

# MTT작업에 의한 도상자갈 파쇄특성에 관한 연구

## A study on the characteristic of ballast fracture by M.T.T. works

이춘길\*      김남홍\*\*      우병구\*\*\*      김용혁\*\*\*\*      김관형\*\*\*\*\*      이성욱\*\*\*\*\*  
Lee, Choon-Kil Kim, Nam-Hong Woo, Byoung-Koo Kim, Yong-Hyok Kim, Kwan-Hyung Lee, Sung-Wook

### ABSTRACT

The ballast, one of track components, plays an essential role as intermedium in transmitting train load to subgrade safely, and the deterioration of ballast directly effects the growth of track irregularity. So far, gravel fining of ballast track was mainly related to the repetition of train loads, but was gradually increased with using MTT(Multiple Tie Tamper) recently.

Therefore, in this study, an evaluation of the abrasion and crush process of ballast particles was performed with outdoor field test by MTT works. From this study, the amount of abrasion and crush of ballast particles appeared to increase linearly with MTT works, and the gradient of particle size distribution curve appeared to deviate gradually from a criterion of aggregated ballast size distribution in high-speed railroad.

### 1. 서론

궤도구성품 중 도상은 레일과 침목으로 전달되는 열차하중을 노반으로 전달하는 중간매개체 역할을 하며, 도상의 열화는 궤도틀림 진전에 직접적으로 영향을 미친다. 열차의 속도향상에 따라 동적진동에 의한 도상자갈의 열화현상이 빠르게 진행되고 있어 이에 대한 연구가 절실히 필요하나, 자갈의 비선형적인 특성상 그 거동을 예측한다는 것이 결코 쉽지 않으며, 합리적이고 타당성 있는 연구사례가 많지 않다.

지금까지 자갈도상궤도에서 자갈의 세립화는 열차하중의 반복에 의한 것이 크다고 고려되어 왔으나, 최근에는 대형 보선장비(멀티플 타이 탬퍼; M.T.T.; Multiple Tie Tamper) 사용으로 인한 세립화가 많아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 도상자갈의 수명을 평가·예측하기 위한 선행실험의 하나인 대형 보선장비 작업에 의한 도상자갈의 마모·파쇄 특성을 분석하고자 현장 부설시험을 실시하였다.

### 2. 시험용 궤도의 부설

#### 2.1 개요

대형 보선장비(MTT) 작업횟수에 따른 도상자갈의 마모·파쇄 특성분석을 위하여 경부고속선 영동보수기지 관내 측선(Ⅱ4)에 시험선을 부설하였다. 그림 1과 같이 시험선의 총 연장 25m에 침목 2정당 하나의 case로 총 5case의 시험틀을 구성하였으며, 도상의 깊이는 현 고속철도 설계기준인 침목하면으로부터 350mm로 하였다.

