



다웰바의 거동에 대한 Timoshenko 식과 3차원 유한요소법의 비교연구

A Study on Dowel Behavior by Timoshenko Solution and 3D FEM Analysis

전범준* 홍성재** 윤찬영*** 이승우****
 Chon, Beon Jun Hong, Seong Jae Yune, Chan Young Lee, Seung Woo

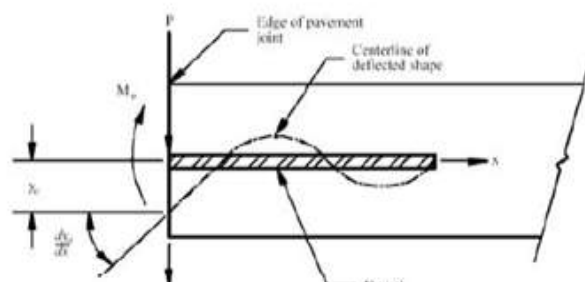
1. 서론

일반적으로 국내 콘크리트 포장은 JPCP(Joint Plain Concrete Pavement)를 대부분 사용하고 있으며, JPCP에서 다웰바(Dowel Bar)는 불연속면인 줄눈부에 설치되어 슬래브에 가해지는 교통하중을 인접 슬래브로 전달하여 분산시켜 주는 역할을 수행하고 있다. 또한 슬래브의 부등침하로 인해 발생하는 단차(faulting)를 감소시켜주는 역할을 한다. 현재 국내에서 다웰바의 설계는 국외의 기준을 도입하여 체계적 검증 없이 사용하고 있다. 다웰바의 설계를 합리적으로 하기 위해서는 다웰바의 대한 고찰이 필요로 하다. 본 연구에서 다웰바 거동에 대한 대표적인 모델인 Timoshenko 식의 타당성을 검증하기 위해 3차원 유한요소법을 이용하여 비교하였다. 유한 요소해석은 기존의 상업용 소프트웨어인 ABAQUS를 이용하였고, 모델링은 MSC.Patran 으로 하였다.

2. Timoshenko 식

Timoshenko 식은 <그림 1>과 같이 탄성기초위의 다웰바의 처짐은 식(1)과 같이 미분방정식으로 표현될수 있다.

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -ky \tag{1}$$



<그림 1> 보의 모식도

*정회원 · 강릉대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : beomjun@nate.com
 **정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : zkdwl@nate.com
 ***비회원 · 강릉대학교 토목공학과 전임강사 · 공학박사 · E-mail : yune@kangnung.ac.kr
 ****정회원 · 강릉대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 · E-mail : swl@kangnung.ac.kr



위 미분방정식의 해는 다음식과 같다.

$$y = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \tag{2}$$

위 식에서 다웰바가 반무한이고 집중하중과 모멘트하중이 <그림 1>과 같이 주어질 때, 식에서 A=B=0 되며, 식을 정리하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = \frac{e^{\beta x}}{2\beta^2 EI} [P_t \cos \beta x - \beta M_0 (\cos \beta x - \sin \beta x)] \tag{3}$$

여기서, e : 자연 로그 함수, P_t : 전달된 하중 M_0 : 콘크리트 표면에서 다웰바의 휨 모멘트 x : 콘크리트 면으로부터 다웰바가 떨어진 거리이다. 콘크리트에 넣은 다웰바의 상대강성도(β)는 식(4)에 의해 구할 수 있다.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Kb}{4EI}} \tag{4}$$

이러한 Timoshenko 식은 여러 가지 가정사항을 가지고 있다. 실질적으로 다웰바와 인접슬래브는 줄눈간격으로 나누어져 있지만, Timoshenko 식에서는 다웰바의 길이가 무한하다고 가정하였다. 또한 하부지반은 존재하지 않는다고 보고 하부지반은 대신 고정된 경계조건으로 가정하였다. 이러한 가정사항 때문에 다웰바의 주변의 응력에 대한 정확한 평가를 고려할 수가 없다. 여러 가지의 가정사항을 실질적인 다웰바의 거동의 차이점을 분석하고자 3차원 유한요소해석을 제안하였고, Timoshenko 식과 비교하였다.

