

## 프리스트레스트 콘크리트 거더 철도교의 최적설계 II : 동적안정성을 고려한 30m 지간의 최적단면

### Optimum Design of Prestressed Concrete Girder Railway Bridge II : Optimum Section with 30m Span Length Accounting for Dynamic Stability

조선규<sup>†</sup> · 이종민<sup>\*</sup> · 김수현<sup>\*\*</sup> · 정재동<sup>\*\*\*</sup> · 이종선<sup>\*\*\*\*</sup>

Sun-Kyu Cho · Jong-Min Lee · Su-Hyun Kim · Jae-Dong Jung · Jong-Sun Lee

#### Abstract

The PSC girders which currently used at highway bridge have the standard cross sections about 25m, 30m and 35m span. Thus, in case of highway bridge design, the bridge designer can choose the adequate standard cross section according to constructional condition. However, in railway bridge design, there are limitations on reasonable bridge design considering circumstances of a construction site and conditions of location etc, because the PSC girders used at railway bridge have the cross section about only 25m span length. In this study, the optimum design for the PSC girder railway bridge with 30m span length has been performed. Also, in order to investigate the dynamic stability of railway bridge using the optimum section of PSC girder, dynamic analysis has been carried out. From the results of analysis, it is suggested to denote the optimum section which satisfied the structural safety, dynamic stability and economical efficiency all together.

**Keywords** : PSC girder(PSC 거더), Optimum design(최적설계), Optimum section(최적단면), Dynamic stability(동적안정성)

#### 1. 서론

프리스트레스트 콘크리트(PSC) 거더교는 중·소규모의 교량에 많이 적용되는 교량형식으로서 도로교뿐만 아니라 철도교에 오래전부터 널리 건설되어왔다. 그러나 도로교와 철도교에서 현재 사용되고 있는 PSC 거더는 국내에 최적설계가 도입되기 전에 채택된 단면으로서 다소 과도한 단면인 것으로 알려져 있다(한국도로공사, 2004; 조선규 외, 2005). 따라서 PSC 거더교의 최적설계를 통해 합리적인 단면을 도출하여 적용한다면 국내 PSC 거더교의 수요를 감안해 볼 때 그 파급효과는 매우 클 것이다.

국내에서 이와 같은 PSC 거더교의 최적설계에 관한 연구는 최근 몇 년 전(조선규 외, 2000)부터 시작되어 현재

도로교(조선규 외, 2004)뿐만 아니라 철도교(조선규 외, 2005)에서도 활발하게 진행되고 있다. 또한 국내에서 건설되고 있는 PSC 거더 교량에서 도로교에 대한 PSC 거더는 지간장 25m, 30m와 35m에 대한 표준단면이 있어 교량가설시 입지조건에 따라 이와 같은 표준단면을 선택하여 적용할 수 있다. 반면에 철도교용 PSC 거더는 지간장 25m에 대한 단면만이 사용되고 있어 교량이 시공되는 현장조건 및 시공조건 등을 고려한 합리적인 교량계획을 수립하는데 다소 한계가 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 PSC 거더 철도교량에서 지간장 25m에 이어(조선규 외, 2005) 지간장을 30m까지 확대하여 PSC 거더에 대한 최적 단면설계를 수행하였다.

이를 위해 PSC 거더 철도교량의 최적설계를 위한 전용 해석 프로그램을 작성하여 최적단면을 도출하였으며, 도출된 단면에 대한 동적해석을 수행하여 도출 단면의 동적안정성을 검토하였다. 이를 토대로 경제성과 안전성을 만족하는 지간장 30m에 대한 철도교용 PSC 거더의 최적단면을 제안하였다.

<sup>†</sup> 책임저자 : 서울산업대학교 철도전문대학원, 부교수

E-mail : skcho@snut.ac.kr

TEL : (02)970-6512 FAX : (02)948-0043

<sup>\*</sup> 서울산업대학교 철도전문대학원, 박사과정

<sup>\*\*</sup> 서울산업대학교 철도전문대학원, 석사과정

<sup>\*\*\*</sup> (주) 다린 ENC, 사장

<sup>\*\*\*\*</sup> (주) 남광토건, 기술부장

## 2. PSC 거더 최적설계의 정식화 및 시스템

본 연구에서 적용한 PSC 거더 최적단면설계를 위한 정식화 및 최적설계시스템은 참고문헌 (6)과 동일하다. 따라서 본 절에서는 이에 대한 개요만을 나타내었으며 기타 자세한 사항은 참고문헌 (6)과 같다.

