

# 개량형 NSI 분기기용 PC침목 설계와 성능평가

## Design and evaluation of renovated NSI T/O PC sleeper

박춘복\*                      권호진\*\*                      이영수\*\*\*                      윤병현\*\*\*\*                      신운선\*\*\*\*\*  
Park, Choon Bok      Kwon, Ho Jin      Lee, Young-Sou      Yoon, Byung Hyun      Shin, Won Sun

---

### ABSTRACT

50kg NSI PCT(Prestress Concrete Timber, sleeper) is developed for the purpose of low maintenance cost, Extend life cycle, Track stability, Friendly Environment, Good running quality. In this study, as a part of research which is to make renovated NSI turnout, the main objective of this study is the optimization of PC sleeper's section, the number of PS tension wire. For this purpose, the finite element analysis was conducted to evaluate the serviceability and the safety of NSI PC sleeper developed.

---

### 국문 요약

50kg NSI분기기(목침목)의 유지보수성 향상, 수명연장, 궤도안정, 친환경, 주행성 향상을 목적으로 PC침목 분기기를 개발(이하, NSR분기기)하여 신탄진역 측선에 시험부설 하였으며 현재 시험 평가 중에 있다.

PC침목 NSI분기기는 LS-22차대 축중과 설계 속도 120km/h를 적용하여 60kg PC침목에 비해 경량화 하였고 단면적과 중량의 최적화, 강선배치와 수량의 최적화 설계로 거의 동일한 성능을 유지할 수 있다. 제작 후 정적 강도 시험과 매립전 인발시험, 피로강도 시험을 수행하였으며 우수한 시험 결과를 얻음으로써 사용 신뢰성을 확보하였다.

본 논문에서는 PC침목 최적 설계 과정의 간략한 과정과 철도용품 규정 철도 5620-1073에 따른 침목 휨 강도 시험, EN13230-4:2002시험규정에 따른 피로시험과정과 그 결과를 다루었다.

---

\* (주) 삼표이앤씨 철도기술연구소 소장, 정회원

E-mail:[railtech7@sampoenc.com](mailto:railtech7@sampoenc.com)

TEL : (043)249-4450, FAX:(043)234-8547

\*\* (주) 삼표이앤씨 철도기술연구소 책임연, 정회원

\*\*\* (주) 삼표이앤씨 철도기술연구소 선임연, 정회원

\*\*\*\* (주) 삼표이앤씨 철도기술연구소 선임연, 정회원

\*\*\*\*\* (주) 태명실업 품질보증팀, 차장, 정회원

TEL :(031) 632-1188, FAX:(031) 632-0933

## 1. 서론

NSI 분기기는 국내 분기기의 약 70%를 차지하고 있으며 주로 측선용으로 이용되고 있다. 이에 사용되는 목침목은 240W×150H×2500L~4600L 크기로 수명은 15~20년인 것으로 알려져 있다. 목침목은 대기 노출로 인해 표면이 노화되면서 강도가 저하되어 체결장치의 체결력 저하와 규정 이상의 처짐을 허용하게 되는데 이는 체결 부품의 파손과 잦은 유지보수를 요하게 된다. 사용되는 재료는 밀도 0.8g/cm<sup>3</sup> 이상의 고비중 세라강바투나를 해수처리 후 크레오소트(Creosote)와 중유를 배합한 방부처리를 하여 수명을 향상하고 있으나 신체에 유해하고, 기름성분이 환경을 파괴하고 있는 실정이다.

이에 본 연구의 목적은 NSI 분기기용 PC침목을 개발하는데 있다. 유한요소법을 이용한 구조계산과 최적화 설계 기법을 사용하였고, 철도용품 표준규격 <PC침목(분기기 및 신축이음매장치용):철도5620-1073>의 침목 휨강도(균열)시험, 매립전 인발강도 시험, 전기 절연저항 시험, 수명 평가를 위한 EN 규정 (EN13230-4:2002:CSB\_Prestressed bearers for switches and crossings )에 따른 피로시험을 수행하였다.



