

# 편심하중이 작용하는 제형 다실박스거더에서의 거동분리연구

## A study of decomposition of applied eccentric load for multi-cell trapezoidal box girders

김승준\* · 한금호\*\* · 박남희\*\*\* · 강영중\*\*\*\*

Kim, Seung Jun · Han, Keum Ho · Park, Nam hoi · Kang, Young Jong

### ABSTRACT

Thin-walled multicell box girders subjected to an eccentric load can be produced the three global behaviors of flexure, torsion, and distortion. Specially in railway bridges subjected to much eccentric load, it is quite important to evaluate influences of torsion and distortion. But it is very difficult to evaluate each influences of major behaviors numerically. If we can decompose an eccentric load  $P$  into flexural, torsional, and distortional forces, we can execute quantitative analysis each influences of major behaviors. Decomposition of Applied Load for Thin-walled Rectangular multi-cell box girders is reserched by Park, Nam-Hoi(Development of a multicell Box Beam Element Including Distortional Degrees of Freedom, 2003). But researches about trapezoidal multi-cell section is insufficient. So, this paper deals with multi-cell trapezoidal box girders. An expanded method, which is based on the force decomposition method for a single-cell box girder given by Nakai and Yoo, is developed herein to decompose eccentric load  $P$  into flexural, torsional, and distortional forces. Derive formulas by decomposition of eccentric load is verified by 3D shell-modelling numerical analysis.

### 1. 서 론

편심하중이 작용하는 제형 다실박스거더에서는 휨 거동 이외에 비틀림 및 뒤틀림이 발생하게 되고, 비틀림과 뒤틀림거동에 의해서 박스거더에서는 뒤 법선응력이 추가적으로 발생하게 된다. 특히 철도교와 같이 편하중의 재하가 많은 구조체에서는 휨응력 이외에 발생하는 비틀림 및 뒤틀림 뒤 법선응력의 정량적인 해석이 매우 중요하다. 하지만 이러한 각각의 주요거동들이 미치는 영향

---

\* 학생회원·고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 석사과정·E-mail:rock\_smell@hanmail.net

\*\* 정회원·고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 박사과정·E-mail:stenginee@hotmail.com

\*\*\* 정회원·고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 연구조교수·공학박사·E-mail:nhpark@mail.korea.ac.kr

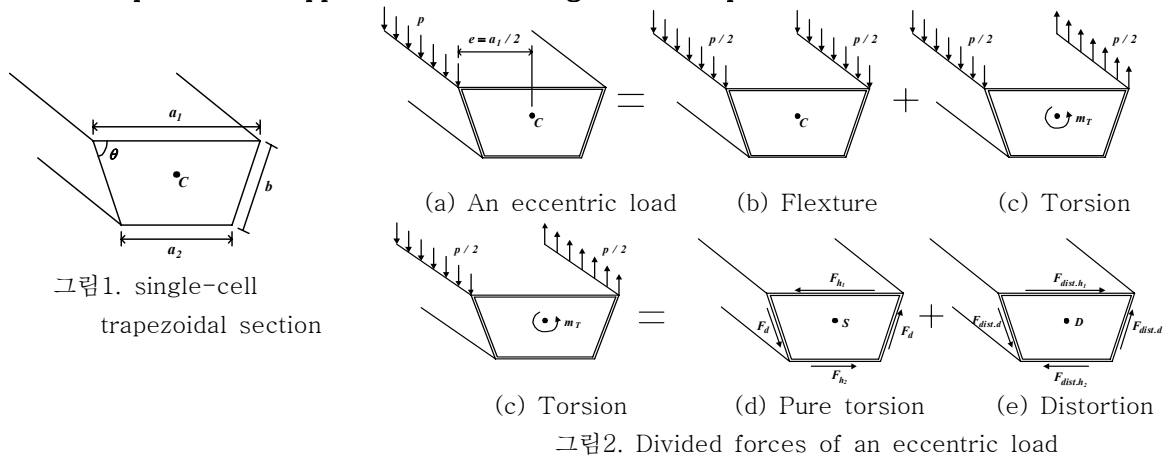
\*\*\*\* 정회원·고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수·공학박사·E-mail:nhpark@mail.korea.ac.kr

