

공학석사 학위논문

포장체의 강성이 강상판의 거동에
미치는 영향

지도교수 이 환 우

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



부경대학교 대학원

토 목 공 학 과

박 순 호

박순호의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 26일

주 심 공학박사 김 명 식



위 원 공학박사 정 두 회



위 원 공학박사 이 환 우



목 차

Abstract	iv
1. 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적 및 범위	5
2. 수치해석모델	6
2.1 재료모델	6
2.2 구조모델	9
2.2.1 해석범위 결정	9
2.2.2 수치해석모델	12
2.3 적용하중	14
3. 수치해석결과	18
3.1 강상판의 수직처짐	18
3.2 강상판의 휨모멘트	30
3.3 접착층의 전단탄성계수에 의한 합성거동	34
4. 결 론	40
참고문헌	42
감사의 글	43

그림 목 차

- 그림 1.1 강상판 교면 포장의 구성
- 그림 2.1 적용된 강상판 박스거더의 형상
- 그림 2.2 예비 해석 모델 형상
- 그림 2.3 예비 해석 결과
- 그림 2.4 수치해석 모델
- 그림 2.5 강체연결 세부사항
- 그림 2.6 수치 모델링 형상
- 그림 2.7 하중재하위치
- 그림 3.1 포장체 두께가 3cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐
- 그림 3.2 포장체 두께가 3cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐비
- 그림 3.3 포장체 두께가 5cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐
- 그림 3.4 포장체 두께가 5cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐비
- 그림 3.5 포장체 두께가 7cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐
- 그림 3.6 포장체 두께가 7cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐비
- 그림 3.7 포장체 두께가 9cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐
- 그림 3.8 포장체 두께가 9cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐비
- 그림 3.9 포장체의 두께에 따른 하중조건별 수직처짐비
- 그림 3.10 탄성계수비에 따른 하중작용점에서의 휨모멘트비
- 그림 3.11 경우 3의 하중재하 상세도
- 그림 3.12 전단탄성계수에 따른 강상판의 수직처짐
- 그림 3.13 합성보의 변형 형상
- 그림 3.14 강체연결의 영향 해석을 위한 구조모델링

표 목 차

- 표 1.1 국내·외의 대표적인 강상판 교면 포장의 시공사례
- 표 2.1 해석에 적용된 포장체의 탄성계수 E_p 및 탄성계수비 n
- 표 2.2 DB하중 제원
- 표 3.1 경우 1에 대한 하중작용점에서의 수직처짐 및 처짐비
- 표 3.2 경우 2에 대한 하중작용점에서의 수직처짐 및 처짐비
- 표 3.3 경우 3에 대한 하중작용점에서의 수직처짐 및 처짐비
- 표 3.4 합성정도를 나타내기 위한 전단탄성계수 G_b 의 적용치
- 표 3.5 전단탄성계수에 따른 하중작용점에서의 최대처짐
- 표 3.6 접착층의 전단탄성계수비에 따른 최대 수직처짐

Effects of Pavement Stiffness on the Structural Behavior of Orthotropic Steel Plate Deck

Soon-Ho Park

*Department of Civil Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

The stiffness of pavement is scarcely considered in structural analysis of the superstructure bridge. This type of structural analysis is reasonable in the case of asphalt concrete pavement over a concrete deck plate because the stiffness of pavement compared with the concrete deck plate can be ignored. Especially, as an existing pavement has a characteristic which the material properties are largely changed with a temperature viscoelastically, the general analysis procedure ignoring the stiffness of pavements may be correct to do a design with safety. However, various pavement material which have an even value reaching to the elastic modulus of concrete is applied, and in the case of the orthotropic steel deck plate which has relatively less stiffness comparing with the concrete deck plate, the stiffness of pavement should be considered in the structural analysis.

In this paper, both the steel deck plate and the pavement in constructing the K bridge are modeled for the linear elastic analysis applied with DB-24 rear wheel load. This analysis was performed with the general finite element analysis S/W, SAP2000, with a varying stiffness of the pavement. The steel deck plate and the pavement is assumed to be perfectly and non-perfectly bonded and the temperature effect is ignored. In the analysis result, the vertical deflection of the steel deck plate influencing the public function of pavement and the bending stress influencing to estimate the fatigue life of the steel deck plate are studied. As a result of vertical deflection,

bending moment and bending stress of the orthotropic steel plate deck applied to polymer and asphalt concrete is much smaller than that of the orthotropic steel plate deck that ignored pavement. It is indicated that the stiffness effect of the pavement has a large influence on the structural behavior of the orthotropic steel deck plate. The study to these effects relating with the design of the steel deck plate section and estimation of fatigue life should be done in detail.

Key words : pavement of stiffness, orthotropic steel deck plate, finite element analysis, isotropic linear elastic material

1. 서론

1.1 연구배경

교량이란 교통의 장애가 되는 장소, 즉 하천, 계곡, 호수, 해협, 운하, 철도, 시가지도로 및 고속도로 등을 횡단하는 장소에 건설되어 교통의 흐름을 안전하고 원활하게 하는 기능적인 면과 주변경관과의 조화를 이루는 조형미적인 면을 동시에 갖는 도로 구조물이다. 교량을 주형에 사용되는 재료로 분류하면 크게 강교와 콘크리트교, 두 가지로 나눌 수 있다. 그 중 강교에 사용되는 재료인 강재는 강도에 대한 신뢰성이 높고 재료의 역학적 거동도 상당부분을 명확히 파악할 수 있으며, 가공성 및 공장제작으로 품질관리에 이점이 있다. 그리고 자중경감의 효과로 장시간 교량의 시공이 용이하므로 최근에 빈번하게 설계, 시공되고 있다. 우리 나라에서도 1990년대 이후부터 장대교의 수요가 늘어나면서 위와 같은 특성을 가진 많은 강교가 여러 가지의 형태로 설계, 시공되고 있다[1].

특히, 강상판(orthotropic steel plate deck) 교량[2,3]은 용접기술의 발달과 고도화된 구조해석기술의 발전에 힘입어 최근에는 건설사례가 점점 증가하고 있는 교량형식중의 하나이다[4].

이와 같이 강상판 교량의 시공이 빈번해지면서 강상판의 교면 포장의 기술도 발달되고 있다. 일반적으로 교량의 교면 포장체는 차량의 주행성을 양호하게 하고, 차량의 축하중을 상판에 고르게 분포시켜 교량의 상판에서 발생될 수 있는 과도한 응력집중을 저감시키는 역할을 하며 마모나 우수로부터 교량의 상판을 보호하는 역할을 한다. 이러한 교면 포장체의 기본적인 역할은 강상판의 경우에도 마찬가지로 요구되어진다. 그러나 강상판 교량의 경우에는 콘크리트 상판에 비해서 강성이 매우 작으므로 차량의 축하중 등에 의해 진동과 처짐을 수반하게 되고 이는 포장체로서 요구되는 여러 가지 성능유지에도 유해한 영향을 많이 미치게된다. 따라서 강상

관 교량의 교면 포장은 아주 유연한 재료를 사용하거나 때에 따라서는 어느 정도의 높은 강성을 가진 재료를 사용하는 등, 우수한 공용성능을 확보하기 위한 다양한 포장 공법들이 개발, 적용되고 있다.

표 1.1 국내·외의 대표적인 강상판 교면 포장의 시공사례[5]

	종류	개소	평균포장두께	비고
국내	개질 아스팔트	4	35mm	서강, 정산 1, 청담, 영종대교 등의 상층
	구스 아스팔트	3	43mm	정산 1, 청담, 영종대교 등의 하층
	매스틱 아스팔트	5	45mm	진도, 굴현, 형산대교
국외	개질 아스팔트	7	55mm	미국-Luling Bridge 등
	매스틱 아스팔트	9	43mm	영국-The Forth Bridge 등
	구스 아스팔트	4	40mm	하층-구스아스팔트, 상층-개질아스팔트의 형식이 주류, 일본 Yokohama Bay Bridge 등
	에폭시 아스팔트	16	50mm	중국-Second Yangtze Bridge 등

현재 교면 포장의 종류에는 표 1.1과 같이 개질 아스팔트, 구스 아스팔트, 매스틱 아스팔트, 에폭시 아스팔트 등 많은 재료와 시공방법이 사용되고 있다. 그 중에 개질 아스팔트는 도로포장에서는 많이 적용하고 있으나 강상판의 교면 포장에 적용한 사례는 구스 아스팔트의 상부층으로 적용되고 있는 경우가 대부분이다.

구스 아스팔트는 1950년대 독일의 기술자들이 교통량이 많은 도로의 포장을 위해 개발한 고유동성 아스팔트 혼합물로 독일을 비롯한 북유럽에서 널리 사용해오고 있다. 특히, 방수효과가 크고 강상판의 변형에 대한 추종성이 높기 때문에 강상판의 포장에 많이 사용되고 있다. 그러나 구스 아스

팔트 시공시 약 220℃~260℃의 고온으로 강상판에 포설된다. 이때 교량단면의 상하 방향에서 일시적으로 약 100℃~130℃의 온도차가 발생한다. 이러한 온도차는 설계시 간과된 변수로 시공중 교량구조에 예상하지 못한 변형과 응력을 발생시킬 수 있다.

에폭시 아스팔트는 1950년대 미국 캘리포니아주 베이 브릿지(Bay bridge)의 교면 포장에 최초로 적용된 재료로 고온에서의 안정성과 균열저항성이 크고 부착성이 좋은 특성이 있다. 미국과 캐나다에서 많이 사용되어오고 있고 최근에는 중국에서도 많이 적용하고 있다.

매스틱 아스팔트는 영국기술자들에 의해 개발되었으며 유동성이 큰 고밀도 재료이다. 국내에서도 진도와 해남을 연결하는 연육교인 진도대교(강상판 사장교)에 포장되었던 사례가 있다.

