

# 파형 복부판을 가진 플레이트거더의 순수비틀림상수 분석

## Analysis of Pure Torsional Constant of I-Girder with Corrugated Webs

전진수\* · 김성남\*\* · 유재홍\*\*\* · 강영종\*\*\*\*

Jeon, Jin Su · Kim, Sung Nam · Yoo, Chai Hong · Kang, Young Jong

### Abstract

Resistance to lateral torsional buckling of steel I-girder (open section) is a very important design requirement. But, most studies of steel I-girder with corrugated webs were invested in shear behavior. Until now, most studies about Lateral torsional buckling of I-girder with corrugated webs have been based on Lindner.J's study (Lateral torsional buckling of beamswith trapezoidally corrugated webs,1990). the study includes that the pure torsional constant of I-girder with corrugated webs  $J_{cor}$  doesn't different from that of I-girder with flat webs. This paper pesents pure torsional constant of I-girder with corrugated webs by using finite element anaysis.

**key words** : Corrugated Web, Torsional constant

### 1. 서 론

파형강판은 기하학적 형상으로 인해 높은 면외 방향으로의 강성을 갖는다. 그리하여 전단에 대해서 높은 저항력을 발휘하게 된다. 이는 추가적인 수직, 수평 보강재의 사용을 감소시켜주는 역할을 하게 되어 시공을 좀 더 단순화시켜준다. 또한 복부판을 박판으로 제작 가능하게 하여 자중을 감소시켜주어 장시간 구조물에의 적용을 가능하게 하는 장점을 가지고 있다. 또한 파형 복부판을 사용할 경우 accordion 효과로 인하여 복부판은 전단력만을 부담하고 플랜지에 의해서 힘을 부담하게 된다. 즉, 파형 복부판은 교축 방향으로의 강성이 거의 없어지게 되어 프리스트레스의 손실을 적게 해준다. 이로 인해서, 파형 강판을 복부판으로 하는 PSC 합성교량에의 적용을 가능하게 한다. 그러나, 이러한 장점에도 불구하고 파형강판 복부판의 설계에 있어서 기존의 고전적인 이론을 사용함으로써 그 거동을 정확하게 묘사하는데 한계를 보이고 있을 뿐만 아니라, 현재 수행되어진 많은 연구들에 있어서도 실제와는 전혀 다른 결과들을 내놓고 있는 실정이다.

### 2. 본 론

파형 복부판을 갖는 플레이트거더의 횡비틀림 강도 산정에 필요한  $J_{cor}$ 를 찾기 위하여 순수비틀림상태에서의 유한요소해석을 수행하였다.

#### 2.1 해석 프로그램 및 하중·경계 조건

해석은 범용 구조해석프로그램인 ABAQUS v6.6을 이용하였으며, 요소는 각 요소 당 8절점 5자유도를 갖는 Shell 요소인 S8R5를 사용하였다. 재료적 성질로는 탄성계수  $E=200\text{Gpa}$ , Poisson's Ratio=0.3으로 하였다.

---

\* 비회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 · 석사 · E-mail : chins@korea.ac.kr  
\*\* 정회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 · 박사과정  
\*\*\* 비회원 · Auburn University 토목공학과 · 명예교수  
\*\*\*\* 정회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 · 교수

표 1. 매개변수 및 매개변수 범위

$w$ (mm)	$h$ (mm)	기타 (mm)
300	0	$B = 400$ $t_f = 20$ $H = 600$ $t_w = 12$ $L = 6000$
	30	
	40	
	50	
	60	
	70	
	80	
	90	
	100	

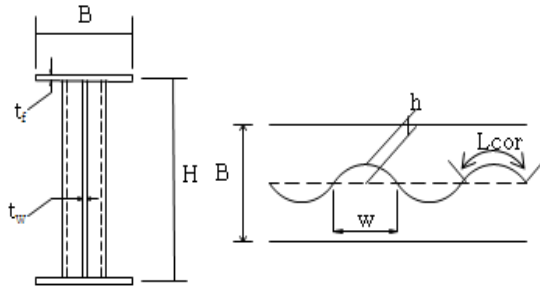


그림 1. 해석 모델의 제원

파형의 형상을 고려할 수 있도록 파형의 반주기( $w$ )는 300mm로 고정하고 파고( $h$ )를 0mm~100mm까지 하여 총 9개의 해석을 수행하였다. 나머지 모델 제원에 대해서는 위의 표 1에 나타내었다.

