

초박층 폴리머콘크리트 포장적용을 위한 매개변수 해석

윤상일¹, 장용준², 최진웅³, 홍성남⁴, 박선규^{5*}

Parameter Study for the Application of Ultra Thin Polymer Concrete Pavement

Yoon Sang il¹, Jang Yong joon², Jinwoong Choi³, Sungnam Hong⁴, Sun-Kyu Park^{5*}

Abstract: Base on Korean design code, previous design code had not considered the effect of pavement on the orthotropic steel deck, however recent design code (Limit State Design Method, 2012) allowed to consider the effect of pavement on the orthotropic steel deck, and efforts to apply the stiffness of pavement to the deck continue. Meanwhile, research on the effect of ultra thin bridge deck overlay on the orthotropic steel deck is inadequate, previous study was limited in about fatigue stress and performance between pavement layer and the orthotropic steel deck. In this study, according to changing of pavement layer stiffness application, pavement materials, pavement thickness and steel deck thickness, analysis of deflection. In addition to base on this result, consider effectiveness of ultra-thin pavement stiffness application on the orthotropic steel deck.

Keywords: Analysis on Numerical, Orthotropic Steel Deck, Ultra-Thin Bridge Deck Overlay, Pavement Stiffness, Polymer Concrete

1. 서 론

경제규모의 성장, 물류 이동의 증가로 인하여 이전까지 교량건설이 고려되고 있지 않은 지역에서도 교량건설이 검토되고 있으며, 이로 인하여 장대교량에 대한 수요 또한 점점 증가하고 있다. 이러한 장기간을 가진 교량건설을 위해서는 자중감소가 필수적이기 때문에 포장재에 대한 연구에 초점이 맞추어지고 있고 초박층 교면포장재에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Park, 2006, Journal of Korean Society of Road Engineers). 일반 포장재에 비해 상대적으로 아주 작은 자중을 가지는 포장재료로는 폴리머 콘크리트가 있으며 이에 관한 연구로는 폴리머 콘크리트의 물리적 특성(Kim, 2013, Journal of the Korea institute for Structural Maintenance Inspection) 및 피로응력에 관한 연구(Han, 2014, Journal of the Korea institute for Structural Maintenance Inspection)등이 이루어져 있다. 하지만 초박층 교면포장재가 교량에 적용되기 위해서는 설계 검토 시 반영되는 초박층 포장의 단면력, 처짐 등의 분석이 필요하나 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일반

포장재에 비해 상대적으로 아주 작은 자중을 가지는 초박층 포장재인 폴리머 콘크리트를 기준으로 에폭시아스팔트, SFRC를 비교대상으로 포장강성 반영/미반영, 포장종류, 포장두께 및 강바닥판의 두께를 매개변수로 하여 이에 따른 처짐과 전단응력의 역량을 살펴 보았다.

2. 해석모델

2.1 구조 모델

2.1.1 모델교량 개요

본 연구에서는 초박층 포장을 시공한 M 교량을 모델로 하였으며, 모델 교량은 Fig. 1과 같이 총 연장 900 m로 3-WAY 케이블 사장교 형식으로 구성되어 있다. 거더의 형식은 Fig. 2와 같고, 유선형 Box 형태의 폐합단면을 가진 강바닥판이며, 종리브, 횡리브를 비롯한 강바닥판의 제원은 Table 1과 같다.

2.1.2 해석 모델링

본 연구에서는 정밀한 해석을 위해 상용 프로그램인 MIDAS를 이용하여 Fig. 2의 단면을 기초로 수치해석모델을 Fig. 3과 같이 구현하였다. 유한요소해석을 위해 모델교량의 거더 중 지점 간의 간격이 가장 긴 중앙부 21 m 구간을 선택하였으며, 경계조건을 만족시키기 위해 양쪽으로 3 m씩을 연장하여 모델링하고 케이블 지점을 고정단으로 설정하였다.

¹정회원, 삼성물산 대리

²정회원, 성균관대학교 글로벌건설엔지니어링학과 석사과정

³정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, 교신저자

⁴정회원, 성균관대학교 공과대학 연구교수

⁵정회원, 성균관대학교 건축토목공학 교수

*Corresponding author: cjw85@skku.edu

•본 논문에 대한 토의를 2015년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

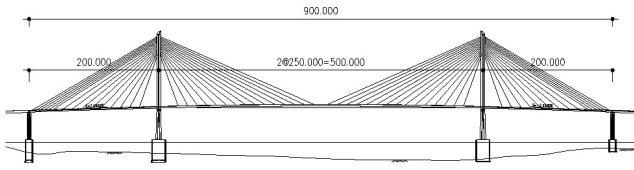


Fig. 1 Longitudinal section of the girder for analysis

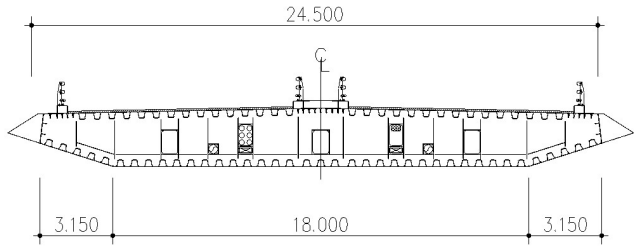


Fig. 2 Cross section of the girder for analysis

Table 1 Initial value of the girder for analysis

Bridge deck pavement	Thickness	12 mm
	Category	Polymer concrete
Deck thickness		14 mm
Transverse ribs	Interval	300 cm
	Vertical length	80 cm
	Vertical rib interval	64 cm
Bridge deck pavement level synthesis		100 %

1) 모델링 요소 설정 및 메쉬(mesh)

강상판 및 포장층 모두 평면셀(Plate Shell) 요소로 모델링 하였으며, 본 해석에서 살펴보려는 처짐 및 응력변화의 경우 접착층 및 방수층의 영향은 크지 않을 것으로 고려되어 모델링에 반영하지 않았다. 포장층은 강바닥판에 비해 상대적으로 강성이 작아 강바닥판과 일체 거동을 하기 때문에, 강재와 같이 등방형의 선형요소로 가정하여 모델링하였고 재료의 점성이나 온도에 따른 비선형은 고려하지 않았다. 강상판 및 포장층 모두 메쉬는 종방향으로 1,000 mm 횡방향으로 300 mm 으로 구성하였으며, 포장강성을 반영한 경우 포장체를 모델링 하여 자중으로 하중을 반영하고, 일체 거동을 위해 타이(tie)로 연결하였다. 반면에 포장강성을 반영하지 않은 경우에는 포장층은 하중으로만 작용하기 때문에 포장층을 모델링하지 않고, 포장 종류 및 두께에 따른 포장층의 사하중을 계산하여 등분포 하중으로 적용하여 해석을 수행하였다.