위에서 열거한 포장 재료의 역학적인 거동은 현재 강재만큼 명확하게 파악되지 않았으며 많은 연구가 수행되고 있는 실정이다.

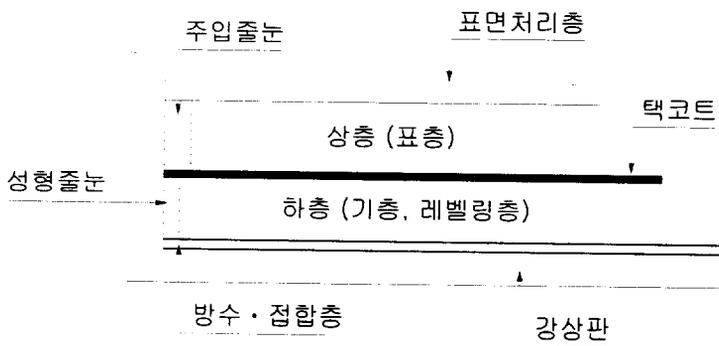


그림 1.1 강상판 교면 포장의 구성

그림 1.1은 강상판 교면 포장의 대표적인 구성 형상을 나타내고 있다. 그림 1.1에서 상층은 차량의 쾌적한 주행성의 확보와 제동에 대한 미끄럼 저항을 지니게 하는 직접적인 역할과 마모와 균열에 대한 저항성 등의 내구성이 요구되는 층이다.

하층은 강상판의 요철을 보정하고 상판과 상층을 일체화시켜 포장의 안정성과 내구성을 높이는 역할을 한다.

택코트는 포장의 상, 하층을 접착시켜 상층의 변형을 막고 주행차량의 제동에 의한 전단력에 저항하는 역할을 담당한다.

구조물과 포장의 접촉부에서 팽창계수의 차이로 인한 틈새 발생을 막아서 방수성 확보하기 위한 목적과 재료 공급 및 포설 기계의 능력 등의 이유로 교축방향 시공이음이 발생할 경우를 대비해서 각각 주입줄눈 및 성형줄눈을 시공한다.

구배가 4%이상의 경사로나 곡선부에 포장표면의 미끄럼 저항을 높이기 위해 표면처리층을 설치하기도 한다.

방수층은 물의 침투를 막아 강상판의 부식에 의한 내구성을 향상시키는 역할을 한다. 이때 방수층과 강상판, 방수층과 하층의 접착을 완벽하게 하기 위해서 접착제가 도포된다. 따라서 강상판에 제일 근접한 층, 방수층과 접착층을 총칭해서 방수·접합층이라 정의했다.

일반적으로 강상판 교량의 바닥판 구조설계 시, 포장체의 강성은 고려되지 않고 마모나 우수로부터 강상판을 보호하는 역할을 하는 비구조체로 간주되어 고정하중으로서 고려되어 설계된다. 이에 따라 위에서 열거한 여러 종류의 교면 포장이 그림 1.1의 포장 구성에 기초해서 시공되고, 시공된 포장재료의 강성이 클 경우 때에 따라서 다소 불합리한 상황이 초래될 것으로 판단된다.

1.2 연구목적 및 범위

강상판의 교면 포장체는 아스팔트나 합성수지로 제작되며 이러한 포장 재료는 점탄성 재료로서 재료 자체적인 성질뿐만 아니라 온도에 따라서 콘크리트와 거의 대등한 수준에서부터 콘크리트에 비해 약 1/200 정도에 지나지 않는 수준까지 다양한 강성분포를 가진다. 그리고 표 1.1에서 보는 바와 같이 일반적으로 12mm나 14mm로 적용되는 강상판의 두께에 비해 포장체의 두께는 3~4배 크게 적용된다. 따라서 강상판의 구조해석 시 포장체의 강성을 고려하였다면 실제 발생하는 처짐 및 응력수준 등이 상당한 폭을 갖고 변할 수 있다는 것을 의미하고 이는 교면 포장체의 공용성능과 강상판의 여러 용접부위의 피로수명 평가 등에 영향을 줄 수 있게 될 것이다.

이에 따라, 본 연구에서는 실제 시공중인 교량의 단면을 대상으로, 교면 포장이 시공된 후 사용단계에서 강상판과 접착층을 제외한 강상판에 적용된 포장체의 각 층을 균일한 물성치를 가지는 하나의 재료로 구성된 층으로 가정하여 모델링하고 포장체의 상부에 차량의 윤택중(DB-24 후륜하중)을 적용시켰을 때 포장체의 강성이 강상판의 거동에 미치는 상대적인 영향과 그 범위 및 특성을 알아보려고 한다.

2. 수치해석모델

2.1 재료모델

본 해석에서 사용된 재료는 강상판(orthotropic steel deck) 및 횡리브(lateral rib), 종리브(longitudinal rib)의 제작에 사용된 강재(s)와 포장체를 구성하는 아스팔트 콘크리트(p) 그리고 강상판과 포장체의 접착에 사용되는 접착체(b)가 있다. 본 연구는 포장체의 강성정도에 따른 상대적인 효과를 분석할 목적이었으므로 모든 재료들을 등방성의 선형 탄성재료(isotropic linear elastic material)로 가정했다.

해석에 사용된 재료들에 대해 가정한 물성값을 나타내면 다음과 같다. 먼저 강재(s)는 탄성계수(E_s)가 $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 이고 포아손비(μ_s)는 0.3 으로 고정하여 해석에 적용했다.

접착층 외에 상부의 모든 층을 균질한 1개의 층으로 가정한 포장체 재료의 물성값은 강상판의 교면 포장에 사용되는 재료 중에 탄성계수가 높은 에폭시 바인더(epoxy binder)를 사용한 폴리머 콘크리트(polymer concrete)가 낮은 온도에서 나타내는 값을 기준으로 약 50%이상 상회하는 값($E_p = 2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)에서부터 일반 개질 아스팔트가 높은 온도에서 가지는 탄성계수값에 약 50%이상 하회하는 값($E_p = 3.5 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)까지를 15단계에 걸쳐 변화시키면서 적용하였다. 이때 탄성계수값이 상대적으로 높은 쪽의 경우에는 변화되는 폭을 조밀하게 적용했으며 반대로 탄성계수값이 낮은 경우에는 큰 폭으로 변화시켜 나타나는 추세를 확인했다. 즉, 고강성일 때의 경우에 대해 더 민감하게 거동할 것으로 예상하여 그 추세를 더 상세하게 알 수 있도록 값을 결정했다. 그리고 등방성의 선형 탄성 재료로 가정된 포장체의 전단탄성계수(G_p)는 아래의 식 (2.1)의 탄성계수(E_p)와 포아손 비(ν_p)와의 관계식에서 전단탄성계수(G_p)가 결정

되었다.

$$G_p = \frac{E_p}{2(1 + \nu_p)} \quad (2.1)$$

표 2.1에는 본 연구의 수치해석에 고려된 포장체의 탄성계수를 강재의 탄성계수에 대한 탄성계수비($n = E_s/E_p$)에 따라서 나타내었다. 그리고 포장재료가 점탄성체임에도 불구하고 하중이 적용될 때 포아슨 효과에 따른 수직인 방향 이외의 다른 방향에 대한 변형을 제어하여 하중의 전달효과를 극대화하고 해석 변수의 감소를 위한 목적으로 포아슨비를 0으로 가정하여 적용했다.

표 2.1 해석에 적용된 포장체의 탄성계수 E_p 및 탄성계수비 n

탄성계수비 n ($= E_s/E_p$)	E_p (kg/cm^2)	탄성계수비 n ($= E_s/E_p$)	E_p (kg/cm^2)	탄성계수비 n ($= E_s/E_p$)	E_p (kg/cm^2)
10	2.1×10^5	60	3.5×10^4	250	8.4×10^3
20	1.05×10^5	80	2.625×10^4	300	7.0×10^3
30	7.0×10^4	100	2.1×10^4	400	5.25×10^3
40	5.25×10^4	150	1.4×10^4	500	4.2×10^3
50	4.2×10^4	200	1.05×10^4	600	3.5×10^3

마지막으로 강상판과 포장체의 사이에 적용될 접착층은 실제 시공에서 얇은 막으로 도포되므로 직접적인 구조적 거동에는 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되며 단지 포장체와 강상판의 접착여부를 좌우하는 기능을 가

진 요소로서만 적용된다. 따라서 본 논문에서는 포장체와 강상판의 접촉 정도에 따른 효과를 고려하기 위해서 탄성계수는 고려하지 않고($E_b = 0.0$) 전단탄성계수(G_b)만을 고려했다. 그러나 접촉층의 탄성계수를 고려하지 않으면 해석 시에 포장체 상부의 하중을 강상판으로 전달할 수 없고 포장체만이 하중을 받는 구조체 역할을 한다. 따라서 강상판의 절점과 포장체의 하부 절점 사이를 강체(rigid)연결하여 수직하중을 포장체와 함께 강상판도 저항할 수 있도록 하였다.

이때 본 해석에서 적용된 접촉층의 전단탄성계수(G_b)는 포장체와 접촉층이 완전하게 접촉되어 거동을 같이 하는 것으로 가정하여 포장체의 전단탄성계수(G_p)와 대등한 값을 적용시킨 경우($G_b = G_p$)와 전단탄성계수(G_b)가 거동에 영향을 미치지 못하도록 그 값을 최소로 적용시킨 경우($G_b \approx 0.0$) 그리고 이 값들의 중간 수준의 값 등 세 가지 경우를 해석에 적용시켰다.

2.2 구조모델

2.2.1 해석범위 결정

본 연구에서는 현재 시공 중인 K 교량의 강상판 박스거더를 해석 대상으로 적용하였다. 적용된 강상판 박스거더에서 캔틸레버 부분을 제외한 교축 방향으로 10m의 범위를 그림 2.1에 나타내었다.

