

고속철도 자갈도상 궤도 뜯침목 유지관리

unsupported sleepers maintenance of HighSpeed Railway ballast track

심광섭*, 김명수*, 유승원**, 신정수*, 전일식†

Shim, Kwang-Sub*, Kim, Myeong-Su*, You, Seung-Won*, Shin, Jeong-Su*, Jeon, Il-Sik†

Abstract The first section of Kyungbu high-speed railway is consists of ballast track with the exception of tunnel section. It has been accelerated, abrasion of ballast, due to cyclic load of train and frequent ballast tamping since the opening of Kyungbu high-speed railway eleven years ago. Abrasion of ballast induces production of unsupported sleepers that frequently happens in ballast track. In particular, in high-speed railway, unsupported sleepers outbreak dramatic and rapid deformation of track compare to conventional railway and it badly effects on safety and ride-quality. Hence, many efforts of track maintenance are needed. Causes of unsupported sleepers are analyzed and its scope of affection is found in this study. In conclusion, efficient management system to reduce track maintenance is suggested.

Keywords : Unsupported sleeper, railway track maintenance

초 록 경부고속철도 1 단계 구간은 일부 터널 구간을 제외하고 자갈도상으로 이루어져 있으며 개통 후 11 년 동안 지속적인 열차 반복하중과 궤도틀림 개소의 주기적 다짐작업으로 자갈마모 과쇄를 촉진하였다. 자갈마모는 유도상궤도 구간에서 자주 발생하는 뜯침목 현상으로 나타나게 되며, 특히 300km/h 로 주행하는 고속철도의 경우 일반철도와는 비교할 수 없는 큰 충격하중을 유발하여 급격한 궤도틀림 및 변형을 발생시켜 최근에는 열차운행 안전과 더불어 승차감에 심각한 악영향을 주어 보다 많은 유지보수 노력을 요구하고 있다.

본 연구는 고속철도 뜯침목의 주요 원인과 영향 범위를 통계적으로 분석하고 이를 정량화하여 뜯침목 관리 체계를 제시함으로써 유지보수 노력을 저감시키고자 한다.

주요어 : 뜯침목, 궤도유지관리

1. 서 론

경부고속철도 1단계 구간은 개통 후 11년 동안 열차의 통과톤수 누적과 더불어 지속적인 열차 반복하중, 선형 유지를 위한 주기적 다짐작업을 시행해왔다. 이러한 일련의 생애 주기는

† 교신저자: 한국철도공사 오송고속철도시설사무소(ilsikii@korail.com)

* 한국철도공사 오송고속철도시설사무소

** 한국철도공사 기술아카데미센터

도상 자갈의 마모와 파쇄를 촉진하였다. 또한 고속열차의 안정적 운행과 통과톤수를 지지하기 위하여 고속철도 레일은 휨강성이 기존 레일보다 큰 UIC60 레일을 사용하여 파쇄된 마모 자갈과 레일의 휨강성으로 침목과 도상이 분리되는 뜬침목 발생이 근래에 크게 증가하고 있다. 뜬침목 구간을 300Km/h의 속도로 주행하는 고속열차의 충격하중은 기존철도 보다 크기 때문에 주행안전과 승차감에 악영향을 주고 인접 구간의 궤도 파괴로 이어져 유지보수 속도를 추월할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 고속철도 자갈도상 궤도에서 크게 증가한 뜬침목 현상을 보이는 구간을 현장 조사하여 뜬침목 발생 원인을 분류하고 관리방안을 정량화하여 제시함으로써 향후 뜬침목 구간 해소 등 궤도유지관리 노력을 저감시키고자 하였다.

2. 본 론

2.1 뜬침목 발생과 궤도틀림 상관관계

차량의 하중과 진동, 차륜이나 레일의 요철을 비롯한 충격에 의하여 자갈층은 침목하방향 및 궤도의 종횡방향으로 진동하게 되고 침목하부 도상자갈면의 침하는 곧 궤광의 휨강성으로 차량 통과 후 원상태로 복귀하면서 침목하부 공간에는 틈이 발생하게 된다. 궤광 휨강성은 고속철도 UIC60 레일이 일반철도 구간 50kgN 레일에 비하여 휨강성이 약 1.56 배 크기 때문에 침목과 도상이 분리되는 뜬침목 현상이 자주 발생하는 것으로 알려져 있다.

