

## 현장측정을 통한 기존 분기기용 목침목과 개량 분기기 분절침목의 동적거동 비교평가

### Dynamic Behavior Evaluation for Split PC sleeper using the Field Test

엄기영† · 엄주환\* · 이창훈\*\*

Ki-Young Eum · Hwan-Ju Um · Chang-Hun Lee

#### Abstract

The major objective of this study is to investigate the dynamic behavior evaluation of split PC sleepers for railway turnout by the field test. In railway engineering, a turnout is necessary to allow a vehicle to move from one track to another. So, turnout is required very complex railway technologies such as rolling stock, track. In reference to conventional line speed-up and improvement railway, accurate assembly of turnout affects traveling quality of turnout area and running safety. Because of heavy weight and a large volume of the long sleeper used to turnout and car limit, transport and the prerequisite for trouble-free transport of the factory pre-assembled major turnout components is achieved through division of long sleepers. The one of the advantages for using a split sleeper is to reduce the dynamic vibration according to the information of developed nations. Therefore, we investigate the characteristic of dynamic behaviors of split sleepers which are adopted for the first time to improve performance of turnout. From the field test results of the split sleeper, it is evaluated that the modification of weight, material and stiffness compared with wood sleeper is very effective for the ballast safety. However, the decrease in vibration of split sleeper was not found out.

**Keywords** : Split PC sleeper(분절PC침목), Field test(현장측정), Dynamic behavior(동적거동)

#### 1. 서론

철도선로의 분기기는 신축이음부 및 레일이음부와 함께 궤도의 취약개소 중 하나로서 분기기 구조적 특성상 주행열차의 유연로를 확보하기 위해 존재하는 결선부로 인해 철도 하중과 같이 반복되는 충격하중에 의해 궤도손상을 유발하는 개소이다. 또한, 기존 분기기의 경우 진동 및 충격을 완화하고 취급 및 가공이 용이한 목침목을 사용하고 있지만, 목침목의 재료적 특성상 균열, 손상, 부식 등을 일으키기 쉽고 충분한 횡저항력 확보가 불리하여 궤도 좌굴에 대한 저항력이 낮을 뿐만 아니라 내구 년수가 짧다는 단점이 있다.

이에 최근 기존선 고속화에 있어서 분기기와 더불어 개선되어야 할 부분이 침목이다.

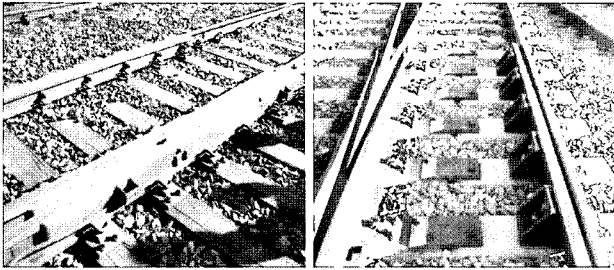
기존철도의 일반구간은 PC침목화가 많이 이루어졌지만 분기기 구간은 이제 시작단계이다. 분기기용 침목으로 기존 목침목의 문제점과 중량화로 인한 인력에 의한 현장조립의 난해함과 차량한계(3.2m) 제약에 따른 운송에 대한 어려움 그리고 유지보수상 지속적 차량하중 진동에 의한 수명 단축 등 PC장침목의 문제점을 해결하기 위해 유럽 등 철도 선진국에서는 이미 분절 PC침목을 개발하여 분기기 구간에 사용하고 있다.

국내에서도 이런 분기기 구간의 PC침목 사용에 따른 문제점 해결과 독자적인 기술 확보를 위해 국내실정에 맞는 분절형 PC침목을 개발하여, 국내 처음으로 경부선 구미역 구내에 시험부설함에 따라 그 우수성을 확인할 수 있었다.