3. 구조해석 모형

3.1 해석 범위 결정

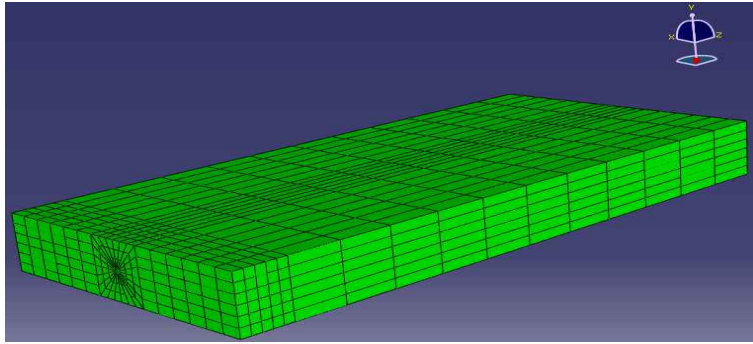
해석 단면은 일반적으로 시공되는 콘크리트 포장 단면을 사용하였다. 다웰바의 거동을 파악하고자 가장 대표적인 단면에서 대한 해석이 필요하기 때문이다. 해석 범위는 하나의 다웰바가 영향을 미치는 범위정도 판단하여 산정하였다. 그 범위는 콘크리트의 슬래브 (1.5m×3.0m)정도로 결정하였다. 하부구조는 고려하지 않았다.

3.2 해석 물성 및 모델링

본 해석에 사용된 모델은 3차원 Solid 요소를 사용하여 구성되었고 <그림 2>과 같은 형태를 가지고 있다. Solid 요소는 쉘 요소에 비하여 상대적으로 정확도가 높은 장점을 가지고 있어 본 구조해석에 적용하였다. 솔리드 요소를 이용하여 연결된 다웰바는 중앙지점에 형성되어 있다. 또한 다웰바는 콘크리트와 일체로 거동하도록 하였다. 해석 시 입력되는 재료의 물성은 <표 1>과 같이 일반적으로 구조해석에서 사용하는 값을 적용하였다. 하중재하는 다웰바의 끝부분에 10KN의 하중으로 결정하였다. 또한 대기 온도 및 포장체의 온도에 대한 고려는 하지 않았다.

<표 1> 수치해석에 사용된 물성

구분	물성 항목	적용 값
콘크리트	탄성 계수	20 GPa
	단위 중량	2.4 t/m ³
	포아 송비	0.15
다웰바	탄성 계수	200 GPa
	단위 중량	7.8 t/m ³
	포아 송비	0.30