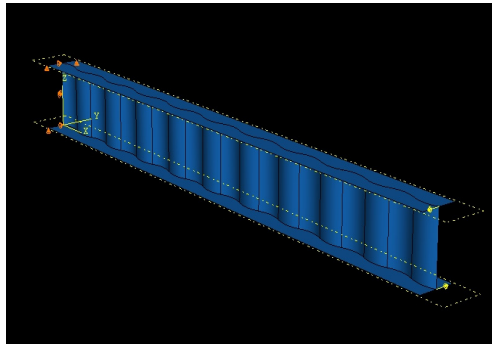


그림 2. Loading and B.C (h=30mm)

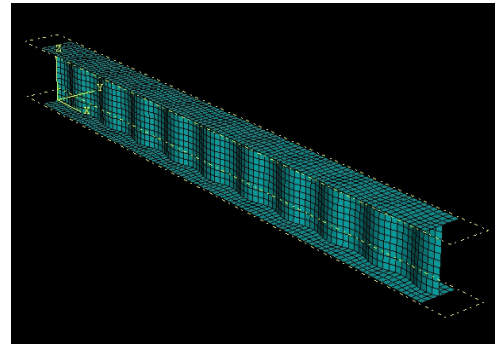


그림 3. 해석모델의 Mesh 형상 (h=30mm)

그림 2에서 볼 수 있듯이 하중은 그림의 오른쪽면 복부판과 플랜지가 만나는 두 지점에 집중하중으로 각각 1KN, -1KN을 제하여 비틀림하중을 발생시켰고, 경계조건은 그림의 왼쪽면 플랜지의 양끝단 4지점에는  $z$ 방향의 병진변위를, 복부판의 상하 2지점에는  $y$ 방향의 병진변위를 복부판의 중앙 지점에는  $x, y$ 방향으로의 병진변위를 구속하여 순수비틀림상태를 만들어주었다. 그리고 그림 3에서 볼 수 있듯이 플랜지에서 복부판의 파형을 고려할 수 있게 Mesh의 형상을 결정하였다.

## 2.2 해석 결과

여기서, 회전각  $\phi$ 를 구하기 위해서 복부판과 상부플랜지가 만나는 지점에 0~6000mm까지 600mm의 일정한 간격으로 횡방향변위( $u_2$ )를 측정, 삼각비를 이용하여 회전각을 구하였다. 이때 나타나는  $z-\phi$  관계는 그림 5와 같다. 그림 4를 통해 직선의 기울기 즉,  $\phi' = 2.90270 \times 10^{-6}$ 을 아래의 식 1에 대입하여  $J_{cor}$ 를 구할 수 있다.

$$J_{cor} = \frac{M_z}{G\phi'} = \frac{1000 \times 600}{76900 \times 2.90270 \times 10^{-6}} = 2687960 \text{ mm}^4 \quad (1)$$

나머지 모델에 대해서도 위와 동일한 방법으로 해석을 수행하였다. 해석 결과는 아래의 표 2와 같다.

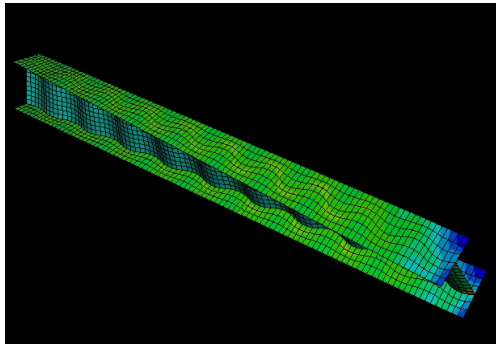


그림 4 파형플레이트거더의 순수비틀림 변형형상 (h=30mm)

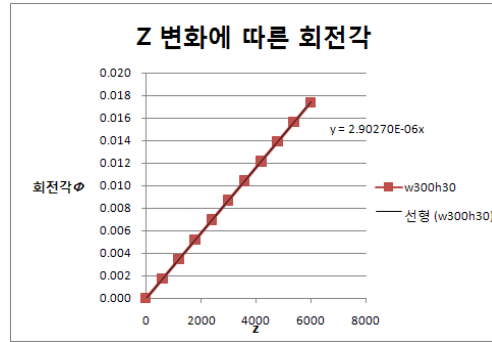


그림 5 순수비틀림상태에서의 z-ϕ 관계 그래프 (h=30mm)

표 2 파형의 형상에 따른  $J_{cor}$  변화

$h(mm)$	$\phi' (rad)$	$J_{cor}(mm^4)$	$J_{cor}/J_{flat}$
0 (flat)	$3.18097E-6$	2452878.049	1
30	$2.90270E-6$	2687959.728	1.096
40	$2.70898E-6$	2880176.562	1.174
50	$2.49243E-6$	3130415.178	1.276
60	$2.27130E-6$	3435187.207	1.400
70	$2.03983E-6$	3824995.564	1.559
80	$1.81872E-6$	4290017.541	1.749
90	$1.63327E-6$	4777128.523	1.948
100	$1.44796E-6$	5273277.036	2.150