그러나, 분절형 PC침목의 진동 저감효과 및 성능에 관한 동적거동 특성에 대해서는 아직 검토 되어진 바가 없어 본 연구에서는 공용중인 분절PC침목에 대한 현장측정을 통해 열차 주행에 따른 침목의 진동 저감효과 검토와 기존 목침목에 대한 현장측정 결과와의 비교분석을 통해 그 성능평가를

† 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 책임연구원  
E-mail : kyeum@krii.re.kr  
TEL : (031)460-5680 FAX : (031)460-5699

\* 정희원, 한국철도기술연구원, 선임연구원  
\*\* 비희원, 한국철도기술연구원, 선임연구원



Wood Sleepers                      Split PC sleepers  
**Fig. 1.** Comparison of the sleeper type under a turnout

**Table 1.** Type of a measurement turnout

구 분	기존 분기기	개량 분기기
형 식	#10 망간 크로싱	#10 망간 크로싱
중 량	50kg	60kg
역명	왜관	구미
침목 타입	목침목	분절형 PC침목
준공 년도	1980년	2004년

시행하였다. Fig. 1은 기존의 목침목이 부설된 분기부 궤도와 분절형 PC침목이 부설된 분기부 궤도의 전경이다.

## 2. 측정 대상 분기기 형식 및 개요

현장측정 대상 분기기 형식으로는 분절PC침목이 부설되어 있는 구미역내 60kg 망간 크로싱 우분기기와 궤도 노반 조건 및 분기기 형식이 유사하고 같은 종류의 차량이 통과하는 왜관역내 50kg 망간 크로싱 우분기기를 선정하였으며 두 분기기 모두 배향 분기기이다. 또한 분기선측 사용빈도가 매우 적어 분기선측의 측정은 측정범위에서 제외하였으며 통과선측 주행열차에 의한 응답측정을 수행하였다. 측정대상 분기기 형식은 Table 1과 같다. 현장측정 개요 및 측정센서의 부착전경을 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

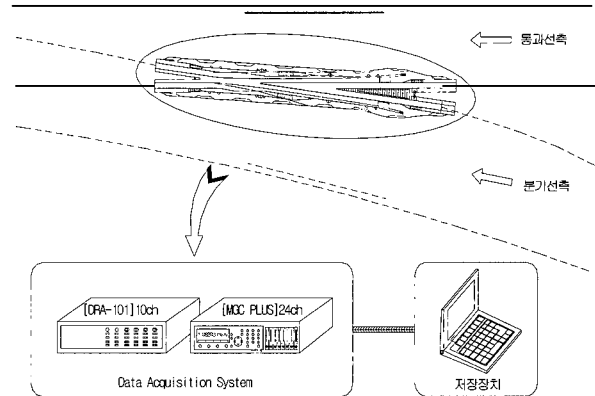
계측 수행방법은 실제 운행 중인 3가지 종류의 철도차량에 대한 침목의 동적응답을 측정하였다. Table 2는 대상 분기기의 열차별 통행 횟수를 나타낸 것이다.

## 3. 현장측정

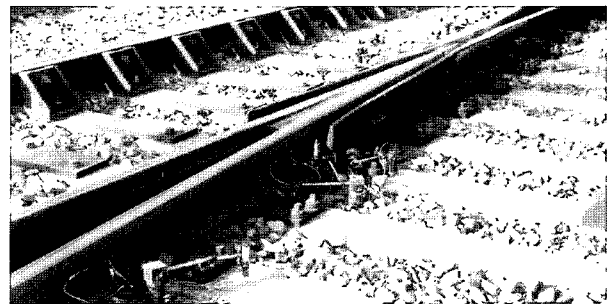
### 3.1 개량 분절 PC침목과 기존 목침목의 변위측정

#### 1) 성능비교 검토를 위한 침목 변위 측정

주행열차 하중에 의한 침목의 변위를 측정하기 위하여 측정 위치를 표준화하여 목침목과 분절형 PC침목에 대해 같은



**Fig. 2.** Concept of field test



**Fig. 3.** Attachment of strain gauges

**Table 2.** Counts of passing by trains

구 분	분기기 A	분기기 B
새마을	19	20
무궁화	17	21
화 물	16	12
합 계	52	53

지점에서 측정 하였다. 측정 대상 침목의 위치는 열차의 충격 하중이 가장 클 것으로 예상되는 대상 분기기 크로싱의 “진입부-결선부-통과부” 세 지점에 변위계를 설치하고 침목 변위를 측정하여 측정 대상구간의 발생변위 응답차이를 비교하였다. Fig. 4는 침목 변위계 설치전경과 위치도이다. 여기서, 진입부는 배향분기기인 측정대상 크로싱 후단부 부터 열차가 진입하는 부분이며, 결선부는 주행열차의 차륜 휠이 통과할 수 있게 크로싱부에서 선로가 끊어져 있는 부분을 가리킨다. 통과부는 열차가 크로싱부를 빠져나가는 곳으로 정의했다.