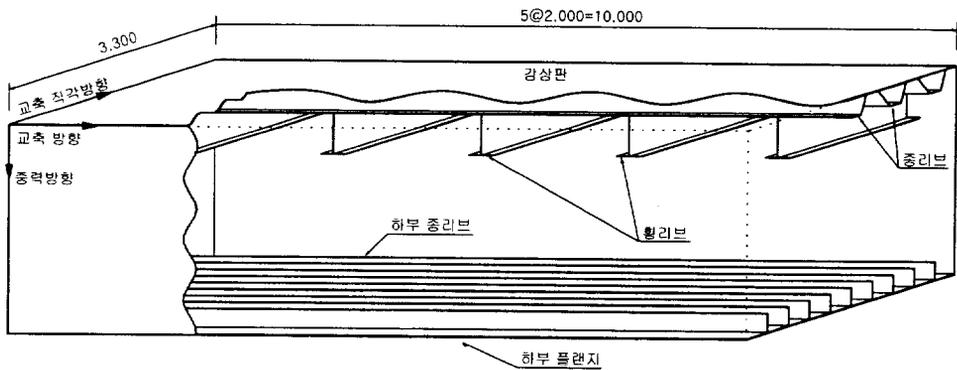


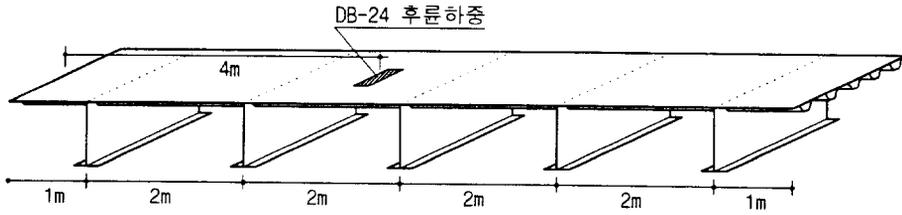
그림 2.1 적용된 강상판 박스거더의 형상 (단위; mm)

본 연구에서 전체 구조물을 해석에 적용시키는 것은 여러 가지 요인에 의해 불가능하므로 연구의 목적을 감안하여 해석에 적용될 범위를 다음과 같이 한정하였다.

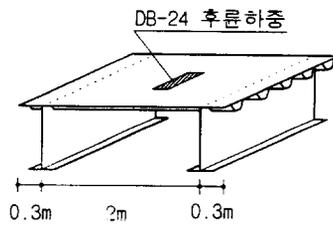
교축 직각방향으로는 강상판 및 횡리브와 박스의 웨브의 접합선을 경계로 하였으며 그 접합선에 대해 각 방향에 대한 변위자유도를 구속하고 회전자유도를 활성화시켜 현지처리 하였다.

교축 방향의 범위를 결정하기 위해서, 위에서 가정된 교축 직각방향의 지점조건으로 간격이 2m인 횡리브 다섯 개가 포함된 총길이 10m인 모델(그림 2.2(a))과 횡리브 두 개가 포함된 총길이 2.6m인 모델(그림 2.2(b))에 대해 적용 하중(DB-24 후륜 축하중)을 분포 면적으로 나누어, 전자의 경우에는 그림 2.2(a)와 같이 좌측에서 4m로 이격시켜 재하시켰고 후자의

경우는 같은 하중을 그림 2.2(b)와 같이 상판의 중앙에 재하시킨 경우를 해석하여 두 모델에 대한 거동을 살펴보았다.



(a) 10m 모델 형상



(b) 2.6m 모델 형상

그림 2.2 예비 해석 모델 형상

해석결과, 두 모델의 교축 방향에 대한 구조적 거동은 거의 일치하였고 그 중 수직 처짐의 결과를 그림 2.3에 나타내었다.

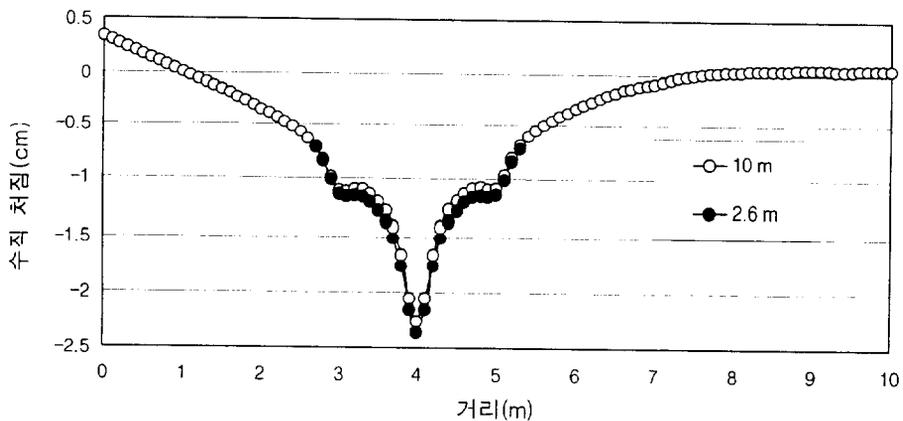


그림 2.3 예비 해석 결과

그림 2.3에서 보는 바와 같이 두 모델의 수직처짐의 차이는 아주 미소 ($\frac{\Delta_{10} - \Delta_{2.6}}{\Delta_{10}} = \frac{2.361 - 2.261}{2.361} = 0.042$)하여 거의 무시할 수 있을 정도로 작은 것으로 관찰할 수 있다. 따라서 교축 방향의 범위는 횡리브가 2개가 포함되고 양쪽 횡리브에서 30cm의 상관이 더 포함된 길이가 2.6m인 모델을 해석 대상 모델로 결정했다.

2.2.2 수치해석모델

본 논문의 해석 모델은 예비해석을 통하여 적절한 범위로 확인된 그림 2.4(a)와 같이 결정되었다.

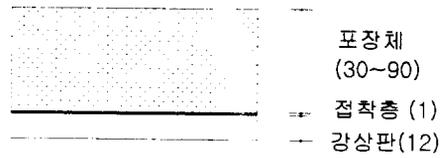
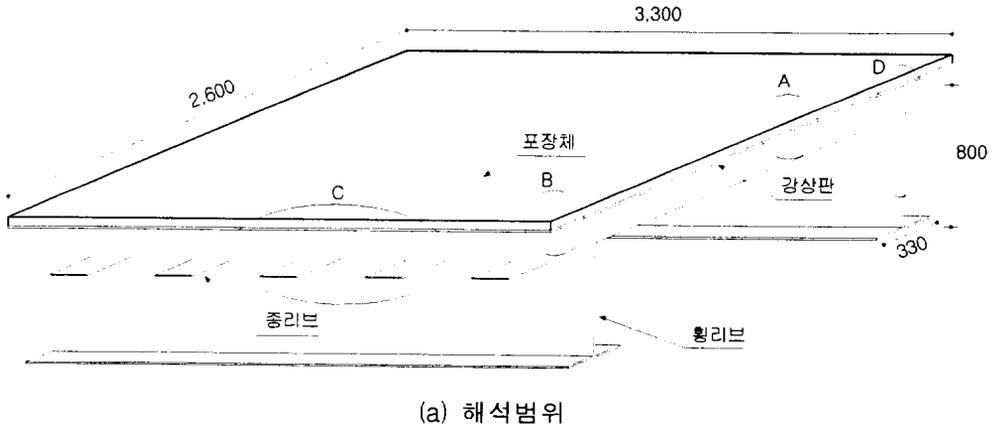
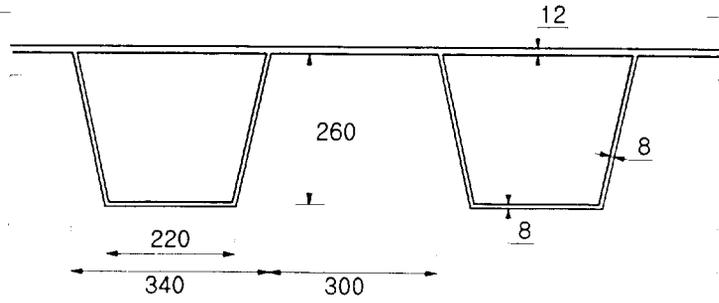
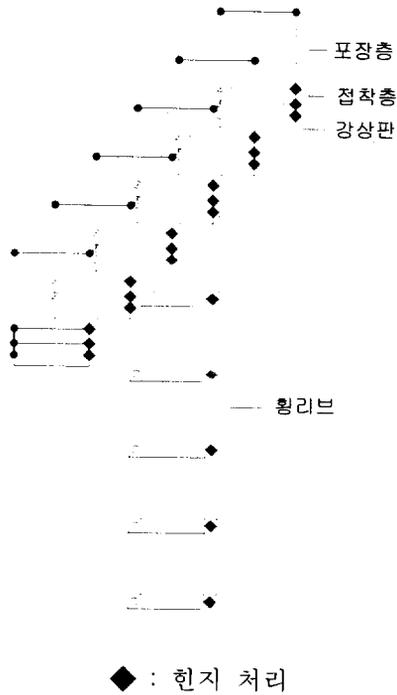


그림 2.4 수치해석 모델(계속)



(d) 종리브 상세 (상세도 C)



(e) 경계조건 상세 (상세도 D)

그림 2.4 수치해석 모델

이때 그림 2.4(b)와 같이 강상판을 12mm, 포장체와 강상판 사이의 점착층을 1mm로 모델링하였다. 그리고 포장체는 실제 시공사례 및 시방규정

에 의하면 포장재료에 따라 5~8cm의 범위로 적용된다. 따라서 본 논문에서는 포장체의 두께에 따른 영향을 확인하고 적용된 범위를 모두 포함시킬 수 있도록 각각 3cm, 5cm, 7cm, 9cm로 모델링하였다.