### 2.1 목적함수

최적설계의 목적함수는 식 (1)에 나타낸 바와 같이 PSC 거더교의 총제작비용 함수로 정식화하였다. 여기서, 총제작비용(F)은 PSC 거더 제작대 비용(F<sub>BASE</sub>), 콘크리트 제작비용(F<sub>c</sub>), 철근 제작비용(F<sub>s</sub>), PS 강선 제작비용(F<sub>Ap</sub>), 쉬스판 제작비용(F<sub>sh</sub>), 정착구 제작비용(F<sub>anch</sub>), PS 강선 긴장비용(F<sub>ten</sub>) 및 PSC 거더 강재거푸집 제작비용(F<sub>f</sub>)의 합이다.

$$F = F_{BASE} + F_c + F_s + F_{Ap} + F_{sh} + F_{anch} + F_{ten} + F_f \quad (1)$$

### 2.2 설계변수 및 설계상수

설계변수는 선행된 연구(조선규 외, 2005)에서와 같이 PSC 거더 단면형상과 PSC 거더 간격으로 선정하였다.

거더 단면의 설계변수는 상·하부 플랜지의 폭원, 두께 그리고 헨치 두께 및 복부의 두께, 높이이다. 또한 PSC 거더는 등간격 및 대칭으로 배치되므로 거더간격을 설계변수로 정식화하여 거더배치가 고려된 PSC 거더교의 최적단면을 산정하였다.

그리고 설계상수는 PS 강재량으로 선정하였으며, 일반적으로 사용되는 PS 강재인 SWPC7-φ12.7mm를 사용하여 표 1과 같이 5개의 덕트 안에 텐던의 가닥수를 조합하는 형식으로 강재량을 변화시켜가며 최적단면설계를 수행하였다.

### 2.3 제약조건

PSC 거더의 최적단면설계를 위한 제약조건은 PSC 거더 단면의 구조거동과 관련하여 현행 철도설계기준-철도교편(2004)을 바탕으로 프리스트레스트 콘크리트 거더의 각 하

중단계에 대해 긴장직후, 손실후 및 합성후 콘크리트 거더의 응력조건과 PS 강재의 응력조건 그리고 강도검토의 규정을 적용하였으며, 최적의 거더배치를 위해서는 바닥판의 최소두께규정과 바닥판 사용철근량에 대한 제약조건을 정식화하였다. 또한 기하학적 형상에 대한 제약조건으로는 정착장치의 사용개수에 따른 정착판 설치에 필요한 최소 필요 거더높이에 대한 제약조건과 바닥판 쉐일레버 길이가 내측 거더 간격의 80%를 초과하지 않는 제약조건을 적용하였다. 마지막으로 PSC 거더는 폭이 좁은 I형 단면이기 때문에 약축에 대한 횡방향 강성이 낮은 편이다. 따라서 거더의 운반이나 거치시 횡방향 좌굴을 방지하기 위하여 Mast(1989)가 제안하여 PCI Design handbook 3rd Edition에 적용된 횡방향 좌굴에 대한 제약조건을 추가하였다.

### 2.3 최적설계 시스템

최적설계 시스템은 종방향 및 횡방향 구조해석을 통하여 PSC 거더 단면과 거더 간격의 변화에 따른 단면력을 제약조건 산정에 반영되도록 구성하였다. 그리고 설계변수는 실수형으로 정식화되었기 때문에 최적결과는 실제적으로 제작되기 어려운 값이다. 따라서, 실제 설계단면에 이용할 수 있도록 실수형 변수를 거더단면 치수에 대해서는 5mm 단위와 거더간격에 대해서는 10mm 단위로 이산화시키고 설계검증을 거쳐 최종적으로 이산형 최적해를 산출하도록 최적설계 시스템을 구성하였다.

## 3. 최적설계 결과

### 3.1 설계조건

지간장이 30m인 PSC 거더 철도교의 최적설계를 위한 대상구조물은 폭원 10.9m의 복선교량이며, 설계활하중은 1등급 교량용 LS-22 열차하중을 적용하였고 설계에 적용된 재료 특성값과 제반 설계상수들은 콘크리트설계기준·해설(2000)의 값을 적용하였다. PSC 거더교의 제작비용을 산출하기 위한 각 건설재료 및 공정별 단가의 구성은 표 2에 나

표 1. PS 강재의 조합

구 분	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11
1번강재	19	12	12	12	12	12	7	7	7	7	7
2번강재	19	19	12	12	12	12	12	7	7	7	7
3번강재	19	19	19	12	12	12	12	12	7	7	7
4번강재	19	19	19	19	12	12	12	12	12	7	7
5번강재	19	19	19	19	19	12	12	12	12	12	7
PS강재량(cm <sup>2</sup> )	93.75	86.85	79.95	73.05	66.15	59.25	54.30	49.37	44.43	39.49	34.55