#### 2) 진동저감효과 검토를 위한 변위측정

앞에서 언급했듯이 분절형 PC침목의 개발은 여러 가지 분기기용 장침목의 문제점들을 해결하기 위해 개발되었다. 그 중에서도 기존선 고속화에 따른 열차 주행속도 향상에 의해

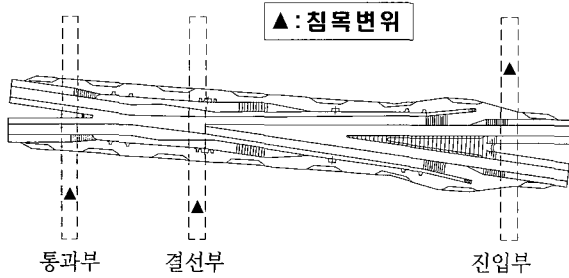
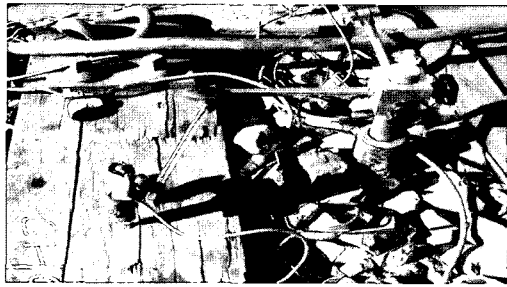


Fig. 4. Attachment of displacement

장침목의 진동으로 인한 수명 단축이라는 유지보수상의 문제점을 극복하고자 침목의 분절화에 따른 진폭 감소로 침목의 수명 연장과 도상 안정화라는 메리트를 기대하고 있다. 본 연구에서는 침목연결 플레이트를 이용하여 연결된 분절형 PC 침목이 초기 부설 목적에 부합하는 거동을 확보하고 있는지 여부를 확인하고자 침목의 거동분석에 중점을 둔 현장측정을 실시하였으며 거동분석 방법은 통과선측 열차주행시 분절형 PC침목의 각 위치별 발생하는 동적 수직변위 응답을 측정, 비교함으로써 분절된 침목간의 하중 전달 영향 경로를 파악하고자 한다.

변위계 설치 위치는 Fig. 5와 같이, 주행열차의 충격하중에 의해 변위가 가장 크게 발생 할 것으로 예상되는 크로싱 결선부에 위치한 분절형 PC침목에 10mm의 변위계를 ch1~ch5 까지 설치하여 분절 침목간의 진동저감효과에 대한 거동특성을 살펴보았다.

### 3.2 도상자갈 시료 채취 및 육안 검사

체가름시험 및 마모시험을 위한 도상자갈 시료채취 장소는 측정 대상 침목저부로 시험에 사용된 자갈시료들은 열차통과 하중을 지속적으로 받고 있는 자갈도상에서 1회 시험시 필요한 최소 중량인 70kg을 채취하였다. Fig. 6은 육안조사 시의 자갈상태를 나타낸 것이다.