본 해석의 유한요소 모델링은 범용 구조해석 S/W인 SAP2000[6]에 내장된 4절점 쉘(shell)요소를 사용하여 강상판과 종리브 및 횡리브를 모델링하였다. 그리고 8절점 고체(solid)요소를 사용해서 포장체와 접착층을 각각 모델링하였다. 유한요소의 크기는 기본적으로 5cm × 5cm로 하였다. 그리고 요소의 연결(connectivity)을 위해서 그 크기를 1cm정도로 요소의 크기를 조절했다. 위의 조건으로 B부분에 대한 모델링 상세도를 그림 2.4(c)에 나타내었다.

언급한 바와 같이 경계조건은 박스의 웨브와 본 연구의 해석모델이 접한 부분을 힌지로 처리했다. 교축 직각방향 선단의 접착층 상하 절점 또한 힌지로 처리했으며 그림 2.4(e)에 나타나있다.

접착층은 수직거동에 아무런 영향을 미치지 못하도록 탄성계수를 적용하지 않았고 포장체의 하부절점(접착층의 상부절점)과 접착층의 하부절점을, 그리고 접착층의 하부절점과 강상판의 절점을 각각 강체(rigid)연결했다. 강체연결의 세부사항 및 구속된 자유도는 그림 2.5와 같다.

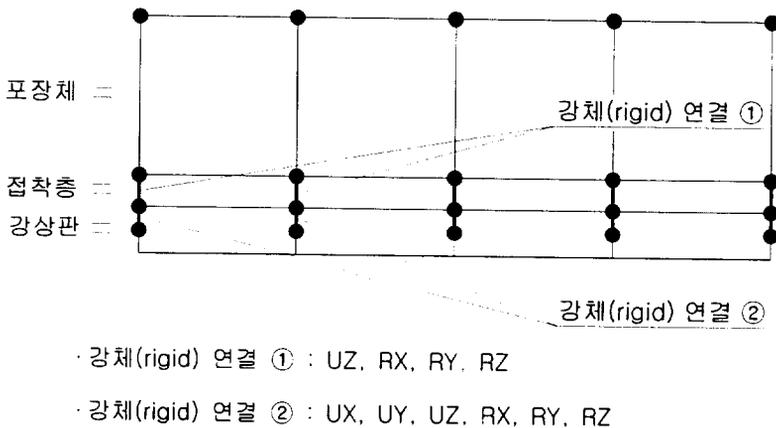
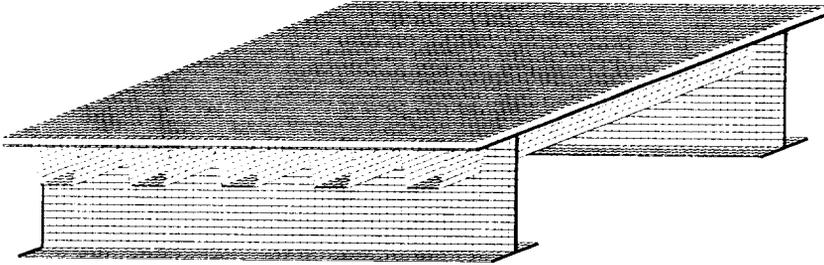


그림 2.5 강체연결 세부사항

앞에서 열거된 해석범위와 경계조건을 이용해서 유한요소모델을 구성한 결과를 나타내면 그림 2.6과 같다.



— : 힌지 처리

그림 2.6 수치 모델링 형상

2.3 적용하중

본 논문의 구조모델에 적용될 하중은 다음의 표 2.2와 같이 교량의 바닥판과 바닥틀 설계 시 적용하는 표준트럭 하중 중에 1등급에 적용되는 DB-24 후륜 축하중 9,600kg을 접지면적에 분포시켜 포장체 상부의 면하중으로 적용했다. 이때 하중작용 면적은 교축 방향으로 20cm, 교축 직각 방향으로 50cm이다[7].

표 2.2 DB하중 제원

교량등급	하 중	총중량 (ton)	전륜하중 (kg)	후륜하중 (kg)	전륜접지폭 (cm)	후륜접지폭 (cm)	차륜접지폭 (cm)
1등급	DB-24	43.2	2,400	9,600	12.5	50	20
2등급	DB-18	32.4	1,800	7,200	12.5	50	20
3등급	DB-13.5	24.3	1,350	5,000	12.5	50	20

교면 포장 시공 시에 교량의 상판에는 사용되는 혼합물의 종류에 따라서 포설온도가 220℃~250℃ 정도의 상당한 온도하중이 재하되기도 한다. 이러한 온도하중에 대한 연구도 많이 수행되고있으나 본 논문에서는 시공 단계에서 온도의 영향에 대한 해석이 아니고 시공 완료 후 사용상태에서 차량의 후륜 축하중에 의한 상대적인 거동 특성을 분석하는데 그 목적이 있다. 따라서 온도 하중은 고려하지 않았다. 그리고 자중에 대해서도 적용되는 포장체의 종류에 따라서 자중이 차이가 있고 또 이를 종류에 따라 해석에 반영한다는 것은 무리가 따를 뿐만 아니라 해석 목적으로 볼 때도 포장체의 자중을 고려한다는 것은 그다지 의미가 없을 것으로 판단하여 적용되는 포장체에 대해서 자중 역시 고려하지 않았다.

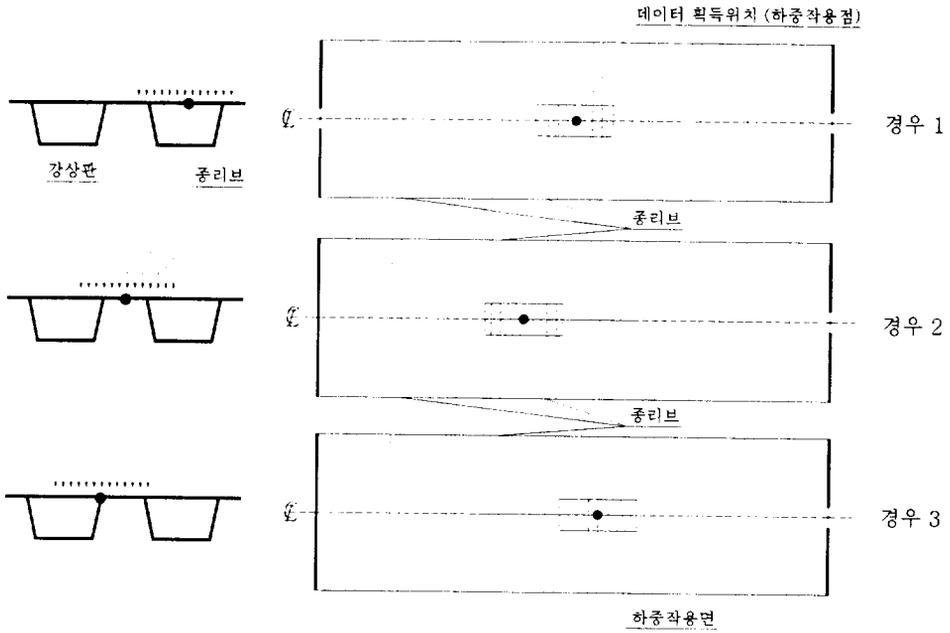


그림 2.7 하중재하위치

그림 2.7에서는 적용하중의 각 경우들과 강상판 요소들에 대한 해석결과들의 획득위치를 보여주고 있다. 경우 1은 U형 종리브로 둘러싸인 내부 강상판의 중앙점에, 경우 2는 적용하중의 합력점을 U형 종리브들 사이의 강상판 중앙점에 그리고 경우 3은 U형 종리브와 강상판의 용접선에 그 합력점을 각각 일치시켜 해석하였다. 그리고 해석결과 획득위치는 각 하중 경우에 대해 적용하중의 도심 즉, 합력점에 대응하는 강상판의 위치에서 부재력과 응력, 처짐량 등을 획득하였다.

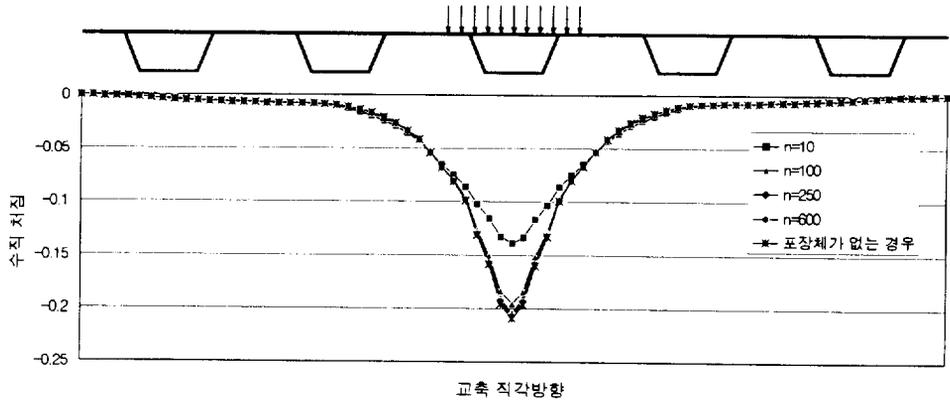
3. 수치해석결과

3.1 강상판의 수직처짐

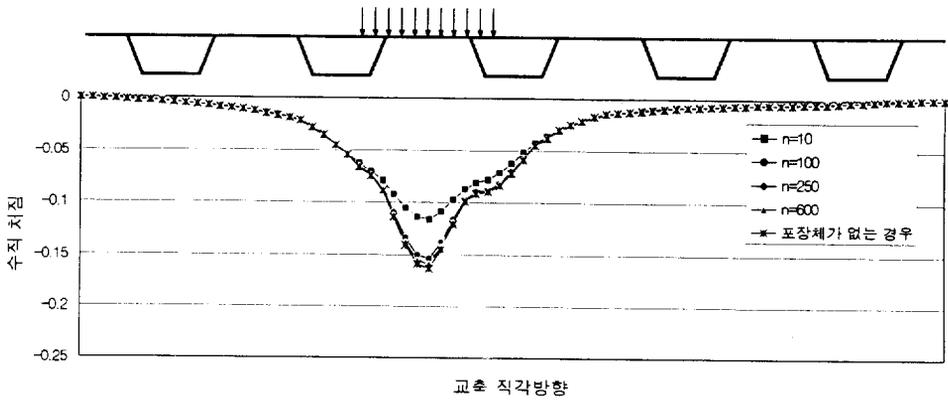
포장체의 두께에 따른 영향을 관찰하기 위해서 두께가 3cm, 5cm, 7cm, 9cm인 경우에 대해서 해석된 결과 중 탄성계수비($n = E_s/E_p$)가 10, 100, 250, 400, 600일 때의 교축 직각방향의 수직처짐(δ_{ps})을 획득하였다. 이때 포장체가 없는 강상판에 직접 하중을 적용시킨 경우(δ_{ss})에 대해서도 획득하였다.

