

분절형 PC침목의 안전성 확보를 위한 성능평가 시험

Performance Measurement of Split PC Sleepers for Safety in Maintenance Work

엄 기 영* / 엄 주 환** / 신 승 권*** / 이 창 훈****
Eum, Ki-Young / Um, Ju-Hwan / Sin, Seung-Kwon / Lee, Chang-Hun

Abstract

In terms of the speed-up of the conventional line, the research for a improved turnout was carried out continually around world. A turnout is known that it is the most unstable equipment structurally in the rail system. So, the turnout is needed more stable structure. An accurate assembly of turnout affects traveling qualify of turnout area and running safety. Therefore, a turnout which is pre-assembled at a factory by using the split PC sleeper is transported to construction site recently in advanced countries. In this paper, the performance measurements which estimate the safety of the split PC sleepers which are adopted for the first time to improve performance of turnout are implemented indoors. The split PC sleeper is one of components of the improved turnout. The test is considered of the worst ballast condition under the maintenance work as like STT(Swithc Tie Tamper) or MTT(Multiple Tie Tamper). These experiments results indicate that structural safety for the expansion joint of the split PC sleepers.

key words : split PC sleeper, Indoor performance test, Maintenance work, turnout

요 지

세계적으로 기존선 속도향상을 위해 분기기 개량 연구가 진행되어 왔다. 분기기는 선로시스템에서 구조적으로 가장 복잡한 장치로써 안정적인 구조가 필요하다. 이에 분기기 부설시 정확한 조립은 승차감과 열차주행 안전성에 크게 영향을 끼친다. 이러한 문제점 해결을 위해 최근 철도 선진국에서는 분절 PC침목을 이용한 공장에서의 사전 일체화 정밀조립 후 현장까지 운반한다. 본 연구에서는 우리나라에서 처음으로 도입된 분절형 PC침목의 안전성 평가를 위해 실내 성능평가시험을 실시하였다. 시험조건으로 현장에서 STT, MTT와 같은 유지보수 작업시 발행 가능한 최악의 조건을 고려하여 분절침목의 구조적 안전성을 검토하였다.

핵심용어 : 분절형 PC침목, 실내성능시험, 유지보수, 분기기

1. 서 론

교통기관의 생명은 안전과 스피드이다. 속도에서

뒤쳐진 교통기관은 도태(淘汰)되어져 가는 것을 교통사에서 엿볼 수 있다. 19세기 초에 개발된 철도는, 20세기에 와서 등장한 자동차, 항공기와 오늘날 치열한 경쟁관계에 있다.

* 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단 책임연구원 (e-mail: kyeum@krri.re.kr)
** 정회원 · 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단 선임연구원
*** 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단 선임연구원
**** 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단 선임연구원

우리나라에서도 세계정세에 발맞춰 2004년부터 고속철도가 경부선, 호남선에서 운행 중에 있으며, 지역 간 균형발전을 위해 기존선의 고속화 사업에도 박차를 가하고 있는 실정이다. 이러한 경쟁 속에서 유럽과 일본의 경우, 자구책으로 TGV, 신칸센 개발로 고속철도시대를 제창하고 나서면서 자동차/항공기에 충분한 경쟁력을 가질 수 있음을 입증하였다. 이제 21세기를 맞이하여, 세계 각국에서 고속철도 개발과 정비가 활발히 진행 중에 있다.(佐藤吉彦, 1998; Coenraad, 2001)

그러나, 기존선 속도향상에는 급곡선부의 선형화, 중량레일 사용 및 엄격한 유지보수 등 많은 후속조치가 필요하다. 그 중에서도 철도시스템에서 가장 취약 부위라고 할 수 있는 분기기의 개량과 침목 개선이 선행되지 않고서는 실질적인 증속효과가 얻어지기 힘들다. 그리고, 현재 일반구간은 PC침목화가 많이 이루어졌지만 분기기 구간은 아직 시작단계에 불과하다. 분기기 구간은 구조적 특성상 침목 길이가 4m가 넘는 구간이 있어 취급이 용이하지 않다. 따라서, 분기기 구간에서 이전의 분기기용 목침목 대신 일반 PC장침목을 설치할 경우 분기기 현장 조립시 발생될 수 있는 정밀성의 저하와 부품체결 오류 및 궤간과 선형의 문제점이 발생될 우려가 많다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 유럽 등 철도 선진국에서는 많은 연구를 통해 이미 분기기용 PC침목을 PC장침목과 단침목으로 분리시켜 특수 이음매 부재로 연결한 분절형 PC침목을 도입하여 사용하고 있다. (<http://www.railway>)