그림 1 목침목 NSI 분기기



그림 2 PCT 개량형 NSI분기기

## 2. 개량형 NSI 분기기용 PC침목 설계

열차의 축중은 LS-22하중, 설계 속도는 120km/h, 분기기 결손부에서 발생하는 충격율은 국철 기준인  $i = 1 + 0.513 \cdot \frac{V}{100}$ , 크로싱부에는 유럽 Railtrack 사양인(cast Mn-C RT/CE/S/012 2002.02)  $P_2 \approx P_0 + 2\alpha \cdot V \cdot (K_t M_u)^{0.5} \cdot (M_u / (M_u + M_t))^{0.5}$ 를 적용하였다.

### 2.1 대상 분기침목

구조해석 대상 분기침목은 분기기 포인트부, 리드부, 크로싱부로 총 3개소의 침목을 대상으로 하였다. 그림 3과 표 1에 PC 분기침목 단면과 제원을 나타내었으며 침목의 설계기준강도는 600kgf/cm<sup>2</sup>이다.

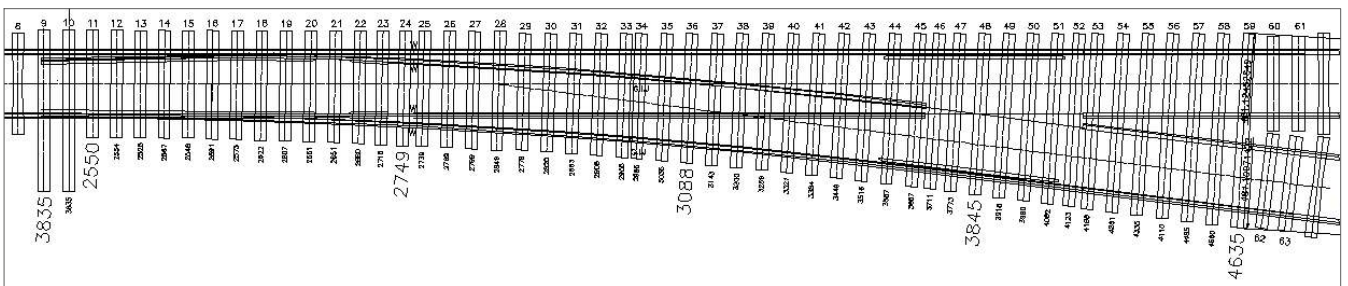
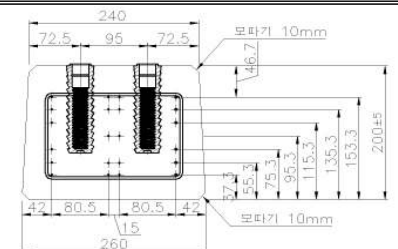


그림 3 NSI PCT 분기기 Layout

표 1. 구조해석 대상 PC침목 제원

구분		길이(cm)	저면폭(a)	상면폭(b)	높이(h)	
1	분기부 전단부	2,400	260	240	200	
2	전철기 장침목부	3,835				
3	포인트 끝단부	2,749				
4	리드부	3,657				
5	크로싱 노즈부	3,845				
6	크로싱 후단장, 단침목부	4,703/ 2,300				

### 2.2 유한요소해석 모델링

분기침목의 유한요소 모델링은 그림4-(c)와 같이 빔 및 스프링요소를 이용하였다. 스프링 계수(k (kgf/mm))는 도상계수 c(20kgf/cm<sup>2</sup>)와 각 절점이 부담하는 침목 면적의 곱으로 환산하였다. 하중 적용에는 포인트상판, 힐상판, 크로싱판, 가드상판과 침목의 접촉면적을 고려하였고 절점간격은 4.5mm로하여 2,300mm침목의 경우 절점수는 510개, 최대길이 4,703mm침목의 경우 절점수는 4,015개이다.