뜬침목 상태에서 차량 주행은 궤광의 반복적인 상하진동으로 침목하면의 자갈뿐만 아니라 침목측면과 자갈의 마찰 및 침목사이 자갈(Crib) 자체의 마찰로 인하여 파쇄와 마모가 진행된다. 또한, 잦은 도상작업에 따라 자갈 능각이 무뎠지며 둥글게 변함에 따라 도상자갈 결속력 저하 원인으로 작용하게 되는 것으로 나타났다. Fig 1 은 이러한 궤도틀림의 메커니즘과 능각이 무뎠진 자갈을 나타내고 있다.

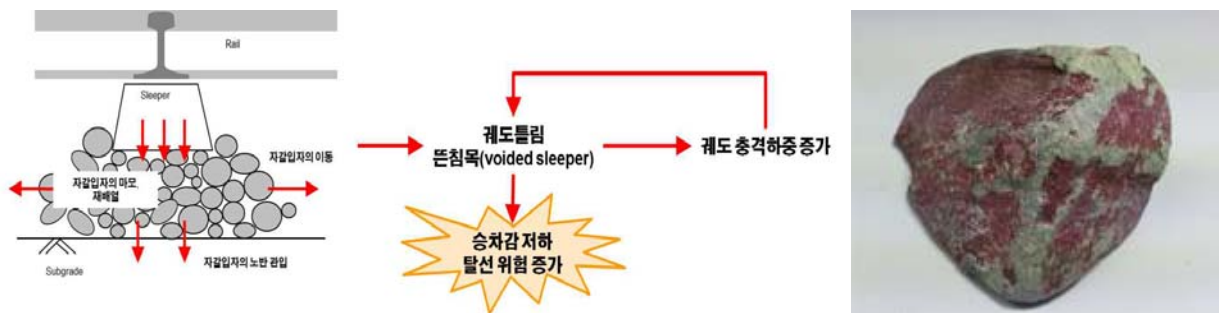


Fig. 1 Track irregularity mechanism and Wear ballast

2.2 뜬침목 발생에 따른 문제점

뜬침목은 또한 침목 저면 마찰력 저하로 인해 약 35-40%의 도상 횡저항력의 감소로 방향 틀림에 영향을 주게 되며 Fig. 2와 같이 모식할 수 있다.

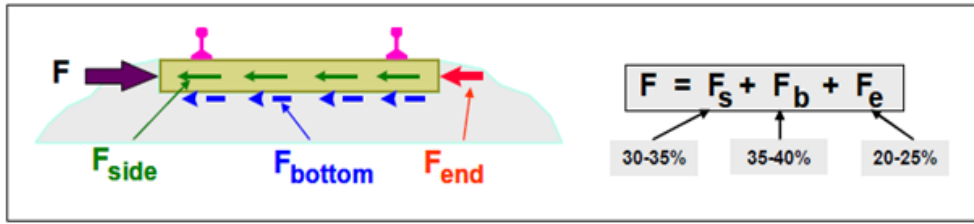


Fig. 2 Track irregularity mechanism and Wear ballast

Fig. 3은 뜬침목 구간에서 나타난 방향틀림이다. 방향틀림은 주로 하절기 대기온도 상승에 따른 장대레일 축력증가로 도상형저항력이 저하된 개소에 발생하며, 반복적 충격시 좌굴 위험도가 증가하게 된다. 재료적으로는 지속된 주행 충격(햐머링 효과, Hammering Effect)으로 침목 파손이 가속화 되며, 도상압력 증가에 따른 자갈파쇄 및 마모 증가와 레일의 반복 충격 거동에 따른 피로도가 증가로 절손위험이 증가하게 된다. 또한, 뜬침목 발생 개소의 궤도틀림이 주변부로 전이·확대되며 이는 승차감 저하로 귀결되게 된다.