목침목이 부설된 구간의 도상상태는 도상위로 약간의 세립자분 흔적을 관찰할 수 있었으며 침목하부에서도 세립자와 세립자분으로 도상 오염이 진행 중인 상태로 조사되었다. 하부 도상의 경우 도상자갈이 파쇄, 마모되었고 이러한 잔골재

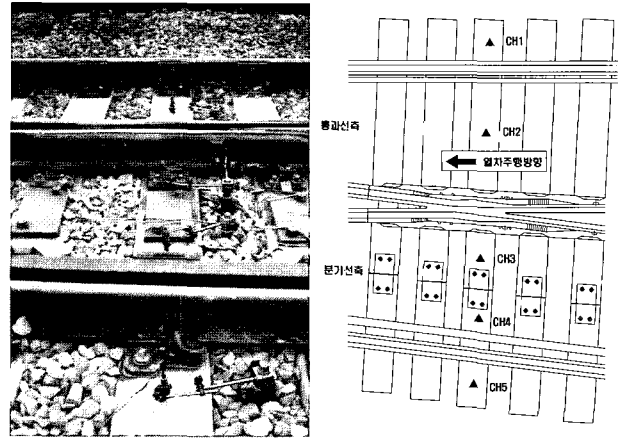
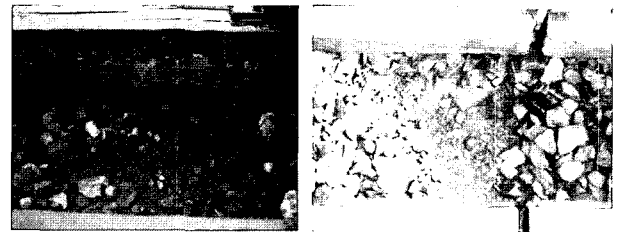


Fig. 5. Sight of the attachment of sensors



(a) Wood sleeper (b) Split PC sleeper

Fig. 6. Sight of gathering ballast sample

성분들이 세립자분과 같은 오염물질과 혼합된 흔적이 보였지만 경미하여 대체로 양호한 상태로 관찰되었다.

분절형 PC침목이 부설된 구간에서는 침목하부까지 도상상태가 비교적 양호한 상태로 분포되어 있었다. 일정 깊이 이하에서는 약간의 파쇄된 입자와 소립자에 의한 오염도 있었지만 육안조사 결과 대체로 양호한 상태였다. 이러한 육안조사 결과는 최근 분기기 개량 시험부설로 신품자갈로 갱환한데에 기인한 것으로 생각된다.

## 4. 현장측정 결과 및 분석

### 4.1 침목변위 측정 결과 및 분석

연구 대상 침목은 분기기용 기존 목침목과 개량형 분절 PC 침목으로 모두 역구내에 부설되어 있으며, 열차종류별 주행 속도의 특성은 대부분 여객전용 차량인 무궁화와 새마을의 경우 정거장에 정차 후 40~50km/h로 통과하는 저속주행의 경향을 보였고, 화물열차의 경우 정차 없이 80~120km/h의 속도로 통과하는 특성을 나타냈다. 따라서 침목이 부설된 분기기는 정거장에서 불과 200m이내 부설된 점을 감안하여 통과열차를 제외하고는 대부분의 열차가 정차 후 출발하므로

동적응답의 비교/분석은 속도 대역 구분을 40~50km/h와 통과열차 속도로 구분하여 검토하였다.

1) 침목변위 측정 결과

주행열차가 크로싱부를 통과할 때 발생하는 침목의 동적 변위응답을 통해 기존 목침목과 개발된 분절 PC침목의 성능을 비교분석 하였다. 측정구간을 통과하는 열차는 무궁화, 새마을 16량 및 화물열차로 구성되며 목침목 구간과 분절형 침목 구간을 각각 52대와 53대의 열차가 통과선측으로 지나갔다. 주행열차의 속도는 무궁화호가 35.52~58.02km/h 대역으로, 새마을이 29.49~47.09km/h 대역으로, 화물열차가 63.75~120km/h로 주행하였다. 각각의 측정 위치에서 침목의 동적 수직변위의 측정 데이터 중 열차별 비슷한 속도대역을 찾아 일례를 Fig. 7에 정리하였다. 여기서 크로싱 A, B는 각각 목침목 구간과 분절침목 구간을 나타낸 것이다.

Table 3. Maximum displacement at the each point (단위 ; mm)

구 분	진입부	결선부	통과부	최대변위
목침목	2.23	5.32	4.52	5.32
분절형 침목	1.38	4.48	2.72	4.48

Table 3은 각 측정 지점에서의 최대변위를 정리한 것이다.

