

## 2거더 강-콘크리트 합성형 철도교의 거동에 대한 2차부재의 영향 평가

### The Effect of Secondary Members on the Behavior of Steel-Concrete Composite Two-Girder Railway Bridges

배두병<sup>1</sup> · 조준희<sup>2</sup>

Doo-byong Bae · Joon-hee Cho

#### Abstract

Steel-Concrete Composite two girder railway bridges applying high performance steel with extra thick plate have economic and aesthetic advantages due to the simplification of manufacturing and construction process. However, steel bridges are seldom adopted in domestic railway bridge, since steel bridges are not efficient as R.C bridges considering dynamic characteristics and noise, etc. While highway bridges do not have lower horizontal bracing and larger interval of diaphragm cross beam, railway bridges install lower horizontal bracings to control the torsion due to heavy eccentric line load. Accurate finite element analysis were performed with the parameters of existence of bracing and bracing shape, with the cross beam interval and stiffness, etc. To find out the effects of secondary members such as horizontal bracings and diaphragms, static and dynamic analysis have been performed by using finite element method. In this study, few member plate-girder bridges are analyzed with variable span lengths to examine the dynamic behavior and limits of damping. And though lateral bracings are members against torsion, but lateral bracing's absence is no big problem. Time history analysis using mode superposition method makes proof of this result.

**Keywords** : Composite two plate-girder bridge, Dynamic Response, Resonance, Bracing, Diaphragm, D.M.F(Dynamic Magnification Factor), Cross beam, Torsion

#### 1. 서론

최근 설계 및 시공기술의 발달과 새로운 강재의 개발로 인해 유연하고 경량화된 구조물의 건설이 가능해지고 있다. 강교량의 기술개발은 내구성 향상, 교량 건설비용중 제작 가공비를 최소화함으로써 얻어지는 비용 절감, 유지관리의 효율성 등을 극대화할 수 있는 방향으로 발전하고 있으며 고강도 및 고성능 강재의 사용으로 내구성과 강재효율을 극대화하고 단순화, 표준화 개념을 도입하여 제작의 단순화 및 유지관리의 효율성을 추구하고 있다. 소수거더교인 강합성형 철도교는 이에 적합한 경제적이며 미관이 우수한 교량이다. 그러나, 국내에서는 강합성교가 높은 강성에 비해 비교적 자중이 가볍고 구조감쇠 능력이 상대적으로 낮아 철도교의 특성상 처짐 및 진동, 소음 규정에 맞추

기 위해서는 콘크리트 교량에 대한 상대적 효율성이 떨어지는 이유로 고속철도와 같은 철도교량 설계에 적극적으로 채택되지 못하고 있는 실정이다. 그러나, 정상적인 해석 및 설계를 통해 강합성거더교도 철도교의 이러한 제한조건을 충분히 만족시키도록 할 수 있으며, 강교량이 갖는 많은 장점으로 인해 일본 및 프랑스 등 선진외국에서는 많은 철도교에 설계·시공되어 아무 문제없이 사용되고 있다.

기존 플레이트거더교의 경우 비틀림에 대한 강성을 높이고, 풍하중 등에 의한 수평력에 저항하기 위해 일반적으로 수평브레이싱을 설치하고 있는데, 최근의 설계경향은 콘크리트 바닥판 및 가로보 또는 다이아프램(수직브레이싱)만으로도 활하중에 의해 발생하는 비틀림에 충분히 저항할 수 있어 수평브레이싱을 생략하고 있으며, 다이아프램 및 수직 브레이싱 또는 다이아프램의 간격 또한 넓히고 있는 추세이다. 그러나 최근 설계된 소수거더 철도교의 경우 도로교보다 더 큰 하중이 재하될 뿐 아니라 활하중 비중이

1 정회원 · 국민대학교 건설시스템공학부 교수

2 국민대학교 건설시스템공학부 석사과정

크기 때문에 비틀림과 뒤틀림이 도로교의 비틀림보다는 더 크게 발생 한다하여 이 비틀림을 제어하기 위해 수평브레이싱을 설치하고 있으나, 이에 대한 해석적 근거가 명확히 제시되고 있지 못한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 기존에 설계된 철도교를 모델로하여 전체구조를 Shell요소 및 Shell-Solid요소로 구성하고 브레이싱 부재의 형식 및 간격, 다이아프램 간격과 강성 등을 변수로 한 정적해석을 통해 주거더에 발생하는 비틀림 응력의 크기 등을 분석하여 수평 브레이싱 적용의 적정성 및 적절한 다이아프램 간격 및 강성을 평가 하였다. 또한, 철도 및 고속철도교의 경우 동적거동 특성이 매우 중요한 사항이므로 수평브레이싱의 유무, 다이아프램의 형상 및 간격등을 변수로 한 모드 중첩법에 의한 동적해석을 수행하여 그 영향을 분석 평가하였다.