2) 하중조건

교통하중, 풍하중 및 온도변화에 의한 하중 등 여러 하중을 고려할 경우 매개변수 변화에 의한 결과값의 상관관계 및 경향을 명확히 파악하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 강바닥

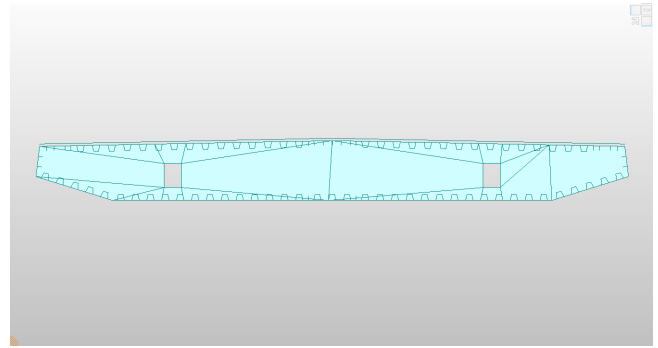


Fig. 3 The cross-sectional shape of modeling applied pavement stiffness

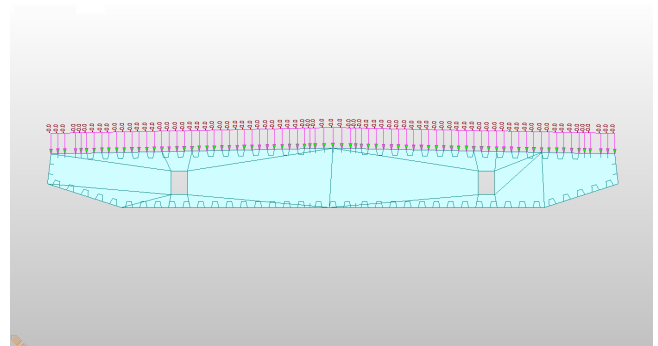


Fig. 4 The cross-sectional shape and load of modeling not applied pavement stiffness

판 및 포장의 자중만을 고려하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 포장체의 강성을 고려한 경우의 해석에서는 Fig. 3과 같이 포장층을 모델링 하여 자중을 반영하였고, 포장체의 강성을 반영하지 않은 경우의 해석에서는 Fig. 4에서와 같이 포장층의 종류 및 두께에 따른 자중을 계산하여 하중을 가하는 방식으로 해석을 수행 하였다.

3) 매개변수에 따른 결과값 해석 위치

결과값은 특정한 위치를 지정하여 그 값을 해석 연구하였

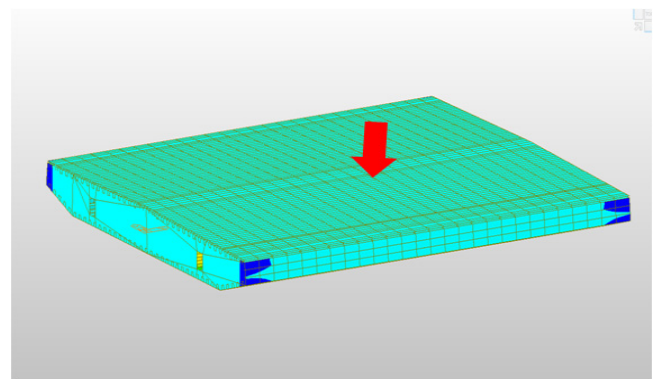


Fig. 5 Position of Deflection Analysis

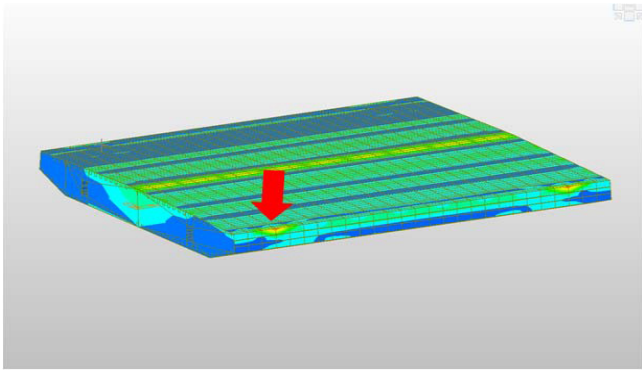


Fig. 6 Position of shear stress analysis

Table 2 Properties of materials

Materials	Unit weight (t/m ³)	Poisson's ratio	Elastic modulus (GPa)
Steel	7.85	0.3	210
Polymer concrete	1.9	0.3	4.1
Epoxy asphalt	2.4	0.3	2.62
S F R C	2.3	0.2	29.2

다. 처짐의 경우 거더 중앙부 하단에서 가장 큰 값이 발생되기 때문에 Fig. 5와 같이 위치를 고정하여 그 위치에서의 처짐을 해석하였고, 전단응력의 경우 케이블 고정단인 지점(경계조건 Fix)에서 가장 큰 값이 발생되기 때문에 Fig. 6과 같이 지점 부를 기준으로 해석 값을 정리하였다.