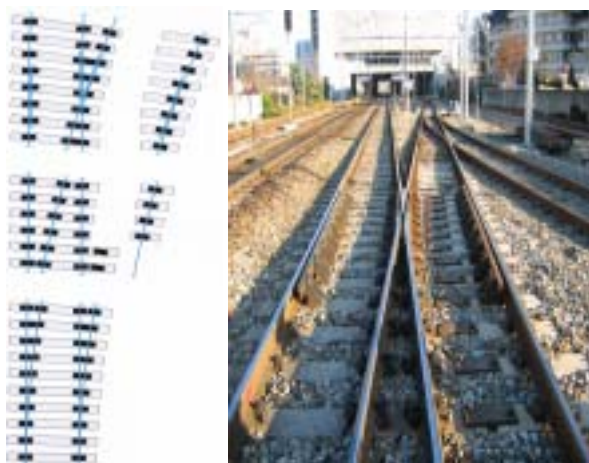
국내에서도 기존선 속도향상을 위한 분기기 성능 개선의 일환으로 국내 처음으로 분절형 PC침목을 개

발하여 Fig. 1에서 보는 바와 같이 경부선 구미역에 부설하였다. 이에 본 연구에서는 특수 구조로 된 분절형 침목의 안정성 여부를 파악하고자, 분기기 부설 및 STT, MTT작업등의 유지보수작업과 도상저하(침하)로 인한 과다 처짐이 발생하였을 때를 감안한 양로시험과 이음매판을 체결하고 있는 볼트의 인발시험을 통하여, 분절형 PC침목의 구조적 안전성을 검증하였다. (한국철도기술연구원, 2003; 2006)

2. 시험 대상 분기기 형식 및 분절형 PC침목 개요

실내시험 대상 분기기 형식은 분절형 PC침목이 부설되어 있는 경부선 구미역내 60kg 망간 크로싱 우분기기와 동일한 형식의 12# 편개(片開)분기기이다. Fig. 2와 같이 분절형 PC침목을 사용한 포인트부에서 크로싱부까지 분기기 1틀을 공장에서 조립하여 현지 공장 내에서 실험을 실시하였다. 시험대상 분기기 형식은 Table 1과 같다. 분절형 PC침목은 이음매판에 의해 장침목부와 단침목부를 4볼트로 체결되어 있으며, 또한 이음매판과 침목 사이에 충격완충재를 삽입함으로써 주행열차에 의한 진동저감 효과를 기대한다. 분절형 PC침목의 단면과 이음매판 및 전체 레이아웃을 Table 2에 나타내었다.

분절형 PC침목과 같은 형식의 침목은 국내에 처음으로 도입되어 기존의 일반 PC침목의 성능검증 시험만으로는 그 성능을 검증하기에 부족한 점이 있다. 이에 유지보수상의 안전을 고려한 분기기 양로시험 및 침목 응력시험 그리고 볼트 인발 시험을 통해 분절형 PC침목의 안전성을 확보하고자 한다.



Principle of split sleeper Constructed Split PC sleepers at Gumi station

Fig. 1. Formation of the sleeper type under a turnout

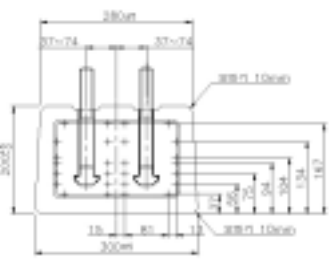
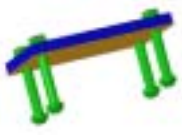