## 2. 수평브레이싱의 해석

### 2.1 수평브레이싱의 축력

#### (1) 휨모멘트에 의한 축력

휨모멘트에 의한 브레이싱의 축력은, Fan & Helwig의 이론식을 적용하면 다음과 같다.

$$\cdot X\text{형식 } D_{bend} = \frac{f_x s \cos \alpha}{K} \quad (1)$$

(여기서,  $K = \frac{d}{A_d} + \frac{2b}{A_s} \sin^2 \alpha$ )

$$\cdot SD\text{형식 } D_{bend} = \frac{f_x s \cos \alpha}{K} \quad (2)$$

(여기서,  $K = \frac{d}{A_d} + \frac{b}{A_s} \sin^2 \alpha + \frac{s^3}{2b^3 t_f} \sin^2 \alpha$ )

#### (2) 비틀림 모멘트에 의한 축력

Kollbrunner & Basler은 비틀림 모멘트에 의한 축력을 다음과 같이 제안했다.

$$\cdot D_{X1} = -D_{X2} = qb / (2 \sin \alpha) \quad (3)$$

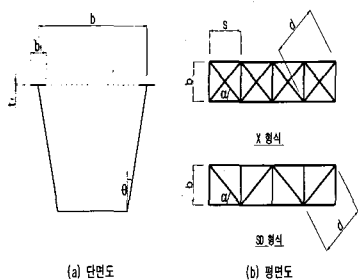


Fig. 1. 휨모멘트에 의한 축력 계산시 단면평면도

$$\cdot D_{SD} = \pm qb / \sin \alpha (\text{여기서, } q = \frac{T}{2A})$$

### 2.2 비틀림 응력의 제한

복선의 하중을 받는 철도교 교량에서 단선만 재하되었을 경우에는 편심하중이 발생하며 이 때의 편심하중은 휨-평형 관계에 의해 휨모멘트와 순수비틀림, 그리고 뒤틀림을 일으키게 된다(Fig. 3). 이때 순수비틀림과 뒤틀림에 저항하기 위하여 다이아프램과 브레이싱을 설치하여 충분한 강성을 갖게 한다.

AASHTO LRFD 시방서에는 비틀림응력에 대한 다이아프램이나 브레이싱의 설치간격이나 설치방법을 설계자의 주관에 맡기고 있다. 이것은 시공 후에 작용하는 하중에 대한 뒤틀림응력이 무시할 정도로 작고 아직까지 사용중에 과도한 단면비틀림이 발생하여 교량이 파손되거나 사용성에 영향을 미친 경우가 발견되지 않았기 때문이다. 하지만 상대적으로 뒤틀림응력이 큰 곡선교의 시방서에서 곡선교에서의 최대뒤틀림응력을 강도한계상태에서의 최대 휨응력의 10% 이내로 제한하고 있다.

이에 본 연구에서는 강도한계상태에서의 최대휨응력을 식 (4)처럼 사용강재의 허용응력으로 고려하였다.

$$\frac{\sigma_w}{\sigma_{sa}} \leq 10\% \quad (4)$$

여기서,  $\sigma_w$  : 비틀림응력

$\sigma_{sa}$  : 사용강재의 허용응력

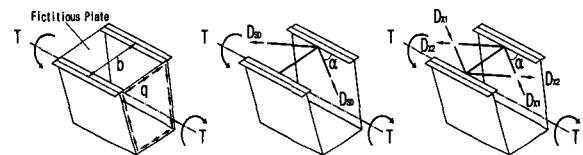


Fig. 2. SD형식과 X형식

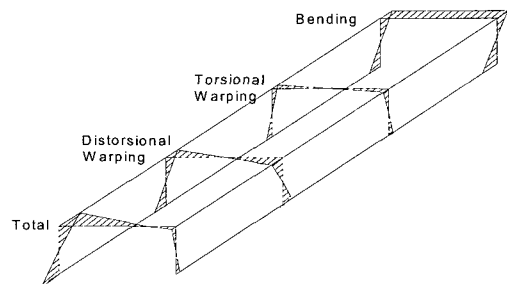


Fig. 3. I형강에 작용하는 응력성분들의 분포

### 3. 해석 모델

#### 3.1 대상교량

대상교량은 길이가 40m이고 교폭이 14m인 강-콘크리트 합성형 유도상 2거더 철도교로 기본적인 제원 및 단면은 Fig. 4와 같다.

#### 3.2 유한요소해석 모델링

##### (1) 모델링 개요

구조해석은 범용구조해석 프로그램인 LUSAS 13.5와 MIDAS Civil 6.1를 사용하였으며 유한요소 해석 모델은 Fig. 5와 같다. 부재별로 적용된 요소 및 재료 물성치는 Table 1 및 Table 2에 나타내었다.

