와 범위별로 구분하여 측정결과와 가우시안 확률밀도함수를 도출하고, 이를 바탕으로 콘크리트 코어강도와 비교함으로써 현장여건이 반영된 추정식을 제안하였다[6,7]. 최정열은 자갈도상 궤도에 부설된 콘크리트 침목의 진동특성(고유진동수, 감쇠비)에 미치는 경계조건의 영향을 분석하였다[8].

본 연구에서는 콘크리트 침목의 반발경도 및 이에 따른 강도추정결과에 미치는 영향인자를 매개변수로서의 실험을 바탕으로 침목상태 및 침목의 경계조건 변화에 따른 콘크리트 침목의 강도추정결과를 제시하였다.

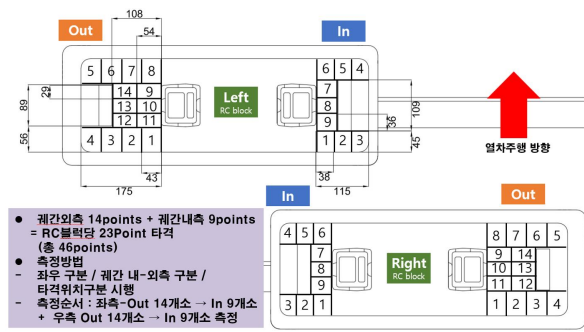


그림 2. 콘크리트 침목 적정 타격위치
Figure 2. Appropriate hitting position of concrete sleeper

측정 방법은 좌우를 구분하고, 궤간 내, 외측 및 타격위치별로 구분한다. 측정순서는 좌측침목의 외측 (OUT) 14개소를 타격한 후 좌측침목의 궤간내측(In) 9개소 순으로 타격한다. 그림 3과 같은 슈미트해머 타격 위치가 정의된 측정 판넬을 제작하여 침목 1정당 46개소 측정을 시행한다.

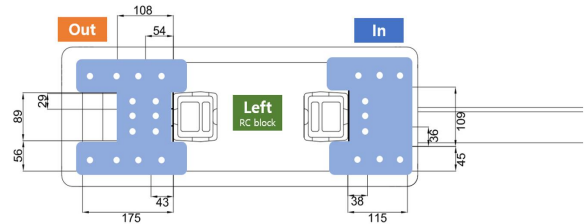


그림 3. 슈미트해머 타격위치 판넬
Figure 3. Panel of Schmidt hammer hitting position

침목플로팅궤도에 사용되는 콘크리트 침목의 강도에 미치는 영향인자를 도출하기 위한 매개변수 실험을 수행하였다. 실험을 위한 시험조건 구분은 표 4와 같으며 콘크리트 침목의 상태별 전경 및 실험조건 세팅 전경은 그림 4와 같다.

표 4. 시험조건 구분
Table 4. Description of test case

	Condition
Case 1	Normal sleeper on concrete bed
Case 2	Normal sleeper on resilience pad (New)
Case 3	Normal sleeper on resilience pad (Used)
Case 4	Damaged sleeper on concrete bed
Case 5	Damaged sleeper on resilience pad (Used)

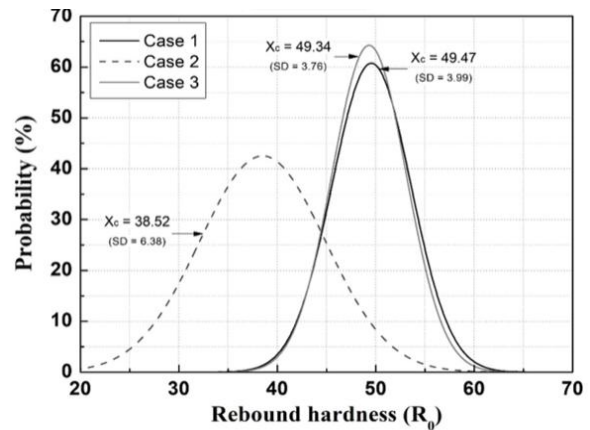


(a) Normal sleeper (b) Damaged sleeper

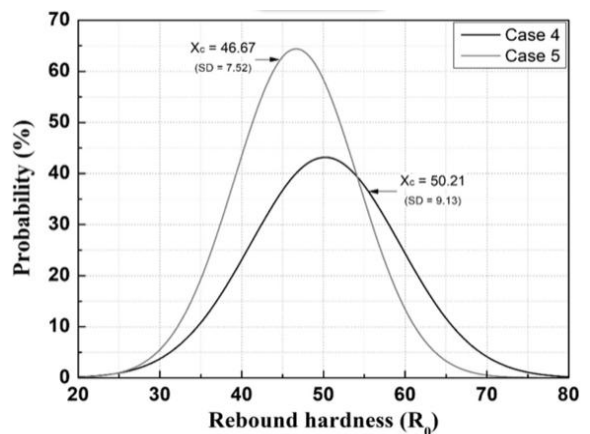


(c) Overview of test setting

그림 4. 콘크리트 침목 반발경도시험 전경
Figure 4. Photographs of rebound hardness test for concrete sleeper