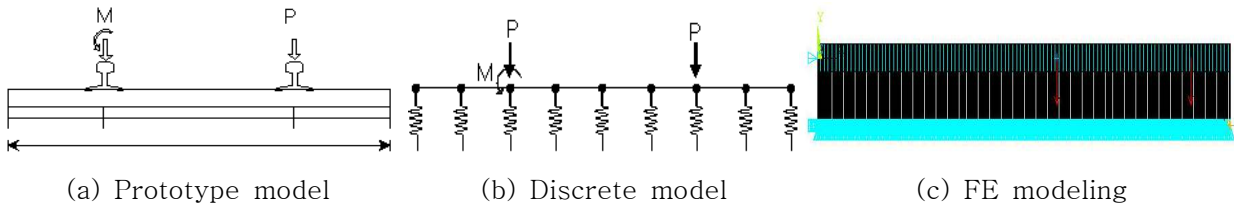


그림 4. PC분기침목의 모델링

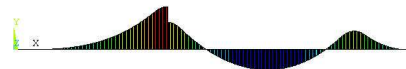

### 2.3 재하 하중 및 계산 결과

레일에 작용하는 하중은 차륜에 의한 윤중과 횡압으로 구분할 수 있으며, 여기서 윤중의 일부와 횡압은 그림4와 같이 침목 단면 도심에 모멘트 M을 발생시킨다. 각 분기침목 별로 수행된 해석모델 및 해석결과를 표 2와 3에 나타내었다.

표 2. 구조 해석시 적용한 설계하중

구분		계산식	국철 시방서	
			분기 침목부	크로싱 노즈부
직선측	윤중(kgf)	$M = H \times h - \frac{Q}{3} \times e$	10,817.95	13,299.00
	모멘트(kgf·mm)		690,456.3	848,875.0
분기선측	윤중(kgf)		10,817.95	13,299.00
	모멘트(kgf·mm)		690,456.3	848,875.0

표 3 해석결과

구분		길이 (mm)	윤중 21.6tf, 횡압 5.4tf 적용		윤중 26.3tf, 횡압 6.6tf 적용	
			$M_{Pmax}$ (tonf·m)	$M_{Nmax}$ (tonf·m)	$M_{Pmax}$ (tonf·m)	$M_{Nmax}$ (tonf·m)
포인트	전단부	2,400	0.911	-1.362	-	-
	장침목부	3,835	1.464	-0.872	-	-
	끝단부	2,749	1.621	-1.102	-	-
리드부		3,657	1.886	-1.319	-	-
크로싱	노즈부	3,845	-	-	1.827	-1.221
	장침목부	4,703	1.723	-1.545	-	-
최대 설계모멘트			1.886	-1.545		
최대, 정, 부 모멘트 선도						

### 3. NSR PC분기침목 단면검토

#### 3.1 프리스트레스 및 설계 운중 작용시 응력검토

PC침목에 프리스트레스를 도입하기 위해 사용된 강선은  $\Phi 2.9 \times 3\text{mm}$ 이고 1본의 PS강선에 재하 되는 유효 프리스트레스 힘의 계산과정은 표 4에 나타내었다.

표 4. 1본의 PC강선에 재하되는 유효 프리스트레스 힘

인장하중 (kgf)	항복하중 (kgf)	$0.8 \cdot f_{pu}$ (kgf)	$0.74f_{pu}$ (kgf)	$P_j$	$P_i$	$P_e$
				$0.82 \cdot f_{py} - 2t$ (kgf)	초기 프리스트레스 (kgf)	유효 Prestress (kgf)
3,900	3,450	3,120	2,886	2,738	2,464	1,971

단면에 발생하는 응력이 설계시방판정기준을 만족하도록 하기 위한 PS강선의 양을 검토한 결과 약 22선 이상의 PS강재를 사용해야 하는 것으로 나타났다. 이에 대한 검토결과는 표 5에 나타내었다. 또한 22선의 PS강재를 사용하는 경우, 프리스트레스 도입 직후 단면에 발생하는 응력을 검토하였으며, 이는 표 6에 나타내었다. 검토 결과 표 1과 같은 단면에 22선 이상의 PS강선 사용시 사용하중과 프리스트레스 도입 직후에 현행 설계 시방서 판정기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