자갈도상의 경우 이에 대한 정적해석을 수행한 경우 부가 사하중으로 합성후 사하중에 포함시킨 것 이고 동적해석시에는 해석모델을 그대로 표현하였다.

비틀림응력을 산정하기 위해서 우선 Fig. 5의 (1)과 같이 중앙부에 하중을 하중을 재하하여 휨모멘트에 의한 응력을 산정하고, 다음 Fig. 5의 (2)와 (3)과 같이 브레이싱이 있는 경우와 없는 경우에 대해 해석을 하여 그 차이를 계산해 각각의 경우에 대한 비틀림응력을 산정하였다. 한편, 응력검토 위치는 Fig. 6에 나타나 있는데 a와 b는 주거더 하부플랜지 중앙부를 나타내고 c~f는 각각의 브레이싱을 나타내고 있다.

##### (2) 동적해석

##### 1) Mode중첩법(Modal Superposition Method)

Mode 중첩법은 다자유계의 응답을 구하는 문제를 1자유

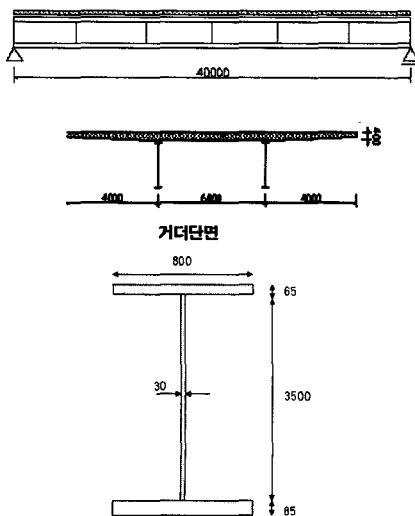


Fig. 4. 대상교량의 제원[단위:mm]

Table 1. 부재별 요소

	사용재료	요소
바닥판	콘크리트*	Thick shell / Solid
주거더	I형강(SM520)	Thick shell
다이아프램	I형강(SM490)	Thick shell
브레이싱	L형강(SM490)	Thick shell / Beam

\*콘크리트의 설계압축강도는 400kg/cm<sup>2</sup>

Table 2. 재료물성치

	탄성계수(kg/cm <sup>2</sup> )	포아송비	단위중량(t/m <sup>3</sup> )
콘크리트	300,000	0.17	2.50
강재	2,100,000	0.30	7.85

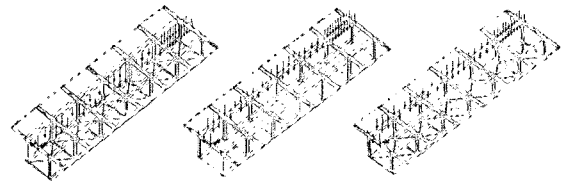
계의 응답을 구하는 문제로 전환시켜준다. 시간이력해석에서 사용된 동적 평형방정식은 다음과 같다.

$$[M]\ddot{u}(t) + [C]\dot{u}(t) + [K]u(t) = p(t) \quad (5)$$

여기서,  $[M]$  : 질량행렬  $[C]$  : 감쇠행렬

$[K]$  : 강성행렬  $p(t)$  : 동적하중

$\ddot{u}(t)$  : 가속도  $\dot{u}(t)$  : 속도  $u(t)$  : 변위



(1) 중앙재하 (2) 편측재하(무브레이싱) (3) 편측재하(브레이싱)

Fig. 5. 비틀림응력 산정을 위한 하중재하

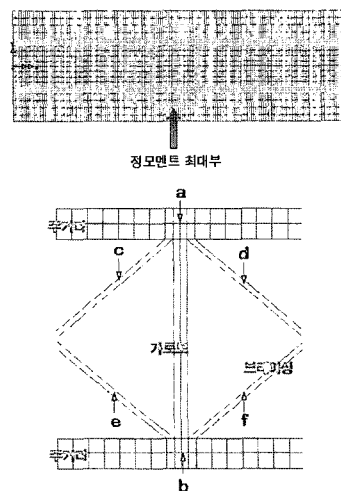


Fig. 6. 응력검토위치

시간이력해석은 구조물에 동적하중이 작용할 경우에 동적 평형방정식의 해를 구하는 것이다. 여기서는 시간이력해석을 위해 Mode 중첩법(Modal Superposition Method)이 사용된다.

구조물의 변위를 서로 직교성을 갖는 변위형상의 선형조합 형태로 구하는 방법으로 다음 식들과 같이 표현된다. 이 방법에서는 감쇠행렬이 질량행렬과 강성행렬의 선형조합으로 이루어질 수 있다는 가정을 전제로 한다.