Fig. 2. Sight of an assembled turnout for the test

Table 1. Type of a measurement turnout

구 분	망간 고경 크로싱 분기기
형 식	12#, 편개분기기
레 일 / 제 품 중 량	60kg / 약 52ton
길 이	약 18m
침 목 타 입	분절형 PC침목

Table 2. Layout of split PC sleeper

구 분	분절형 PC침목
단 면	
이음매판	 <p>370*200*25 (M24×4)</p>
형 상	



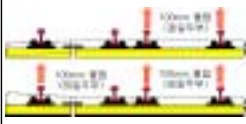
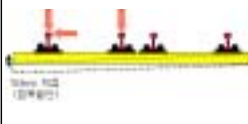
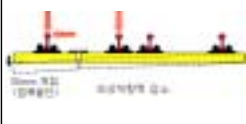
3. 성능평가 시험

3.1 분절형 PC침목 분기기의 양로시험 및 침목응력 시험

3.1.1 시험 개요 및 현황

분기기 부설 및 STT 및 MTT 작업등의 유지보수 작업시 최악의 경우 침목들림(Max:100mm)과 노반 약화에 따른 분리현상 및 도상저하(침하)로 인한 침목의 과다 처짐(Max:50mm)이 발생하였을 때를 감안하여 분기기에서의 분절침목 파손여부에 대한 안전성 검증을 확인하고자 시행하였다. Table 3은 그 특수경우의 침목상태를 보여준다(서사범, 1999;철도청 시설본부, 2000).

Table 3. Forms of split PC sleeper under the special cases

구 분	장침목	분절형 침목
단 면		
STT 작업		
노반 약화		

3.1.2 시험 방법

앞에서 언급했듯이 분절형 PC침목의 도입은 국내 최초로써 그 성능 검증 시험 또한 국내에선 처음으로 적용하는 성능평가 시험이다. 시험을 위해 먼저 공장에서 분절형 PC침목을 이용한 분기기 1틀을 조립하여 현장에서의 조건을 재현하기 위해 Fig. 3에서 보여지는 것과 같이 침목 55S와 56S 사이에 있는 레일 저부에서 유압 액추에이터를 이용하여 현장작업과 안전치를 고려하여 200mm를 들어 올린다. 또한 침목의 응력을 측정하기 위해 조립 전 55S침목에 볼트 주위로 총 8ch의 스트레인 게이지를 부착하여 레일의 일정 높이 상승에 따른 침목에서 발생하는 스트레인을 측정한다.

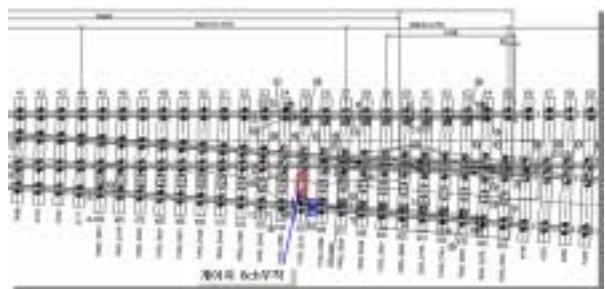


Fig. 3. Positions of attached strain gauges and load

스트레인 게이지는 침목 윗면 볼트 주위로 5ch, 침목의 옆면에 3ch을 부착하여 레일처짐 발생시 응력 집중 부위로 여겨지는 레일이 들려지는 침목의 이음매판 주변부와 볼트 주위에 게이지를 부착하였다. 침목에 붙인 스트레인게이지 부착 위치를 Table 4에 정리

하였다. Fig. 4는 실내 시험전경 사진으로 분기기 올림시험과 동시에 침목 응력시험에 대한 전경을 나타내고 있다.