(a) Rebound hardness according to sleeper support conditions (normal sleepers)



(b) Rebound hardness according to sleeper support conditions (damaged sleepers)

그림 5. 침목 지지조건에 따른 반발경도 측정결과
Figure 5. Measurement results of rebound hardness according to sleeper support conditions

침목상태 및 침목 지지조건이 콘크리트 침목의 반발경도 측정결과에 미치는 영향을 분석하고자 시험조건별 측정값을 가우시안 확률밀도함수 모델을 이용하여 분석하였다. 시험조건별 확률밀도함수의 확률평균값(xc)과 표준편차(SD)를 분석한 결과는 그림 5와 같다.

침목상태가 건전한 정상침목조건에서 침목의 지지조건을 변수로 한 시험결과인 Case 1~Case 3의 경우, 신품 침목방진패드로 지지된 Case 2의 추정 압축강도가 콘크리트 직상부 및 노후된 침목방진패드로 지지된 경우보다 가장 낮은 반발경도가 측정되었으며 상대적으로 큰 표준편차를 나타내었다. 또한 콘크리트 직상부에 놓인 경우와 노후 침목방진패드로 지지된 경우는 매우 유사한 반발경도가 측정되었으며 표준편차도 유사하게 분석되었다. 손상된 침목의 경우 콘크리트 바닥에 놓인 Case 4 보다 노후 침목방진패드로 지지된 침목(Case 5)의 반발경도가 다소 작게 평가되었다.

신품 방진패드가 설치된 조건인 case2의 경우 노후 신품 방진패드가 설치된 Case3보다 반발경도값이 작게 측정되었다. 이는 소프트한 방진패드가 타격에너지를 흡수하여 반발경도가 작게 평가된 것으로 분석되었다. 따라서 콘크리트침목 직하부에 방진패드가 설치되는 침목플로팅케도의 경우 방진패드의 영향을 고려한 반발경도 보정치 산정이 필요할 것으로 분석되었다.

콘크리트 침목의 강도에 미치는 영향인자를 분석한 시험결과를 종합하여 그림 6과 표 5에 나타내었다.

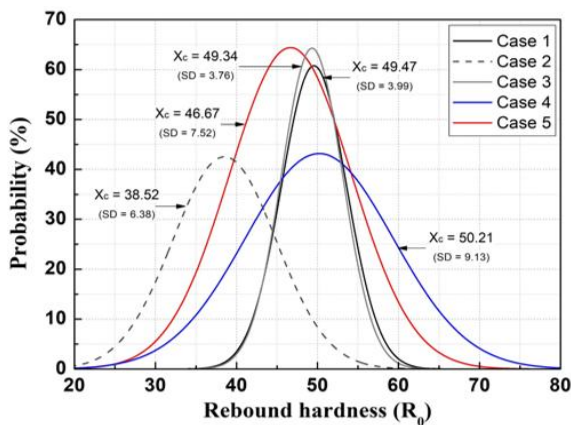


그림 6. 시험조건별 콘크리트 침목의 반발경도 측정결과(가우시안 확률분석)
 Figure 6. Measurement result of rebound hardness for concrete sleeper according to test cases (Gaussian probability)

표 5. 콘크리트 침목의 강도에 미치는 영향 분석결과
 Table 5. Estimation result of effect on strength of concrete sleepers

Case	Gaussian probability			ΔR	α_n	Range of test results (MPa)	f_{ck} (MPa)
	X_c	SD	R0				
1	49.47	3.99	45.48~53.46	1.72	0.63	35.88~41.12	'35
2	38.52	6.38	32.14~44.90				
3	49.34	3.76	45.58~53.10				
4	50.21	9.13	41.08~59.34				
5	46.67	7.52	39.15~54.19				

X_c : probability mean, SD : Standard deviation
 R0 : Range of rebound hardness
 ΔR : correction value, α_n : Age coefficient (3,000 days)
 Range of test results : Range of compressive strength estimated

그림 6 및 표 5와 같이 정상적인 침목의 경우 반발경도 측정결과가 침목의 경계조건(지지조건)에 직접적인 영향을 받아 소프트한 침목방진패드로 지지된 경우 콘크리트 침목의 강도가 과소평가될 소지가 있을 것으로 분석되었다. 또한 손상된 침목의 경우 노후 침목방진패드로 지지된 경우가 콘크리트로 지지된 경우 보다 상대적으로 반발경도가 작게 나타나 침목의 지지조건이 견고할수록 반발경도는 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 따라서 콘크리트 침목의 지지조건에 직접적인 영향을 미칠 수 있음을 실험적으로 입증하였다.