표 5. 사용하중 작용시 PC 분기침목 설계단면 검토 기준 적용 결과

강선 수량	단면검토 위치	최대 정.부 모우멘트 (kgfcm)	침목의 위치별 Z (cm)	침목 상·하단부 응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	설계 시방서 판정 기준 (kgf/cm <sup>2</sup> )	판정	
22선	유효 프리스트레스 힘	43,371.4 (kgf)					
	레일직하 침목하단	188,600	1,688.29	-16.3	-18.4 ~240	만족	
	레일직하 침목상단	188,600	1,643.86	192.5		만족	
	침목중앙 하단	-154,500	1,688.29	187.0		만족	
	침목중앙 상단	-154,500	1,643.86	-16.2		만족	

표 6. 프리스트레스 도입직후 PC 분기침목 설계단면 검토 기준 적용 결과

강선 수량	단면검토 위치	침목 위치별 Z (cm)	침목 상·하단부 응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	설계 시방서 판정 기준 (kgf/cm <sup>2</sup> )	판정	
22선	초기 프리스트레스 힘	54,214.2 (kgf)				
	침목 하단	1,688.29	95.5	-15.4	만족	
	침목 상단	1,643.86	77.8	~252	만족	

#### 3.2 안전성 검토

현행 PSC 부재의 설계방법에서는 부재의 내구성 및 PS강재의 부식방지 등을 위해 PSC 부재에 발생하는 설계휨모멘트가 균열모멘트보다 작도록 설계하고 있다. 또한 PC 침목의 휨 부재는 각 하중단계에 대한 응력들이 허용응력 이하여야 하고 파괴에 대한 소요의 안전율을 가지고 있어야 한다. 표 7에는 본 연구에서 산정한 PC침목의 단면에 대한 레일 직하부와 침목 중앙부에서의 설계모멘트, 균열 모멘트 및 극한 저항 모멘트 계산 결과를 나타내었다. 활하중에 대한 하중계수( $\gamma_L$ )는 1.8을 적용하였으며, 프리스트레스 콘크리트 휨 부재의 강도감소계수( $\phi$ )는 0.85을 적용하였다. 계산 결과 부재 각 위치에서의 균열 모멘트는 모두 설계 모멘트보다 크고 소요의 안전성을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

표 7. 안전성 검토

검토위치	안전율의 계산	설계모멘트(kgcm)	균열모멘트(kgcm)	극한저항모멘트(kgcm)	안전율
레일 직하부	$S.F. = \frac{\phi M_n}{\gamma_L M_D}$	188,600	243,870.6	536,223.2	<b>1.34</b>
침목 중앙부		-154,500	237,840.2	536,223.2	<b>1.64</b>

#### 4. PC침목의 시험 평가

##### 4.1 침목 휨 강도 시험 (철도 5620-1073)

제품 제작 후 28일 양생 후 철도 용품 표준규격(철도 5620-1073)에 따른 침목 휨 강도(균열) 시험, 매립전 인발 강도 시험 결과 모든 규정 값 이상으로 강도를 만족하였다.



그림 5. PC침목 휨(균열)하중 시험 (레일 직하부, 중앙부)

표 8. 휨강도 시험 결과

시험 내역 및 시험 방법	구분 기준 내용	휨(균열)하중 시험			특기 사항
		초기 균열	0.05mm 균열	파괴 하중	
	레일 직하부	1. 레일 직하부: 24.52	1. 레일 직하부: 44.1	1. 레일 직하부: 61.3	철도 5620-1073
		2. 침목 중앙부: 4.4	2. 침목 중앙부: 7.95	2. 침목 중앙부: 11.0	
	중앙부	32.4	58.0	70.0	
		균열 측정 불가	0.05mm 측정	파괴	
	판정	10.4	14.0	16.0	
		균열 측정 불가	0.05mm 측정	파괴	
	합격	합격	합격		

##### 4.2 피로 시험 (EN13230-4:2002:CSB\_Prestressed bearers for switches and crossings)

###### 4.2.1 피로 시험방법

EN13230-4 규정에 따른 피로 시험 방법은 다음과 같다.