2.2 재료 모델

본 해석에서 사용된 재료는 강바닥판에 사용된 강재와 초박층 포장재료로 쓰이는 폴리설파이드 에폭시 폴리머 콘크리트(Polysulfide Epoxy Polymer Concrete, 이하 폴리머 콘크리트), 그리고 비교대상으로 설정한 에폭시 아스팔트(Epoxy Asphalt)와 SFRC(Steel Fiber Reinforced Concrete)가 있으며 주요 재료의 물성치는 Table 2와 같다.

에폭시 아스팔트는 일반적으로 많이 사용되는 교면포장 재료이며, SFRC의 경우 높은 강성을 가지고 있기 때문에 비교대상으로 선정하였다.

2.3 매개변수 선정

본 연구의 매개변수로는 포장체의 종류(탄성계수), 포장 강성의 반영 여부, 포장두께, 강바닥판의 두께가 있으며 이는 Table 3와 같다.

첫 번째 매개변수는 포장체의 종류로써 포장체의 강성 반영 시 강바닥판의 변화 및 경향을 해석하는 연구이기 때문에 포장체의 강성은 본 연구에서 중요한 매개변수이다. 포장체

Table 3 Parameter.

Parameter	Parameter
Applied pavement stiffness	Pavement thickness (12, 16, 20, 24, 28, 32, 40, 60, 80, 100 (mm))
	Kind of pavement materials (Polymer concrete, Epoxy asphalt, S F R C)
	Orthotropic steel deck thickness (12, 14, 16 (mm))
Not applied pavement stiffness	Pavement thickness (12, 16, 20, 24, 28, 32, 40, 60, 80, 100 (mm))
	Kind of pavement materials (Polymer concrete, Epoxy asphalt, S F R C)
	Orthotropic steel deck thickness (12, 14, 16 (mm))

의 강성에 따라 강바닥판의 처짐변화에 어떤 영향을 주는지 연구하였고, 초박층 포장재인 폴리머 콘크리트 뿐 아니라 일반적인 교면포장 재료인 에폭시 아스팔트와 고강도를 장점으로 하는 SFRC 포장재를 모델링하여 그 변화 경향을 비교 연구하였다.

두 번째 매개변수는 포장 강성의 반영 여부로써 기존의 도로교설계기준과 달리, 최근 개정된 도로교설계기준(2012, 한계상태설계법)에서는 포장체 자체의 강성을 설계에 반영할 수 있도록 개정되었다. 포장체의 강성을 반영하지 않을 경우 포장체는 추가 하중으로만 고려되어 포장체의 강성을 반영한 해석과 강바닥판 처짐의 해석결과 어떤 영향을 미치는지 분석하였다.

세 번째 매개변수는 포장두께로써 아스콘포장 재료는 고온에서 연화현상이 발생하여 탄성계수가 급격히 저하하고 강성을 거의 발휘하지 못하게 되는 단점을 가지고 있지만, 포장 단면의 두께가 유지되는 이상 차륜하중이 포장체를 통과, 강바닥판에 분포되어 전달된다. 매개변수 포장두께는 폴리머 콘크리트의 일반적인 시공 두께 12 mm를 기준으로 하여, 32 mm이하에서는 4 mm 간격, 40 mm이상에서는 에폭시 아스팔트와 SFRC의 두께를 고려하고자 20 mm 간격으로 100 mm까지 설정하여 10가지 두께에 대해서 분석하였다. 그리고 각 포장재료의 일반적인 시공 포장두께를 고려하여 폴리머 콘크리트 포장, 에폭시 아스팔트 포장, SFRC 포장 순으로 12 mm, 60 mm, 80 mm를 대표두께로 설정하여 자세히 살펴보았다. 본 해석연구에서는 재료의 점성이나 온도에 따른 비선형성은 고려하지 않았으며, 모든 재료들은 등방성의 선형탄성 재료로 가정하여 연구를 수행하였다.

마지막 매개변수는 강바닥판의 두께로써 도로교 설계기준에 따르면 강바닥판의 최소두께 기준은 1996년 이전 12 mm였으나, 종리브와 강바닥판의 용접이음이 피로현상에 의해

파손되는 사례가 많이 발생함에 따라 이를 방지하기 위해 1996년 이후 14 mm로 증가시켰고, 이는 2012년에 개정된 도로교설계기준(한계상태설계법)까지 이어져 오고 있다. 기존의 연구에서는 강바닥판의 두께 감소는 피로 응력의 증가를 가져오나, 포장체의 강성을 반영할 경우 피로응력의 증가를 일정 부분 저감시킬 수 있다고 연구되었다. 때문에 본 연구에서 강바닥판의 두께를 매개변수로 선정하여 폴리머 콘크리트의 포장두께에 따라 강바닥판의 처짐 및 전단응력에 어떠한 영향을 주는지 연구하였다.

3. 매개변수에 따른 처짐해석

3.1 포장강성 반영여부 및 포장 종류에 따른 처짐

본 교면 포장두께를 12 mm에서 100 mm까지 변화 시키면서 포장 강성을 반영/미반영한 경우의 처짐을 Table 4과 Fig. 7에 포장강성 반영 시 포장 종류에 따른 처짐의 변화를 Table 5과 Fig. 8에 정리하여 나타내었다.

먼저 포장강성을 반영한 경우의 처짐을 살펴보면, 포장 두께가 증가할수록 처짐이 감소됨을 볼 수 있다. 이를 이론적으로 단순보 균일분포 하중의 최대 처짐 수식과 관련지어 생각해보면 최대 처짐은 식 (1)과 같고, 단면 2차모멘트는 식 (2)와 같다. 포장이 증가할수록 등분포 하중 w 는 선형으로 증가하지만, 포장 두께가 증가함에 따라 강바닥판 두께와 포장 두께의 합인 h 또한 증가함에 따라 처짐이 감소함을 알 수 있다. 반면에 포장 강성을 반영하지 않은 경우의 처짐을 살펴보면, 포장 두께가 증가할수록 처짐이 선형적으로 증가함을 볼 수 있는데, 이는 포장강성이 반영되지 않은 경우 포장두께가 증가할수록 등분포 하중 값인 w 가 선형으로 증가하기 때문에 처짐 또한 선형으로 증가함을 알 수 있다.