표 2. PSC 거더의 공정별 제작단가

구분	단가
PSC 거더 제작대 비용	$F_{BASE}$ 452.0 천원/식
콘크리트 재료단가(타설 및 양생비 포함)	$C_c$ 118.0 천원/m <sup>3</sup>
철근 재료단가(가공 및 설치비 포함)	$C_s$ 1,500.0 천원/tonf
PS강선 재료단가(가공 및 조립비 포함)	$C_{Ap}$ 2,729.0 천원/tonf
쉬스관 조립단가	$C_{sh}$ 15.0 천원/m
정착구 단가	$C_{anch}$ 116.0 천원/EA
긴장작업 단가	$C_{ten}$ 79.0 천원/EA
강재 거푸집 단가	$C_f$ 49.0 천원/m <sup>2</sup>

표 3. 설계변수의 하한값과 상한값

설계변수	초기값	하한값	상한값
상부플랜지 폭원	1.000	0.500	1.500
상부플랜지 두께	0.180	0.180	0.300
상부현치높이	0.090	0.030	0.300
복부두께	0.200	0.200	0.350
복부높이	1.520	0.500	2.000
하부플랜지폭원	0.680	0.500	1.500
하부플랜지두께	0.320	0.230	0.350
하부현치높이	0.240	0.150	0.400

표 4. 최적설계결과

탠던 배치		거더 제원 (m)							거더 높이 (m)	거더 면적 (m <sup>2</sup> )	총 강재량 (cm <sup>2</sup> )	단위 길이 당 거더 제작 비용 (만원)	거더 당 제작 비용 (만원)	총 제작 비용 (만원)	
		상부플랜지 폭원	상부플랜지 두께	상부현치 높이	복부판 두께	복부판 높이	하부플랜지 폭원	하부플랜지 두께							하부현치 높이
최적 설계 단면 (지간장 : 30m)	A02	1.360	.185	.095	.355	1.390	.945	.350	.300	2.320	1.352	86.85	106.3	3,189	15,945
	A03	1.250	.185	.095	.260	1.455	.860	.355	.305	2.395	1.157	79.95	97.5	2,924	14,620
	A04	0.975	.185	.120	.210	1.480	.810	.355	.305	2.445	1.005	73.05	89.2	2,675	13,375
	A05	0.805	.185	.080	.200	1.600	.805	.275	.305	2.445	0.884	66.15	82.2	2,467	12,335
	A06	0.765	.185	.090	.200	1.695	.765	.235	.285	2.490	0.841	59.25	78.2	2,346	11,730
현행사용단면 (지간장:25m)		1.000	.180	.090	.200	1.520	.680	.320	.240	2.350	.861	54.30	79.36	1,984	9,920

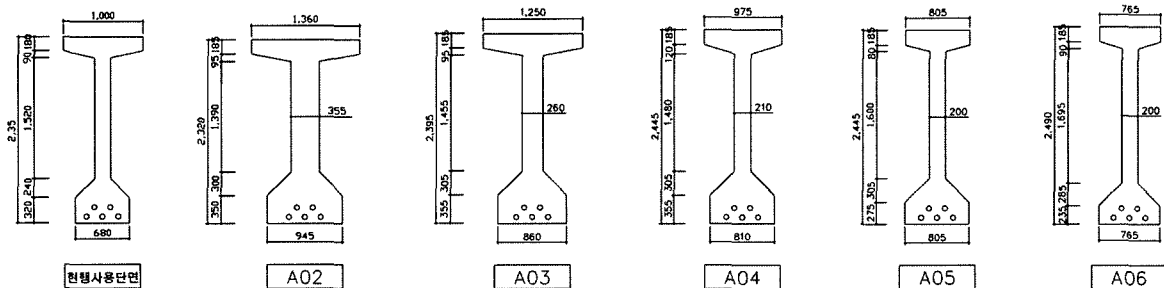


그림 1. PSC 거더 최적단면(단위 : mm)

타낸 바와 같으며, 이를 목적함수 산정에 반영하였다. 또한 현재 일반적으로 사용되고 있는 지간장 25m의 PSC 거더의 단면(현행사용단면)은 과도한 단면이기 때문에(조선규 외, 2005) 최적설계를 위한 설계변수(PSC 거더의 단면치수)의 초기값은 현행사용단면의 제원과 동일하게 적용하였으며, 설계변수의 하한값과 상한값은 콘크리트구조설계기준(2000)에 따라 시공 상세 등을 고려하여 표 3과 같이 설정하였다.