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (6)$$

$$\phi^T M \phi \ddot{q}(t) + \phi^T C \phi \dot{q}(t) + \phi^T K \phi q(t) = \phi^T F(t) \quad (7)$$

$$m_i \ddot{q}_i(t) + c_i \dot{q}_i(t) + k_i q_i(t) = P_i(t) \quad (i=1,2,3,\dots,m) \quad (8)$$

$$u(t) = \sum_{i=1}^m \phi_i q_i(t) \quad (9)$$

$$q_i(t) = e^{-\xi_i \omega_{di} t} \left[ q_i(0) \cos \omega_{di} t + \frac{\xi_i \omega_i q_i(0) + \dot{q}_i(0)}{\omega_{di}} \sin \omega_{di} t \right] + \frac{1}{m_i \omega_{di}} \int_0^t P_i(\tau) e^{-\xi_i \omega_{di} (t-\tau)} \sin \omega_{di} (t-\tau) d\tau \quad (10)$$

여기서,  $\omega_{di} = \omega_i \sqrt{1 - \xi_i^2}$  (11)

$\alpha, \beta$ : Rayleigh 계수  $\xi_i$ : i 번째 모드의 감쇠비

$\omega_i$ : i 번째 모드의 고유주기  $\phi_i$ : i 번째 모드 형상

$q_i(t)$ : i 번째 모드에 의한 단위유도 방정식의 해

2) 동적해석의 조건

차량의 주행속도와 주행로 경로, 지간의 길이에 의해 차량의 도달시간(Arrival Time)을 결정하고, Time Factor 및 Scale Factor로부터 KTX 열차하중을 따르게 하였다. 주어진 모델은 정적해석을 통한 브레이싱 형식, 다이어프램의 간격, 다이어프램의 강성 등을 통한 적합한 모델을 선정하여 사용하였다. 본 동적해석의 특징은 기존의 고속철도의 동적해석이 단순한 격자모델이나 쉘-빔모델인 것에 비해, Solid(바닥판)-Shell(주거더 및 다이어프램)요소를 이용하여 전체구조를 그대로 표현함으로써 질량 참여율을 높이고 고속철도 주행에 따른 교량의 정확한 동적거동특성이 좀 더 정확하게 고려된 점이다.

교량의 동적거동에 영향을 줄 수 있는 변수로 지간, 브레이싱유무 및 강성, 다이어프램의 형상, 다이어프램의 간격을 적용하였다.

이동하중에 의한 교량의 공진 문제를 다루는 경우에 실제적인 감쇠는 구조물에 따라 다르고 그 값은 실험에 의하여 구할 수가 있다. 감쇠가 크면 구조물의 응답이 현저하게 감소한다. 본 논문에서는 일반적으로 강-콘크리트 합성거더 경우의 적정 감쇠비인 2%를 적용하였다.

한국형 고속전철(이후 KTX)은 대표적으로 Fig. 8과 같은 2량의 동력차와 2량의 동력객차 그리고 16량의 객차로 구성(2PC+2MT+16IT)된다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 각 대차 밑에 위치한 차륜하중은 그 간격이 3m이고 이러한 대차들간의 간격( $S_{eff}$ )은 18.7m의 대표 값을 갖고 있다. 동력차와 객차는 그 축하중에는 거의 차이가 없으나 차륜의 분포가 달라서 동력차와 모터차 사이에 가장 큰 하중이 분포하게 된다. 그러나 반복적인 하중의 효과는 객차의 경우와 유사한 18.7m 정도의 타격간격을 갖는다고 볼 수 있다. 이러한 일정한 타격간격은 그 지나가는 속도와 더불어 교량에 타격진동수로 작용하게된다. 이를 적용하여 동적해석을 수행하였다.

4. 해석 결과

4.1 정적해석

(1) 수평브레이싱부재 축력

수평브레이싱은 휨과 비틀림을 동시에 받으며, 그 해석값을 Table 3에서 Kollbrunner & Basler과 Fan & Helwig의

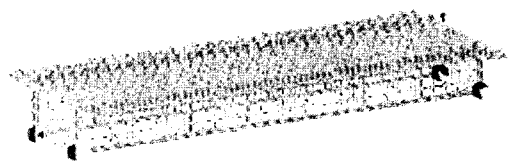


Fig. 7. 유한요소해석 모델(동적해석)

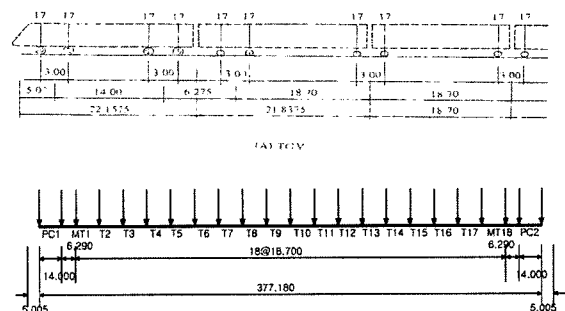


Fig. 8. KTX 열차하중

제안식을 비교하여 나타내었다. 휨모멘트에 의해 생기는 축력은 거의 일치하였으나, 비틀림모멘트에 의해 생기는 축력은 c, d의 경우 구조해석결과가 약 10% 크고 e, f의 경우 25%정도 작은 값이 산정된 것으로 보아 설계 시 제안식 적용에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