Table 4. Position of attached strain gauge on the sleeper

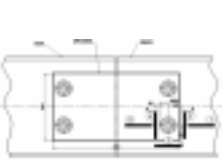
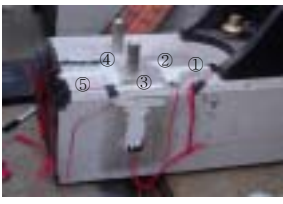
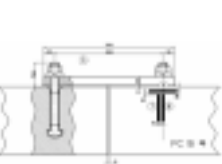
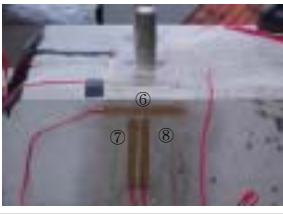
구분	개요	게이지 부착 전경
윗면		
옆면		



Fig. 4. Sight of the indoor test

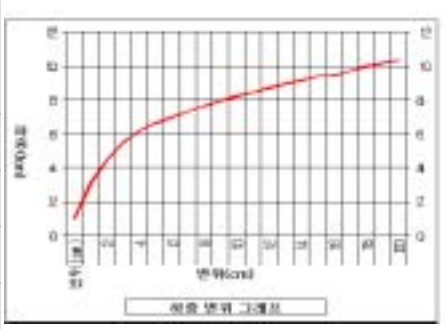
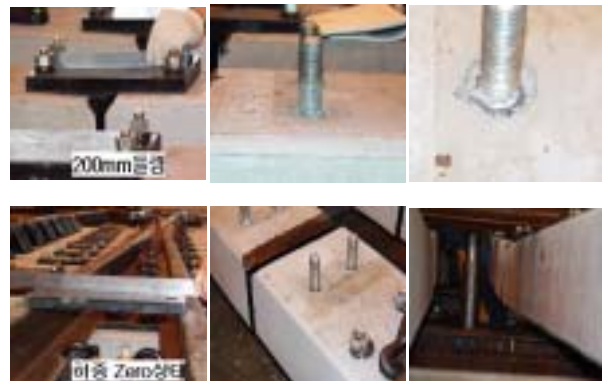
3.1.3 시험 측정 결과 및 분석

Table 5는 공장에서 조립된 60kg #12 분절형 침목 분기기의 레일 저부에서 200mm 들어 올려 하중 및 변위를 측정된 결과이다. 처음 40mm까지는 하중이 급속히 올라가다 목표치 200mm까지는 완만한 곡선을 이루며 하중이 조금씩 올라가는 경향이 보였다. 레일 저부를 10mm씩 최대200mm로 올릴 때까지 분기기내 어떤 부품의 파손도 발생하지 않았다. 하중 제거 후 Fig. 5에서 보는 바와 같이 침목을 검측한 결과 어떠한 균열이나 파손도 발견되지 않았고, 이음매판의 변형 유무에서도 시험전과 동일하여 소성변형이 발생하지 않았음을 확인 했다. 또한 볼트 4개 모두 시험전과 동일하게 아무런 변형이 발생하지 않았다.

Table 6은 침목에서 발생하는 스트레인 값을 채널 번호별 100mm 와 150mm 높이의 레일변위가 발생하였을 때의 측정된 결과이다. 채널번호는 Table 4에서 언급된 채널번호와 같다.

Table 5. Position of attached strain gauge on the sleeper

변위 (cm)	하중 (ton)
1	3.06
5	6.62
10	8.20
15	9.40
20	10.35

이음매판 볼트 침목

Fig. 5. Sight of examination results after the test

Table 6. Values of strain and stress at every channels

채널 번호	Strain (μm)			E (MPa)	Stress (MPa)		
	0mm	100	150		0mm	100	150
1	-2	4	8	31085.2	-0.062	0.124	0.248
2	-1	-102	-119	31085.2	-0.031	-3.17	-3.711
3	-5	-8	-3	31085.2	-0.155	-0.248	-0.093
4	-4	-16	-12	31085.2	-0.124	-0.497	-0.373
5	9	14	15	31085.2	0.279	0.435	0.466
6	-1	-5	-4	31085.2	-0.031	-0.155	-0.124
7	6	7	8	31085.2	0.186	0.217	0.248
8	2	-52	4	31085.2	0.062	-1.61	0.124

콘크리트 침목의 설계 기준 강도는 콘크리트 재령 28일 압축강도 58.8MPa을 사용하여 휨 압축응력은 0.4배의 압축강도로 23.52MPa이고 휨 인장응력은 국철시방서에서 1.8MPa로 규정하고 있다.