### 3.2 최적설계 결과 및 고찰

표 1의 PS 강재조합 중에서 제약조건을 만족하는 PSC 거더 단면의 최적설계 결과를 PS 강재량의 변화에 따라 현행 사용단면(지간장 : 25m)의 값과 함께 표 4에 나타내었으며, 그림 1에 그 형상을 도시하였다. 목적함수 최소화조건인 최적 단면 산정결과 지간장 25m(조선규 외, 2005)에서와 같이 PS 강재량이 가장 적은 A06조합(강재량 : 59.25 cm<sup>2</sup>)에서 거더 당 제작비용이 최대값보다 약 843만원 감소된 2,346만원으로서 가장 경제적인 단면으로 나타났다. 또한 A06조합의 단면을 지간장 25m의 현행사용단면과 단위길이 당 거더의 제작비용(78만원/m)을 비교할 경우, 현행사용단면(79만원/m)보다 작은 값이 산출되어 지간장이 5m 증가함에도 불구하고 더욱 경제적인 단면인 것으로 나타났다. 그러나 A02~

A05조합의 단위길이당 거더의 제작비용은 지간장 25m의 단면의 제작비용에 비해 다소 크게 나타났으나, 교량의 총 연장이 증가하는 경우, 하부공사비의 감소로 인해 그 차이는 감소하여 경제적인 설계가 가능할 것으로 판단된다. 거더 높이 최소조건의 관점에서는 PS 강재량이 가장 많은 A02조합에서 가장 낮은 거더 높이가 산출되었으나 거더 당 제작비용은 강재량 별 최적단면에서 가장 높은 3,189만원이 산출되었다.

PS 강재량의 변화에 따른 거더 형상의 변화는 지간장 25m에서와 같이 PS 강재량이 증가할수록 거더의 높이는 감소하고 상부플랜지의 폭과 복부판의 두께는 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 하부플랜지의 폭 및 두께는 다소 증가하는 것으로 나타났으나 상부플랜지의 두께에서는 큰 변화가 발생하지 않았다. 그림 2, 그림 3과 그림 4는 PS 강재량에 따른 거더의 높이, 상부플랜지의 폭 및 복부판의 두께를 나타낸 것이며, 그림 5와 그림 6은 각각 PS 강재량 변화에 따른 PSC 거더의 면적과 단면2차모멘트를 나타낸 것이다. 이와 같은 결과는 지간장 25m에 대한 최적설계결과와

일치하는 결과로서, PS 강재량이 증가하게 되면 높은 프리스트레스에 저항하기 위해 단면적은 증가하는 것이며, 소요 휨강성을 확보하는 동시에 거더의 중립축에서 PS 강재 도심까지의 편심량을 감소시키기 위해 거더의 높이는 감소하고, 상부플랜지의 폭은 증가하는 것이다(조선규 외, 2005).

