

50kg NSI PC침목 분기기 개발

Development of 50kg NSI PC Sleeper Turnout

이종수* 전세곤** 황광하** 박광련*** 백인혁****
Lee, Chong-Su Jeon, Se-Gon Hwang, Kwang-Ha Park, Kwang-Ryoun Baek, In-Hyuk

ABSTRACT

In this study, as a part of research which is to make 50kg NSI PC sleeper Turnout, the main objective of this study are the development of the PC sleeper and the applications H-type guard, 1/40 cant in the turnout, the same position of the switch, incident angle=0, the same skelton. we completed development and laid 50kg NSI PC sleeper turnout at the Shintanjin station. Now we are inspecting the turnout in site every weeks.

1. 서 론

분기기(Turnout)는 열차가 주행하는 방향을 전환시켜주는 궤도장치로써 분기부는 속도 제한 및 열차 충격으로 인한 승차감 저해 및 궤도 파괴에 의한 보수 노력 가중 등으로 선로의 취약부이다. 따라서 이러한 문제점을 개선하고 기존선 속도 향상, 궤도 노반 안전성, 승차감 향상, 경제성 확보, 유지보수 관리 편리성 등의 향상을 위한 궤도 구조개선 방안에 따라 기존 목침목 분기기의 단점을 보완하여 50kg 레일 구간 축선 및 기지용 PC침목형 탄성분기기를 개발 하여 현장부설을 완료하였다.

2. NSI PC 침목 분기기 개발

본 개발은 텅레일 침단의 Attack angle의 감소 및 분기기의 곡선반경을 증대시킴으로 인하여 차량이 분기기에 진입시 발생하는 배면 횡압이 최소화되며, 분기기내 전구간에 1/40 구배를 실현하여 분기기 선형의 절대적 연속성에 의한 충격완화로 하중분배를 균일하게 함으로써 텅레일, 미끄럼 상판 및 침목의 수명이 연장될 수 있다. 또한, 분기기 구간의 차량속도 증가로 인하여 차량의 배차시간이 감소되며, 분기기의 슬랙 감소와 분기기측 텅레일이 원곡선이어서 차량의 요동 및 충격이 적으므로 승차감이 향상되고 레일 수명이 증가되며, 전철기 위치가 기존과 동일함으로 전철기 설치에 따른 교체비용을 감소시키며, 가드레일 형상을 H형으로 개량함으로써 플렌지웨이 조절(10mm)이 용이하게 개발하였다.

* 삼표이앤씨, 대표이사,정회원

** 삼표이앤씨, 철도기술연구소 책임연구원, 정회원

*** 삼표이앤씨, 철도기술연구소 선임연구원, 정회원

**** 삼표이앤씨, 철도기술연구소 연구원, 정회원

E-mail : cafri100@sampyoenc.com

TEL : (043)249-4487 FAX : (043)234-8547

2.1 분기기 시스템 개요

2.1.1 분기기 선형

철도 분기기 선형이란 철도 노선의 선정을 위한 선형계획으로 실제 열차의 원활한 주행을 위해 궤도의 기하학적인 조건을 수립하고, 선형에 따라 승차감 향상, 궤도 구조물 및 차량 유지 보수 관리비용에 영향을 미친다. 또한, 분기기 내 곡선을 차량이 원활하게 통과하기 위해서는 슬랙이 필요하며 이를 위해 건설 규정에서 정해진 고정 축 거리의 3축차가 기하학적으로 통과할 수 있는 조건을 바탕으로 슬랙을 산출하였으며, 또한 곡선 반경(152→172m)을 증가하여 분기축 통과 속도 증가 및 분기 침단부 배면 횡압을 감소시킬 수 있다. 아래 표 1은 NSI 목침목 분기기와 NSI PC침목 분기기의 설계 기준을 비교 설명한 것이다.