- ① 최초 균열이 발생할 때의 하중인 Fbr 을 찾기 위해 하중을 증가시키면서 균열 발생 여부 및 균열의 크기, 위치를 관찰한다.
- ② 피로 시험기를 이용하여 2~5Hz, Haversine으로 최대하중 4.4Tonf, 최소하중 1.1Tonf, 하중범위 3.3Tonf 로 2,000,000회 반복 재하 한다.
- ③ 2,000,000회 반복재하 종료 후 0tonf에서 파괴시까지 정적으로 하중을 증가시켜서 균열의 크기, 위치를 관찰 한다.

#### 4.2.2 시험 실시

시험체의 형상과 지그의 형상은 EN규정에 따라 그림 6과 같이 제작하였다. 시험체의 거동 특성을 분석하기 위하여 중앙부를 중심으로 총 7개의 변형률 게이지를 부착하였으며, 하중의 영향을 직접 받는 위치인 정중앙 하단부에 변위계(LVDT) 1개를 설치 하였다. 피로시험 사이클은 표 10에 나타내었다.

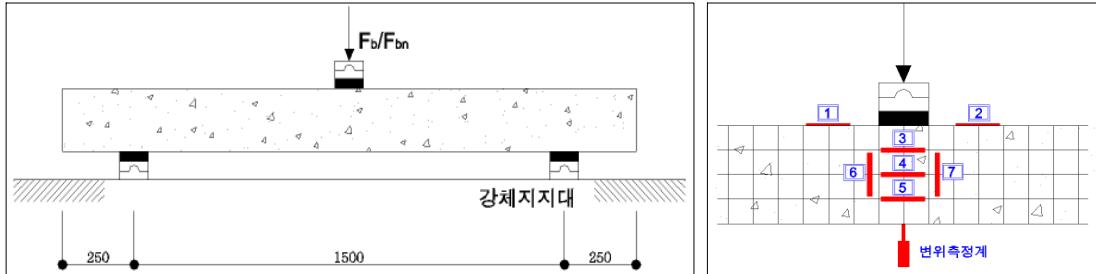


그림 6. 시험체 형상 및 응력게이지, LVDT



그림7. Fbr ~ 피로시험: 재하 초기단계



그림 8. Fbr ~ 피로시험: 재하 마지막단계



그림 9. 피로시험~FbB:하중재하 초기단계



그림 10. 피로시험~FbB: 재하 마지막단계

#### 4.2.3 시험 결과

시험 1단계에서 최초 균열은 12.3톤에서 발생하였고(Fbr), 시험 2단계인 피로 시험시에는 균열 측정이 불가 하였다. 시험 3단계는 파괴가 발생할 때까지 하중을 가하는 단계로서 20톤에서 파괴가 일어났다. EN의 시험 판정 기준에 의하면 (Fb0가 FbB의 2.5보다 클 것) 안전율이 4.5로써 매우 안전한 것으로 나타났다. 아래에 게이지 위치별 p-ε 그래프와 균열 진전 양상을 보였다.

표 9. 시험 결과

구분	하중	균열 폭		판정결과	
Fbr	최초균열 12.3ton.f	하중재하시	하중제거시	합격	
		0.05mm	측정불가		
Fb0	1.1~4.4 tonf	하중재하시	하중제거시	합격	
		측정불가	측정불가		
FbB	20tonf	하중재하시	하중제거시	합격	
		0.45mm	0.05mm		