먼저 포장체의 두께가 3cm일 때의 획득된 수직처짐을 나타내면 다음의 그림 3.1과 같다. 그림 3.1을 살펴보면 탄성계수비가 증가하면 즉, 포장체의 탄성계수가 감소하게되면 수직처짐량은 포장체가 없는 경우에 대해 수렴하고 있음을 알 수 있었다. 하중 경우 1은 하중의 대부분이 종리브 내에 작용하고 있으므로 종리브 단면의 강성 영향이 거의 없는 것으로 보여지고 있고 하중 경우 2, 3을 살펴보면 하중 재하위치가 지점에 더 가까워지고 하중이 종리브에 의해 분할되므로 종리브 단면의 강성의 영향이 상당히 작용하는 것을 확인할 수 있다.

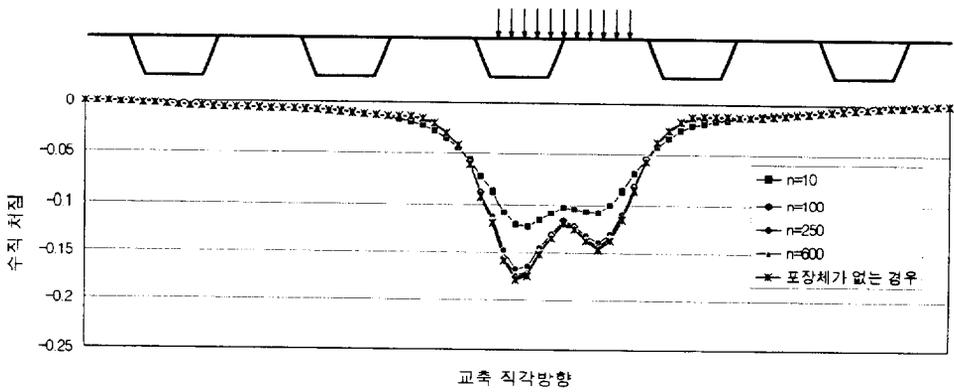
그림 3.2는 포장체 두께가 3cm인 경우의 수직처짐비($= \delta_{ps}/\delta_{ss}$)를 나타내었다. 그림 3.2에서 보는 바와 같이 포장체의 두께가 3cm인 경우, 탄성계수비가 작을수록 수직처짐비가 작아지는 것을 알 수 있고 그 정도는 하중 경우 1, 3인 경우에 최소 70%이하로, 하중 경우 2는 최소 90%이하인 것으로 나타났다. 그러나 탄성계수비가 200이상으로 증가되면 하중이 강상판에 직접 재하된 경우와 거의 일치하여 포장체의 영향은 거의 없는 것을 관찰할 수 있었다.



(a) 경우 1



(b) 경우 2



(c) 경우 3

그림 3.1 포장체 두께가 3cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐(단위, cm)

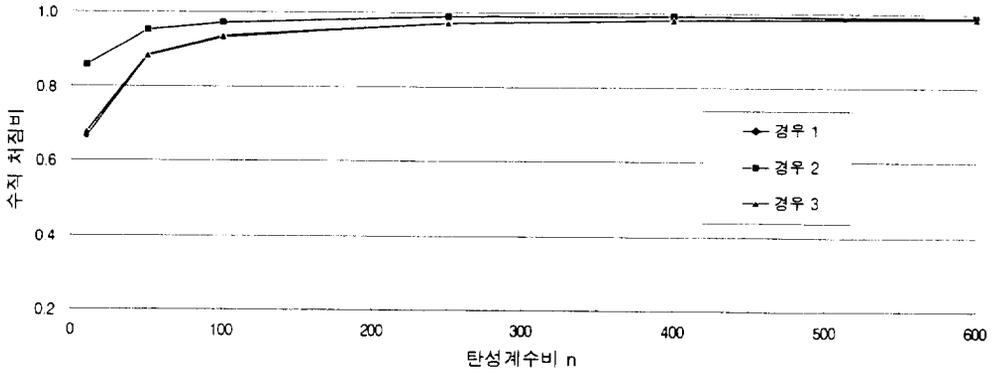
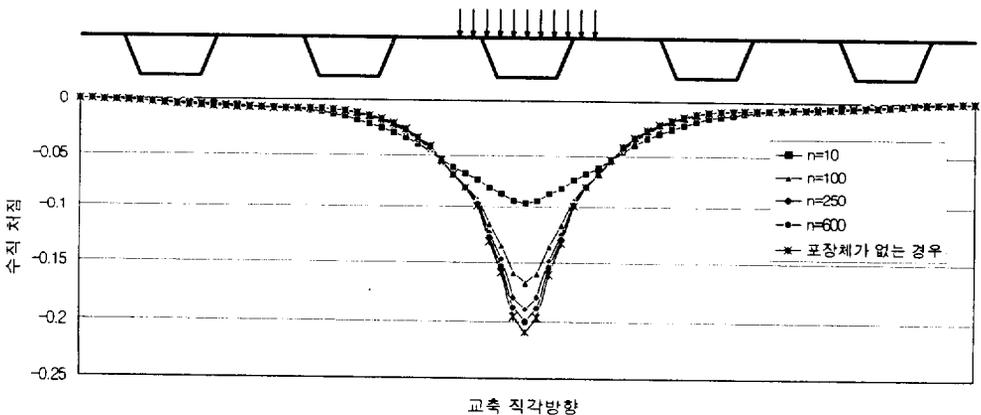


그림 3.2 포장체 두께가 3cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐비(δ_{ps}/δ_{ss})

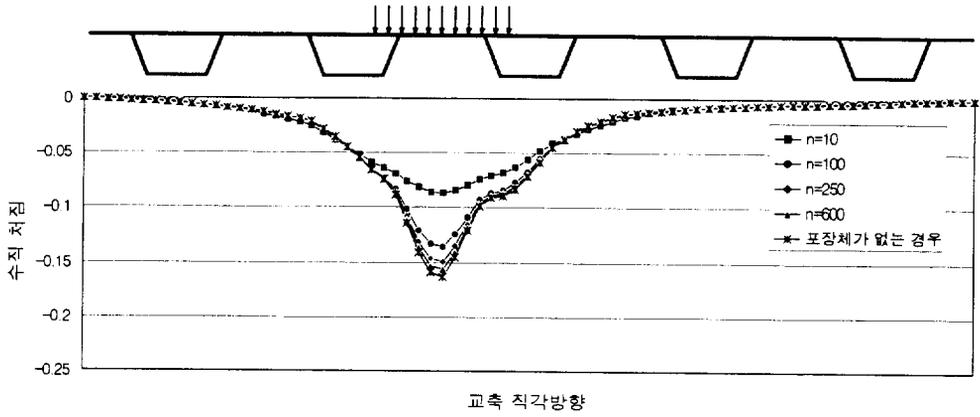
그림 3.3은 포장체 두께가 5cm인 경우에 대한 수직처짐을 나타내었다. 이 경우에도 포장체의 두께가 3cm인 경우와 거의 같은 경향을 나타내고 있으나 두께의 증가로 인해 처짐이 감소하며 포장체가 없는 경우에 대한 수렴정도에서 다소 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

그림 3.4에는 포장체 두께가 5cm인 경우에 대한 수직처짐비를 나타내었다. 이 경우의 수직처짐비 역시 탄성계수비가 10에 가까울 때 하중 경우 1, 3은 50%이하로, 하중 경우 2는 80%이하로 3cm의 경우보다 약 20%정도 더 감소한 것으로 나타났다.