표 1. 분기기 설계 기준 비교

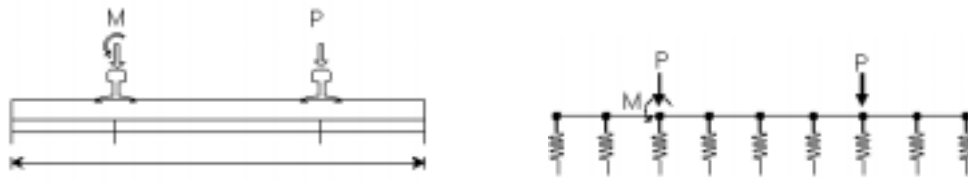
	항 목	NSI	NSI PC
Basic Geometry	입사각	1° 23' 20"	0°
	구배	∞	1/40
	슬랙	10mm	5mm
Design Criteria	반경(R)	152m	172m
	열차속도(설계속도)	70km/h	100km/h
	분기속도(운행속도)	25km/h	35km/h
Etc Criteria	가드상판	C-Type	H-Type
	체결구	Screw spike	Special sleeper screw
	침목	Wooden Timber	PC Sleeper

2.1.2 분기기 입사각

입사각은 포인트 전단부에 있어서 기본레일과 텅레일 선단의 궤간선에 생기는 각도를 말한다. 개발에 적용된 입사각(0°)은 접선형 곡선 포인트로 리드 곡선이 기준선에 접선으로 접하는 형식이며 통칭 입사각 없는 포인트라고 불린다. 이러한 접선형 곡선 포인트는 Attack angle이 감소하므로 배면횡압이 감소하여 텅레일 침단부의 마모 감소로 수명이 연장되며, 원곡선 탄성부를 유지 할 수 있어 승차감이 향상될 수 있다.

2.2 50kg PC분기침목

열차 통과시 PC분기침목에 발생하는 응력을 해석하기 위하여 구조해석을 수행하였다. 분기침목의 유한요소 모델링은 그림 1과 같이 빔 요소와 스프링요소를 이용하였고, 스프링 요소의 스프링 계수는 도상계수 C와 각 절점이 부담하는 침목 면적의 곱으로 계산하며, 도상계수 C는 고속철도 PC침목 설계 시방서에 제시한 바와 같이 지반의 상태를 고려하여 20kgf/cm²를 사용하였다. 하중의 적용에서는 포인트상판, 힐상판, 크로싱판, 가드상판 등의 침목과의 접촉면적을 고려하여 분포하중을 적용하였으며, 해석 결과는 표 2와 같다.



(a) Prototype model

(b) Discrete model

그림 1. PC분기침목 모델링

표 2. 구조해석 결과

구분			길이 (mm)	윤중 21.6tf, 횡압 5.4tf 적용		윤중 26.3tf, 횡압 6.6tf 적용	
				$M_{P\max}$ (tonf-m)	$M_{N\max}$ (tonf-m)	$M_{P\max}$ (tonf-m)	$M_{N\max}$ (tonf-m)
1	포인트	전단부	2,400	0.911	-1.362	-	-
2		장침목부	3,835	1.464	-0.872	-	-
3		끝단부	2,749	1.621	-1.102	-	-
4	리드부		3,657	1.886	-1.319	-	-
5	크로스	노즈부	3,845	-	-	1.827	-1.221
6		장침목부	4,703	1.723	-1.545	-	-
최대 설계모멘트				1.886	-1.545		

2.2.1 PC분기침목 장점

측선 및 기지용에 적합하게 개량된 PC침목으로 부식에 대한 염려가 없어 사용 내구 년한이 길고, 목침목에 비해 유지보수가 적게 소요되어 훨씬 경제적이다. 또한 PC침목 분기기는 일체형으로 공장에서 조립된 상태로 운반되어 부설하는 것이 좋으나 현재 부설 여건상 문제로 공장에서 조립된 분기기를 분해, 운반, 재조립하는 방법으로 목침목과 비교하여 부설작업이 편리하다. 따라서, 현행 분기기용 목침목을 PC침목화 하여 내구성이 강하고, 중량화되어 도상 저항력증대에 따른 유지보수비용을 절감할 수 있다.

2.2.2 침목 강도 및 피로시험 결과

침목 시험은 철도용품 표준규격 <PC침목(분기기 및 신축 이음매 장치용):철도5620-1073>의 침목 휨 강도(균열)시험, 전기 절연저항 시험, 수명 평가를 위한 EN 규정 (EN13230-4:2002 : CSB Prestressed bearers for switches and crossings)에 따른 피로시험을 수행하였다. 아래 그림 2는 시험에 필요한 센서 위치 및 하중 재하시 침목에 나타난 균열 양상을 표현한 것이며, 그림 3은 하중 재하에 따른 센서별 하중-변형률 선도를 나타낸 것이며, 또한 표 3은 피로시험 결과는 나타낸 것이다.