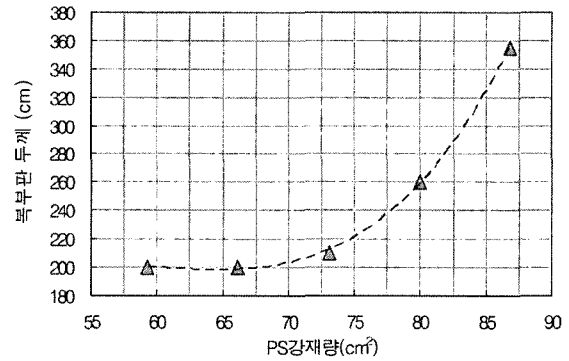


그림 4. PSC 거더의 복부판 두께

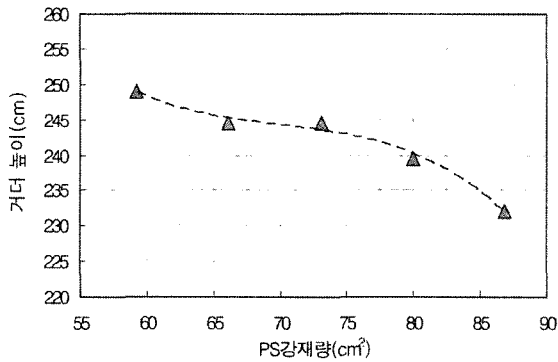


그림 2. PSC 거더 높이

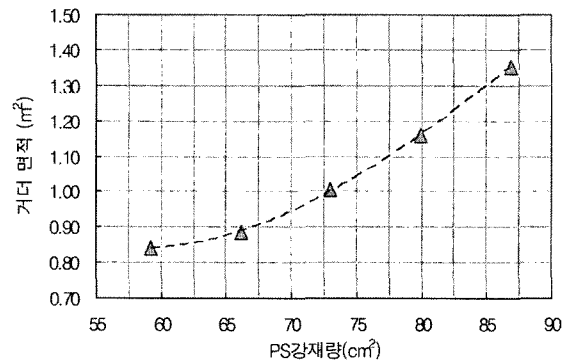


그림 5. PSC 거더의 면적

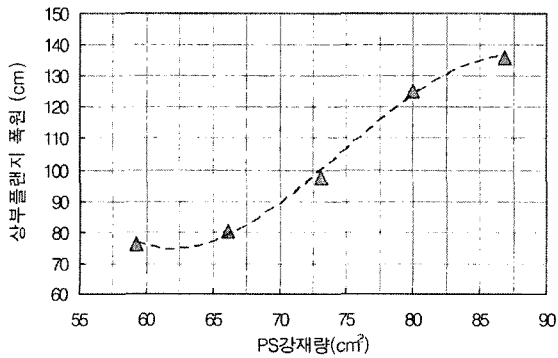


그림 3. 상부플랜지 폭

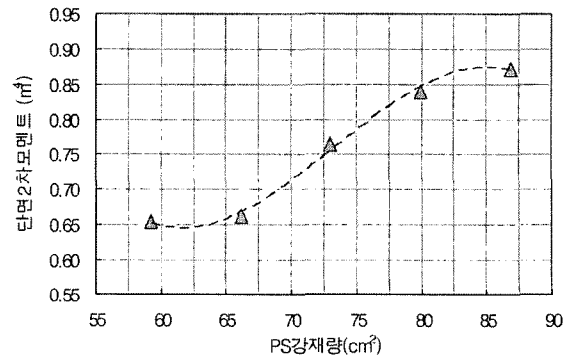


그림 6. PSC 거더 단면2차모멘트

또한 PSC 거더의 단면적이 증가하게 되면 거더 자중의 증가에 의해 거더에 작용하는 전단력은 증가하게 된다. 그러나 거더의 전단강성을 증가시키기 위해 거더의 높이를 증가시키게 되면 앞서 언급한바와 같이 거더의 휨에 대한 제약조건을 만족시키지 못하게 된다.

따라서 소요전단력을 확보하기 위해서는 복부판의 두께가 증가해야 하며, 이와 같은 이유로 PS 강재량이 증가할수록 복부판의 두께는 증가하는 것으로 판단된다. 이상을 종합해보면 일정한 프리스트레스 하에서 PSC 거더 형상 중 거더 높이, 상,하부 플랜지의 폭원에 영향을 미치는 주된 인자는 거더에 작용하는 휨이며, 복부판의 두께에 영향을 미치는 주된 인자는 거더에 작용하는 전단력인 것으로 판단된다.

### 4. 동적안정성 검토

PSC 거더 철도교는 도로교와는 달리 설계에 적용되는 하중의 크기 및 특성에서 많은 차이를 보이며, 지속적으로 반복되는 중량의 열차하중에 대한 검토가 필요하다. 즉, 이동하중의 반복적인 작용으로 인한 진동특성 및 처짐과 가속도 등의 동적응답 및 공진 가능성에 대한 검토가 필요하다.

따라서, 최적화를 통해서 도출된 PSC 거더의 최적단면에 대한 동적해석 후, 그 결과를 분석함으로써 최적단면의 동적안정성을 검토하였다.

#### 4.1 교량 모델링 및 제한

최적단면을 사용한 PSC 거더 철도교는 한 절점 당 6개의 자유도를 가진 공간뼈대요소(space frame element)를 이용하여 격자(Grid)로 모사하였으며, 이동하중은 각 주행로를 이루는 절점에서의 시간에 따른 하중변화를 자동으로 발생시켜 등가절점하중으로 재하하였다. 해석을 위한 프로그램은 범용 유한요소 프로그램인 SAP2000을 사용하였다.

### 4.2 고유진동수 및 모드 분석

고유진동해석 결과로 나온 구조물의 주된 1차 휨 고유진동수 및 주기를 표 5에 나타내었다.

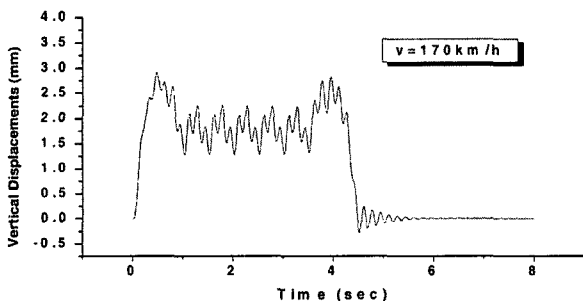
표 5. 강제조합별 고유진동해석 결과

종류	고유진동수(연직-휨 모드)	
	주기 (sec)	진동수 (Hz)
A02	0.1859	5.380
A03	0.1768	5.657
A04	0.1706	5.861
A05	0.1697	5.893
A06	0.1689	5.921