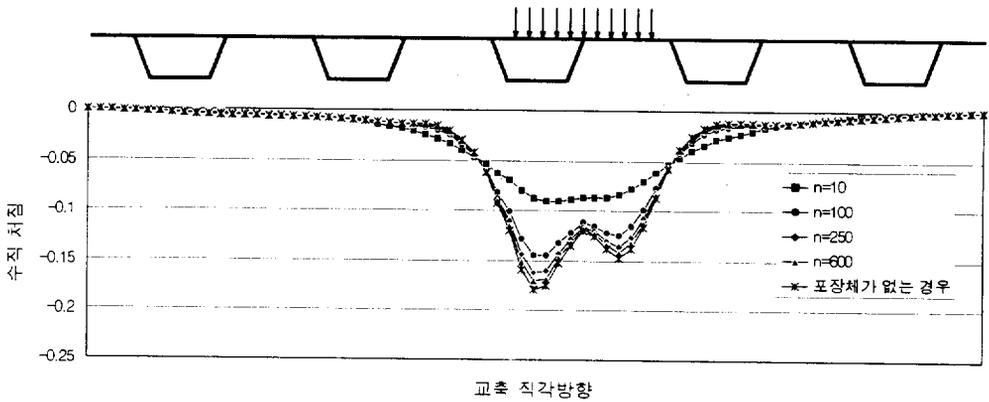


(a) 경우 1

그림 3.3 포장체 두께가 5cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐(단위, cm) (계속)



(b) 경우 2



(c) 경우 3

그림 3.3 포장체 두께가 5cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐(단위, cm)

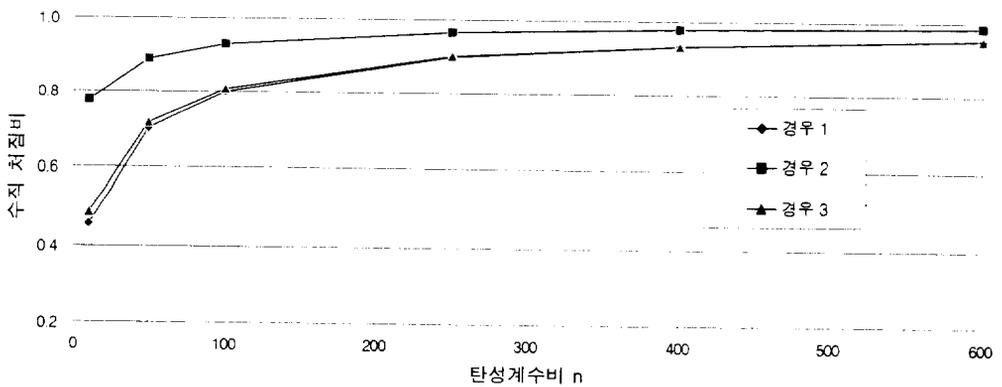
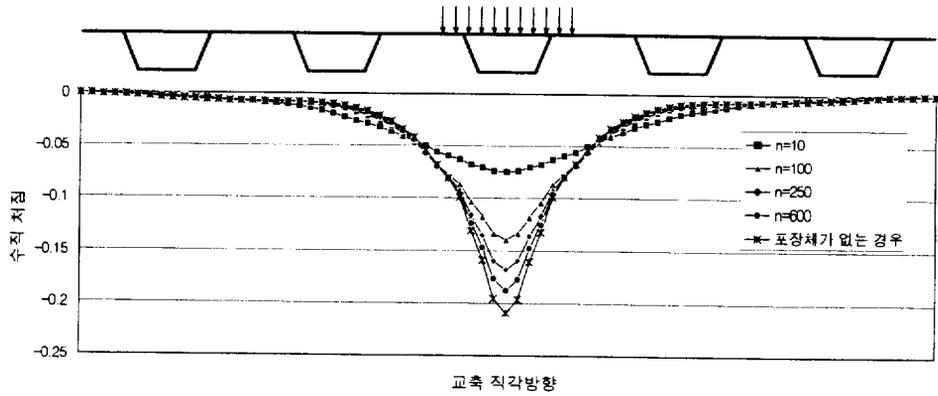
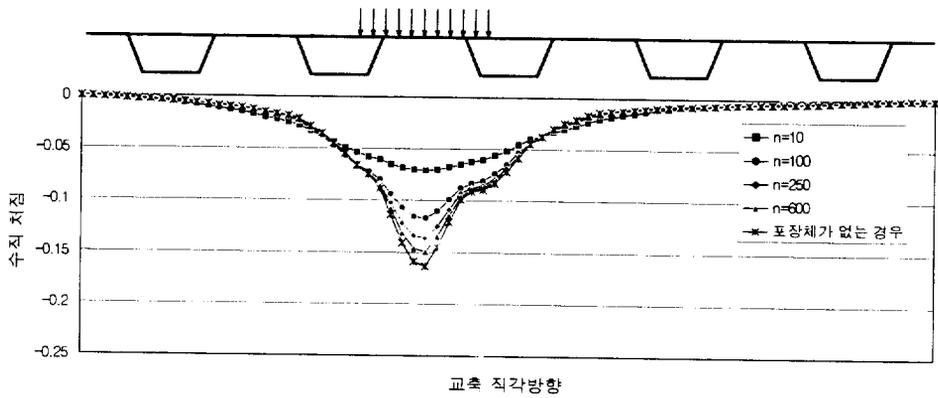


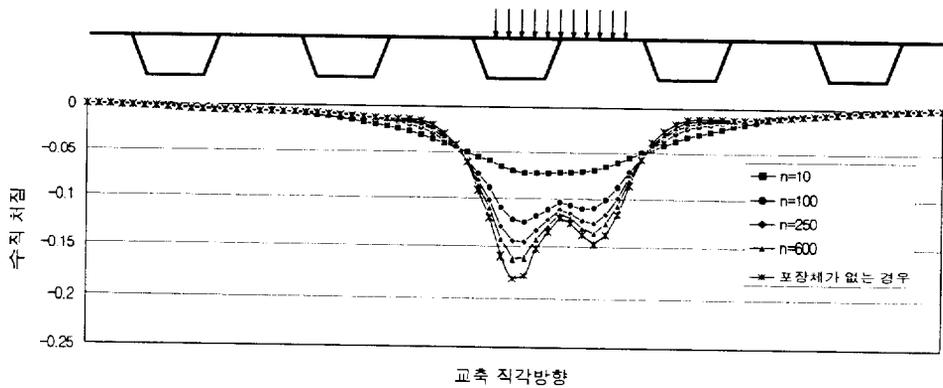
그림 3.4 포장체 두께가 5cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐비($\delta_{ps} / \delta_{ss}$)



(a) 경우 1



(b) 경우 2



(c) 경우 3

그림 3.5 포장체 두께가 7cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐(단위, cm)

그림 3.5에는 포장체의 두께가 7cm인 경우의 수직처짐을 나타내었다. 이 경우에도 그림 3.2 및 그림 3.4과 비교하여 그 크기의 차이만 있을 뿐 같은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

그림 3.6은 포장체의 두께가 7cm일 때의 수직처짐비로서 포장체의 두께가 3cm, 5cm일 때와 비슷한 경향이 나타나고 있다. 그림 3.6에서 보는바와 같이 강상판의 수직처짐은 포장체가 없는 경우에 비해 하중 경우 1, 3에 대해서는 최소 40%이하로, 하중 경우 2에 대해서는 최소 70% 정도인 것으로 나타나고 있다.

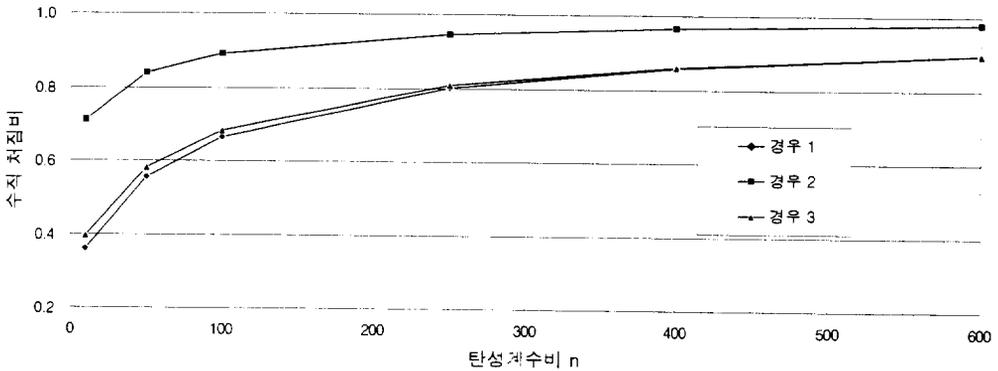
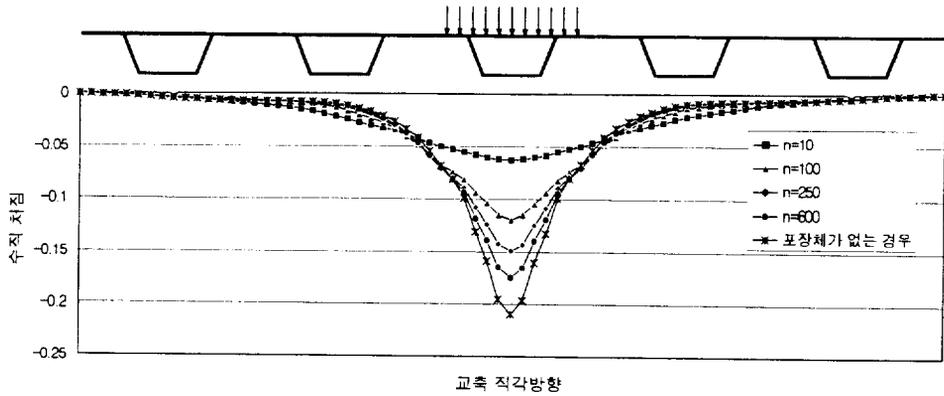
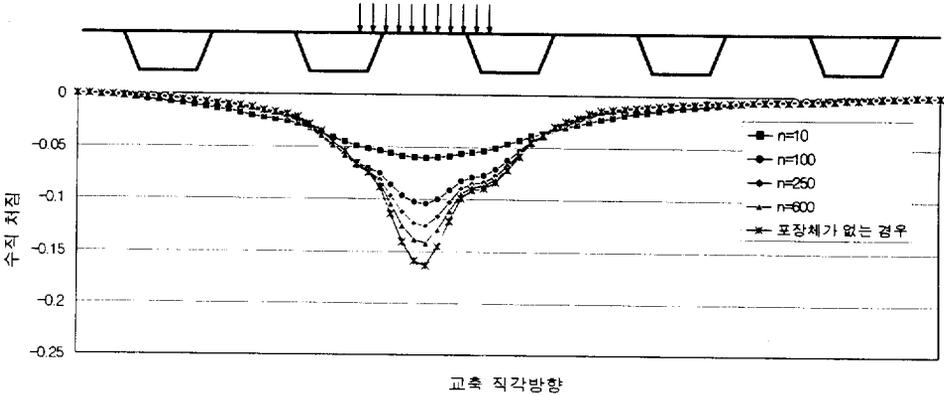