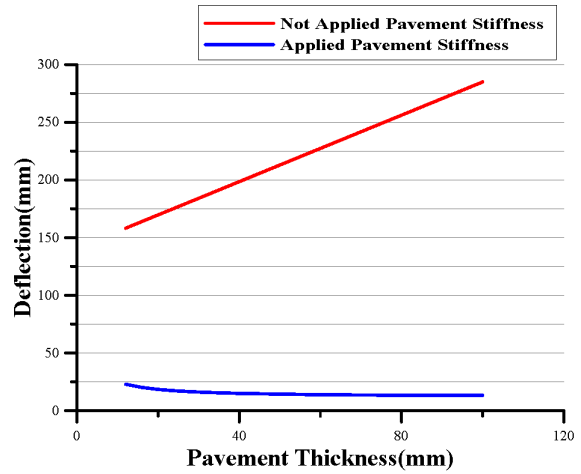


Fig. 7 Deflection According to Polymer Concrete Pavement Thickness

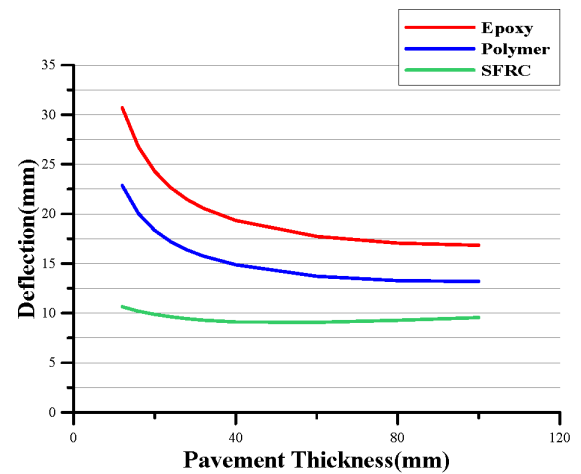


Fig. 8 Deflection According to Pavement Kind and Thickness

$$\delta = \frac{5wl^4}{384EI} \quad (1)$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (2)$$

Table 4 Deflection According to Polymer Concrete Pavement Thickness (Polymer Concrete, Deck Thk.=14mm)

Pavement thickness (mm)		12	16	20	24	28	32	40	60	80	100
Deflection (mm)	Applied pavement stiffness	22.9	20.0	18.3	17.2	16.4	15.8	14.9	13.7	13.3	13.2
	Not applied pavement stiffness	158.1	163.9	169.7	175.4	181.2	187.0	198.5	227.3	256.1	285.0

Table 5 Deflection according to pavement kind and thickness (Applied pavement stiffness)

Pavement thickness (mm)		12	16	20	24	28	32	40	60	80	100
Deflection (mm)	Epoxy	30.7	26.8	24.3	22.6	21.5	20.6	19.3	17.7	17.1	16.8
	Polymer	22.9	20.0	18.3	17.2	16.4	15.8	14.9	13.7	13.3	13.2
	SFRC	10.6	10.2	9.9	9.6	9.4	9.3	9.1	9.1	9.3	9.6

이어서, 포장 강성을 반영한 경우 포장종류별 처짐을 살펴 보면 해석에 사용한 모든 포장재에서 포장 두께가 증가할수록 처짐이 감소함을 볼 수 있다. 좀 더 자세히 살펴보면 단위 포장 두께 증가에 따른 처짐은 포장두께가 증가할수록 감소하며, SFRC의 경우 포장 두께가 60 mm 초과 시 미세하게 처짐이 증가함을 볼 수 있다. 이는 포장 강성 반영 시 비교적 얇은 두께에서 포장 두께 증가에 따른 처짐 감소 효과가 크나, 포장 두께가 증가할수록 포장 자중의 증가로 인하여 포장 두께 증가로 인한 처짐 감소 효과는 점점 줄어들고 일정 두께 이상 두께가 증가되면 오히려 처짐이 증가함을 알 수 있다. 포장 재료의 종류별 처짐을 비교해 보면 포장에 의한 처짐 감소가 SFRC, 폴리머콘크리트, 에폭시아스팔트 순으로 나타남을 볼 수 있는데 이를 단순히 균일분포 하중의 최대 처짐 수식과 관련하여 생각해 보면, 최대 처짐은 식(1)과 같기 때문에 비슷한 단위 중량에서 가장 큰 탄성계수를 가지는 SFRC가 처짐이 가장 작고, 이어서 폴리머콘크리트, 에폭시아스팔트 순으로 처짐이 작게 발생함을 볼 수 있다.

3.2 강바닥판 두께에 따른 처짐

교면 포장의 재료를 폴리머 콘크리트를 사용할 경우 포장체 자체의 강성을 반영/미반영한 조건에 따라 강바닥판의 두께를 14 mm를 기준으로 12 mm, 16 mm로 조정하여, 포장두께를 12 mm에서 100 mm까지 변화 시키면서 처짐 변화를 Table 6, Table 7과 Fig. 9, Fig. 10에 정리하였다.