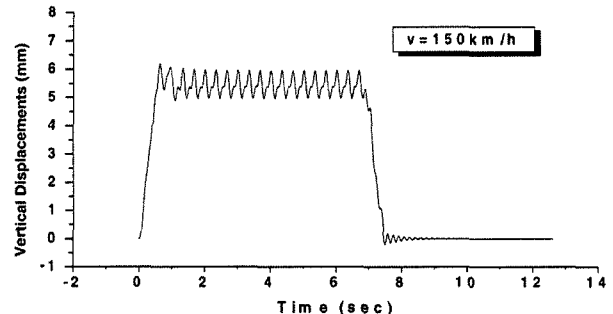
해석결과 지간장 30m의 최적단면 A02에서 A06의 1차 고유진동모드는 UIC 776-1에서의 제시하고 있는 상한값  $n_0 = 94.76 \times 30^{-0.748} = 7.443 Hz$  와 하한값  $n_0 = 23.58 \times 30^{-0.592} = 3.148 Hz$  의 범위 내에 있어, 모두 권장기준 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

#### 4.3 열차주행에 의한 동적응답 분석

열차의 주행속도에 따른 구조물의 동적응답을 분석하여 동적인 불안정성의 요인이 있는가를 살펴보기 위해서는 일반적으로 충격계수(i), 최대수직처짐 및 최대수직가속도를 산정하여 검토할 수 있다. 본 연구에서는 최적단면을 사용한 PSC 거더 철도교의 동적거동을 분석하기 위하여 새마을 PMC 전후동력형 열차 8량 편성과 화물(디젤+화차)열차 20량 편성에 대해 동적 안정성을 검토하였다. 이때 새마을 PMC 전후동력형 열차와 화물열차의 실제 주행속도는 각각 150km/h, 130km/h 이하이지만, 위험요소에 대한 검토와 향후 대처성능의 개선 등을 고려하여 각각 200km/h와 150km/h 주행까지 10km/h 씩 증속시키며 동적해석을 수행하였다.



(a) 새마을 PMC(170km/h 주행 시)



(b) 화물열차(150km/h 주행 시)

그림 7. 강제조합 A06의 시간이력곡선

동적해석 결과, 새마을 PMC 전후동력형 열차와 화물열차의 주행속도가 각각 170km/h, 150km/h일 때의 A06단면에서의 수직처짐이 각각 2.910mm, 6.189mm로써 가장 크게 발생되었다. 이때의 시간이력곡선은 그림 7에 나타내었다.

철도설계기준(2004)에서는 열차하중의 속도에 따라 활하중과 충격하중 재하시 콘크리트교의 허용수직처짐량을 규정하고 있다. 열차속도가 150km/h를 초과하고 200km/h 이하인 경우의 허용처짐량은  $L/1600$ 으로써, 지간장이 30m인 경우 허용처짐량은 약 18.75mm이다. 그림 8은 최적단면별 거더 중앙부에서의 새마을 PMC 전후동력형 열차와 화물열차의 주행속도별 최대수직처짐을 나타낸 것이며, 표 6은 PS 강재조합별 최적단면의 동적해석시 최대수직처짐과 철도설계기준의 제한규정을 비교한 것으로서, 모든 단면이 철도설계기준의 허용처짐량을 만족하는 것으로 나타났다.

또한, 철도설계기준(2004)에서는 지간장이 18m 이상인 교량에 대해서 충격계수를 다음 식 (2)에 따라 계산하도록 규정하고 있으며, 지간장이 30m인 경우에는 약 34.0%가 산정

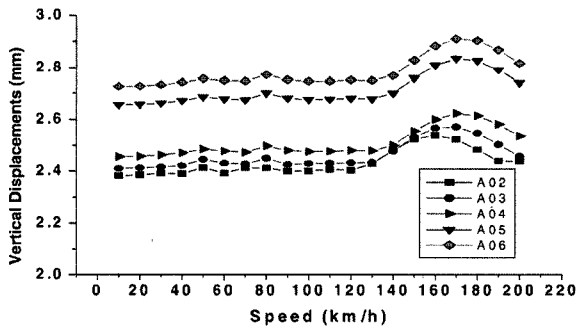
표 6. 강재조합별 최대수직처짐과 제한규정 비교

구 분	새마을 PMC (mm)	화물열차 (mm)	허용처짐량 (L/1600 적용 시) (mm)
A02	2.522	5.404	18.75
A03	2.571	5.470	
A04	2.622	5.578	
A05	2.835	6.028	
A06	2.910	6.189	