그림 3.6 포장체 두께가 7cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐비(δ_{ps}/δ_{ss})

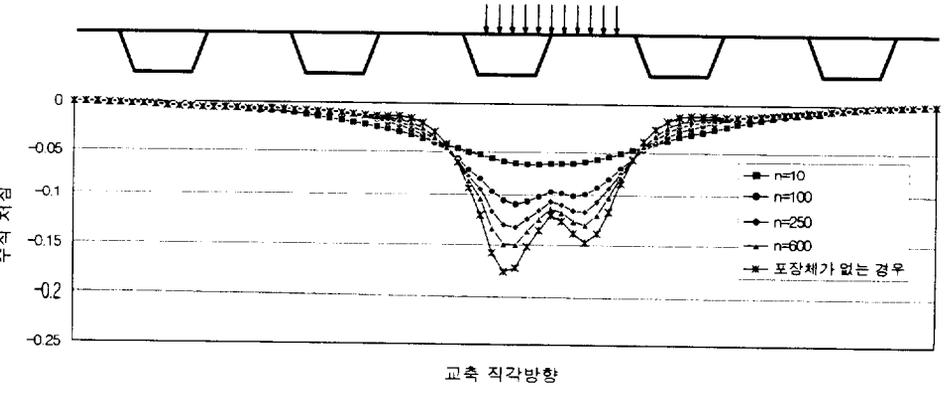
그림 3.7은 포장체의 두께가 9cm인 경우에 대한 수직처짐을 나타내었다. 이 경우를 앞의 경우와 비교해 보면 적용하중에 대한 교축 직각방향의 영향폭이 넓어짐을 관찰할 수 있다. 즉, 포장체의 두께와 탄성계수의 값이 증가할수록 차량의 윤하중에 의한 국부적인 변형이 현저하게 감소할 수 있음을 나타내고 있다. 그리고 포장체의 두께가 9cm인 경우에 대한 수직 처짐비를 나타낸 그림 3.8을 참조하면 강상판의 수직처짐은 포장체 없이 직접 재하된 경우의 수직처짐에 비해 하중 경우 1, 3에 대해서는 최소 30%로, 하중 경우 2에 대해서는 최소 65%로 나타나고 있는 것을 알 수 있다.



(a) 경우 1



(b) 경우 2



(c) 경우 3

그림 3.7 포장체 두께가 9cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐(단위, cm)

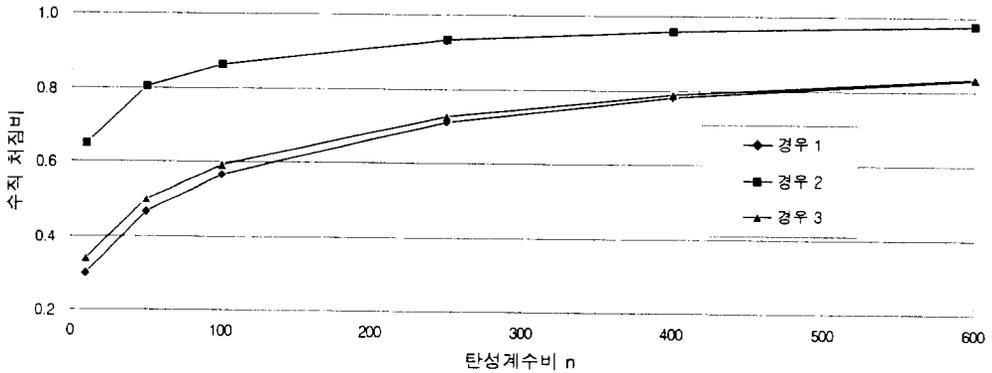


그림 3.8 포장체 두께가 9cm인 경우 하중작용점에서의 수직처짐비($\delta_{ps} / \delta_{ss}$)

포장체의 두께별 수직처짐비에 대한 그림들을 살펴보면 경우 2는 경우 1, 3과 처짐비에서 차이가 많이 나타나고 있다. 이것은 앞에서 언급한바 있듯이 종리브 단면의 강성이 수직거동에 아주 많은 영향을 주고 있고 채하되는 면하중이 3가지의 하중 경우 중에서 경우 2가 한지 지점에 가장 가까운 것이 원인이 되기 때문일 것으로 판단된다.

위에서 획득한 각 하중조건에 따른 경우 1, 2, 3에서 포장체의 두께가 3cm, 5cm, 7cm, 9cm일 때의 데이터 획득위치(하중작용점)에서의 수직 처짐량과 처짐비에 대해서 정리하면 다음의 표 3.1, 3.2, 3.3과 같다.

표 3.1, 3.2, 3.3에서 살펴보면 각 하중 경우 1, 2, 3의 수직처짐이 가장 현저하게 감소된 경우의 수직처짐비는 탄성계수비가 10이고 포장체의 두께가 9cm인 경우로 그 값은 각각 0.30, 0.65 그리고 0.34로 나타나 처짐의 상당한 감소를 나타내고 있다. 그리고 탄성계수비가 600인 경우에는 수직 처짐이 거의 포장체가 없는 경우와 같거나 약 99%의 수준인 것으로 나타나고 있다.

표 3.1 경우 1에 대한 하중작용점에서의 수직처짐 및 처짐비

탄성계수비 ($n = \frac{E_s}{E_p}$)	포장체 3cm		포장체 5cm		포장체 7cm		포장체 9cm	
	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비
10	0.139	0.66	0.096	0.46	0.075	0.36	0.0627	0.30
50	0.185	0.88	0.146	0.70	0.117	0.56	0.0979	0.47
100	0.196	0.93	0.167	0.80	0.139	0.66	0.119	0.57
250	0.204	0.97	0.189	0.90	0.168	0.80	0.149	0.71
400	0.206	0.98	0.196	0.93	0.180	0.86	0.164	0.78
600	0.207	0.99	0.200	0.95	0.188	0.90	0.175	0.83
No pavement	0.2098		0.2098		0.2098		0.2098	

표 3.2 경우 2에 대한 하중작용점에서의 수직처짐 및 처짐비

탄성계수비 ($n = \frac{E_s}{E_p}$)	포장체 3cm		포장체 5cm		포장체 7cm		포장체 9cm	
	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비
10	0.0618	0.86	0.0558	0.77	0.0512	0.71	0.0467	0.65
50	0.0685	0.95	0.0640	0.89	0.0606	0.84	0.0579	0.80
100	0.0701	0.97	0.0670	0.93	0.0643	0.89	0.0622	0.86
250	0.0713	0.99	0.0697	0.97	0.0682	0.95	0.0672	0.93
400	0.0714	0.99	0.0706	0.98	0.0697	0.97	0.0691	0.96
600	0.0716	0.99	0.0712	0.99	0.0706	0.98	0.0704	0.98
No pavement	0.0721		0.0721		0.0721		0.0721	

표 3.3 경우 3에 대한 하중작용점에서의 수직처짐 및 처짐비

탄성계수비 ($n = \frac{E_s}{E_p}$)	포장체 3cm		포장체 5cm		포장체 7cm		포장체 9cm	
	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비	수직 처짐 (cm)	수직 처짐비
10	0.121	0.68	0.0875	0.48	0.071	0.40	0.0606	0.34
50	0.158	0.88	0.127	0.71	1.04	0.58	0.0894	0.50
100	0.167	0.93	0.144	0.80	0.12	0.67	0.1059	0.59
250	0.174	0.97	0.161	0.90	0.145	0.81	0.130	0.73
400	0.176	0.98	0.167	0.93	0.154	0.86	0.141	0.79
600	0.177	0.99	0.170	0.95	0.160	0.89	0.149	0.83
No pavement	0.179		0.179		0.179		0.179	

그림 3.9는 탄성계수비 n 이 10인 경우의 최대처짐비를 포장체의 두께와 하중조건에 따라서 나타내었다. 이때 표 3.1, 3.2, 3.3과 아래의 그림 3.9에서 살펴보면 포장체의 두께가 증가하면 하중 경우에 관계없이 수직처짐은 거의 선형으로 감소하는 것을 알 수 있다.