포장 강성이 반영된 경우 Table 6와 Fig. 9에서 나타나듯이 처짐의 변화는 강바닥판의 두께 변화에 거의 영향을 받지 않고, 포장 두께의 변화에 큰 영향을 받는다. 이론적으로 접근해 보면 처짐의 경우 처짐은 EI 값에 반비례 하여 증가하게 하게 되는데 포장두께가 12 mm~100 mm까지 변하는데 비하여 강바닥판의 두께는 12 mm~16 mm까지 변하며 상대적으로 작은 변화 폭을 보여주기 때문에 식(2)로 표현되는 직사각형 단면 2차모멘트 I 값에 강바닥판 두께 변화가 포장 두께에 비해

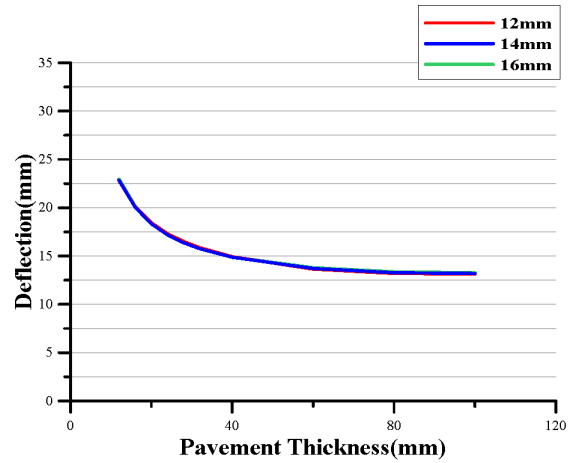


Fig. 9 Deflection According to Deckplate and Pavement Thickness (Applied Pavement Stiffness)

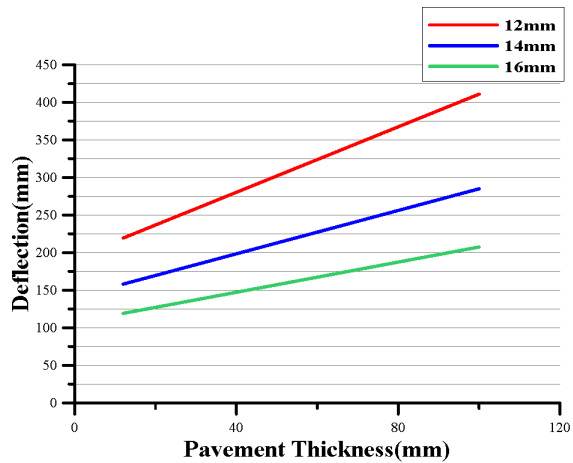


Fig. 10 Deflection According to Deckplate and Pavement Thickness (Not Applied Pavement Stiffness)

큰 영향을 주지 못하게 된다. 따라서 처짐에 대한 강바닥판 두께의 영향은 작게 나타게 된다. 하지만 포장 강성을 반영하지 않은 경우에는 Table 7와 Fig. 10에서 나타난 바와 같이 포장

Table 6 Deflection according to deckplate and pavement thickness (Polymer, applied pavement stiffness)

Pavement Thickness (mm)		12	16	20	24	28	32	40	60	80	100
Deflection (mm)	Deck Thk. 12mm	22.8	20.1	18.4	17.3	16.5	15.9	14.9	13.6	13.2	13.1
	Deck Thk. 14mm	22.9	20.0	18.3	17.2	16.4	15.8	14.9	13.7	13.3	13.2
	Deck Thk. 16mm	23.0	20.1	18.4	17.2	16.4	15.8	14.9	13.8	13.4	13.3

Table 7 Deflection according to deckplate and pavement thickness (Polymer, not applied pavement stiffness)

Pavement Thickness (mm)		12	16	20	24	28	32	40	60	80	100
Deflection (mm)	Deck Thk.12mm	219.4	228.1	236.9	245.6	254.3	263.0	280.4	323.9	367.5	411.0
	Deck Thk.14mm	158.1	163.9	169.7	175.4	181.2	187.0	198.5	227.3	256.1	285.0
	Deck Thk.16mm	119.2	123.2	127.3	131.3	135.3	139.3	147.3	167.4	187.4	207.5

은 하중으로만 작용하기 때문에 포장두께는 단면2차모멘트 값에 영향을 주지 않고 강바닥판의 두께만이 영향을 주기 때문에 강바닥판의 두께가 증가할수록 처짐이 작게 나타남을 볼 수 있다.

4. 매개변수에 따른 전단응력 해석

4.1 포장강성 반영여부에 따른 강바닥판의 전단응력

본 교면 포장두께를 12 mm에서 100 mm까지 변화 시키면서 포장 강성을 반영/미반영한 경우의 강바닥판의 전단응력을 Table 8과 Fig. 11에 정리하여 나타내었다.

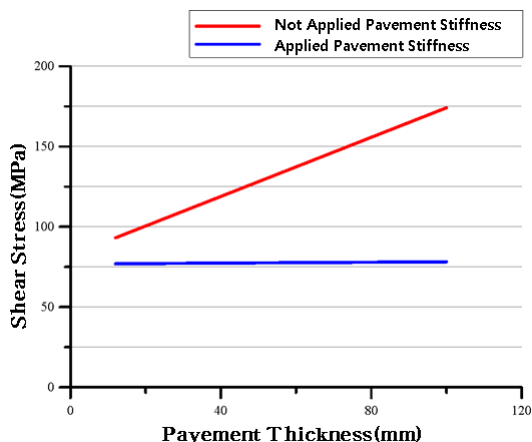


Fig. 11 Shear stress of deckplate according to polymer concrete pavement thickness

Table 8 Shear stress of deckplate according to polymer concrete pavement thickness (Polymer concrete, Deck Thk.=14 mm)

Pavement thickness (mm)		12	16	20	24	28	32	40	60	80	100
Shear stress (MPa)	Applied pavement stiffness	77.0	77.0	77.1	77.2	77.2	77.3	77.4	77.7	77.9	78.2
	Not applied pavement stiffness	93.2	96.8	100.5	104.2	107.9	111.6	118.9	137.3	155.8	174.2

Table 9 Shear stress of deckplate according to pavement kind and thickness (Deck Thk.=14 mm, Applied pavement stiffness)

Pavement Thickness (mm)		12	16	20	24	28	32	40	60	80	100
Shear stress (MPa)	Epoxy	77.0	77.1	77.2	77.3	77.4	77.5	77.6	78.0	78.4	78.8
	Polymer	77.0	77.0	77.1	77.2	77.2	77.3	77.4	77.7	77.9	78.2
	SFRC	76.9	77.0	77.0	77.1	77.1	77.2	77.2	77.4	77.7	78.1