Fig. 3 Alignment irregularity symptoms

2.3 뜬침목에 대한 정량적 기준

도상침하에 따른 뜬침목 공극은 궤도틀림에 영향을 주나 Fig. 4와 같이 다른 과장대역에서 다르게 나타나며, 보통은 침목 3정(2.4m)까지는 궤도틀림량이 크지 않게 나타난다. 하지만 6m 과장을 넘게 되면 선형적으로 뜬침목 공극은 작아지고 궤도틀림량은 크게 되어 공극과 궤도틀림량은 반비례하는 결과를 보여준다. 따라서 온전히 뜬침목을 제거하여 궤도틀림으로 급진되는 것을 예방하려면 적어도 뜬침목 정수는 2정 이하로 관리하여야 한다.

또한, 궤도틀림(면틀림)의 경우는 고속철도 선형관리 기준의 준공기준(CV)인 -2mm이하(10m현)이고 뜬침목 점검봉으로 타격시 도상 지지로 인한 둔탁음과 함께 반력에 따른 점검봉의 튀어 오름이 확인되어야 한다. 그리고 열차 운행시 뜬침목 개소는 운중에 따른 상하 유동이 발생하므로 유동상태도 확인하여야 한다.

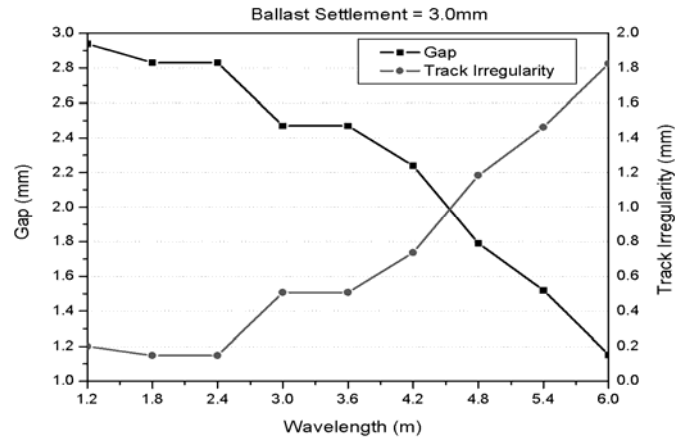


Fig. 4 Track irregularity and the excitation wavelength specific amount

3. 관리방안

3.1 유도상궤도의 뜯침목 현황 조사

하절기 뜯침목 발생개소의 도상횡저항력 저하로 인한 궤도틀림으로 열차운행에 지장이 발생하지 않도록 뜯침목 조사를 12일간 경부고속선 1단계 유도상궤도 전구간에 대하여 시행하였으며 점검 방법으로는 Fig. 5 와 같이 주간 선로점검 및 야간 도보순회와 같이 완전 차단 시간 중 자갈 부상개소에 대한 뜯침목 점검봉을 통한 침목 정수 조사한 후 이를 궤도연장과 개소 분류하고 뜯침목 발생 원인을 함께 조사하였다.

뜯침목 발생개소는 본선연장 대비 1.49%로 나타났으며 이를 다시 노반조건과 선형조건으로 분류하여 Table 1과 같이 분류하였고 뜯침목 발생의 주요원인을 Fig. 5와 같이 12가지로 나누어 분류한 후 그 결과를 Table. 2에 나타내었다.