해석 방법의 검증을 위하여 평판일 때의 해석적  $J_{flat}$  값을 이론적으로 구한  $J_{flat-theo.}$  값과 비교해보면,  $J_{flat-theo.} = \frac{1}{3} \{2Bt_f^3 + (H-t_f)t_w^3\} = 2467413mm^4$  로 대략 0.59%의 차이를 보여 그 값을 충분히 신뢰할 수 있다는 판단을 하였다. 위의 표2 에서 알 수 있듯이 파고가 커질수록 그에 따라  $J_{cor}$  역시 커지며, 해석 모델 중 파고가 최대(h=100mm)인 경우는 평판플레이트거더에 비해 2배 이상의  $J_{cor}$ 를 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.

표 3  $L_{cor}/w$  와  $t_{web-eff}/t_{web}$  과의 관계

$h$ (mm)	$L_{cor}$ (mm)	$L_{cor}/w$	$t_{web-eff.}$ (mm)	$t_{web-eff.}/t_{web}$
0 (flat)	300	1	12	1
30	314.4419	1.04814	14.20904	1.18409
40	325.2315	1.08410	15.69065	1.30755
50	338.5990	1.12866	17.27725	1.43977
60	354.2527	1.18084	18.88362	1.57363
70	371.9040	1.23968	20.60641	1.71720
80	391.2828	1.30427	22.34395	1.86199
90	412.1453	1.37382	23.91335	1.99277
100	434.2778	1.44759	25.32435	2.11036

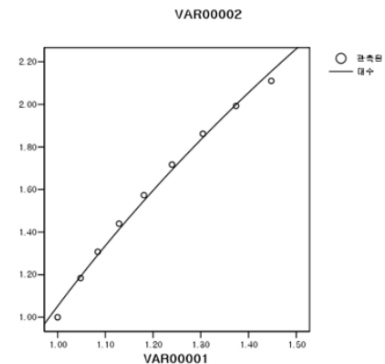


그림 6  $L_{cor}/w$ 와  $t_{web-eff}/t_{web}$ 의 회귀분석 그래프

$J_{cor}$ 를 제안식으로 나타내기 위해서 파형의 형상을 가장 잘 나타낼 수 있는 변수로  $L_{cor}/w$ 를 정하였다.  $L_{cor}$ 에 대한 정의는 그림 1에서 확인할 수 있다. 이 결과를 표3에 나타내었다.

여기서,

$$L_{cor} = \int_0^{300} \sqrt{1 + \left(\frac{h\pi}{300}\right)^2 \cos^2 \frac{\pi}{300} x} dx \quad \text{when } y = h \sin \frac{\pi}{300} x$$

$$t_{f-eff.} = \sqrt[3]{\frac{3J_{web}}{H-t_f}} \quad ( J_{web} = J_{cor} - J_{flange} \quad \text{where, } J_{flange} = \frac{2}{3} B t_f^3 = 2133333.333 mm^4 )$$

그림 6을 통해서 나타난 제안식은 다음과 같다.

$$t_{web-eff.} = \alpha \times t_{web} \quad \text{where, } \alpha = 2.98 \ln \left( \frac{L_{cor}}{w} \right) + 1.00$$

이 제안식을 이용하면 복부판이 파형인 경우도 일반 평판플레이트거더와 마찬가지로 순수비틀림상수를 산정할 수 있다. 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$J_{cor} = \frac{1}{3} \{ 2B t_f^3 + (H-t_f) t_{web-eff.}^3 \}$$

### 3. 결 론

Lindner.J(1990)에 의해 제안된  $J_{cor} = J_{flat}$ 이란 이론은 수정되어야 한다. 파형의 형상이 커짐에 따라 순수비틀림상수  $J_{cor}$  역시 커지는 것으로 나타났고, 해석 모델 중 파고가 최대(h=100mm)인 경우, 평판플레이트거더에 비해 2배 이상의  $J_{cor}$ 을 갖는 것으로 확인되었다.

#### 감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Lindner.J(1990). "Lateral torsional buckling of beams trapezoidally corrugated webs", Stability of Steel Structures, Budapest, Hungary.
2. Sayed-Ahmed(2005). Lateral torsion-flexure buckling of corrugated web steel girders", Structures & Building.
3. G.Queiroz(2006). "Lateral-torsional buckling of sinusoidally-corrugated web beams", Stability and Ductility of Steel Structures.
4. 이종원(2005). "기하학적 특성을 고려한 제형 파형강판 복부판의 연성 전단 좌굴", 고려대학교 학위논문.