Table 10 Shear stress of pavement layer according to pavement kind and thickness (Deck Thk.=14mm, Applied pavement stiffness)

Pavement thickness (mm)		12	16	20	24	28	32	40	60	80	100
Shear stress (MPa)	Epoxy	4.4	4.0	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	3.7
	Polymer	4.7	4.2	4.0	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.8
	SFRC	7.5	7.5	7.8	8.0	8.2	8.4	8.7	9.1	9.1	8.9

포장 강성을 반영한 경우 강바닥판의 전단응력을 살펴보면, 포장 두께가 변화 함에 따라 포장체의 자중이 증가함에도 불구하고 전단응력의 변화는 거의 없음을 알 수 있는데 이는 직사각형 단면 보의 최대 전단응력의 식 (3)과 같고 포장 두께가 증가함에 따라 포장 자중의 증가로 V값이 증가하지만 두께 증가에 의한 단면적 $A = (bh)$ 값도 같이 증가함에 따라 전체적인 전단응력의 값의 변화가 크지 않게 됨을 알 수 있다. 하지만 포장강성을 반영하지 않고 하중으로만 반영한 경우에는 $A = (bh)$ 는 고정된 상태에서 V값이 선형적으로 증가하게 되어 그림과 같이 전단응력이 선형적으로 증가하게 된다.

$$\tau_{\max} = \frac{Vh^2}{8I} = \frac{3V}{2A} \quad (3)$$

4.2 포장강성 반영시 포장종류에 따른 강바닥판 및 포장층의 전단응력

포장체의 강성을 반영한 경우 교면 포장재료의 종류를 에폭시 아스팔트, 폴리머 콘크리트, SFRC로 바꾸어 포장두께를 0 mm에서 100 mm 까지 변화 시키면서 강바닥판 및 포장층의 전단응력 변화를 Table 9, Table 10과 Fig. 12, Fig. 13에 정리하여 나타내었다.

Fig. 12를 보면 포장 재료의 종류 및 포장 두께에 따라 강바닥판의 전단응력에 큰 변화가 없음을 볼 수 있다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 전단 응력은 하중과 단면의 크기에 의해 영향을 받게 되는데 에폭시 아스팔트, 폴리머 콘크리트, SFRC의 경우 단위 중량이 비슷하고 같은 포장 두께에서는 같은 단면의 크기를 가지기 때문에 전단응력의 차이가 크지 않음을

알 수 있다. Fig. 13에서와 같이 포장판에서의 전단응력을 살펴보면 에폭시아스팔트와 폴리머 콘크리트는 거의 같은 경향을 보이지만 SFRC는 상대적으로 더 큰 전단응력을 받음을 볼 수 있다. 이는 두 포장 재료에 비해 SFRC의 탄성계수가 약 7~11배 정도 크고, 전단탄성계수 G 는 탄성계수 E 와 포아송비 ν 에 의하여 식 (4)와 같이 결정되기 때문에, 포아송비의 큰 차이가 없는 3가지 재료에서 SFRC의 전단탄성계수 역시 다른 재료에 비하여 8~12배 정도 큰 값을 가지게 된다. 본 모델링에서 포장층은 강바닥판과 일체 거동을 하기 때문에 전단탄성계수 G 와 변형률 γ 의 곱으로 결정되는 전단응력 $\sigma_v = (G\gamma)$ 는 같은 변형률을 가질 경우 전단탄성계수가 클수록 큰 전단응력을 가지기 때문에 SFRC 포장층에서 상대적으로 더 큰 전단응력을 받게 됨을 알 수 있다. 좀 더 자세히 살펴보면 SFRC 포장의 경우 포장층에서 상대적으로 큰 전단응력을 받기 때

문에 강바닥판의 전단응력은 상대적으로 적게 작용함을 확인할 수 있다. 하지만 강바닥판의 포장두께에 따른 전단응력은 폴리머 콘크리트 포장의 경우 SFRC 포장과 비교 하였을 때 최대 0.3 MPa 크게 나타났고 이는 강바닥판에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4)$$

5. 시공두께를 고려한 포장 종류에 따른 처짐 분석

본 연구에서는 각 포장 재료에 대하여 포장 두께를 변화시켜가면서 처짐을 검토 하였으나, 실제 시공 시에는 포장 재료마다 골재치수 등으로 인해 시공 가능한 포장 두께의 범위가 정해져 있다. 이에 따라 각 포장재료 별로 실제 시공두께를 고려하여 대표 두께를 설정하고 포장강성을 반영한 경우, 포장강성을 미반영한 경우로 나누어 처짐을 살펴보았다.

폴리머콘크리트의 경우 대표시공 두께가 12 mm, 에폭시아스팔트의 경우 대표시공 두께가 60 mm, SFRC의 경우 대표시공 두께가 80 mm이고, 강바닥판의 두께 14 mm를 기준으로 하고 포장강성을 반영했을 때의 처짐은 Polymer Concrete는 22.9 mm, Epoxy Asphalt는 17.7 mm SFRC는 9.2 mm이다.

폴리머 콘크리트의 대표시공두께는 12 mm이고, 강바닥판의 두께 14 mm를 기준으로 포장강성을 미반영 했을 때 처짐이 158.1 mm가 발생하였고 이를 Table 11과 Fig. 14에 나타내었다.