을 정량적으로 알아내는 것은 쉬운 문제가 아니다. 그런데, 이 편심하중을 각각의 주요 거동을 유발하는 하중상태로 분리가 가능하다면, 각각의 하중으로 수치해석을 함으로서 이 세 주요 거동이 미치는 영향을 정량적으로 산출할 수가 있게 된다. 직사각의 Thin-walled multicell box girders에서의 편심하중의 분리연구는 박남희 등(2002)에 의해 수행되었지만 제형단면을 갖는 다실박스거더에서의 편심하중분리는 많은 연구가 이루어지지 않았기에 본 논문에서는 이 부분에 대한 연구를 다루게 된다. 본 논문에서 하중분리식을 유도함에 있어서 expanded method(Nakai & Yoo의 force decomposition 방법을 확장한 방법)를 응용하였다. 이 expanded method는 평형조건을 이용하여 편심하중을 휨 하중, 비틀림 하중, 뒤틀림 하중으로 각각 분해(decomposition)하는 방법이다. 개발한 하중 분해 방법은 다실박스거더의 각 거동의 분해를 야기시킴으로 인해, 결국 뒤틀림만의 독립적인 고려를 가능하게 해준다.

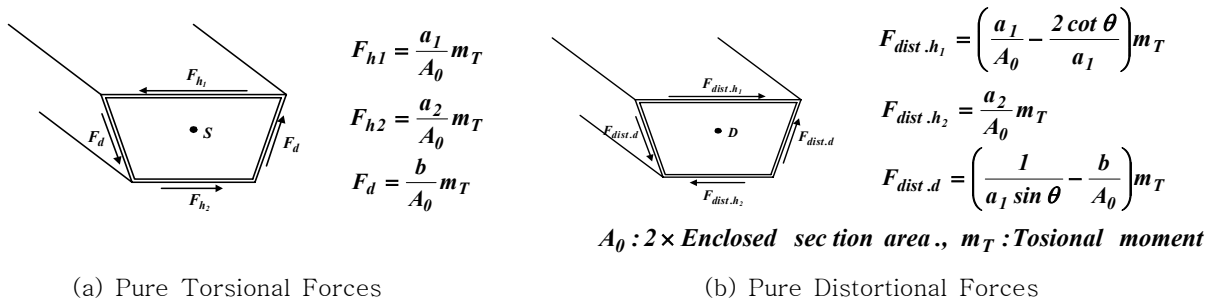
## 2. 하중분리식의 유도

제형 박스거더에 작용하는 편심하중  $P$ 는 크게 순수 휨을 유발하는 하중, 순수 비틀림을 유발하는 하중, 그리고 순수 뒤틀림을 유발하는 하중으로 분리할 수 있다. 이 하중식의 분리는 기본적으로 Force-equilibrium을 기본 개념으로 하고 있다.

### 2.1 Decomposition of Applied Load For single-cell Trapezoidal Box Girder



위와 같은 제형 단실박스 거더에서의 편심하중  $P$ 의 분리는 Dabrowski(1968)에 의해 제안되었다. Pure Torsional Force식의 유도는 우선, 각 element에는 일정한 전단류(constant shear flow)가 작용한다는 조건과 유도된 힘이 이루는 모멘트의 합은 Torsional Moment  $m_T$ 와 같다는 조건을 이용하여 유도할 수 있고, Pure Distortional Force는 단면에 작용하는 하중은 힘의 평형을 이루어야 한다는 조건과, 유도된 Pure Torsional Force와의 중첩(Superposition)의 결과는 그림 2에서 보여주는 Torsional force(c)와 같아야 한다는 조건이다. 이를 이용하여 유도된 식이 그림3에 나타나 있다.



(a) Pure Torsional Forces

(b) Pure Distortional Forces

그림3. Pure Torsional Forces and Pure Distortional Forces  
(Single-cell Trapezoidal box section)

## 2.2 Decomposition of Applied Load For two-cell Trapezoidal Box Girder

Two-cell Trapezoidal Box Girder에서의 편심하중의 분리는 그림 5와 그림 6과 같이 분리가 가능하다. Two-cell에서는 Pure-Distortion의 모드가 2가지가 나온다. 첫째모드는 비틀림하중(torsion)을 순수비틀림과 순수뒤틀림(1차)으로 분리할 때의 것이고, 두 번째모드는 편심하중상태를 순수휨, 비틀림으로 분리하고, 이 둘의 합과 편심하중의 차이로 인해 유도되는 순수뒤틀림하중상태가 있는데, 이를 2차 순수뒤틀림으로 정의할 수 있다.