\* 한국철도공사 철도연구원 기술연구팀, 공학박사, 비회원

E-mail : cklee@korail.com

TEL : (042)609-4934 FAX : (042)609-3720

\*\* 한국철도공사, 철도연구원 기술연구팀 주임, 비회원

\*\*\* 한국철도공사, 철도연구원 기술연구팀 차장, 비회원

\*\*\*\* 한국철도공사, 철도연구원 기술연구팀 연구원, 비회원

\*\*\*\*\* 한국철도공사, 철도연구원 기술연구팀장, 기술사, 정회원

\*\*\*\*\* 한국철도공사, 대전지사, 시설팀장, 공학박사, 기술사, 정회원

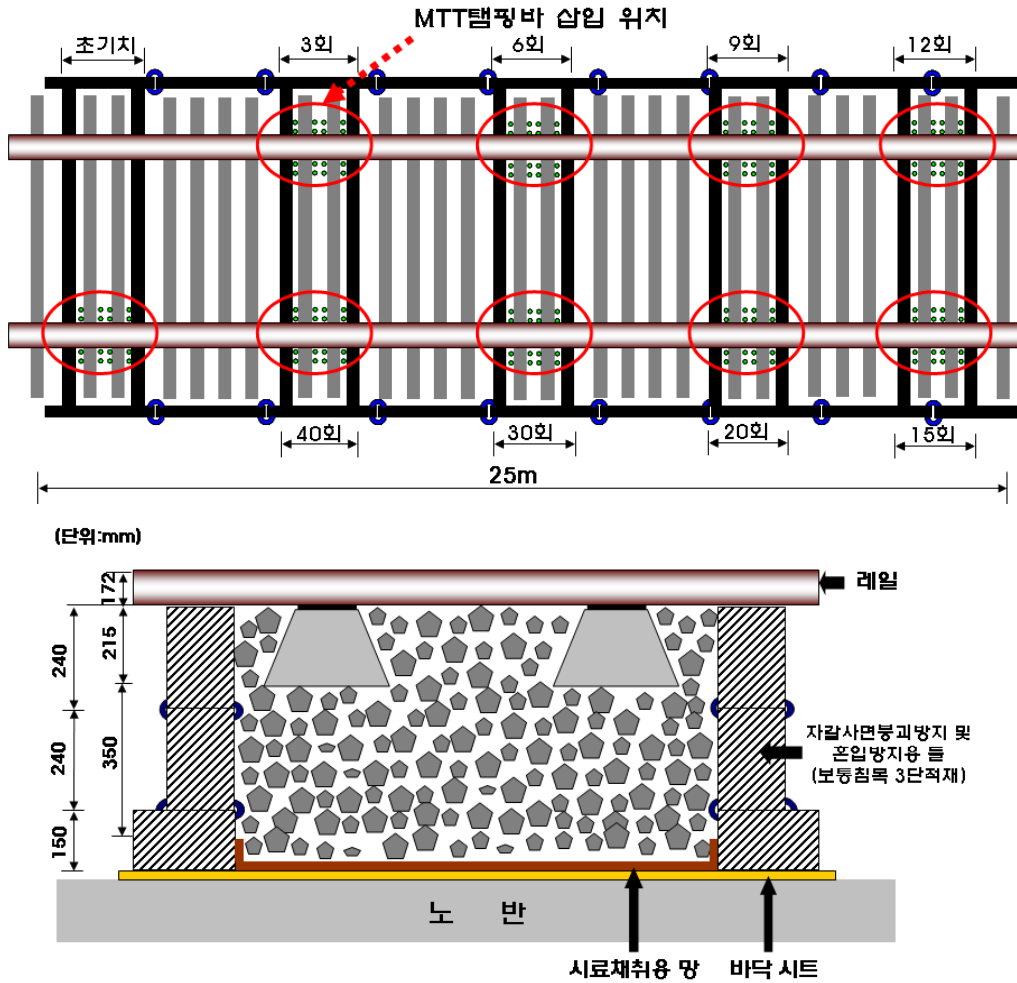


그림 1. 시험선 부설 개요도

## 2.2 시험선 부설

본 연구에 사용된 자갈은 현재 고속선에 사용되고 있는 도상자갈과 동일한 재료를 사용하였으며, 불량미립자의 양을 최소로 하기 위하여 실제 세척횟수보다 한 번 더 세척(총 3번)하였다. 본 실험에 사용된 철도 도상자갈의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 도상자갈의 물리적 성질

연번	시험·검사종목	시험·검사방법	시험·검사결과
1	단위용적중량	KS F 2505	1.60 kg/L
2	마모감량	KS F 2508	9.4 %
3	LA마모율	시방서	2.0 %
4	테발마모계수	시방서	29.3
5	마모경도계수	시방서	29.1
6	압축강도시험	KS F 2519	172 N/mm <sup>2</sup>

사전 현장레벨측량을 통하여 시험선의 부설높이를 확인하고, 노반의 상면까지 도상을 굴착하였다. 차량통행 및 노반의 장기간 방치에 따라 일부의 노반 표면이 고르지 않을 수 있으므로 시험용 궤도를 부설하기 전에 노반 평탄작업 및 다짐작업을 시행하여 정확한 레벨이 확보되도록 노반을 정리하였다(그림 2). 도상과 노반 사이에 시트를 부설하여 노반입자의 혼입을 방지하였고, 시료의 섞임을 방지하기 위하여 설치한 각각

의 5개 시험틀 내부에는 시료채취의 용이성을 위해 시료채취망을 설치하였다(그림 3).

도상 진동다짐기를 이용하여 100mm두께의 각 층마다 자갈을 다지며 도상을 부설하였고, 최종 궤광조립 후에는 선로의 선형정정, 다지기 및 도상안정화를 위하여 M.T.T.와 D.T.S.(Dynamic Track Stabilizer)작업을 실시하였다.



그림 2. 노반 평탄 및 다짐작업



그림 3. 시험틀 설치(5case)

### 3. 도상자갈 마모·파쇄 특성실험

#### 3.1 주요 측정항목 및 실험목적

도상자갈의 수명을 평가□예측하기 위한 선행실험의 하나인 대형 보선장비 작업에 의한 도상자갈의 마모□파쇄 특성을 분석하고자 시험선을 부설하여 MTT실험을 실시하였다. MTT작업횟수에 따른 도상자갈의 열화(마모□파쇄)정도를 파악하기 위하여 체가름시험을 실시하였고, 작업으로 인한 입도분포변화 정도를 파악하기 위하여 입도분포시험을 실시하였다. 또한, MTT작업과 도상안정화 작업(DTS) 이후의 도상횡저항력을 비교하기 위하여 측정실험을 수행하였다.