2) 침목변위를 통한 비교 분석

속도변화에 따른 침목의 변위응답 특성을 파악하기 위해 40km/h, 50km/h, 80km/h의 속도대역에서 발생하는 측정위치별 최대 변위값을 비교하여 Fig. 8에 나타내었다.

그림에 표시된 점선은 분기기 구간이 아닌 일반 궤도구간에서 측정한 침목 변위 값이다.

침목의 속도별 변위 분석결과, 기존 레일구간의 변위응답을 모두 상회하는 경향을 보였으며, 목침목의 변위응답이 분

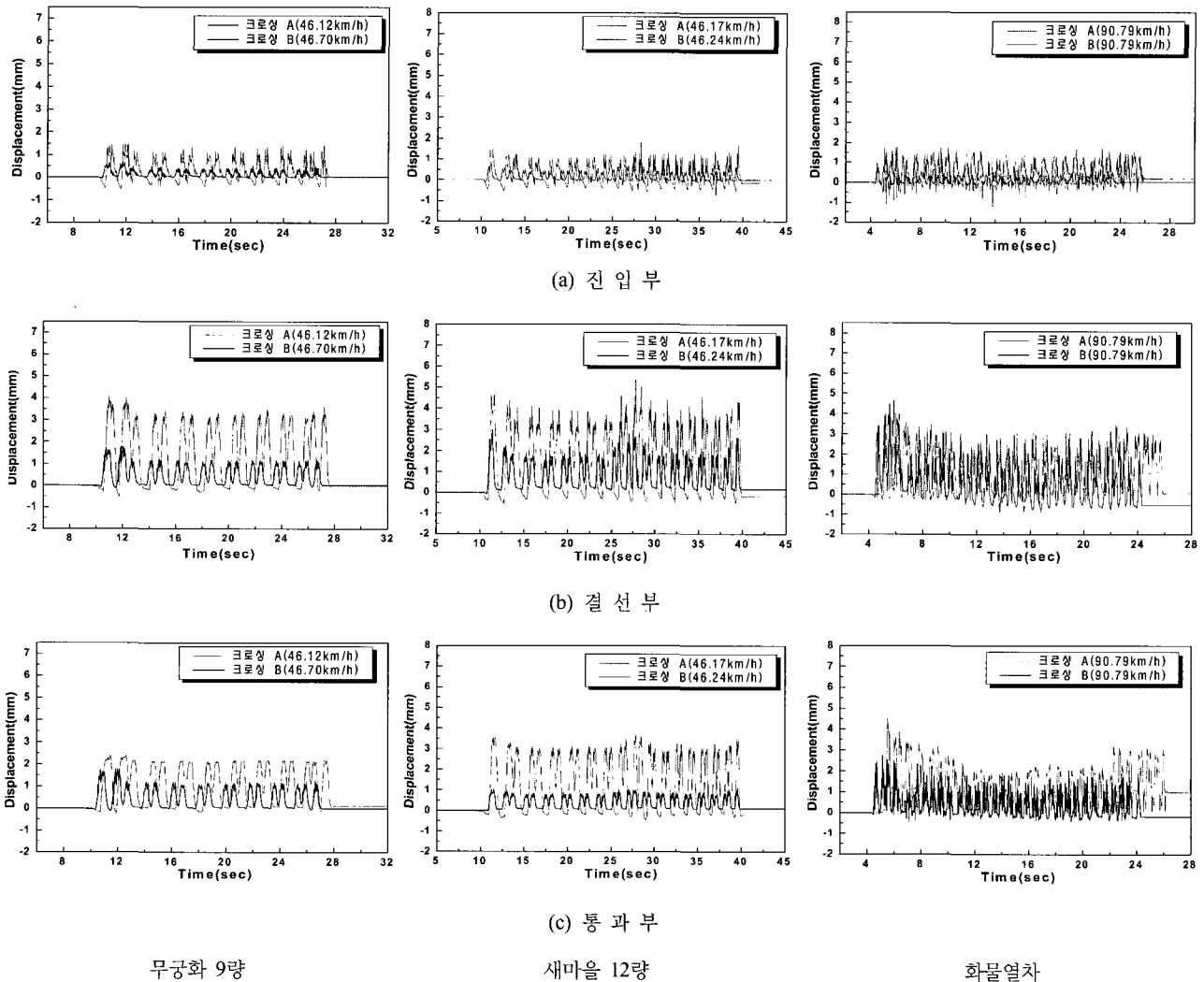


Fig. 7. Vertical displacements of the sleepers at all the measurement spot

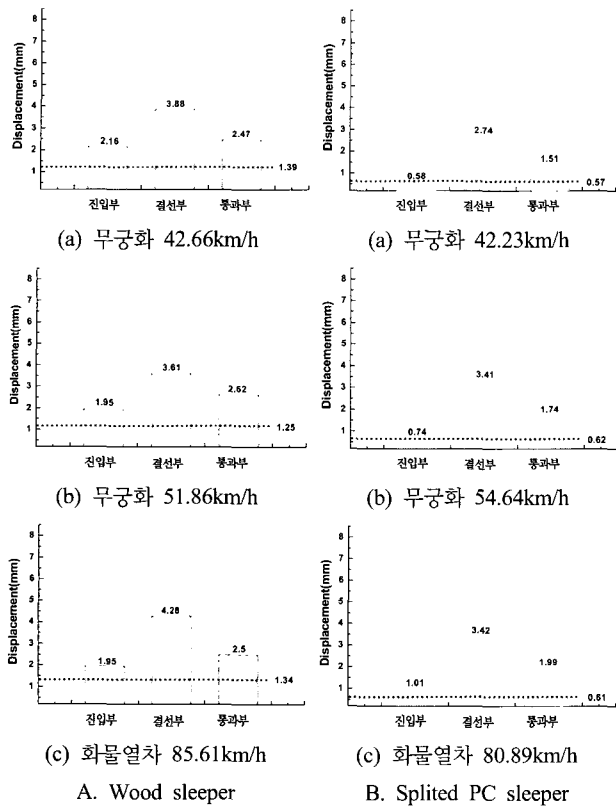


Fig. 8. Comparison of the vertical displacement at all the measurement spot