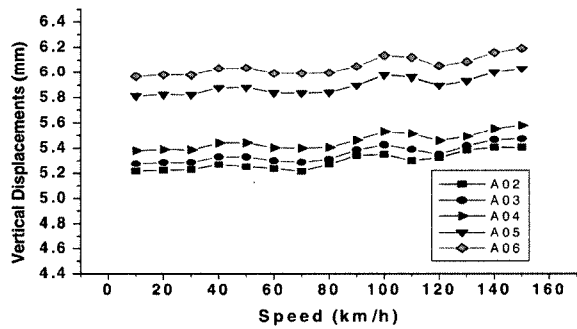
된다. 실교량의 동적해석을 통한 충격계수는 식 (3)과 같이 계산할 수 있으며, 그림 9에 지간장 30m인 PSC 거더교에서 최적단면별 거더 중앙부에서의 새마을 PMC 전후동력형 열차와 화물열차의 주행속도별 충격계수를 나타내었다.

$$i = 24 + \frac{240}{L - 0.6} \quad (2)$$

$$i = \frac{\text{동적응답(변위 또는 응력)의 최대치}}{\text{정적응답(변위 또는 응력)}} - 1 \quad (3)$$

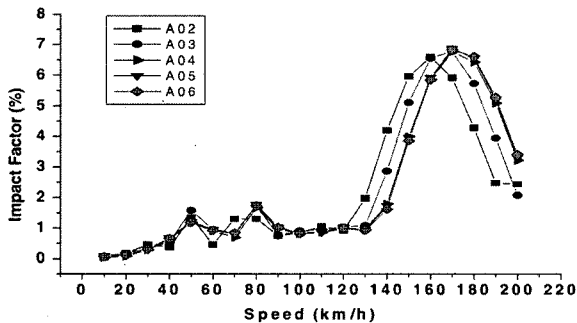


(a) 새마을 PMC

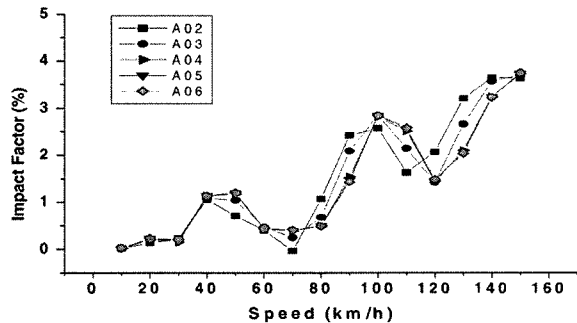


(b) 화물열차

그림 8. PS 강재조합별 최대수직처짐

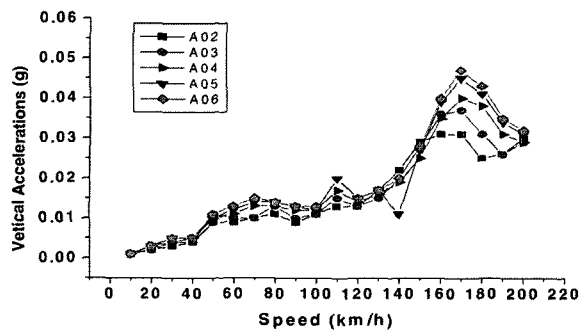


(a) 새마을 PMC

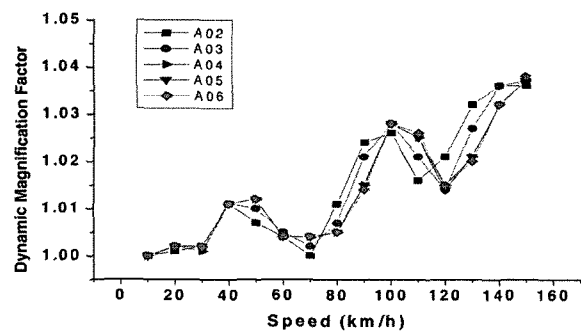


(b) 화물열차

그림 9. PS 강재조합별 충격계수



(a) 새마을 PMC



(b) 화물열차

그림 10. PS 강재조합별 최대수직가속도

해석결과 지간장 30m에 대한 충격계수는 새마을 PMC 동력형 열차인 경우, 주행속도가 170km/h일 때 가장 크게 산출되었으며, 이때 충격계수는 약 6.77%가 산출되었다. 화물열차인 경우에는 주행속도 150km/h일 때 가장 큰 충격계수가 산출되었으며, 이때 충격계수는 약 3.76%가 산출되어 모두 철도설계기준(2004)에서 규정하고 있는 충격계수 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

열차 주행에 따른 과도한 상판 수직가속도는 도상의 손실, 도상과 교량 상판 그리고 침목과 도상의 접촉마찰력의 손실, 궤도의 강성과 저항력의 손실 및 궤도 이동의 잠재적 위험성 등을 내포하고 있다.