(2) 수평브레이싱 형식별 영향 평가

당연히 X형식의 경우 비틀림 응력이 적게 발생하는 것으로 나타났으나, 2배의 단면을 사용한 효과는 그대로 나타나지 않는 것으로 보인다. 따라서, 수평브레이싱을 설치할 경우 SD형식을 적용하는 것이 더 경제적으로 보이며, 수평브레이싱을 설치하지 않은 경우에도 응력비의 제한치인 10%보다 작은 값이 발생되는 것으로 보아 수평브레이싱을 설치하지 않아도 비틀림응력에 대한 제어가 충분히 가능한 것으로 판단된다.

(3) 다이아프램 간격 및 강성별에 따른 영향 평가

일반적으로 수평 브레이싱의 간격은 다이아프램의 간격에 의해 좌우된다. 따라서 다이아프램의 간격과 강성이 비틀림에 의해 발생하는 응력에 미치는 영향을 살펴보기 위해 구조해석을 수행하였으며, 이 때 다이아프램의 강성의 변화는 복부판의 두께의 변화와 중복식 다이아프램의 면적의 변화 등을 통해 조정하였다.

Table 3. 브레이싱 부재의 축력(kgf)

	Dbend		Dx	
	구조해석	제안값	구조해석	제안값
c	11326.4	11408.5	-17171.6	-15700.7
d	11387.4			
e	11328.5			
f	11411.7		12281.7	15700.7

Table 4. 브레이싱 유무와 형식 · 강성에 따른 비틀림 응력비 검토

강재치수 (mm)	단면적 (cm <sup>2</sup> )	X 형식		SD 형식	
		비틀림 응력 (kg/cm <sup>2</sup> )	응력비 (%)	비틀림 응력 (kg/cm <sup>2</sup> )	응력비 (%)
No Bracing	0	142.73	7.32	142.73	7.32
L75×75×6	8.64	120.49	6.18	129.68	6.65
L100×100×10	19.00	100.25	5.19	116.60	5.98
L150×150×15	42.75	73.49	3.77	93.87	4.81
L200×200×20	76.00	52.32	2.68	72.35	3.71
L250×250×25	118.75	37.47	1.92	54.20	2.78

다이아프램 간격에 대한 브레이싱이 없는 경우의 주거더가 받는 비틀림 응력이 Fig. 10에 나타나 있는데 다이아프램을 11개 설치한 경우와 3개 설치한 경우의 비틀림응력 차이가 약 5%이내인 것으로 보아 다이아프램 간격을 10m 정도로 설계해도 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

중복식 다이아프램의 복부판 두께를 1.5~3.0cm로 변화시켜가면서 구조해석을 수행한 결과를 Fig. 11에 단면의 형상 및 설치위치를 변화시켜 해석한 결과를 Fig. 12에 나타내었다.

중복식 다이아프램의 복부판 두께만을 변화시킨 경우의 해석결과, 두께에 따른 영향은 거의 나타나지 않았으나, 형상 및 설치위치에 따른 해석 결과는 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 중복식인 Full Model의 경우가 당연히 가장 효과적인 것으로 나타났으나 경제성등을 고려할 때 Half Model의 다이아프램 설치로도 비틀림 응력에 대한 제어가 충분한 것으로 보이며 다음의 (4) 및 (5)에서는 이 경우에 대한 해석결과를 검토하였다.

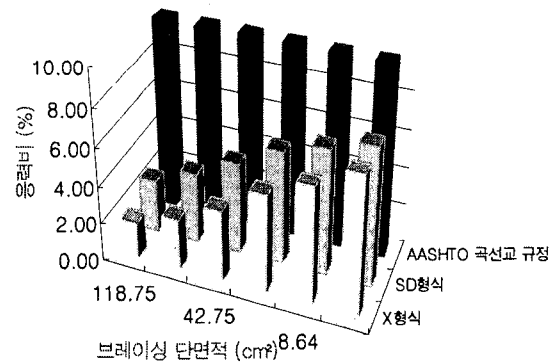


Fig. 9. 수평브레이싱 유무와 형식 · 강성에 따른 비틀림 응력비 검토

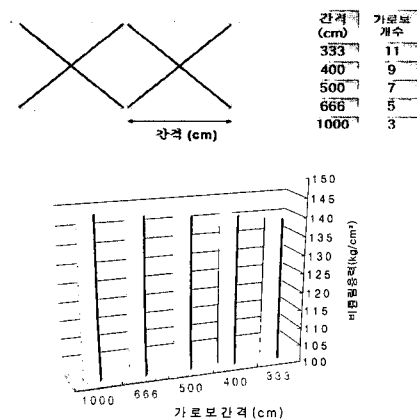


Fig. 10. 다이아프램 간격에 따른 비틀림 응력



추측할 수 있다.