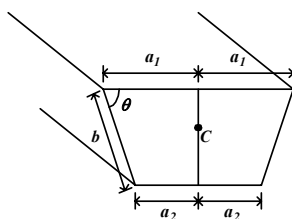
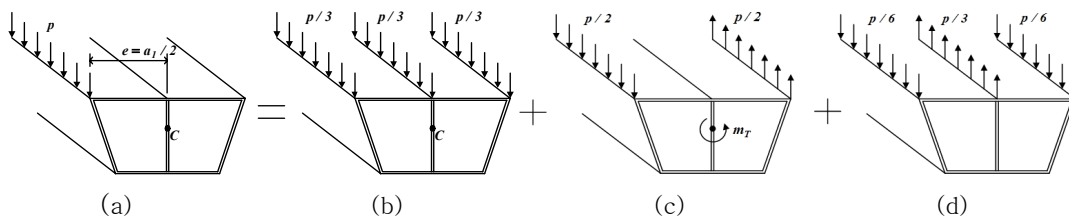
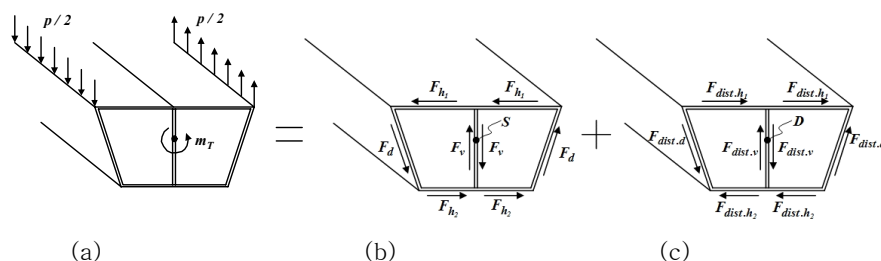


그림4. two-cell trapezoidal section



(a) An eccentric load; (b) Flexural forces; (c) Torsional forces; (d) Distortional forces(2<sup>nd</sup>)

그림5. Divided forces of an eccentric load

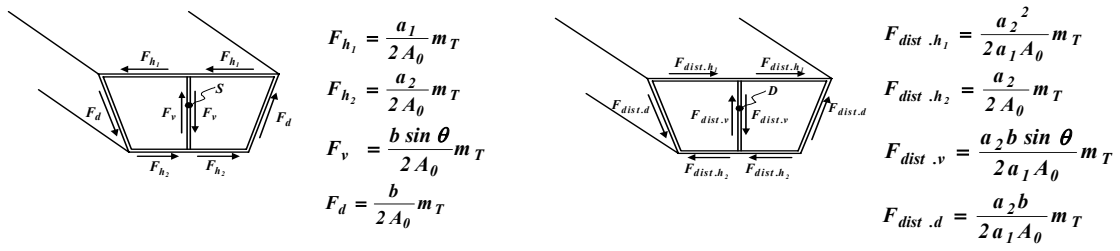


(a) Torsional forces; (b) Pure torsional forces; (c) Distortional forces(1<sup>st</sup>)

그림6. Converted forces of torsional forces

### 2.2.1 하중분리식

Two-cell Trapezoidal Box Girder에서의 하중분리과정도 앞서 연구한 단실박스거더와 마찬가지로 우선 작용하는 편심하중상태를 순수휨하중과 뒤틀림하중으로 분리한다. 그리고 그림5에서와 같이 중첩했을 때 편심하중상태와 같아야 하므로 그림 5.(d)와 같은 추가적인 뒤틀림하중상태를 고려할 수 있다. 비틀림하중은 순수비틀림하중과 1차 뒤틀림하중으로 분리할 수 있는데, 순수비틀림하중은 단면내의 shear flow는 일정하다는 조건과 하중의 평형을 만족해야 한다는 조건 그리고 유도된 하중에 의해 발생하는 비틀림모멘트는 편심하중에 의해 발생하는 비틀림모멘트와 같다는 조건을 이용하여 하중분리식을 유도해 낼 수 있다. 그리고 유도된 순수비틀림하중과 1차 뒤틀림하중의 중첩은 비틀림하중과 같다는 조건과 마찬가지로 유도된 1차 뒤틀림하중은 힘의 평형조건을 만족해야 한다는 조건을 통하여 유도할 수 있다. 이것을 정리하면 다음과 같다.