#### 3.2 MTT실험

그림 4와 같이 MTT와 DTS장비를 사용하여 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40회 각각의 도상다짐 및 궤도안정화 작업을 반복하였다. 실제 고속선에서 실시하는 유지보수 작업방식과 동일한 다짐시간 및 다짐봉 진동주기(35Hz)를 사용하였고, 작업이 끝난 후 그림 5와 같이 침목 1/2영역의 유효지지부 면적에서 시료를 채취하였다.

초기치 시료채취의 경우, 궤도부설시 발생하는 미립자 발생정도를 파악하고 MTT작업횟수 증가에 따른 자갈의 입도분포 변화를 측정하기 위한 참고자료로 활용하며, MTT작업횟수 최대치인 40회는 일본의 선행연구를 근거로 하였다.



그림 4. 도상다짐(MTT) 및 안정화작업 반복



그림 5. 도상자갈 시료채취

본 실험에서는 최초의 궤도부설시를 제외하고는 양로량이 없는 상태에서 수행하였으며, 열차의 운행에 의해 잘 다져져 있는 고속선 궤도상태와 궤도부설 직후와는 조금 다르므로 본 연구에서 수행한 실험 상황과는 약간의 차이가 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 실험 결과 및 분석

##### 4.1 마모□파쇄량

파쇄에 대한 입자기준을 입경 22.4mm미만, 마모에 대한 입자기준을 입경 1.7mm미만으로 하여 도상자갈 체가름시험을 수행하였다. 마모·파쇄량에 대한 이러한 분석은 큰 입자의 파쇄를 고려하지 못할 수도 있으나, 파쇄된 입자가 둘로 나뉘어져도 입경이 충분히 큰 경우 도상자갈의 기능을 충분히 수행할 수 있으므로 본 실험의 파쇄량 분석에서는 무시하였다.

MTT작업횟수 case별로 채취한 시료의 중량과 마모·파쇄량 입자비율의 결과 그래프를 각각 표 2와 그림 6에 나타내었다.

표 2. 도상자갈의 체가름시험 결과

MTT 횟수	채취한 시료의 중량(g)		마모·파쇄 입자비율 (%)
	파쇄량 (22.4mm미만)	마모량 (1.7mm미만)	
초기치	11,180	1,260	3.11
3	11,454	1,407	3.22
6	12,894	1,390	3.57
9	13,658	2,108	3.94
12	19,627	2,650	5.57
15	20,015	3,033	5.76
20	23,335	4,012	6.84
30	27,786	4,536	8.08
40	39,242	4,643	10.97

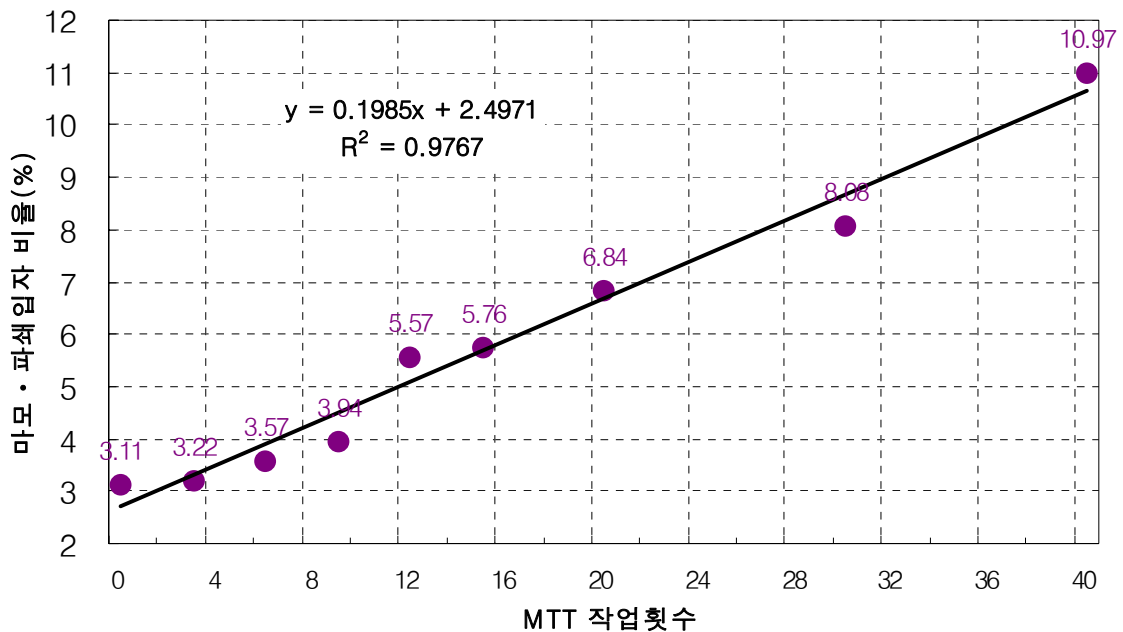


그림 6. MTT작업횟수별 마모□파쇄입자 비율(%)