$$S_{eff} \times \omega \times 3.6 = 18.7 \times 4.41 \times 3.6 = 297 \quad (12)$$

Fig. 14의 DMF으로부터 대상교량의 공진현상은 300km/h에 나타나는 것을 확인할 수 있다. Fig. 15에는 100km/h, 200km/h, 300km/h 그리고 400km/h의 동적반응을 나타내고 있다. KTX 열차는 2량의 동력차와 2량의 동력객차 그리고 16량의 객차로 구성(2PC+2MT+16IT)되어 동력차가 지나갈

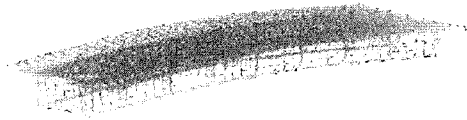


Fig. 13. 임계고유진동수의 11 Mode형상

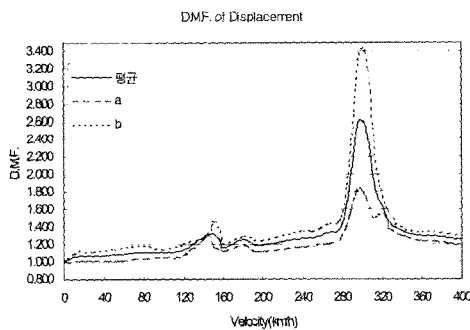


Fig. 14. 처짐에 따른 동적증폭계수

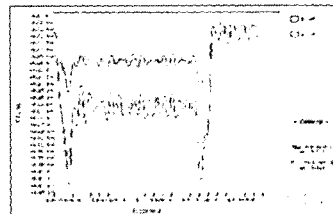
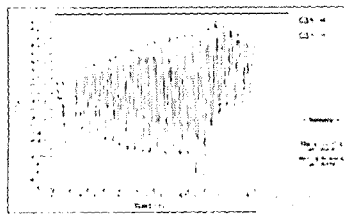
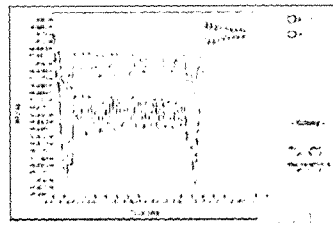
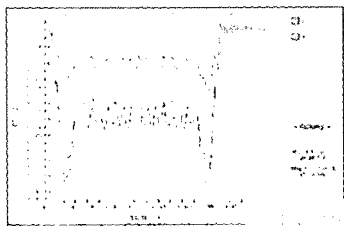


Fig. 15. 주요속도별 하부플랜지 수직처짐

때는 그 값이 크게 튀는 것을 알 수 있다.

하지만 공진이 발생하는 300km/h에서는, 계속하여 진폭이 커지고 열차가 지나간 후에도 큰 진폭이 남아있는 것을 확인할 수 있다. 이는 KTX 열차의 운행속도가 300km/h이므로 주행 안정성이 떨어져 승차감의 저하와 구조물의 수명을 단축시킬 우려가 있으며 결과적으로 붕괴까지의 위험이 따를 수 있다.

(2) 변수에 따른 해석 결과

교량의 동적거동에 영향을 줄 수 있는 변수를 지간, 수평 브레이싱유무 및 강성, 다이어프램의 형상(Table 9), 다이어프램의 간격으로 적용하여 순서대로 표와 그래프로 나타내 보았다. 그리고 실제하중이 작용할 수 있는 왕복하중을 적용시켜 영향을 분석 평가 하였다.

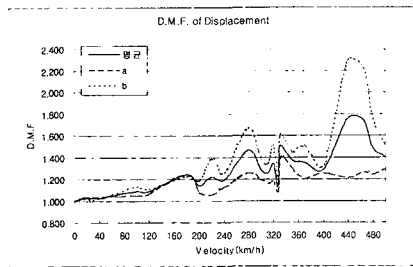
Table 8과 Fig. 16에 나타난 바와 같이 지간길이가 길어질수록 고유진동수는 작아지고 공진발생속도가 작아지는 일반적인 경향을 볼 수 있으며 대상교량인 40m 교량의 경우 예측한대로 300km/h의 속도에서 공진이 발생함을 알 수 있다.