이와 같은 이유로 경부고속철도 규정인 BRDM(1994)에서는 주행속도가 220km/h 이상인 경우 상판 최대수직가속도를 필수적으로 검토하도록 규정하고 있으며, 유도상의 경우 상판의 최대수직가속도가 0.35g 이하가 되도록 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 열차의 주행하중을 최대 200km/h까지만 수행하였지만, 최대수직가속도에 대해서도 추가로 검토하였으며, 이를 그림 10에 나타내었다. 해석결과 새마을 PMC 동력형 열차인 경우에는 주행속도 170km/h일 때 가장 큰 0.047g가 산출되었고, 화물열차인 경우에는 150km/h일 때 가장 큰 0.049g로 산출되어 궤도틀림 등이 없는 이상적인 주행상태에서 제한규정을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

지간장 30m에 대해 본 연구에서 제안한 최적단면을 사용하여 PSC 거더교의 동적해석을 수행한 결과, 최대수직치침, 충격계수 및 최대수직가속도 등이 철도설계기준(2004)과 BRDM(1994)의 규정을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 제안한 PSC 거더교의 최적단면은 동적안정성이 확보되는 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 PSC 거더 철도교의 지간장 25m에 이어 지간장 30m에 대한 최적단면설계를 수행하였으며, 제안된 단면의 동적안정성을 검토하기 위하여 동적해석을 수행하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 최적설계결과 지간장 25m에서와 같이 목적함수 최소조건의 관점에서는 PS 강재량이 가장 적은 PS 강재조합에서 가장 경제적인 단면으로 나타났다. 또한 PS 강재량이 가장 적은 PS 강재조합의 단면을 지간장 25m의 현행사용단면과 단위길이 당 거더의 제작비용을 비교할 경우, 현행사용단면보다 작은 값이 산출되어 지간장이 5m 증가함에도 불구하고 더욱 경제적인 단면인 것으로 나타났다. 거더 높이 최소조건의 관점에서는 PS 강재량이 가장 많은 PS 강재조합에서 가장 낮은 거더 높이가 산출되었으나 거더 당 제작비용은 강재량 별 최적단면에서 가장 높게 산출되었다.
- (2) PS 강재량에 따른 형상변화는 지간장 25m에서와 유사하게 PS 강재량이 증가할수록 거더의 높이는 감소하고 상부플랜지의 폭과 단면적은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 PS 강재량이 증가할수록 거더 단면적의 증가로 인해 거더에 작용하는 전단력 또한 증가하여 복부판의 두께는 증가하는 것으로 나타났으며, 지간장 25m에 비해 증가량은 더욱 큰 것으로 나타났다. 따라서 일정한 프리스트레스 하에서 PSC 거더 형상 중 거더 높이, 상, 하부 플랜지의 폭원에 영향을 미치는 주된 인자는 거더에 작용하는 휨이며, 복부판의 두께에 영향을 미치는 주된 인자는 거더에 작용하는 전단력인 것으로 판단된다.

(3) 본 연구에서 제안한 최적단면을 사용하여 PSC 거더교의 동적해석을 수행한 결과, 최대수직처짐, 충격계수 및 최대수직가속도 등이 철도설계기준(2004)과 BRDM (1994)의 규정을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 제안한 PSC 거더교의 최적단면은 동적 안정성이 확보되는 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 (주) 남광토건의 연구비 지원으로 수행된 것으로서 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 건설교통부 (2004) 철도설계기준 (철도교편).
2. 한국콘크리트학회 (2000), 콘크리트구조설계기준 해설.
3. 조선규, 최외호 (2000) “프리스트레스트 콘크리트 보 단면의 최적설계”, 한국콘크리트학회논문집, 제12권 4호, pp.91-101.
4. 조선규, 윤석구, 박영하 (2004) “표준단면을 위한 프리스트레스트 콘크리트 거더의 단면최적설계”, 대한토목학회논문집, 제 24 권 4A호, pp.853-859.
5. 한국도로공사 (2004) 프리캐스트 PSC 거더교의 해석 및 최적설계프로그램 개발, 최종보고서, pp.319.
6. 조선규, 이종민, 서동주, 이태균, 이종선 (2005) “프리스트레스트 콘크리트 거더 철도교의 최적설계”. 한국철도학회논문집, 제 8권 3호, pp.267-275.
7. Garret N. Vanderplaats (1984). Numerical Optimization Techniques for Engineering Design: with Applications, McGraw-Hill, Inc.
8. Garret N. Vanderplaats (1985), ADS: A FORTRAN Program for Automated Design Synthesis, Engineering Design Optimization, Inc., Santa Barbara, California.
9. Robert F. Mast (1989). Lateral Stability of Long Prestressed Concrete Beams-Part1. PCI Journal, Vol.34, No.1, pp.34-53.
10. SYSTRA, “Bridge Design Manual (BRDM) Final Report” 1994.12.