모델링한 24 m 거더를 하나의 교량으로 가정하여 생각했을 때 포장 강성을 반영한 경우, 3가지 포장재 모두 대표시공 두께에서 L/800인 30 mm 처짐 기준을 만족 하였지만 포장강성을 반영하지 않은 경우에는 처짐이 158.1 mm가 발생해 기준을 훨씬 상회하는 값을 보였다. 이를 통해 초박층 포장재인

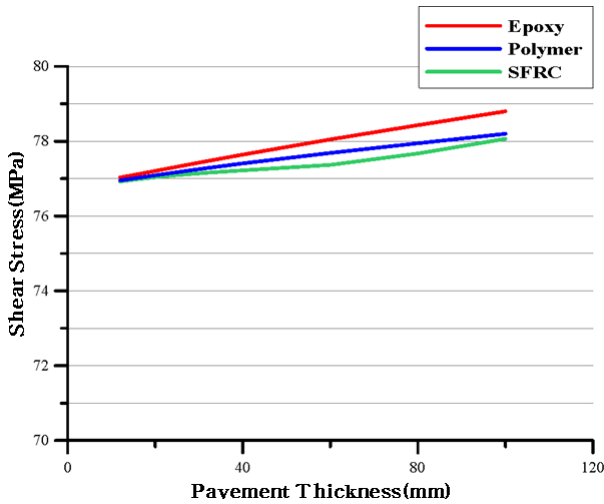


Fig. 12 Shear stress of deckplate according to pavement kind and thickness (Applied pavement stiffness)

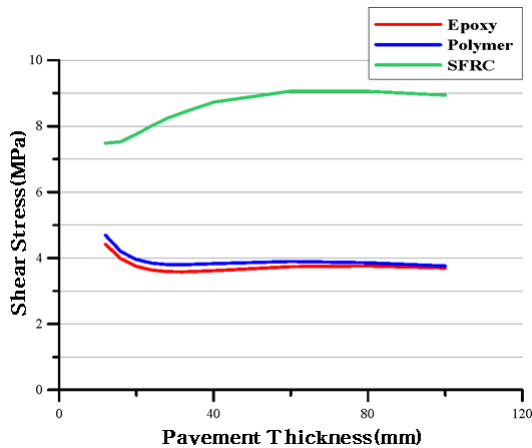


Fig. 13 Shear stress of pavement layer according to pavement kind and thickness (Applied pavement stiffness)

Table 11 Deflection according to pavement kind and thickness (Applied pavement stiffness and reflected actual construction thickness)

Kind of pavement materials (Applied pavement stiffness)	Pavement thickness (mm)	Deflection (mm)
Epoxy	60	17.7
Polymer	12	22.9
SFRC	80	9.2
Polymer (Not applied pavement stiffness)	12	158.1

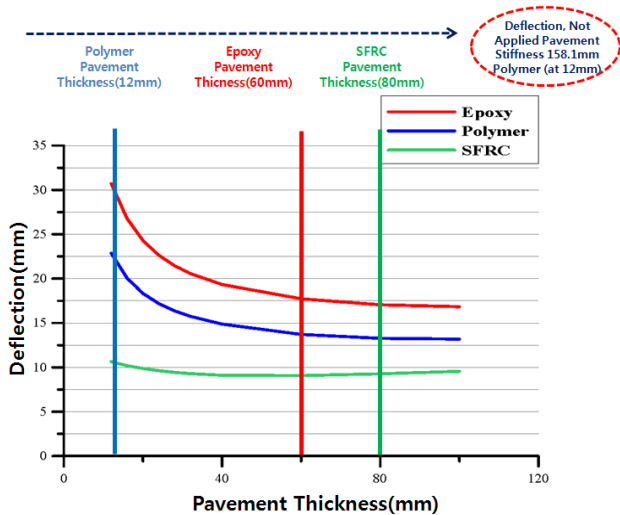


Fig. 14 Deflection according to pavement kind and thickness (Reflected actual construction thickness)

Polymer Concrete는 비록 12 mm라는 얇은 시공두께를 가지고 있지만 포장강성을 반영 시 포장강성을 반영 하지 않은 경우보다 처짐이 감소하는 것을 확인 할 수 있었고, 일반 아스팔트나 SFRC포장에 비해 두께가 1/6~1/7에 불과해 포장의 하중을 80~90%줄이는 것이 가능하다. 때문에 자중 감소에 큰 장점을 가짐을 확인할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 수치해석모델을 통하여 강바닥판 교량의 폴리머 콘크리트 포장강도 반영 시 강바닥판 처짐 및 전단응력 변화에 어떤 영향을 미치는지 파악하기 위해 교면포장의 종류, 두께 및 강바닥판의 두께를 매개변수로 하여 MIDAS를 이용한 해석을 사용, 포장강도를 반영했을 때와 반영하지 않았을 때의 그 변화를 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 포장강성을 반영할 경우 포장두께가 증가함에 따라 처짐이 감소하는 모습을 나타내었다. 다만 포장두께 증가 시 초기에는 처짐이 급격하게 감소하였으나, 포장두께가 증가할수록 처짐 감소폭은 줄어들고, 포장 강성이 큰 포장재의 경우 포장 두께가 일정 부분을 초과한 후에는 포장 자중증가로 인한 처짐 증가가 나타났다.
- (2) 포장강성을 반영하지 않은 경우 강바닥판 두께 변화는 처짐 변화에 영향을 보여주지만, 포장 강성을 반영 시 강바닥판 두께의 변화(12 mm~16 mm)는 상대적으로 포장두께변화(0 mm~100 mm)에 비해 그 변화하는 폭이 작기 때

문에 강바닥판 두께 변화는 포장두께 변화에 비해 처짐의 변화에 영향을 거의 미치지 않는 것을 본 연구를 통해 확인하였다.