체가름시험 결과, MTT작업횟수의 증가와 함께 도상자갈의 마모□파쇄입자 비율은 1차 함수의 형태로 선형적인 증가분포를 보였으며, 함수식에 대한 결정계수( $R^2$ )는 0.9767로 1에 가까운 매우 높은 상관관계를 보였다.

#### 4.2 입도분포

MTT작업에 의한 도상자갈의 입도분포변화 정도를 파악하기 위하여 KS F 2502 시험방법에 근거하여 도상자갈 입도분포시험을 실시하였다.

자갈 공급 초기의 입도분포를 확인하기 위한 입도분포시험 결과, 아래의 그림 7과 같이 전체적으로는 현행 고속철도 입도기준을 만족하지만 40mm체에 해당하는 누적통과율이 상당히 높은 것으로 나타났다. 따라서 이 부분에 대한 입도관리가 중요하며, 40mm 전후의 중간정도 크기에 해당하는 입도의 정밀관리가 이루어져야 한다고 생각된다.

MTT작업횟수 별로 측정된 입도분포시험 결과, 그림 8과 같이 도상자갈의 입도는 작업횟수의 증가에 따라 입도기준을 벗어나는 결과를 보였으며, 그 변화는 31.5, 40, 50mm체에 걸쳐 고르게 분포하였다.

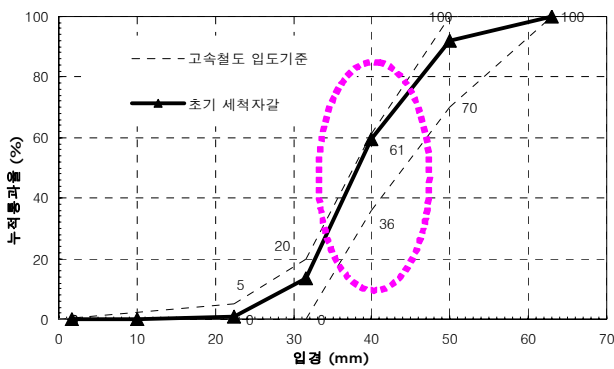


그림 7. 고속철도 세척자갈의 입도분포곡선

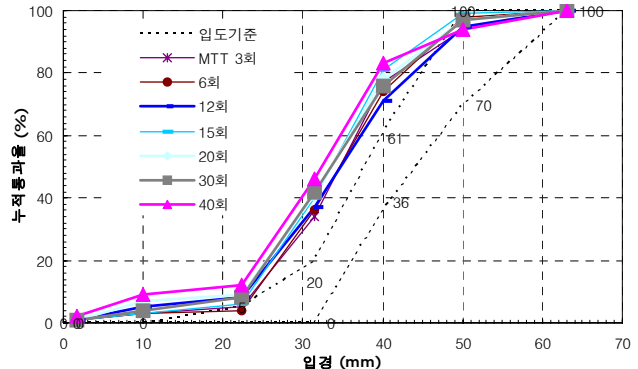


그림 8. MTT작업횟수별 입도분포시험 결과

#### 4.3 도상 횡 저항력

도상횡저항력 측정기를 이용하여 각각의 MTT작업횟수(10, 20, 25, 30, 35, 40회) 별로 횡저항력을 비교하였다. 그 결과, 아래의 그림 9와 같이 25회 이후부터 선로정비지침(제175조) 기준치인 900kgf/m를 만족하지 못하는 결과를 보였다. 이는 누적되는 MTT작업횟수가 일정 범위를 넘어서면, DTS를 이용하여 궤도안정화 작업을 하더라도 실제 궤도의 횡저항력 회복이 어렵다는 것을 의미한다.

다만, 고속선 선로보수작업을 최대한 모사하여 실험을 하였으나, 시험선과 실제 운용선로에서의 궤도 하중 메커니즘에는 다소 차이가 있을 수 있으므로 측정결과값의 수치를 그대로 활용하기에는 다소 무리가 있을 수 있다. 추후, 실제 운용선로에서 측정을 실시하고 보수이력을 분석하여 데이터에 대한 신뢰도를 높여 나갈 계획이다.