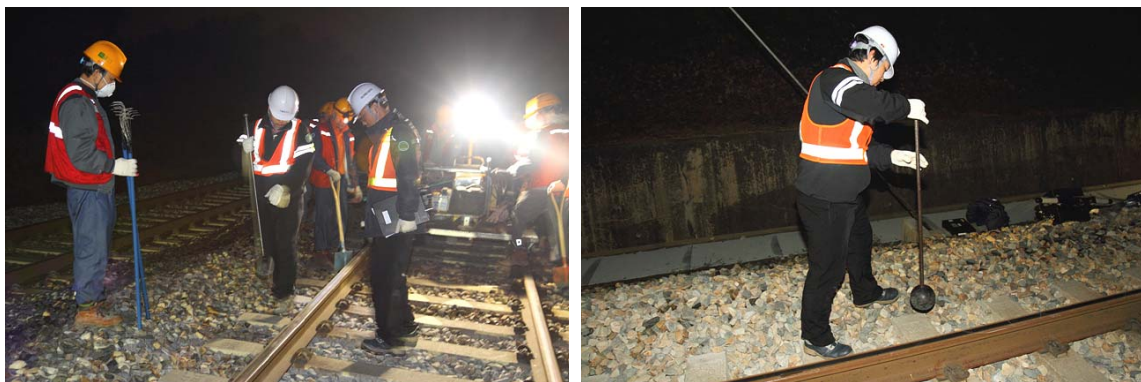


Fig. 5 Unsupported sleepers Check

Table. 1 Unsupported sleepers classified according to the Track Geometry and roadbed conditions

구분	토공부		교량부		터널부	
	곡선부	직선부	곡선부	직선부	곡선부	직선부
합계	20%	21.3%	18.3%	35.6%	0%	4.8%

Table. 2 Classification by causes Unsupported sleepers

구분	노반		도상		궤광			분기신축기타		절연
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑩	⑪	⑫
합계	4.5%	23.2%	47.4%	2.1%	8.3%	5.1%	1.4%	2.7%	0.5%	0.5%

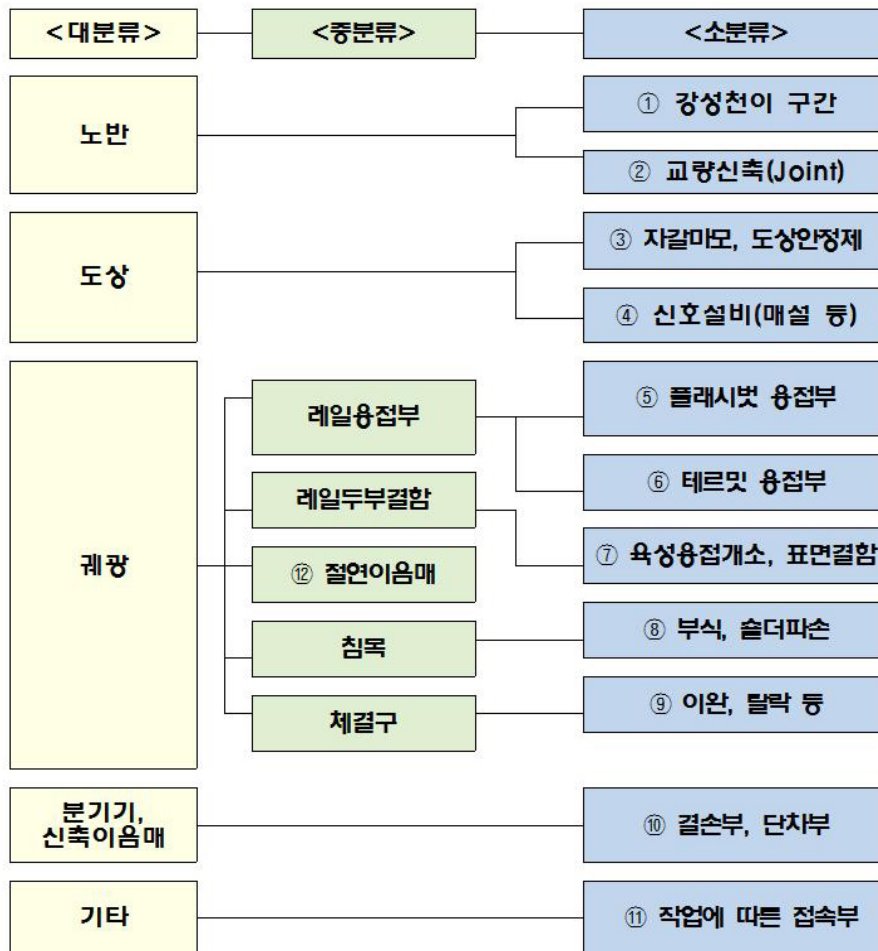


Fig. 5 Major causes of Unsupported sleepers

3.2 뜬침목 현황 조사 결과 분석

뜬침목 발생개소 조사결과 자갈마모의 보통 이상인 개소는 총연장 대비 1.49%로 나타났으며 노반조건에서는 교량 상판의 신축작용으로 도상 이완이 발생하는 교량부가 가장 많았으며 토공부가 그 다음으로 두 노반조건간 발생 합이 95.2% 집중되어 있는 것으로 나타났다.