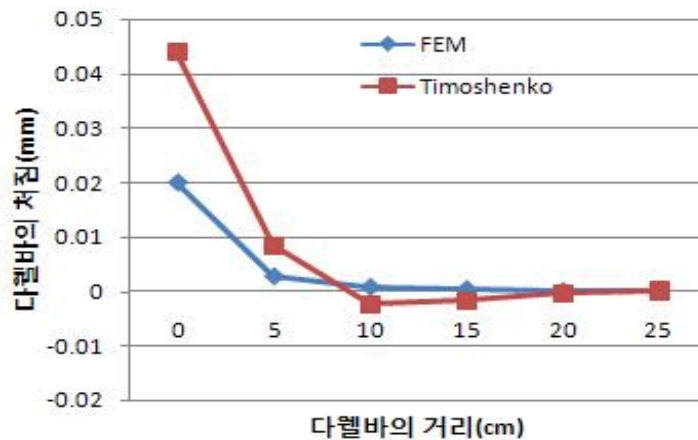


〈그림 2〉 다웰바의 해석을 위한 유한요소 모델

4. 다웰바의 해석 결과

4.1 다웰바의 거동에 대한 비교

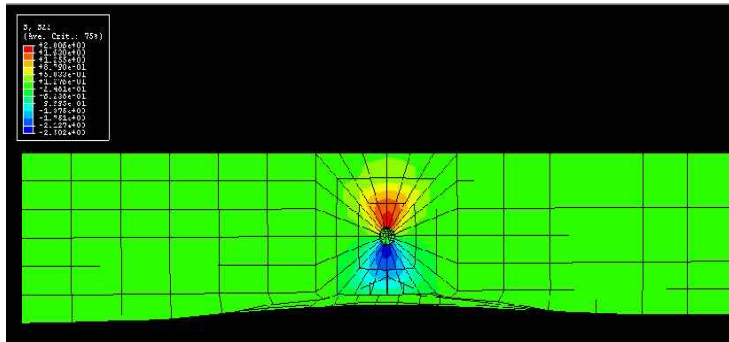
Timoshenko 식으로 사용하여 다웰바의 거동을 평가를 유한요소 해석을 통하여 서로 비교하고자 해석을 실시하였다. 〈그림 3〉과 같이 Timoshenko 식과 유한요소해석의 결과의 형상은 비슷하나 약간의 처짐에 대한 차이를 보였다. Timoshenko 식을 이용한 다웰바의 가장 많이 처짐이 발생하는 곳은 하중을 받은 곳으로 처짐은 0.04398mm였고, 유한요소해석을 통하여 해석결과 또한 하중을 받는 부분에서 많은 처짐을 보였으며, 처짐은 0.02013mm이다. 이 정도의 처짐에 대한 차이는 Timoshenko 식의 경계조건에 대한 가정 사항 때문에 생긴 것으로 판단된다.



〈그림 3〉 다웰바의 거동에 대한 비교

4.2 다웰바의 주변응력상태 평가

〈그림 4〉은 다웰바에서 하중이 작용할 경우 다웰바 주변의 콘크리트의 응력의 변화를 보여준다. 다웰바 설계에 있어 허용지지응력(Allowable Bearing Stress)는 허용치 이하로 발행하는 응력을 제시하고 있으며, 그때의 응력은 압축응력만을 적용하고 있다. 〈그림 4〉와 같이 콘크리트 부분에서는 압축응력 뿐만 아니라 인장응력이 발생하는데 다웰바의 설계에 있어 허용지지응력은 압축응력만 고려하고 있다.



〈그림 4〉 다웰바 주변의 응력상태

5. 결론

본 연구에서는 다웰바의 거동을 Timoshenko 식과 유한요소해석을 통하여 기본거동특성을 파악하고자 하였으며, 이를 통하여 다웰바의 설계의 기초자료로 확인 하였다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

1. Timoshenko 식과 유한요소해석을 통하여 다웰바의 거동의 차이가 발생하였고, Timoshenko 식과 유한요소해석의 경계조건의 차이에서 발생된 것으로 판단된다.
2. 다웰바 설계에 있어 허용지지력(Allowable Bearing Stress)은 압축응력만 고려하고 있으나, 3차원 유한요소해석을 통하여 인장응력을 발생하는것을 발견하였다. 추후 연구를 통하여 인장응력에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건교부 수탁과제인 한국형 포장설계법 개발과 포장성능개선 연구의 일부 성과물로 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. “한국형 포장 설계법 개발과 포장 성능개선 방안 연구” . 건설교통부, 2007
2. Yang H, Huang (1993) "Pavement Analysis and Design"
3. F.Friberg , F .B F., "Design of Dowels in Transverse Joints of Concrete Pavement,"Tran. ASCE, Vol. 105, 1940.
4. "ABAQUS / Standard User's Manual". Hibbitt, Karlson & Sorensen, inc, 2000