시험결과 최대 압축력은 ch2에서 $-119\mu\text{m}$, 약

-3.7MPa로 허용압축강도인 23.5MPa의 15.7%정도인 것을 알 수 있다. 그리고 최대 인장력은 ch5에서 15 μ m, 약 0.466MPa로 허용인장강도 1.8MPa의 25.9%정도였다.

3.2 분절형 PC침목의 볼트 인발 시험

3.2.1 시험 개요 및 현황

분절형 침목은 이음매판을 체결하고 있는 볼트가 노반의 처짐이나 유지보수 작업으로 인한 침목 과다 처짐이 발생하였을 때 계속적인 열차 주행하중에 의해 볼트 파괴나 침목부에서 볼트인발이 발생할 수 있으므로 볼트와 콘크리트 침목간의 체결력을 확인할 필요가 있다.

이 시험은 볼트에 가해지는 수직 인발 하중 재하에 의해 조금씩 침목에서 뽑히는 과정에서 볼트 주변 콘크리트의 변형을 보기위해 침목 응력시험과 마찬가지로 침목 볼트 주변에 Table 4와 같이 8ch의 스트레인 게이지를 부착하였다. 시험에 사용되는 침목은 볼트 인발 시 콘크리트 침목의 변형을 비교·검토하기 위해 침목 응력시험에서 사용된 침목을 그대로 사용하여 Fig. 6과 같이 스트레인 게이지가 부착된 4볼트 분절형 침목에서 볼트가 뽑힐 때까지 시험을 실시하여 실시간 하중과 스트레인 값을 측정하였다.



Fig. 6. Sight of the experiment to draw bolt from PC sleeper

3.2.2 시험 방법 및 시험 기준

분기기의 용이한 운반과 공장에서의 세밀한 조립 등으로 분절형 침목의 우수한 점이 많으나, 분절형 침목의 취약점으로 생각되는 침목 간 이음매부에서의 볼트와 콘크리트 침목과의 결속력(내구성)에 대한 안전 확인을 위해 볼트 인발 시험을 실시하였다.

동일한 상태의 침목 조건을 위해 침목 응력시험에서 사용한 장침목부를 사용하여 Fig. 6에서 보는 바와 같이 UTM에 고정 설치하고, 볼트에 유압 액추에이터를 이용하여 일정한 시간 간격으로 일정한 수직 인발

하중을 재하하여 볼트를 인발시키면서 하중량과 하중량에 대한 침목의 변형률을 볼트가 완전히 인발될 때까지 측정하였다. 변형률 측정은 침목 응력시험과 마찬가지로 스트레인게이지를 이용하여 원하는 측정 부위에 게이지를 부착하고 1매의 더미(dummy)게이지를 추가하는 2게이지법을 사용하였다.

콘크리트 인발시험 강도 기준은 하중 중심에서 좌, 우로 20cm 간격으로 하중을 지지하는 조건에서 인발 하중의 29.4 kN에서 침목에 균열이 없어야 하며 49 kN까지 견뎌야 한다(철도공사, 2005).

3.2.3 시험 측정 결과 및 분석

Fig. 7은 분절형 PC침목의 이음매 볼트 인발 시험의 결과를 각 채널별 인발 하중 재하 값에 따른 변형률을 도시한 그림이다. 세로축을 하중(kN), 가로축을 변형률로 나타내었다.

침목의 파괴는 150kN(14.7ton)에서 시작되어, 176kN (17.3ton)에서 나사스파이크(볼트)가 뽑혔다. 이는 콘크리트 인발시험 강도 기준에 충분한 여유를 가지는 하중이다. 침목에 부착된 스트레인게이지의 하중 증가에 따른 스트레인 분포는 ch3과 ch6에서 Strain이 가장 민감하게 반응하고 있으며 파괴 시점에서의 Strain값은 각각 260 μ m 과 180 μ m인 것으로 나타났다. 이것은 침목의 볼트 인발시 Fig. 8에서 보이듯이 침목의 바깥쪽 콘크리트부에서 강도 저하로 파괴가 먼저 일어난 것으로 판단된다.

