

50kgN 분기기의 PC침목 설계 최적화에 관한 연구

The study on the Design Optimization of 50kgN Turnout PC sleeper

박춘복* 전세곤** 오수진*** 윤병현****
Park, Choon Bok Jeon, Se Gon Oh, Soo Jin Yoon Byung Hyun

ABSTRACT

In this study, as a part of research which is to make 50kg NSI turnout of PC sleeper, 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. Analytical results showed that PC sleeper adapted in this study satisfied not only serviceability criterion but also safety criterion.

1. 서론

분기기(Turnout)는 열차의 방향을 전환시켜주는 궤도장치로서 국내에는 약 10,000톨 정도가 부설되어 있다. 분기기는 차량 진입시 텅레일과 크로싱부에서 속도에 따라 일반부에 비해 약 1.5~2배의 충격하중이 발생하며 이는 사용재료의 수명저하로 이어져 제품 설계에서 높은 안전율이 요구되는 철도궤도 분야에서 가장 중요한 부분이다. 철도 100년의 역사 동안 분기기는 37kg→재래식 50kgNS→50kg NSI→60kg탄성, 노즈가동 분기기로 안전성과 분기속도 향상을 목표로 발전을 거듭하고 있다. 사용된 침목은 초창기에는 대부분 목침목을 사용하였으나 약15년의 짧은 수명과 별채로 인한 산림파손, 부식방지용 유지사용으로 인한 환경문제가 대두되고, 유지 보수비용 절감과 궤도 중량화 추세에 따라 현재 신설선과 기존 제품 교체시에는 PC침목이 주종을 이루고 있다. 현재 사용중인 분기기용 PC침목은 1, 2급선용 60kg탄성분기기 침목(B1xB2xH:300x280x200)으로 개발되어 저속용 50kg NSI PC침목에 사용시 과대설계가 되어 재료의 손실과 가격 상승의 요인으로 작용하게 된다.

본 연구에는 국내 분기기의 약 70%를 차지하고 있는 저속용 50kg NSI분기기(목침목)를 PC침목화(NSI PC분기침목) 연구의 일부분으로써 침목의 단면적 최적화, 2차 관성모우먼트 증대로 강도 향상, 최적 강선배치와 강선수량 최적화를 주목적으로 하고 있다. 이를 위해 상판을 고려한 PC침목에 대한 유한요소 해석과 EN13270규정에 따른 시험, 평가를 수행하였다.

2. NSR PC 분기침목 유한요소해석

2.1 대상분기침목

구조해석 대상 분기 침목은 분기기 포인트부, 리드부, 크로싱부로 총 3개소의 침목을 대상으로 하였다(그림 2 참조). 다음 그림 1과 표 1에 PC 분기침목 단면과 제원을 나타내었다. 또한 PC분기침목의 설계기준강도는 600kgf/cm^2 이다.

* 삼표이엔씨(주) 철도기술연구소 소장, 정회원
** 삼표이엔씨(주) 연구개발2팀 과장, 정회원
*** 삼표이엔씨(주) 슬래브 궤도팀 과장, 정회원
**** 삼표이엔씨(주) 연구개발2팀 대리, 정회원