IV. 결 론

본 연구에서는 침목플로팅케도의 구조적 특성인 침목방진패드가 콘크리트 침목의 반발경도에 미치는 영향을 분석하기 위한 매개변수 실험을 수행하였으며 본 연구를 통해 도출한 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서는 침목플로팅케도에서 사용되는 콘크리트 침목의 형상특성이 반영된 슈미트해머 시험을 위한 적정 타격위치 및 방법을 제시하였다.
- 2) 콘크리트 침목의 상태 및 지지조건에 따른 콘크리트 침목의 강도추정결과, 침목의 지지조건이 견고할수록 반발경도는 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 침목상태 보다 침목의 지지조건이 콘크리트 침목의 강도에 직접적인 영향을 미칠 수 있음을 실험적으로 입증하였다.

3) 소프트한 침목방진패드로 지지된 콘크리트 침목의 경우 침목의 강도가 가장 작게 나타나 건전한 침목임에도 콘크리트 강도는 과소평가될 소지가 있을 것으로 분석되었다.

4) 따라서 향후 공용중인 침목플로팅케도의 콘크리트 침목의 강도추정 시에는 콘크리트 침목의 강도를 과소평가하지 않도록 보다 많은 시험결과를 바탕으로 침목의 지지조건(방진패드의 효과)을 고려한 보정계수를 산출하여 측정 반발경도에 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Reference

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Detailed Guidelines for Performance Evaluation of Track Facilities, 2021.
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Act on the Construction of Railways and Maintenance of Railway Facilities, 2020.
- [3] Shin. T., Integrity Assessment of Concrete Sleeper using Modal Test Technique, Ph.D. thesis, Dongyang University, Korea, 2022.
- [4] J.Y. Choi, T.H. Shin, J.S. Chung, "Damage Cause Analysis of Concrete Sleepers for Sharp Curved Track on Urban Railway Bridge", The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 7, No. 3, pp. 517-522, 2021.
- [5] A. Remennikov and S. Kaewunruen, "Investigation of Vibration on Characteristics of Prestressed Concrete Sleepers in Free-Free and In-Situ Conditions, University of Wollongong, Faculty of Engineering and Information Sciences.
- [6] Lee. S., A Study on Correlation between Compressive Strength and Rebound Hardness of Urban railway Underground Structures, Master thesis, Dongyang University, Korea, 2020.
- [7] J.Y. Choi, S.J. Lee, J.S. Chung, "A Study on Correlation between Compressive Strength and Rebound Hardness of Urban Underground Structures", The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 6, No. 4, pp. 655-661, 2020.
- [8] Choi. J., Qualitative Analysis for Dynamic Behavior of Railway Ballasted Track, Ph.D. thesis, Technical University of Berlin, Germany, 2014.
- [9] J.Y. Choi, H.S. Gong, J.H. Kim, H.S. Kim, J.S. Chung, "An experimental Study on Causes Evaluation of Rail Corrugation for Concrete track(STEDEF) in Urban Transit", The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 4, No. 4, pp. 413-418, 2018.
- [10] J.Y. Choi, J.G. Bong, J.S. Lee, S.J. Kim, J.S. Chung, "Evaluation on Fatigue Behavior of Resilience pad for Sleeper Floating Track System in Urban Transit", The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 6, No. 3, pp. 347-352, 2020.
- [11] J.Y. Choi, H.S. Kim, K.S. Han, C.J. Jang, J.S. Chung, "Damage Evaluation of Track Components for Sleeper Floating Track System in Urban Transit", The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol.5, No.4, pp. 387-394, 2019.
- [12] J.Y. Choi, J.G. Bong, J.S. Lee, J.M. Han, J.S. Chung, "Dynamic Behavior of Sleeper Floating Track System(STEDEF) on Urban Rapid Transit According to Replacement of Resilience Pad", The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 6, No. 3, pp. 335-340, 2020.