Table 8. 지간별 공진발생 예상 속도

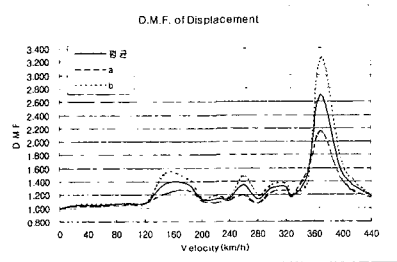
지간길이	Frequency (cycle/sec)	공진발생 예상속도(km/h)
30m	6.9	465
35m	5.476	369
40m	4.41	297
45m	3.553	239
50m	2.957	200

다이아프램의 강성 및 설치 위치에 따른 영향을 평가하기 위해 Table 9에 나타난 바와 같이 10개 경우에 대해 다이아프램의 형상 및 위치를 변화시키면서 해석을 수행하였다.

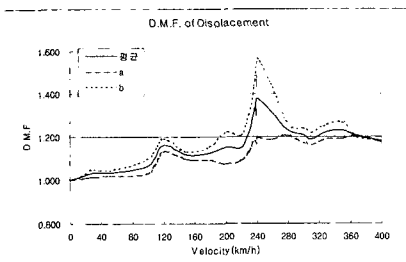
case10 경우인 full 형상에서의 경우 처짐이 가장 적게 일어나는 것을 알 수 있다. 그러나, 처짐이 가장크게 일어나는 case 6(center-half)의 경우에도 Table 10 동적해석 검토사항에는 충분히 만족하는 것을 알 수 있다.



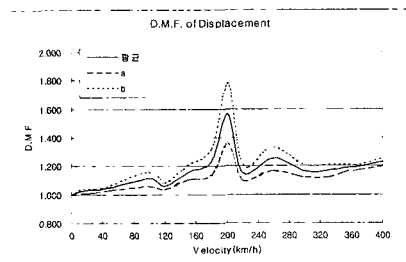
(a) 30m



(b) 35m



(c) 45m



(d) 50m

Fig. 16. 시간별 수직처짐에 따른 동적증폭계수

Fig. 18 및 Fig. 19는 각각 수평브레이싱의 설치 유무 및 강성 변화에 따른 동적영향 및 다이아프램 간격에 따른 동

Table 9. 다이아프램형상 및 설치 위치

case1		case6	
case2		case7	
case3		case8	
case4		case9	
case5		case10	

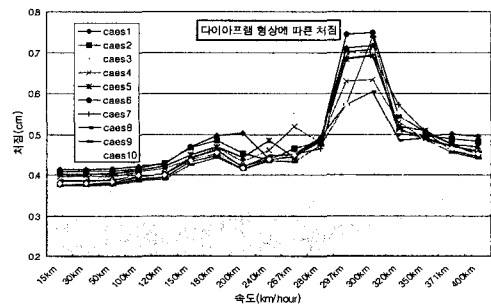


Fig. 17. 다이아프램 형상에 따른 처짐값 비교

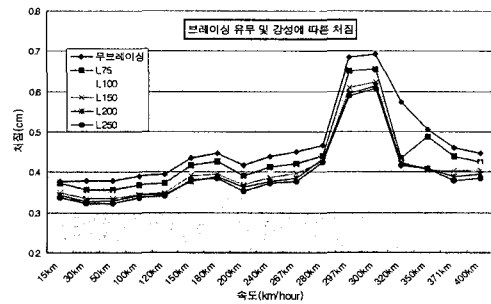


Fig. 18. 브레이싱 유무와 강성에 따른 처짐값 비교

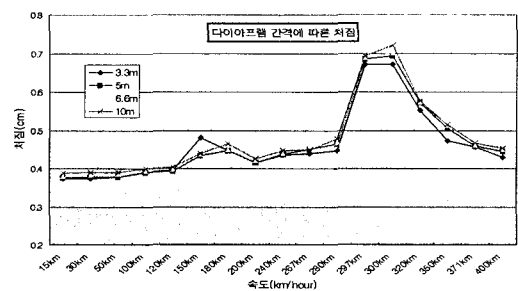


Fig. 19. 다이아프램 간격에 따른 처짐값 비교



Table 10. 동적해석 검토사항(BRDM)의 비교검토

동적거동의 변수	공진발생속도 (km/h)	수직 처짐 (cm)	수직가속도(g)	단부회전각(rad)
지간(40M)	297	0.686	0.241	$4.523 \times 10^{-4}$
다이아프램형상(center-half)	296	0.744	0.308	$4.85 \times 10^{-4}$
브레이싱 유무와 강성(무)	297	0.686	0.241	$4.523 \times 10^{-4}$
다이아프램 간격(10M)	299	0.693	0.244	$4.593 \times 10^{-4}$
BRDM 허용치기준	-	L/4000	$a_{max} \leq 0.35$	$\theta_{max} \leq 5 \times 10^{-4}$
BRDM 허용치	-	1.0	0.35	$5 \times 10^{-4}$

적거동 변화를 나타내고 있는데, 수평브레이싱을 설치하지 않은 경우 가장 강성이 큰 브레이싱을 설치한 경우보다 10% 정도 큰 처짐이 발생되는 것으로 나타났으나, 수평브레이싱이 없어도 큰문제가 없는 것으로 보이며, 다이아프램 간격의 경우 약간의 차이는 있으나 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 18과 Fig. 19에서 브레이싱 유무와 강성, 다이아프램 간격은 각각의 경우 약간에 차이만 있을 뿐 경향이 크게 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다.