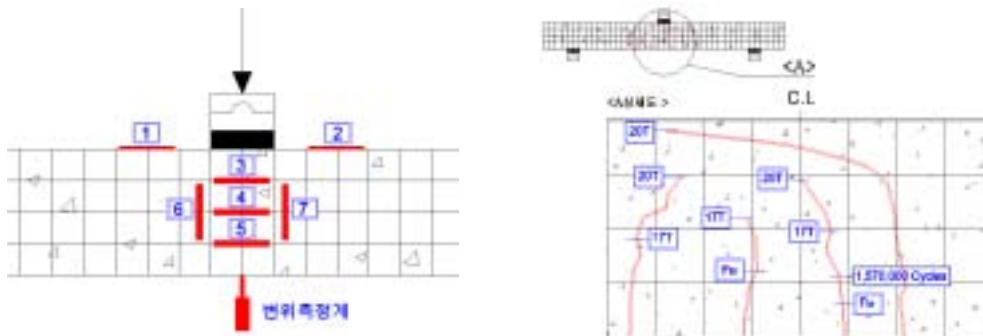


그림 2. 센서 위치 및 균열 양상

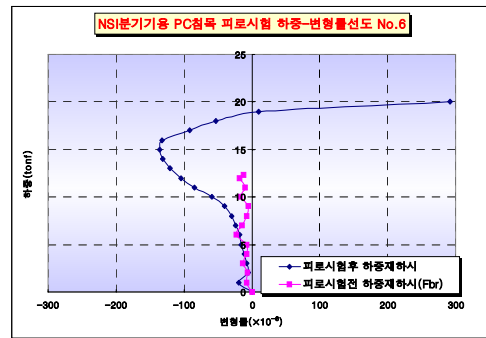
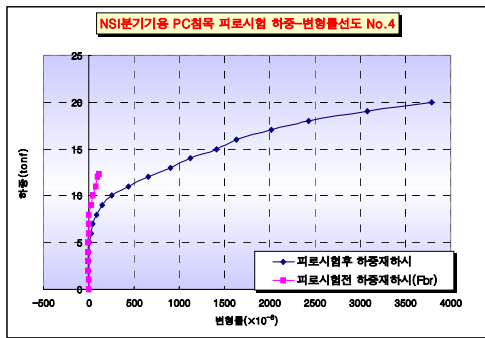
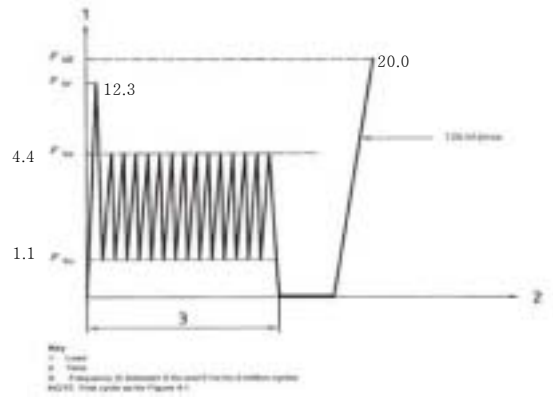


그림 3. 하중 재하에 따른 변형률 선도

표 3. 피로시험 결과

구 분	하 중		균열 폭		결과
	기준	결과			
Fbr	>4.4	12.3	하중 재하시 [0.05이하]	하중 제거시 측정 불가	합격
			0.05mm	측정 불가	
Fb ₀	1.1 ~ 4.4		하중 재하시 [0.1이하]	하중 제거시	합격
			측정불가	측정 불가	
FbB	>11	20	하중 재하시	하중제거시	합격
			0.45mm	0.05mm	



- ※ Fb₀ : 시험체에 하중 재하 시 Fro(4.4ton.f)일때 균열폭 ≤0.1mm
- ※ Fbr : 시험체에 최초 균열이 발생 후 하중제거 시 균열폭 ≤0.05mm
- ※ FbB : 1.1~4.4tonf의 하중범위에서 2~5Hz의 주기로 2,000,000회 반복 재하 후, 0tonf에서 12ton.f/min의 하중 속도로 파괴시까지의 재하