(a) Pure Torsional Forces

(b) Pure Distorsional Forces(1st)

그림7. Pure Torsional Forces and Pure Distorsional Forces(1st)

### 3. 유한요소해석을 통한 검증

single-cell 제형박스거더와 two-cell 제형박스거더를 3차원 쉘모델링을 통하여 유도된 식을 검증하였다. 편심하중 P를 재하한 모델과, 각각 분리한 하중을 재하한 모델에 대하여 동일한 특정 포인트에서의 수직방향 처짐과 법선응력을 비교함으로써 본 연구에서 제시한 분리식의 타당함을 나타낼 수 있다.

#### 3.1 Single-cell trapezoidal box girder model

단실제형박스거더의 검증에 사용된 모델은 지간 32.0m를 갖는 단순지지보이다. 중앙단면에 그림 8과 같이 Junction A에 편심하중 P(1000KN)를 재하하였다. 거더의 E값은 345E5 KPa, poisson ratio는 0.15이다. 범용프로그램인 Lusas13.6을 사용하였고 요소는 4 node thin shell element를 사용하였다.

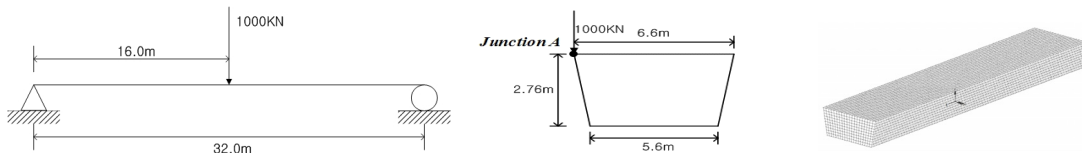


그림8. single-cell model

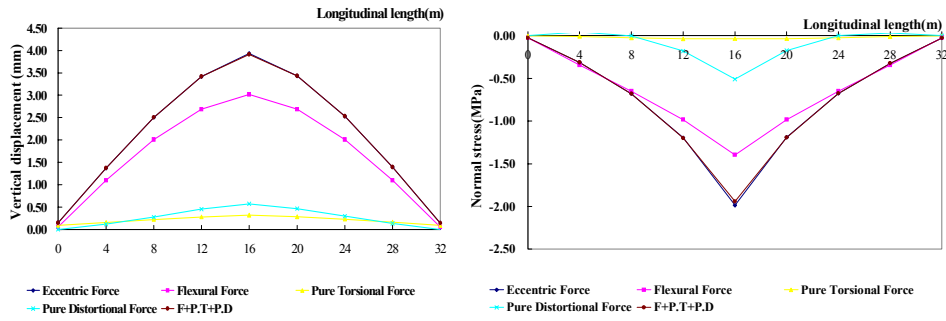


그림9. Junction A에서의 수직방향 처짐과 법선응력

### 3.2 Two-cell trapezoidal box girder model

Two-cell 제형박스거더의 검증에 사용된 모델은 지간 20.0m를 갖는 단순지지보이다. 그림10과 같이 중앙단면의 Junction A에 편심하중 P(100kN)를 재하하였다. E값은 21E4 MPa 이고 poisson ratio는 0.3이다. 범용프로그램으로 Lusas13.6을 사용하였고 요소는 4 node thin shell element를 사용하였다.