- (3) 비록 본 모델링에서 자중과 포장하중만을 고려하였으나, 초박층 포장재인 Polymer Concrete는 비록 12 mm라는 얇은 시공두께를 가지고 있지만 포장강성을 반영 시 처짐 기준을 만족하였고, Polymer Concrete는 일반 아스팔트나 SFRC포장에 비해 두께가 1/6~1/7에 불과해 포장의 하중을 80~90%줄이는 것이 가능하여 자중 감소에 큰 장점을 가짐을 확인할 수 있었다.
- (4) 전단탄성계수가 SFRC 포장층에서 상대적으로 더 큰 전단응력을 받게 되고 강바닥판의 전단응력은 상대적으로 적게 작용함을 확인할 수 있다. 하지만 강바닥판의 전단응력은 폴리머 콘크리트 포장의 경우 SFRC 포장과 비교 하였을 때 최대 0.3 MPa로 적게 나타났다.
- (5) 하지만, 폴리머 콘크리트 포장재는 포장강성을 반영할 경우 일반 아스팔트 포장재료와 마찬가지로 포장재의 피로에 의한 균열, 포장 품질의 저하로 인한 균열 또는 교통문제에 의한 결함 등의 문제가 얇은 포장 두께로 인하여 더욱 민감하게 발생할 수 있으므로 시공 및 유지 관리에 더욱 큰 주의가 필요하다. 또한 폴리머 콘크리트 포장 역시, 일반 아스팔트 포장과 마찬가지로 고온 환경에서의 교면 포장 연화로 인한 포장 강성저하 및 결함 발생이 방지될 수 있도록 추가적인 연구 개발이 필요할 것으로 생각된다.

References

1. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2012). Design code for highway bridge in Korea.
2. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2008). Design code for highway bridge in Korea.
3. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2005). Design code for highway bridge in Korea.
4. Korean Society of Civil Engineers. (2008). Korea Bridge Design & Engineering Research Center, Interpretation of Bridge Design Specification.
5. Korean Society of Civil Engineers. (2006). Design Guidelines for Steel Cable-Supported Bridges.
6. Korean Society of Steel Construction. (2007). Steel Deck Bridge Q & A.
7. Mokpo Bridge Structural calculations. (2005).
8. American Institute of Steel Construction. (1963) "Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridges".
9. US Department of Transportation Federal Highway Administration. (2012). "Manual for Design, Construction, and Maintenance of Orthotropic Steel Deck Bridges".
10. Hwang, B. H. (2013). "F. E. Analysis for Steel Deck Bridges

- Considering the Wearing Surface through Static Loading Test." Graduation thesis of SungKyunKwan University.
11. Han, B. J. (2014). "Study on fatigue stress on the orthotropic steel deck applied polymer concrete pavement." Graduation thesis of SungKyunKwan University.
 12. Jo, J. S. (2011). "Study on the application of low-thickness durable pavement on orthotropic steel deck for long-span bridges." Graduation thesis of Hanyang University.
 13. Jang, J. S. (2013). "Laboratory Performance and Field Application of Epoxy Asphalt Mixture for Long-Span Bridge." Graduation thesis of Kyonggi University.
 14. Jun, S. S. (2009). "Comparative Study on the Stress Analysis Method of the Orthotropic Steel Deck." Graduation thesis of SungKyunKwan University.
 15. Kim, H. J. (2013). "The Physical Properties of Polymer Concrete for Ultra Thin Bridge Deck Pavement." Graduation thesis of SungKyunKwan University.
 16. Lee, H. W., Jung, D. H. (2003). "A Fundamental Study on the Effects of Pavement Stiffness to the Structural Behavior of Orthotropic Steel Plate Deck." Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 7(1).
 17. Lee, J. Y. (2010). "An interpretative study on movement characteristics of pavement and steel floor plate." Graduation thesis of Korea Maritime University.
 18. Murakoshi, J., Naoki Yanadori, U. T., Inokuchi, S., et al., (2008). "Research on Steel Fiber Reinforced Concrete Pavement on Orthotropic Steel Deck" International Orthotropic Bridge Conference Proceedings, Vol.2, pp.359~371.
 19. Oh, S. H., Kim, N. S., Kim W. S. (2009). "A Study on Paving Technique using Polymer Epoxy Resin Materials." Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 29(2D).
 20. Park, H. Y., Lee, J. H., Kwak B. S., Choi, I. H., Kim, T. W. (2013). "A Study to Evaluate Performance of Poly-Urethane Polymer Concrete for Long-Span Orthotropic Steel Bridge." Journal of Korean Society of Road Engineers, Vol. 15, No. 1, pp.1-9.
 21. Park, J. I. (2012). "Fatigue behavior of the orthotropic steel deck by wearing surface condition." Graduation thesis of SungKyunKwan University.
 22. Park, T. S., Kim, J. S., Kim, Y. S. (2006). "A Study on the Evaluation of Ultrathin Pavement." Journal of Korean Society of Road Engineers, P127-131.
 23. Troitsky, M.S., D.Sc. (1987). "Orthotropic Bridges Theory and Design, 2nd ed".

Received : 05/04/2015

Revised : 08/03/2015

Accepted : 08/17/2015

요 지 : 경제성장 및 물류증가로 인하여 장대교량에 대한 수요가 증가하고 있다. 장시간을 가진 교량 건설을 위해서는 자중 감소가 필수적이며, 이를 위한 노력의 일환으로 초박층 포장재에 대한 연구 및 개발이 진행되고 있다. 국내 설계기준을 살펴보면, 이전 도로교설계기준(2010)에서는 포장이 가지는 강성을 강바닥판에 고려하지 않아 보수적인 설계가 이루어져 왔으나, 최근 개정된 설계기준인 도로교설계기준(2012, 한계상태설계법)에서는 일정한 조건 하 포장이 가지는 강성을 강바닥판에 반영하는 것을 허용하고 있다. 하지만 초박층 교면포장이 강바닥판에 미치는 영향에 대한 연구는 미비한 실정이며, 진행된 연구 또한 거동 특성 및 피로응력에 대한 연구로 한정되어 왔다. 본 연구에서는 포장강성의 반영/미반영, 교면 포장재료, 포장 두께 및 강바닥판 두께를 매개변수로 하여 이에 따른 강바닥판의 처짐과 전단응력의 변화 및 추세를 알아보고 또한 이를 바탕으로 강바닥판에 초박층 교면포장 강성 적용의 효율성을 알아보았다.

핵심용어 : 수치해석, 직교이방성 강바닥판, 초박층 교면포장, 포장강성, 폴리머 콘크리트