다만 교량 직선부의 경우 교량 강성 방호벽으로 인하여 도상횡저항력 추가확보로 방향틀림 발생에 저항효과가 있어 방향틀림이 급진되는 것을 어느 정도 예방할 것으로 판단된다.

구조물과 평면선형 사이의 복합조건에 따르면 교량의 직선부, 토공부의 직선부와 곡선부 순으로 나타났으며 뜬침목 발생 주요 원인으로는 도상 자갈에 영향을 주는 요인들(자갈마모, 도상안정제 열화, 도상의 불균질)로 나타났다.

자갈마모 상태를 우선적으로 판정하여 Table. 3 과 같이 3 단계로 분류한 후 다시 방향틀림에 대한 위험도가 큰 터널/직선교량의 시종점부로부터 100m 이내 구간에 위치한 뜬침목 (교량 상판 신축부 제외), 곡선 교량에 위치한 뜬침목, 토공부에 위치한 뜬침목, 분기부로부터 100m 이내 구간에 위치한 뜬침목을 중점 관리 대상개소로 선정하였다.

Table. 3 Classification by ballast wear

단계	자갈마모도	분류 방법
1	양호	구조적요인(교량신축부)에 의해 발생하는 개소 중 진전이 없는 뜬침목 (즉시 보수 불필요, 주의관찰)
2	보통	개통초기 선로품질불량으로 인한 반복적 보수작업으로 자갈마모 및 재료손상 (침목저부 마모 등)
3	불량	자갈마모가 불량하여 보수효과가 현저히 떨어지는 개소로 작업주기 30 일 미만개소)

3.2 뜬침목 관리방안

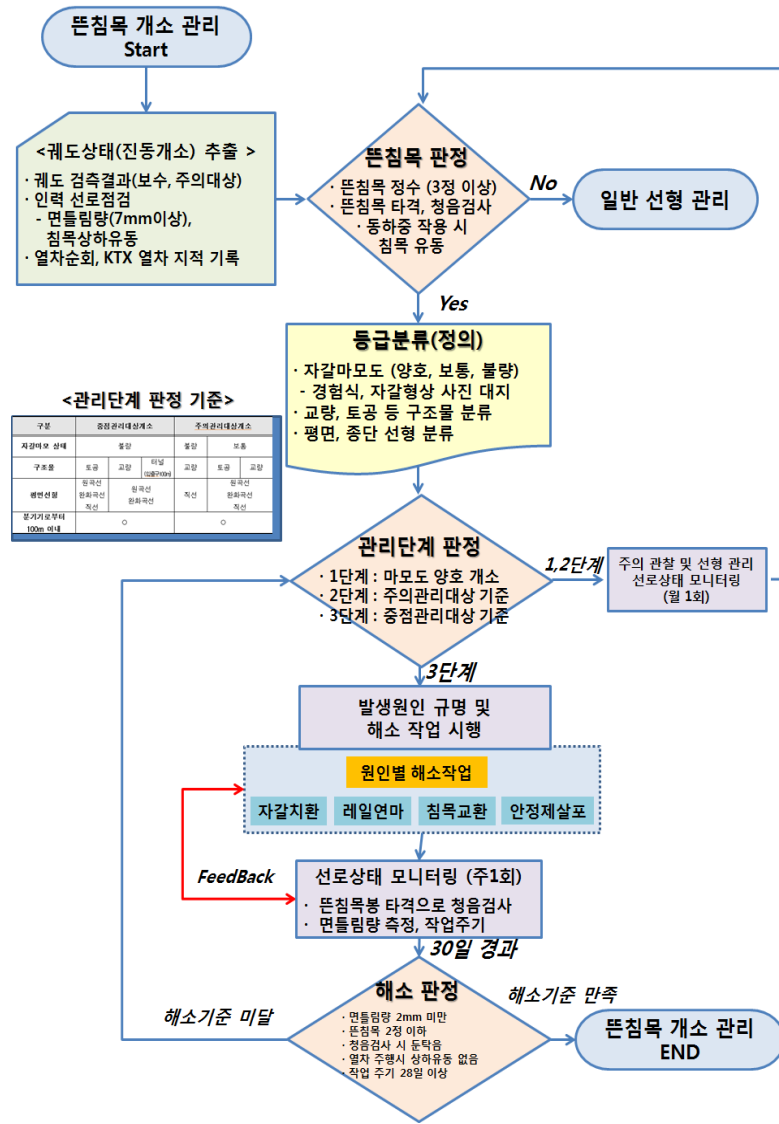
개통 11년차인 경부고속 1단계 구간의 경우 궤도 전반에 누적된 피로가 상당할 것으로 예상되어 근원적 관리방안으로 콘크리트 도상 생력화 기술 도입, 궤도재료의 연차적 개량, 도상자갈 기능확보를 위한 자갈치환, 도상안정제살포 등을 중장기적 과제로 추진해야 할 것이다. 또한 고속철도에서의 뜬침목은 주변부 궤도틀림이 급격하게 진행되므로 실시간 모니터링 시스템 구축(상업열차 실시간 감지 시스템)으로 뜬침목 확산을 미연에 차단하는 과제 또한 진행해야 할 것이다.