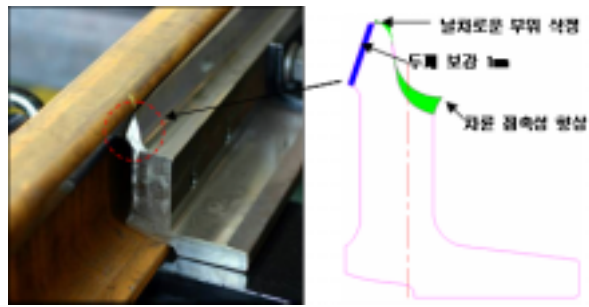
2.3 분기기 구조 개선

2.3.1 포인트부

기존 분기측 텡레일의 전단은 직선이고 후단은 곡선이어서 차량에 진동발생으로 승차감이 악화되며, 입사각(1°23'20")으로 횡압이 증가되어 레일의 마모가 빨리 진행된다. 아래 그림 4는 개량된 텡레일 단면도이며, 입사각이 0°이어서 차량이 분기기에 진입시 발생하는 Attack angle의 감소로 횡압이 감소하고 이로 인해 텡레일 및 상판의 수명이 증가된다. 또한, 분기측 텡레일이 전체적으로 원곡선이어서 차량의 요동 및 충격이 적으므로 승차감이 향상되고 레일의 수명이 증가한다. 개량 텡레일은 기본레일 두부 상면에서 11mm 지점으로 가공라인을 변경하여 가공함으로써 텡레일의 두께를 약 1mm 보강하여 강도를 향상 시켰다.



(a) NSI 기존형



(b) NSI 개량형

그림 4. 텅레일 단면 비교

텅레일 가공시 발생하는 날카로운 부분을 제거하여 텅레일의 강도를 보완하고 차륜의 원활한 진입을 유도하기 위한 목적으로 가공 방법을 개선하였다. 기본레일과 텅레일의 접촉부 가공은 기존 14mm지점에서 1:3 가공을 레일 전체구배 1:40을 고려하여 11mm지점으로 게이지라인을 변경하여 텅레일 두부 두께를 약 1mm 보강하여 가공하여 강도를 보강 하였고, 텅레일 차륜 접촉부 가공 형상은 메탈 플로우(Metal Flow)를 예방하기 위하여 현재 R13으로 가공하되 가공 슬로프를 따라 동일한 구간으로 라운드를 적용한 후 끝단면을 삭정 하였다. 또한, 텅레일과 휠과의 접촉 마찰에 의한 마모관계로 인해 마모가 증가하는 것을 방지하기 위해 열처리 레일을 사용하여 강도를 증가 시켰다. 아래 그림 5와 같이 포인트 상판은 기존 Pandrol 클립과 접촉되는 레일브레이스 위치에 경사를 주어 주행방향으로 레일브레이스가 탈락되지 않도록 한 매우 단순한 구조이나, 개량된 포인트 상판은 Pandrol이 체결되는 솔더가 레일 브레이스를 관통하고 있어서 조립된 상태에서 이동이나 부설시 레일 브레이스가 탈락되지 않고, 레일 브레이스 상면과 눌림쇠 하면에 치면을 형성하여 레일 브레이스 조절이 용이하며 종방향 이동을 치면이 구속하는 역할을 하여 레일 브레이스의 종방향 이동을 막아 주는 기능을 가진다.



(a) 구형 레일브레이스



(b) 개량 레일브레이스

그림 5. 포인트 상판 비교

2.3.2 리드부

기존 상판은 주조형 리드상판으로 횡압 방지턱이 없어 횡압에 대해 약한 면이 있었으나, 개량된 상판은 횡압 방지턱을 형성하여 구조적으로 안정적이다. 아래 그림 6과 같이 경사식 접착 절연이음매를 사용하여 차륜 건넌 부위의 구조 강화로 절연재(end post)의 마모량이 감소되고, 차륜의 건넌이 연속적이기에 유격이 없어 차량 진동 및 소음이 감소되며 절연성 및 내구성이 양호하다.

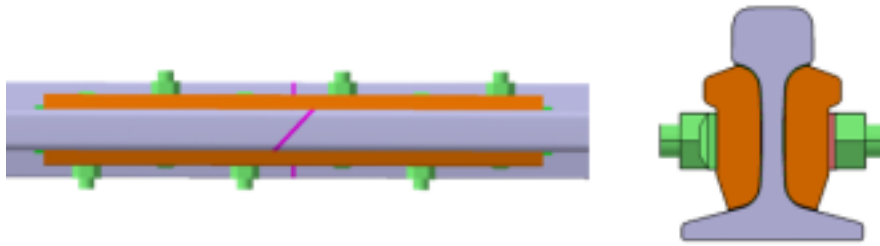


그림 6. 경사식(45°) 접착 절연이음매

또한 탄성클립에 의한 직접 지지법으로 안정적인 체결력이 유지되어 보수 주기 증가 및 수명이 연장되어 유지보수 비용이 절감되며, 향상된 주행 안전성을 확보 할 수 있게 되었다.