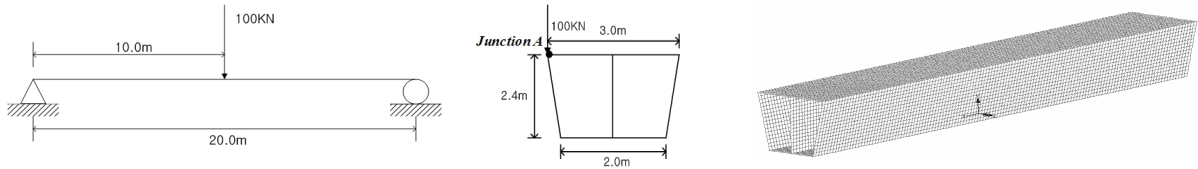


그림10. Two-cell model

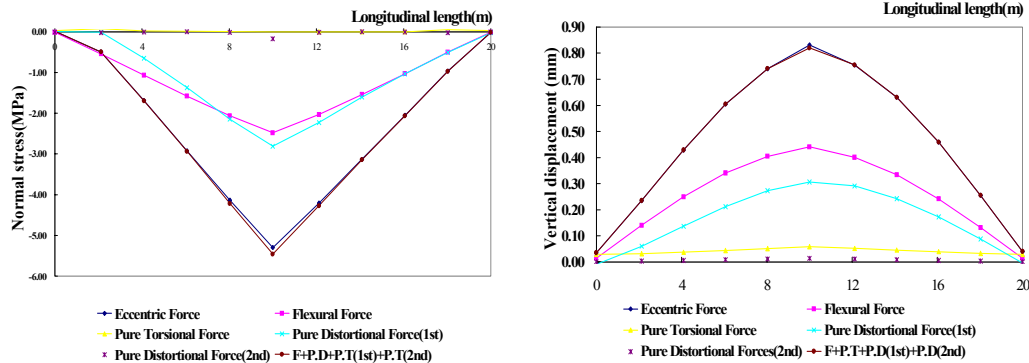


그림11. Junction A에서의 수직방향 처짐과 법선응력

### 4. 결론

본 연구에서는 제형 박스거더에 작용하는 편심하중을 거더의 주요 거동인 휨, 비틀림, 그리고 뒤틀림을 유발하는 하중으로 분리하는 식을 유도하고, 쉘모델링을 통해 그 식을 검증하였다. 그림 9와 그림 11는 Single-cell 과 Two-cell 모델에서의 Junction A에 발생하는 수직처짐과 법선응력을 나타내는데, 편심하중을 재하했을 때 나타나는 결과와 분리한 하중에 대한 결과치의 합이 거의 같음을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서 보이는 편심하중의 분리식이 잘 맞다는 것을 볼 수 있다. 거더에 편심하중이 작용하면 거더는 휨거동 이외에 비틀림거동을 보이게 되고, 여기에 추가적으로 뒤틀림거동까지 발생하게 된다. 박스거더에서는 특별히 이런 뒤틀림의 영향을 정량적으로 파악하는 것이 중요하고 또 쉽지

않은 작업이다. 몇몇의 선행연구자들이 빔요소로 이러한 뒤틀림만을 고려하는 연구를 수행했는데, 빔요소로 거더의 거동을 해석함에 있어서는 거더의 단면상수들, 특히 뒤틀림에 대한 단면상수가 필요하다. 하지만 뒤틀림상수를 계산하는것, 특히 다실박스거더에서는 매우 어려운 문제이다. 따라서 본 연구에서 제시하는 방법을 통하여 셸모델링을 한다면 휨, 순수비틀림 뿐만아니라, 뒤틀림까지 독립적으로 정량적인 해석이 가능하게 된다. 본 논문에서는 Two-cell 제형다실박스거더의 경우까지만 제시하였지만 직선거더에서는 셸이 증가하더라도 각각의 거동을 일으키는 하중으로 분리가 가능하기 때문에 박스거더에서의 뒤틀림에 대한 영향평가에 있어서, 특히 설계를 하는 엔지니어들에게 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이라 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 2005년 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(국가지정연구실사업-미래형 철도 구조 시스템 기술 구축)을 받아 수행된 연구로서, 지원기관에 깊은 감사를 표합니다.

### 참고문헌

1. Dabrowski R. Curved thin-walled girders theory and analysis. Cement and Concrete Association, London, 1968.
3. Nakai H, Yoo CH. Analysis and design of curved steel bridges. McGraw-Hill, New York, 1988
4. Razaqpur AG, Li HG. Thin-walled multicell box-girder finite element. J. Structural Engineering, 1991; 117(10): 2953-2971.
5. Razaqpur AG, Li HG. Refined analysis of curved thin-walled multicell box girders. J. Computers and Structures, 1994; 53(1): 131-142.
6. Park, Nam-Hoi. Development of a multicell Box Beam Element Including Distortional Degrees of Freedom, 2002