이러한 중장기적 대책을 추진하기까지 뜬침목의 궤도틀림 진행방지를 위한 관리방안으로 분류된 뜬침목을 유발 조건과 원인을 통한 적정 작업을 시행하고 제시된 정량적 기준을 통해 효율적인 관리가 될 수 있도록 해야할 것이다.

4. 결 론

하절기 도상형저항력 감소로 방향틀림으로 궤도 안정성을 저해하는 뜯침목 발생 현황을 노반조건과 선형조건으로 분석하였다. 하지만 안정성에 크게 위해가 되지 않는 뜯침목도 존재하는데 모든 뜯침목을 해소하려고 하면 유지보수 노력이 크게 증가할 것이 자명하다. 따라서 Flow chart와 함께 아래와 같이 제시하여 뜯침목 관리에 유지보수 노력이 누수되는 일이 없게 하고자 한다.

- 뜯침목은 자갈마모에 크게 영향을 받는 것을 확인하였으며, 따라서 자갈마모가 보통, 불량인 개소 중 횡방향 강성이 비교적 작은 토공 곡선부, 토공 직선부를 우선 조치하여야 할 것이다.
- 뜯침목에 관한 연구결과 침목 3정(2.4m)까지는 궤도틀림량이 미미하게 나타나므로 10m 현에 대하여 뜯침목의 정수는 2정 이하여야 한다.
- 뜯침목 발생시 우선 발생하는 궤도틀림 유형이 궤도침하에 따른 고저틀림으로 해소작업 후 궤도선형검측기와 현정시법에 따른 고속철도 선형관리 준공기준(CV)인 면틀림은 2mm 이하(10m 현)여야 한다.
- 뜯침목은 침목하부 도상과의 지지가 이루어지지 않으므로 뜯침목 점검봉으로 점검시 지지력이 청음과 반력이 지속적으로 확인되어야 한다.
- 뜯침목은 동하중 제하(열차 운행) 시 운중에 따른 상하 유동이 발생하므로 유동상태가 없어야 한다.
- 뜯침목 판정 및 등급분류 관리단계 판정은 다음 Flow Chart를 따른다.



참고문헌

[1] J.H. Lee (2005), Dynamic Characteristics of High Speed Railway Track with Hanging Sleepers, Doctor`s degree, Konkuk University

[2] I.S. Jeon (2012), A Planning Research on Improvement of Ballasted Track in High-Speed Railway to Mitigate Track Maintenance, KRRI

[3] S.D. Kim (2005), A study on the quantification of void between floating sleepers and ballast bed in the high-speed railroad line, Master`s Degree Seoul National University of Technology

[4] T. G Kang(2014), Optimal Maintenance Technique of the Ballasted Track in High-Speed Railway, Doctor`s degree, Chungnam University