2.3.3 크로싱부

기존 가드상판은 C형으로 주레일과 가드레일의 높이가 동일하여 상대적으로 H형 가드보다 가드레일의 높이가 낮아 방호구간이 짧아 H형 가드에 비해 상대적으로 불안한 문제점이 있다. 또한 플렌지 웨이폭 조절이 어려워 유지보수시 많은 시간이 소요된다. 또한 주레일의 경사가 0°이어서 레일의 게이지 라인 측으로 차륜의 응력집중으로 인한 마모 증가로 레일 수명이 감소하게 된다. 그러나 개발된 가드상판은 플렌지 웨이폭 조절이 용이하여 유지보수가 편리하며, 주레일 보다 가드레일이 높아 방호구간이 길어 크로싱 결선부 통과시 C형 가드보다 안전하다. 주레일과 가드레일을 일체형 가드상판으로 조립하여 구조적으로 안전하고, 주레일의 경사가 일반 구간과 동일한 1:40이어서 차량의 요동이 적고 차륜의 하중이 레일 중심선 측으로 작용하여 레일의 수명을 증가 시킬 수 있다. 아래 그림 7은 현장 부설 되어 있는 가드상판 및 가드레일을 나타내고 있다.



(a) 목침목용 가드상판



(b) PC침목용 가드상판

그림 7. 가드상판 및 가드레일 비교

PC침목 분기기에 적용된 가드레일은 U69레일로 플렌지웨이 폭 42mm구간을 설정하기 위하여 크로싱 노즈부 57mm생성 지점부터 이동교점으로부터 플렌지웨이 폭을 확보하여 용접크로싱 노즈부를 보호 하였으며, 플렌지웨이 폭을 넓게 한 경우에는 차륜 유도량이 작게 되어 배면횡압에 대하여는 유리하게 되지만, 차륜이 노즈레일에 닿는 양이 크게 되어 노즈레일의 마모에 대하여 불리하게 된다. 또한, 플렌지웨이폭을 좁게 설계하는 경우에는 차륜 유도량이 크게 되어 배면횡압에 대하여 바쁘게 되지만, 차륜이 노즈레일에 접촉되는 양이 작게 되어 노즈레일의 마모에 대하여 유리하게 된다. 따라서, 국철에서 사용되는 분기부의 가드레일은 플렌지웨이 폭을 42±3mm로 규정하고 있다.

2.4 콘크리트 침목용 매입전 개발

기존의 매입전은 장기간 차량의 운행시 발생하는 횡저항 및 인발력을 효과적으로 흡수하지 못하여 침목의 내구성 저하 및 부착력을 저하시키는 원인이 되고, 수입에 의존하기 때문에 가격이 고가이며 제품 파손시 교체 작업이 곤란하며, 또한 제품이 수입에 의존하므로 인해 납기 준수가 곤란한 문제점을 가지고 있었다. 상기 이러한 문제점을 고려하여 국내 실정에 적합한 독자적인 매입전을 개발 하였으며, 한국고속철도 건설 공단 시방서 기준 6톤의 인발 하중으로 3분간 유지하여 침목 균열, 매입전 및 Screw spike에 아무런 문제가 발생 되지 않는 것을 확인 할 수 있었다.

2.4.1 매입전 특징 및 구조

개발된 매입전의 특징은 다음과 같다. 첫째, 외주면에 나선형 삼각 나사를 사용하여 침목과 매입전 사이의 접촉면적을 넓게 형성하여, 부착력, 횡저항력 및 인발력을 증가 시키며, 둘째, 외주면이 삼각나사여서 제품 파손시 침목을 파손하지 않고 교체가 가능하므로 유지보수가 편리하며 셋째, 열차 주행시 발생하는 진동에 의하여 나사풀림이 발생하여 일정 간격으로 나사를 다시 죄어 주는데, 암나사를 나사산 피치 누적법을 사용하여 나사 풀림을 억제하는 기능을 가지고 있다. 또한, 스파이크 체결시 뚜껑을 제거하지 않으므로 물 유입을 방지하여 절연감소로 인한 신호장애 발생 및 동파 방지 효과를 거둘 수 있다. 아래 그림 8은 개발된 매입전의 구조 및 기능을 간략히 요약한 것이다.