용어 설명

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

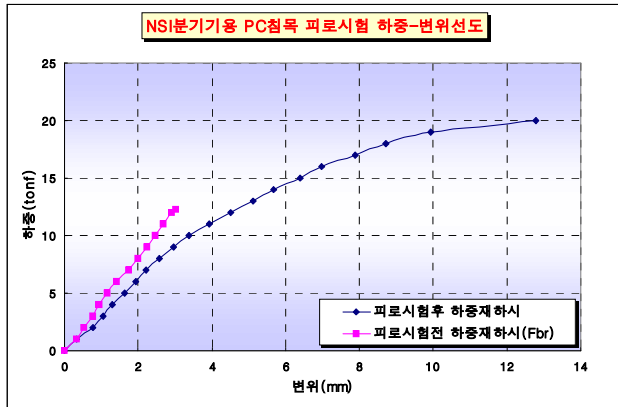


그림 11. Load - Displacement 선도

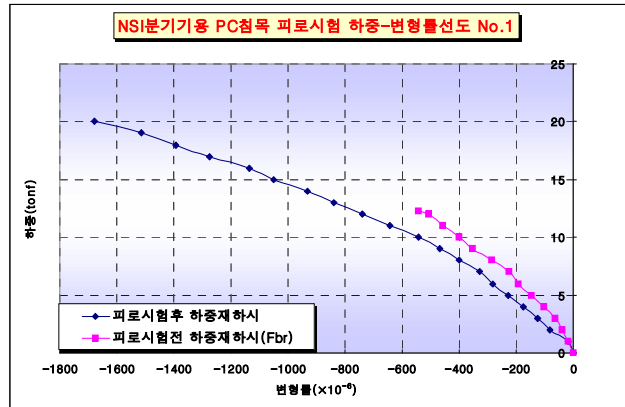


그림 12. Load-Strain 선도 (Gauge No.1)

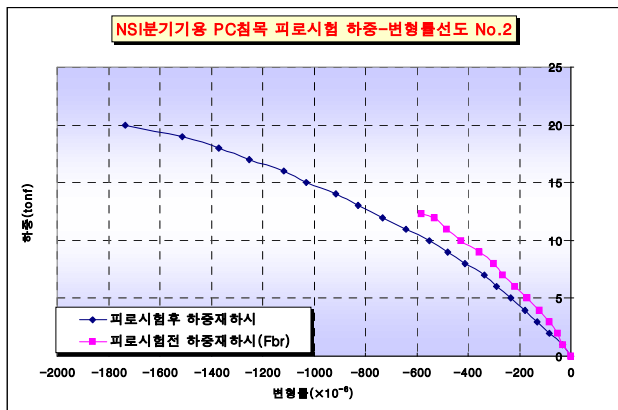


그림 13. Load - Strain 선도 (Gauge No.2)

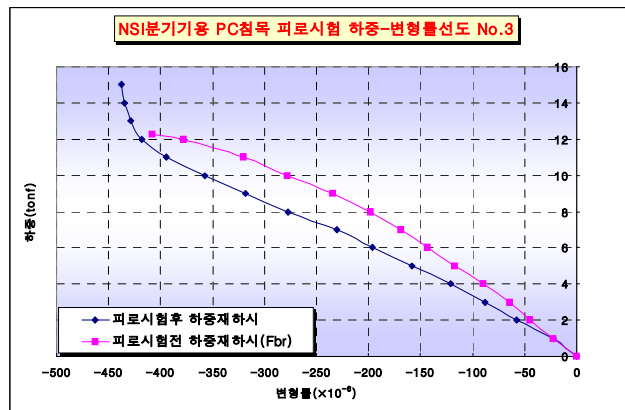


그림 14. Load - Strain 선도 (Gauge No.3)

표 12 시험체에서 발생한 시험단계별 최대 변형을 데이터

구분		초기하중 재하시	2,000,000회 반복하중 재하 시 (Fbo)	반복 재하 후 하중 재하 시 (FbB)
최대하중		12.3tonf	4.4tonf	20.0tonf
최대변위		3.02mm	1.19mm	12.79mm
최대 변형률	No.1	$-541.78 \times 10^{-6}$	$-177.46 \times 10^{-6}$	$-1678.87 \times 10^{-6}$
	No.2	$-582.15 \times 10^{-6}$	$-178.68 \times 10^{-6}$	$-1735.21 \times 10^{-6}$
	No.3	$-407.87 \times 10^{-6}$	$-117.74 \times 10^{-6}$	$-434.74 \times 10^{-6}$
	No.4	$116.24 \times 10^{-6}$	$-12.01 \times 10^{-6}$	$3789.67 \times 10^{-6}$
	No.5	$847.01 \times 10^{-6}$	$50.70 \times 10^{-6}$	$4742.72 \times 10^{-6}$
	No.6	$-38.12 \times 10^{-6}$	$-15.96 \times 10^{-6}$	$292.02 \times 10^{-6}$
	No.7	$-12.18 \times 10^{-6}$	$-15.02 \times 10^{-6}$	$-326.76 \times 10^{-6}$
최대균열폭	하중재하시	0.05mm	측정불가	0.45mm
	하중제거시	측정불가	측정불가	0.05mm