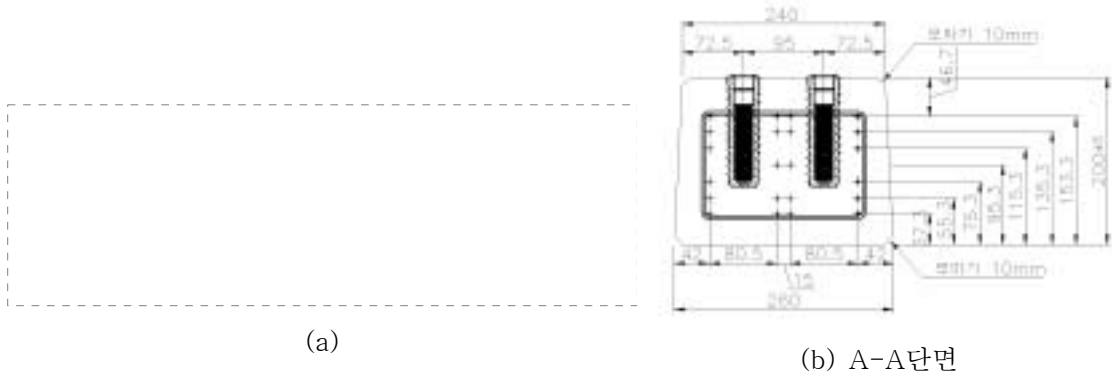
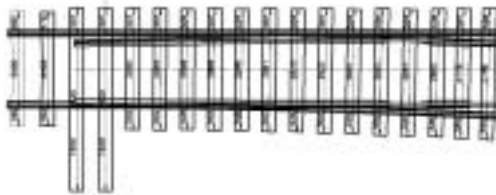


그림 1. PC 분기침목

표 1. 구조해석 대상 PC침목 제원

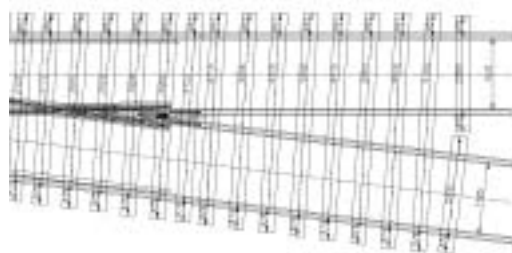
구분	길이 (cm)	저면폭 (a) (cm)	상면폭(b) (cm)	높이 (h) (cm)	
1	분기부 전단부	2,400	26	24	20
2	포인트 장침목부	3,835			
3	포인트 끝단부	2,749			
4	리드부	3,657			
5	크로싱 노즈부	3,845			
6	크로싱 후 장, 단침목부	4,703, 2,300			



(a)포인트부



(b)리드부



(c)크로싱부

그림 2. 분기기내 침목의 배열과 레일 위치

2.2 유한요소해석 모델

열차 통과시 PC분기침목에 발생하는 응력을 해석하기 위하여 구조해석을 수행하였다. 분기침목의 유한요소 모델링은 그림 3과 같이 빔 요소와 스프링요소를 이용하였다. 스프링 요소의 스프링 계수는 도상계수 c 와 각 절점이 부담하는 침목 면적의 곱으로 계산하며, 도상계수 c 는 고속철도 PC침목 설계 시방서에 제시한 바와 같이 지반의 상태를 고려하여 20kgf/cm 를 사용하였다. 하중의 적용에서는 포인트상판, 힐상판, 크로싱판, 가드상판 등의 침목과의 접촉면적을 고려하여 분포하중을 적용하였고 절점간격은 4.5mm 로 최소 길이 $2,300\text{mm}$ 침목의 경우 절점의 수는 510개이며 최대길이 $4,703\text{mm}$ 침목의 경우 절점의

수는 4,015개이다.

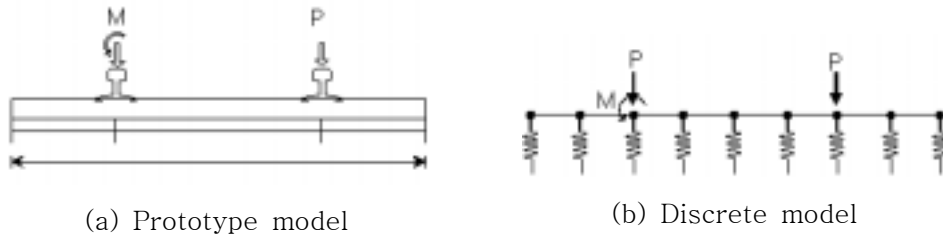


그림 3. PC분기침목 모델링

2.3 재하 하중

유한요소 해석시 PC분기 침목에 재하한 하중은 LS-22 열차의 축중이다. 일반적으로 레일에 작용하는 하중은 차륜에 의한 윤중과 횡압으로 구분할 수 있으며, 여기서 윤중의 일부와 횡압은 아래 그림 4에서와 같이 침목 단면 도식에 모멘트 M을 발생시키는데 다음 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 해석시 적용한 설계하중은 표 2에 나타내었다.