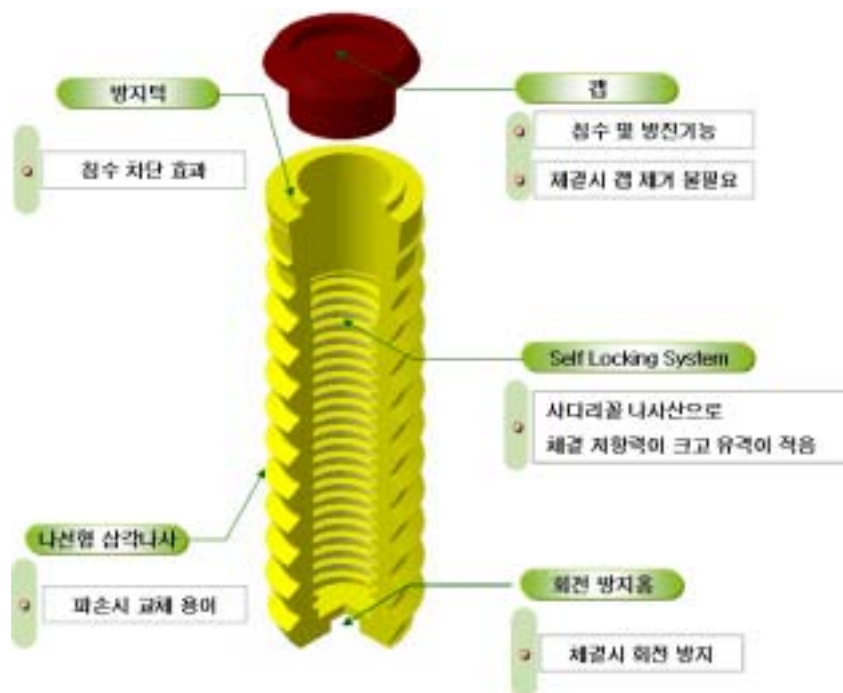


그림 8. 매입전 구조

3. 시험 부설

현재 개발된 분기기는 NSI PC침목 분기기로 축선용 NSI분기기를 개선하여 제품에 대한 검토 및 성능을 확인하기 위하여 기존 경부선 신탄진역 50kg NS 관절식 분기기를 철거하고 2006년 12월에 개발된 50kg NSI PC침목 분기기를 부설 완료 하였다. 현재 시험 부설된 분기기는 매주 분기기 순회점검을

통하여 분기기 모니터링(각부의 육안 조사, 작동시험 및 궤간 검사)기간 동안 검사를 시행하고, 모니터링 기간 종료 후 이상이 없을 경우 한국철도공사/한국철도시설공단에 무상으로 기부할 계획이다. 아래 그림 9는 기존 NS 관절식 분기기와 시험부설 완료된 NSI PC침목 분기기를 나타낸 것이다.



(a) NS 관절식 분기기



(b) NSI PC침목 분기기

그림 9. NS 조립식 및 NSI PC침목 분기기

4. 결론

개발된 NSI PC침목 분기기는 선형개선, PC침목화, 분기기내 구배(1:40)적용, 동일 스�কে톤 및 전철기 위치를 같게 하여 성능을 향상시킨 분기기를 현장 부설완료 했으며, 기존 목침목 분기기와 비교하여 개발된 PC침목 탄성 분기기는 선로 안전성 확보, 속도향상, 승차감 개선, 도상 저항력 증가, 경제성 확보 및 유지보수 비용 등을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

본 개발 분기기에 대한 시험부설에 도움을 주신 한국철도공사 대전지사 및 신탄진역 관계자 여러분께 진심으로 감사드립니다. 또한 침목 개발에 도움을 주신 태명실업, 서울산업대학교 구조공학연구소에 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국고속철도 건설 공단, 1994.12 , “고속철도 PC침목 설계 ”
2. 한국고속철도 건설 공단, 2002.05 , “레일 체결장치 성능 시방서 ”
3. PC침목 (분기기 및 신축이음매장치용), 철도용품 표준규격 철도 5620-1073.
4. EN13230-2, 2003,3 Track-Concrete sleepers and bearers.
5. 서사범, “선로공학(개정판) ”, 열과알