절형 PC침목보다 높게 나타나 유사한 열차주행 조건에서 후자의 동적 거동이 안정적인 것으로 나타났다. 측정위치별로는 예상대로 충격하중이 가장 큰 결선부에서 열차종류에 상관없이 최대변위 값이 발생하였다. 또한 레일용접을 한 분절형 PC 침목 구간의 경우 진입부에서 일반레일 구간에서의 동적 응답치와 유사하게 나타났으며, 반면 목침목 구간의 경우 레일이음매판으로 연결되어 측정당시 동절기로서 레일신축작용으로 인해 유간이 5mm이상 벌어짐에 따라 진입부와 일반레일구간의 동적변위차가 크게 나타나는 경향을 보였다. 침목 변위측정 결과 모든 조건에서 목침목의 동적 변위응답치보다 분절형 PC침목이 적게 나타남에 따라 분기침목의 중량화, 고강성화의 효과가 있음을 확인하였다.

현장측정 대표단면인 진입부-결선부-통과부 세지점을 측정 기간 동안 측정된 모든 열차에 대하여 속도별 침목의 발생 변위를 Fig. 9와 Table 4에 정리하였다. Fig. 9의 점선은 측정위치별 변위응답의 평균치를 나타낸 것이다.

측정 위치별 변위 감소율은 진입부에서 64.22%, 결선부에서 13.78%, 통과부에서 24.90%로 분절형 침목이 목침목보다 감소되는 것을 볼 수 있었다. 이는 도상 안정화와 동적궤도 부담력을 저감 지킬 수 있을 것으로 판단된다.