(3) 동적해석 허용기준 검토사항(SYSTRAS)

기존에 설계된 대상교량에 대해 다이아프램의 형상 및 수평브레이싱을 설치하지 않은 경우에 대해 한국고속철도교량 동적해석 검토사항인 BRDM(Bridge Design Manual)의 조건을 만족하는지 비교한 결과를 Table 10에 나타내었다.

각 변수들의 가장 불리한, 처짐이 가장 많이 발생하는 경우의 공진발생속도에서 동적해석 검토사항을 모두 만족하는 것을 알 수 있다. 이는 처음 서론에서 언급한 구조감쇠 능력이 상대적으로 낮아 철도교 및 고속철도에 적극적으로 채택되지 못하던 강-콘크리트 합성거더교가 수평브레이싱을 제거하고, 다이아프램 간격을 현격히 늘린 경우에도 고속철도교의 처짐 및 진동 제한 규정을 충분히 만족시키는 것으로 나타났다.

5. 결론

2거더 강-콘크리트 합성형 철도교의 거동에 대한 수평브레이싱 및 다이아프램등 2차 부재의 영향평가를 위해 여러 변수를 적용한 정적, 동적 구조해석을 수행하여 수평브레이

싱의 적용 유무 및 다이아프램의 강성 및 설치위치에 대한 적정성을 분석 평가하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 수평브레이싱 설계를 위한 제안식의 값은 정상적인 구조해석 결과와 10~25% 차이를 보여, 수평브레이싱 설계시 제안식 적용에 주의를 기울여야할 것으로 판단된다.
- (2) 수평브레이싱이 비틀림응력 및 횡하중에 의한 응력을 제어하는 역할을 일정부분 하고 있으나, 가로보 또는 다이아프램만으로도 이에 대한 제어가 충분하며, 수평브레이싱을 설치하지 않는 경제적인 설계가 가능한 것으로 나타났다.
- (3) 완성된 교량의 경우 콘크리트 바닥판의 강성이 상대적으로 매우 커서, 다이아프램의 간격 및 강성이 비틀림응력의 발생에 미치는 영향이 매우 적어, 한 쪽으로 치우친 콘크리트 타설 등 시공과정 중에 발생하는 비틀림을 조절할 수 있다면 현재의 다이아프램 간격 기준을 현저히 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- (4) 다이아프램의 단면의 크기 및 형상이 비틀림응력 제어에 미치는 영향은 미비하나, 동적해석 결과로 볼 때 주 거더 하단부에 집중 배치하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다.
- (5) 동적해석결과 지간길이를 제외한 수평브레이싱의 강성 및 다이아프램 간격등은 동적거동에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

연구결과 2차 부재를 최소화한 2거더 강-콘크리트 합성형 교가 철도 및 고속철도교에도 충분히 적용가능함을 알 수 있었으며, 향후 동적특성을 향상시키고 더욱 경제적인 설계가 가능한 이중합성 소수거더교등에 대한 연구가 이루어진다면 2거더 합성형 철도교의 적용이 증대될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2004년 국민대학교 교내연구비 지원사업에 의한 연구결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Bridge Design Manual(BRDM) Final Report (Systra)
2. 최규홍(2003), "소수거더 철도교량에서의 수평브레이싱의 역할" 국민대학교 석사학위 논문
3. 포항산업과학연구원(1998) "고속철도 강합성교량 타당성검토"

4. 한국건설기술연구원(1998), “고속전철 교량기술 세미나” 건설 기술 연구발표회
5. John M.Biggs(1982), “Introduction to Structural Dynamics”
6. 대한토목학회(2003), “철도설계기준(철도교편).”
7. 철도청(2003), “철도설계편람 제5편 강철도교량(안).”
8. 포항산업과학연구원(1998), “고속철도 합성형교량 설계요령.”
9. 장승필, 곽종원, 김성일(1998), “TGV-K의 3차원 모델링을 이용한 강합성형 철도교의 이동하중해석,” 대한토목학회·1998년도 학술발표회 논문집.
10. Dr Wasoodev HOORPAH(2003), “New trends in Steel Bridge Design and Construction in France,” 제12회 철강이용기술발표회 논문집.