$$M = H \times h - \frac{Q}{3} \times e \tag{1}$$

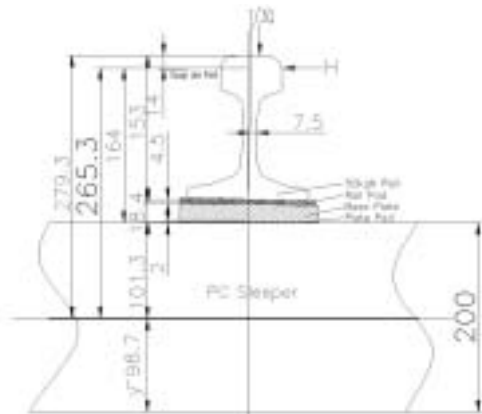


그림 4. PC분기침목에서의 윤중, 횡압의 위치

표 2. 구조 해석시 적용한 설계하중

구 분		국철 시방서	
		분기침목부	크로싱 노즈부
직선 축	윤중(kgf)	10,817.95	13,299.00
	모멘트(kgf·mm)	690,456.3	848,875.0
분기 선축	윤중(kgf)	10,817.95	13,299.00
	모멘트(kgf·mm)	690,456.3	848,875.0

2.4 해석결과

각 분기침목 별로 수행된 해석모델 및 해석결과를 표 3에 나타내었다. 해석결과 레일 직하부에서 예상할 수 있는바와 같이 최대정모멘트가 발생하였으며, 레일과 레일 중앙부에서 최대부모멘트가 발생하였다.

3. NSR PC분기침목 단면검토

3.1 프리스트레스 및 설계 윤중 작용시 응력검토

NSR PC분기침목 단면에 프리스트레스 도입을 위해 사용된 강선은 $\Phi 2.9 \times 3\text{mm}$ (strand)이고 1본의 PS 강선에 재하되는 유효 프리스트레스힘의 계산과정은 표 4에 나타내었다. 이에 대한 PC 강선의 배치는 그림 1과 같다.

표 3. 해석모델 및 해석결과

(단위 : tonf·m)

분기기 전단부 PC침목		포인트 장침목부 PC침목	
	최대정모멘트		최대정모멘트
	0.911		1.464
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-1.362		-0.872
포인트 후단부 PC침목			
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.318		1.136
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-0.964		-1.102
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.315		1.334
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-1.071		-0.986
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.439		1.621
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-0.952		-0.861
리드부 PC침목			
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.337		1.631
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-1.319		-0.871
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.746		1.840
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-0.940		-0.901
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.886		1.774
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-0.887		-1.029
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.769		
	최대부모멘트		
	-0.878		
크로싱 노즈부 PC침목			
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.452		1.827
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-1.221		-1.052
크로싱 후단 장침목부 PC침목			
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.482		1.491
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-0.941		-0.876
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.709		1.701
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-0.854		-0.896
	최대정모멘트		최대정모멘트
	1.723		0.748
	최대부모멘트		최대부모멘트
	-0.853		-1.545

표 4. 1본의 PC강선에 재하되는 유효 프리스트레스힘

인장하중 (kgf)	항복하중 (kgf)	0.8*f _{pu} (kgf)	0.74f _{pu} (kgf)	P _j	P _i	P _e
				0.82*f _{py} -2t (kgf)	초기 프리스트레스힘 (kgf)	유효 프리스트레스힘 (kgf)
3,900	3,450	3,120	2,886	2,738	2,464	1,971