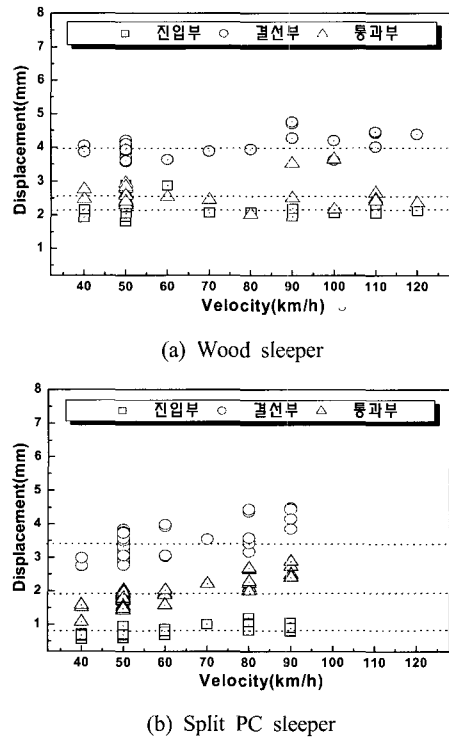


Fig. 9. Displacement of the sleeper according to the train speed

Table 4. Mean values of the displacement at the each point

구 분	진입부	결선부	통과부	비고
목침목	2.18	3.99	2.53	
분절형 침목	0.78	3.44	1.90	
변위감소율	약 64%	약 14%	약 25%	

#### 4.2 진동 저감효과 분석

분절형 PC침목의 개발 목적은 통과선측 열차주행시 분기선측 궤도로 열차하중의 영향이 전달되는 것을 막아 궤도를 림 예방과 진동 저감으로 침목 갱환 주기를 연장함으로써 유지보수 비용절감을 피하기 위함이다.

이에 본 연구에서는 통과선측 열차주행시 분절형 PC침목의 각 위치별 발생 동적응답을 측정, 비교함으로써 하중전달 영향 경로를 파악하고자 한다. 측정 위치별 최대변위 측정결과는 Fig. 10과 같다.

분절형 PC침목의 변위 측정결과, 통과선측 분기궤도를 지지하고 있는 침목에서 최대 수직변위가 발생하였으며 침목 연결 플레이트로 연결된 분기선측의 단침목 끝단과 통과선측의 장침목 끝단에서 가장 적은 수직변위 나타나는 경향이 보였다. 이와 같은 결과는 크로싱 결선부에서 지속적인 통과차량의 충격하중에 의한 도상 및 노반의 불균등 침목현상으로 크로싱에 가까운 쪽의 침목 변위가 가장 크게 나온 것으로 보여

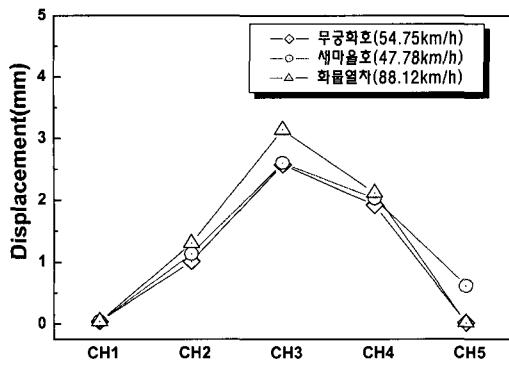


Fig. 10. Maximum displacement of the split sleeper at the every measurement spot

진다. 그러나 이는 분절 침목간의 진동 전파 저하에 대한 효과를 크게 기대하기 어려워, 보다 안정적인 분절형 PC침목의 거동을 확보하기 위해서는 연결 플레이트의 성능 향상에 따른 세부 보강이 필요할 것으로 판단된다.

### 4.3 도상자갈 체가름시험 및 마모시험 분석

침목 직하부에 대한 도상자갈의 열화상태 검토는 본 연구에서 확인하고자하는 두 침목의 동적응답에 있어서 도상의 영향을 확인하고자 자갈의 입도분포 및 궤도 하부도상의 내마모강도 약화정도를 파악하기 위한 체가름시험과 마모시험을 수행하였다.

체가름 시험 및 마모시험은 철도용품 표준규격 도상자갈규정(철도5610-1058)에 근거하여 KS F 2502(2002)에 의한 방법으로 결과를 산출하였다. Table 5~7은 각각 체가름 시험, 잔골재시험, 마모시험 결과를 정리한 것이다.