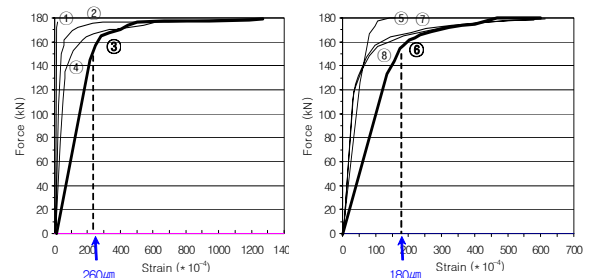


Fig. 7. Force-strain curve of bolt pullout test



Fig. 8. Sight of the sleeper that was destroyed by drawn bolt

4. 결 론

분절형 침목의 분기기 부설 및 STT 및 MTT 작업 등의 유지보수 작업과 도상저하(침하)로 인한 침목 과다 처짐이 발생하였을 때를 감안하여 분기기에서의 분절침목 파손 여부에 대한 검증을 시험하고자 분기기 양로 시험 및 침목응력 계측 시험과 볼트 인발 성능평가 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실내시험 대상 분기기 형식으로 분절형 PC침목이 국내 최초로 부설되어 있는 경부선 구미역내 60kg 망간 크로싱 우분기기와 동일한 형식의 분기기를 대상으로 실내시험을 시행하여 유지보수상의 우려되는 작업환경 속에서의 안전성을 확인 하였다.
2. 분기기 양로시험에서 액츄에이터로 레일 저부에서 레일을 200mm까지 들어 올려 하중 및 변위를 측정한 결과, 처음 변위가 발생하고 나서 40mm까지는 하중이 급속히 올라가다 현장사정과 안전치를 고려한 목표치 200mm까지는 완만한 곡선을 이루며 하중이 조금씩 올라가는 경향이 보였으며, 레일 저부를 10mm씩 200mm까지 올릴 때까지 분기기내 어떤 부품의 파손도 발생하지 않았다. 이 결과로써 유지보수상의 분절침목에 대한 안전성은 확보 되었다고 볼 수 있다.
3. 침목 응력 시험결과 최대 압축력은 ch2에서 $-119\mu\text{m}$, 약 -3.7MPa 로 허용압축강도인 23.5 MPa의 15.7%정도인 것을 알 수 있다. 그리고 최대 인장력은 ch5에서 $15\mu\text{m}$, 약 0.466MPa 로 허용인장강도 1.8MPa의 25.9%정도였다. 이 결과로 유지보수 작업으로 인해 분절형 PC 침목의 파손 여부는 극히 희박하다고 판단되어진다.

4. 볼트 인발 시험결과 콘크리트 인발시험 강도 기준에 충분한 여유를 가지며 파괴 형상은 볼트와 가까운 침목의 바깥쪽 콘크리트부에서 강도 저하로 파괴가 먼저 일어난 것으로 판단된다.

이번 실내시험을 통해 국내에서 처음으로 개발되어 설계된 분절형 PC침목의 현장에서의 작업을 고려한 안전성에 대한 확인은 검증되었다. 앞으로 이 분절형 PC침목에 대한 안전성 뿐만이 아니라 사용성 및 동적 거동에 대한 특성을 파악함으로써 보다 효율적인 설계 모델로 유지보수비 절감에도 기여할 수 있는 연구가 더욱 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 서사범 (1999). 선로공학, 삼과꿈
- 철도공사 (2005). 철도용품 표준규격 “PC침목(분기기 및 신축이음매장치용)”, 철도5620-1073 가
- 철도청 시설본부 (2000). 보선업무자료(규정)
- 한국철도기술연구원 (2003). 분기기 성능개선을 통한 기존선 속도향상 방안 연구, 한국철도기술연구원,
- 한국철도기술연구원 (2006) 분기기 성능개선을 통한 기존선 속도향상 방안 연구, 한국철도기술연구원,
- 佐藤吉彦 (1998). 分岐器 技術と 最近の 発展, 철도저널 No.648,
- Coenraad Esveld (2001). *Modern Railway Track*, MRT-Productions,
- <http://www.railway-technology.com/contractors/engineering/bwg/>

◎ 논문접수일 : 2006년 10월 13일

◎ 심사의뢰일 : 2006년 10월 16일

◎ 심사완료일 : 2006년 11월 08일