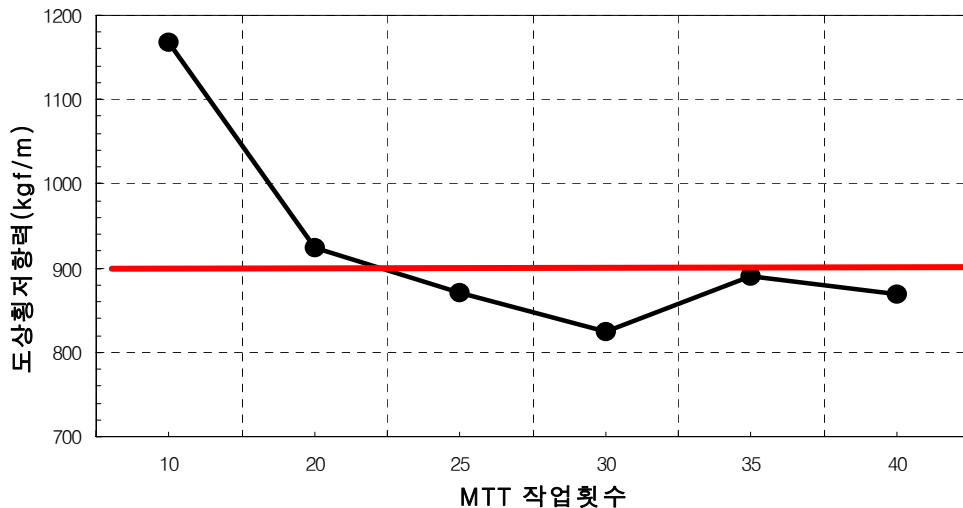


그림 9. MTT작업횟수별 도상횡저항력 변화

## 5. 결론

본 연구에서는 도상자갈의 열화특성을 분석하고자 시험선을 부설하였다. 시험선에서 실시한 MTT실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 도상자갈 체가름시험 결과, MTT작업횟수의 증가와 함께 도상자갈의 마모□파쇄입자 비율은 거의 선형적으로 증가하였고, 추세선을 이용한 함수식과의 결정계수는 1에 가까운 매우 높은 상관관계를 보였다.
- (2) 자갈 공급 초기의 경우, 입도분포가 전체적으로는 현행 고속철도 입도기준을 만족하지만 40mm체에 해당하는 누적통과율이 상당히 높은 것으로 나타났다. 또한, MTT작업횟수 별로 측정된 입도분포시험 결과 도상자갈의 입도는 작업횟수의 증가에 따라 입도기준을 벗어나는 결과를 보였으며, 그 변화는 31.5, 40, 50mm체에 걸쳐 고르게 분포하였다.
- (3) MTT작업 25회 이후부터 선로정비지침(제175조) 기준치인 900kgf/m를 만족하지 못하는 결과를 보였다. 이는 누적되는 MTT작업횟수가 일정 범위를 넘어서면, DTS를 이용하여 궤도안정화 작업을 하더라도 실제 궤도의 횡저항력 회복이 어렵다는 것을 의미한다.

향후, 본 실험에서 얻은 연구결과와 실제 운용중인 고속선에서 채취한 시료의 연구결과를 바탕으로 보수이력데이터 분석을 통해 도상자갈의 수명을 평가□예측할 수 있는 알고리즘을 개발할 계획이다.

## 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행하고 있는 2006년도 고속철도기술개발사업(R&D / 06-고속철도III-1)의 지원으로 이루어 졌습니다. 이에 관련기관에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 건설교통부(2007), 「고속선 궤도관리 의사결정지원 시스템 개발」, 2006년도 고속철도기술개발사업 1차년도 평가보고서, pp.132-138.
2. 서사범(2005), 「철도건설 시에 적용하는 궤도자갈 할증률의 시험적 산정」, 대한토목학회논문집, 제25권 제3D호, pp.463-470.
3. 서사범(2006), 개정2판 선로공학, 북갈러리, pp.188~189.
4. 철도청(1998), 「철도도상 개량을 위한 기초 연구」, 한국철도기술연구원, 최종보고서, pp. 129~145.
5. 한국철도기술연구원(2000), 「보선작업의 기계화 및 현대화 계획수립을 위한 연구」, pp. 71~95.
6. KS F 2502(2005), 「붉은 골재 및 잔골재의 체가름 시험 방법」.
7. KS F 2508(2002), 「토스앤젤레스 시험기에 의한 붉은 골재의 마모 시험 방법」.