표 13 시험체 균열폭 및 진전 길이 측정 데이터

구분	크랙두께 (mm)		좌측부 ▶ 우측부(mm)					우측부 ▶ 좌측부(mm)				
	하중재하시	하중비재하시	1	2	3	4	비고	4	3	2	1	비고
Fbr	0.05	측정불가	950									
Fbr	0.05	측정불가								960		
피로	측정불가	측정불가								960		
FbB	0.45	0.05								960		
FbB	0.45	0.05	950									
FbB	0.45	0.05		840								
FbB	0.45	0.05						880				

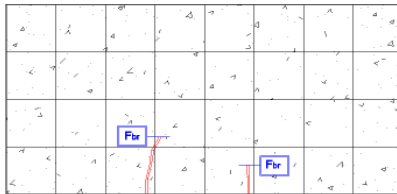


그림 19. 균열양상 (Fbr)

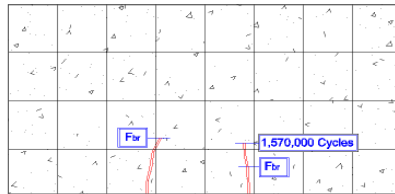


그림 20. 균열양상(피로시험 후)

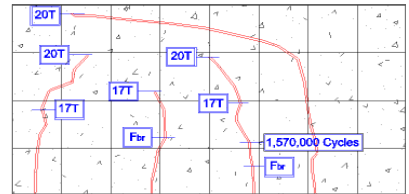


그림 21. 균열양상 (FbB)

## 5. 결론

본 연구는 NSI용 PC침목을 개발하는데 있다. 개발된 PC침목은 60kg탄성분기기 PC침목보다 16% 중량을 줄여 수작업 갱환 작업이 많은 측선용에 맞게 최적화로 설계 하였다.

철도 5620-1073 규정 침목 휨 강도 시험과 EN13230-4:2002:CSB\_Prestressed bearers for switches and crossings 의 피로시험을 실시하였으며 모두 안전하게 평가되었다.

설계와 시험 결과는 다음과 같다.

- (1) PC침목 단면은 260\_240 x 200이며 22장선이다.
- (2) 휨강도 시험에서 레일하부 70톤, 중앙부 시험에서 16톤에서 파괴가 발생하였다.
- (3) 피로시험에서는 초기 12.3톤에서 0.05mm의 크랙이 발생하였고, 2백만회 시험 후 FbB단계에서는 20톤에서 파괴되어 FbB/Fb0가 4.5로써 매우 안전한 것으로 판명되었다.

본 연구를 통해 PC침목의 최적 설계 기술을 확립하였고, 강도 향상과 재료 절감으로 분기기 도상 안정화와 경제적 효과를 동시에 만족 할 수 있을 것으로 생각되며 목침목을 대체함으로써 NSI분기기의 유



지보수성을 크게 향상하였으며 환경개선에도 많은 기여가 예상된다.

본 연구에 큰 도움을 주신 한국철도기술연구원 궤도구조연구팀 장승엽 박사님과 태명실업, 서울산업대학교 구조공학연구소에 진심으로 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 한국고속철도 건설 공단, 1994.12, 고속철도 PC침목 설계
2. 철도용품 표준규격, 철도 5620-1073, PC침목 (분기기 및 신축이음매장치용)
3. EN13230-2, 2003,3 Track-Concrete sleepers and bearers.
4. EN13230-4, Prestressed bears for switches and crossings.
5. ORE D170 Part4, Determination of a unified test method and formulation of recommendations.
6. 오병환외 4인, 1998, 반복하중을 받는 철근 콘크리트보의 전단피로 손상거동.
7. 강보순, 2001, 사용 반복하중에 대한 철근 콘크리트 부재의 피로 거동.
8. 김순철, 김은겸, 2004 철도학회 추계pp.127-132, RC보의 피로성능에 관한 실험적 연구