그림 1과 같은 PC침목에 윤하중이 작용하는 경우, 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 그림 1과 같은 단면에 22선 이상의 PS강선을 사용하면, 사용하중 작용시 뿐만 아니라 프리스트레스 도입직후에도 모두 현행 설계 시방서 판정기준을 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 ²)	설계 시방서 판정 기준 (kgf/cm ²)	판정	
22선	유효 프리스트레스힘	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	침목의 위치별 Z (cm)	침목 상·하단부 응력 (kgf/cm ²)	설계 시방서 판정 기준 (kgf/cm ²)	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 7은 본 연구에서 산정한 PC침목의 단면에 대한 레일직하부 와 침목 중앙부에서의 설계모멘트, 균열 모멘트 및 극한 저항 모멘트 계산 결과를 나타낸 것이다. 표 7에서 안전율은 식(2)에 의해 산정하였으며, 이때 활하중에 대한 하중계수(γ_L)는 1.8을 적용하였으며, 프리스트레스 콘크리트 휨 부재의 강도감소계수(ϕ)는 0.85을 적용하였다.

$$S.F. = \frac{\phi \cdot M_n}{\gamma_L \cdot M_D} \tag{2}$$

표 7. 안전율의 계산

검토위치	설계 모멘트(kgcm)	균열모멘트 (kgcm)	극한저항 모멘트 (kgcm)	안전율
레일 직하부	188,600	243,870.6	536,223.2	1.34
침목 중앙부	-154,500	237,840.2	536,223.2	1.64

표 7에서와 같이 부재 각 위치에서의 균열모멘트는 모두 설계 모멘트보다 큰 것으로 나타났으며, 소요의 안전성을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

4. 제품 강도 시험

제품 제작 후 28일 양생 후 EN13230규정과 표준규격 철도 5620-1073에 따른 침목 휨 강도(균열) 시험, 매립전 인발 강도 시험 결과 모든 규정값 이상으로 강도를 만족하였다.



그림 4. PC침목 휨(균열)하중 시험(레일직하부, 중앙부)

구분	휨(균열)하중시험			특기사항	
	초기균열	0.05mm균열	파괴하중		
시험내역 및 시험방법	내용	1. 레일직하부:24.518 2. 침목중앙부:4.4	1. 레일직하부:44.1 2. 침목중앙부:7.95	1. 레일직하부:61.3 2. 침목중앙부:11.0	시험방법 EN13230
	레일 직하부	32.4 균열속정불가	58.0 0.05mm측정	70.0 파괴	
중앙부	10.4 균열속정불가	14.0 0.05mm측정	16.0 파괴		
판정	합격	합격	합격		

5. 결론

PC 분기 침목을 사용한 분기부에서 열차가 통과할 시 분기부 구간별 휨모멘트 값을 산정한 후, 국철 PC침목설계시방서의 기준을 따라 PC 분기침목의 사용성 및 안전성을 검토하였다. 구조해석 결과, 레일 직하부에서 최대 정모멘트가 발생하였으며, 레일과 레일 사이 중앙부에서 최대 부모멘트가 발생하였다. 최대 정모멘트는 리드부였으며 최대부모멘트는 크로싱 후단 단침목으로 나타났다. 침목 상·하단부에 발생하는 휨응력에 대한 허용 휨응력 값을 검토한 결과 22선 이상의 PS강재를 사용하는 경우 PC침목 설계단면 검토기준을 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 제품 강도시험 결과가 모두 규정 값 이상으로 합격한 것으로 나타났다.

본 연구에 도움을 주신 한국철도기술연구원 궤도구조연구팀 양신추 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

1. 고속철도 PC침목 설계. 1994.12 한국고속철도 건설 공단
2. PC침목 (분기기 및 신축이음매장치용), 철도용품 표준규격 철도 5620-1073.
3. Track-Concrete sleepers and bearers. Part2: Prestressed monoblock sleepers EN13230-2, March. 2003
4. Detrmination of a unified test method and formulation of recommendations. ORE D170 Part4.