체가름 시험결과 시료 모두 50mm 이상의 큰 골재가 기준치 이상으로 포함되어 있었고, 22.4mm 이하의 잔골재를 기준치 이상 포함하고 있어 세립화가 어느 정도 진행되고 있는 것으로 분석된다. 잔골재 시험에서도 목침목 구간에서 10번체를 통과하는 비율이 높아 세립물순물이 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 시험결과 전반적으로 분절침목 구간의 도상자갈이 목침목 구간보다 양호한 입도분포를 보이고 있으나 마모시험에서 마모상태가 두 구간 모두 비교적 좋은 것으로 나타나 대상 구간에서의 자갈 내마모 강도 약화는 현 수준에서는 심각한 수준이 아닌 것으로 판단된다.

## 5. 결론

현장측정을 통한 개량형 분기계 분절형 PC침목과 기존 분기계 목침목의 성능 비교평가 및 유지보수에 있어 진동 저감

Table 5. Results of the shaker test

체의 호칭 (mm)	체별 통과중량의 백분율(%)		기준치
	목침목 구간	분절침목 구간	
22.4	31	14	0~5
31.5	40	45	5~35
40	57	69	30~65
50	100	100	60~100
63	100	100	100

Table 6. Results of the fine aggregate test

체의 호칭 (mm)	체별 통과중량의 백분율(%)	
	목침목 구간	분절침목 구간
2.5	5	0
5	7	1
10	13	3
15	17	6
22.4 이상	30	14

Table 7. Results of the wearing test

구 분	목침목구간	분절침목 구간	기준치
마모율(%)	12	12	25 이하

효과를 확인하기 위해 동적응답 변위 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 침목의 속도별 변위 분석결과, 크로싱부 구간의 침목 변위가 기존 레일구간의 변위응답을 모두 상회하는 경향을 보였으며, 각 측정 지점에서 목침목의 변위응답이 분절형 PC침목보다 높게 나타나 유사한 열차주행 조건에서 후자의 동적 거동이 안정적인 것으로 나타났다.
- (2) 측정 위치별 변위 감소율은 진입부에서 64.22%, 결선부에서 13.78%, 통과부에서 24.90%로 분절형 PC침목이 목침목보다 감소되는 것을 볼 수 있었다. 이는 도상 안정화와 동적궤도 부담력을 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 분절형 PC침목의 변위 측정결과, 통과선측 분기궤도를 지지하고 있는 침목에서 최대 수직변위가 발생하였으며 침목간 플레이트로 연결된 분기선측의 단침목 끝단과 통과선측의 장침목 끝단에서 가장 적은 수직변위 나타나는 경향이 보였다. 이는 크로싱 결선부에서 지속적인 통과차량의 충격하중에 의한 도상 및 노반의 불균등 침하현상으로 크로싱에 가까운 쪽의 침목 변위가 가장 크게 나온 것으로 보여 진다.

(4) 마모시험에서 마모상태가 두 구간 모두 비교적 좋은 것으로 나타나 대상 구간에서의 자갈 내마모 강도 약화는 현 수준에서는 심각한 수준이 아닌 것으로 판단된다. 이에 현장측정 시험결과에는 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 분석된다.

## 참고 문헌

1. 한국철도기술연구원 (2004), “분기기 성능개선을 통한 기존선 속도향상 방안 연구 3차년도 연구보고서”, 한국철도기술연구원
2. 한국철도기술연구원 (2006), “분기기 성능개선을 통한 기존선 속도향상 방안 연구 5차년도 연구보고서”, 한국철도기술연구원
3. BWG 분기기 제조업체 브란덴부르크 유한회사 (1995), “진동억제기를 장착한 콘크리트 침목번호. 6148 147과 크로싱 하부에 진동억제기를 장착한 폐쇄 침목 번호. 6 H48 145의 움직임”,
4. 철도기술/BWG사 홈페이지, <http://www.railway-technology.com/contractors/engineering/bwg/>
5. Coenraad Esveld (2001), “Modern Railway Track,” MRT-Productions
6. 이종득 (1993), “철도공학”, 노해출판사