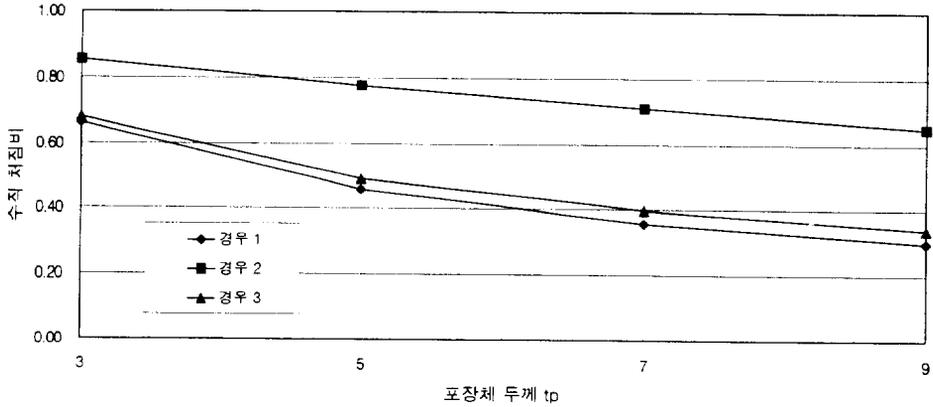


그림 3.9 포장체의 두께에 따른 하중조건별 수직처짐비

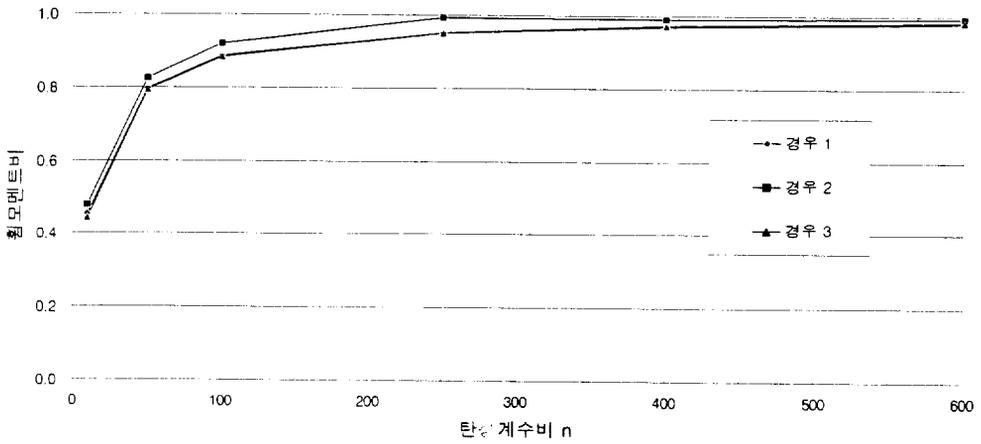
서론에서 언급한 바 있는 실제 교면 포장재료중의 하나인 에폭시 아스팔트의 경우[8]는 탄성계수비가 온도에 따라서 약 15에서 30정도의 범위에서 그 탄성계수가 변화된다. 그리고 일반 개질 아스팔트의 경우[9]는 100에서 200이상으로 그 변화폭이 크다. 이런 점을 고려해볼 때 포장체의 두께가 3cm일 때는 교면 포장 중 강성이 큰 에폭시 아스팔트의 경우에 수직처짐이 포장체없이 직접 재하된 경우에 비해 최소 70%로 나타나고 일반 개질 아스팔트는 처짐량이 포장체없이 직접 재하된 경우의 처짐량에 거의 수렴되는 것으로 나타났다. 그러나 포장체의 두께가 증가할수록 처짐량은 상당한 폭으로 감소하는 것으로 나타나고 있다. 예를 들어 포장체의 두께가 9cm인 경우는 에폭시 아스팔트의 경우에는 최소 35%까지 처짐량이 나타날 수 있는 것으로 나타나고 개질 아스팔트의 경우에는 약 65%내외의 수준으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

강상판의 수직처짐은 포장재료의 공용성능에 큰 영향을 주는 인자이다. 이에 따라 일부 설계기준에서는 차량의 축하중에 의한 강상판의 수직처짐을 제어하기 위하여 강상판의 최소 두께를 일정 값 이상으로 하도록 규정하고 있다. 이때 앞에서 살펴본 것과 같이 포장체의 강성이 고려되면 수직처짐은 현저하게 감소하게 된다. 따라서 포장체의 강성을 고려하지 않고

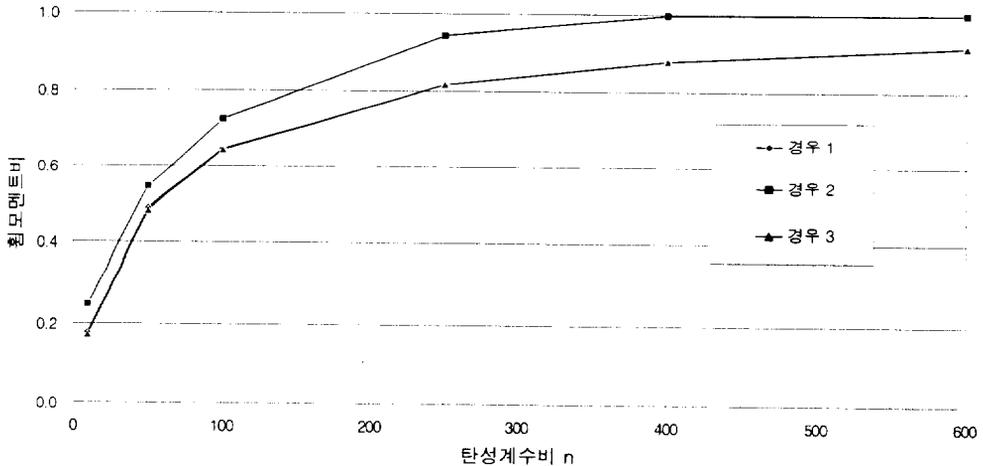
추정된 처짐에 의해 강상판의 최소 두께를 결정하게 되면 비경제적인 단면이 결정될 수도 있을 것이다.

3.2 강상판의 휨모멘트

해석된 예제들의 결과에서 교축 방향의 휨모멘트(교축 직각방향을 휘게 하는 모멘트)를 포장체의 강성이 고려된 경우(M_p)와 고려되지 않은 경우(M_s)의 비(M_p/M_s)로서 포장체의 두께에 따라 나타내면 다음의 그림 3.10과 같다. 그리고 강상판의 두께가 일정하므로 휨응력비 또한 같다.

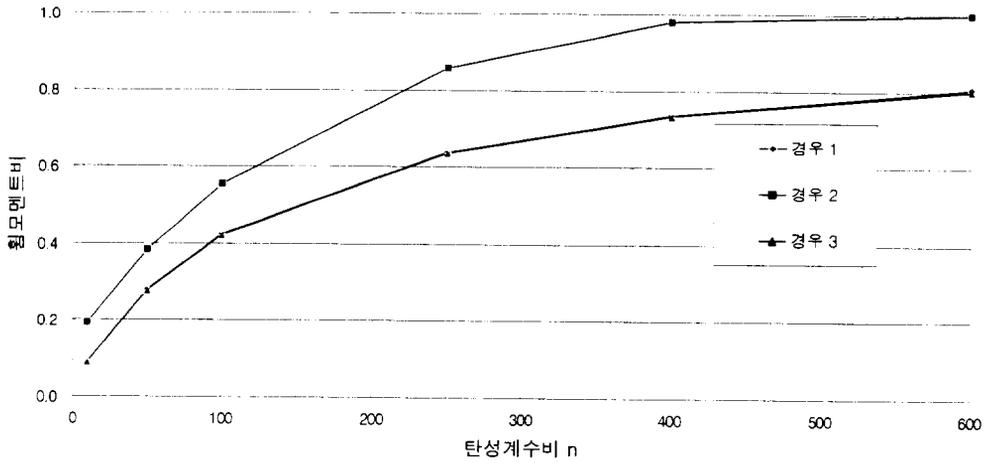


(a) 포장체의 두께가 3cm인 경우

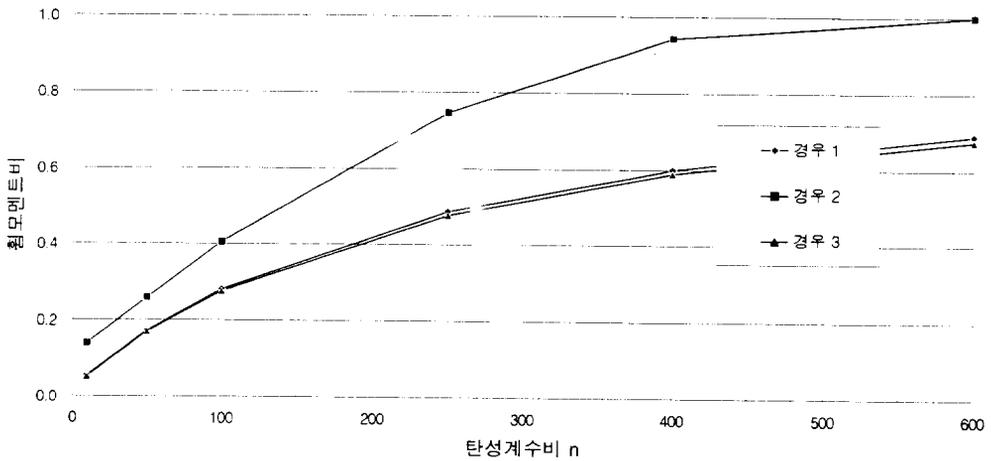


(b) 포장체의 두께가 5cm인 경우

그림 3.10 탄성계수비에 따른 하중작용점에서의 휨모멘트비(M_p/M_s) (계속)



(c) 포장체의 두께가 7cm인 경우



(d) 포장체의 두께가 9cm인 경우

그림 3.10 탄성계수비에 따른 하중작용점에서의 휨모멘트비(M_p/M_s)

포장체의 두께가 3cm일 때의 그림 3.10(a)를 살펴보면 탄성계수비가 100이하일 때는 포장체의 영향이 상당히 많이 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 탄성계수가 큰 에폭시 아스팔트($n = 15 \sim 30$)가 적용되었다면 각 하중 경우에 대해서 약 60% 정도의 수준으로 휨모멘트(휨응력)가 감소하지만 일반 개질 아스팔트가 적용된다면 거의 무시될 수 있을 정도의 휨모멘트

(휨응력)의 감소가 일어난다.

포장체가 5cm일 때의 경우는 일반 개질 아스팔트의 경우에도 최대 70% 이하로 나타나고 강성이 큰 에폭시 아스팔트의 경우에는 최대 30%이하의 수준으로 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 포장체가 7cm, 9cm일 때 개질 아스팔트가 적용되는 경우에도 최대 40%와 30%이하로 각각 나타나고 에폭시 아스팔트가 적용되면 최대 15%와 10%이하로 각각 나타나는 등 상당히 큰 폭으로 변화하는 것을 알 수 있다.

위의 결과들 중 하중 경우 3은 다음의 그림 3.11과 같이 종리브에 의해서 부모멘트(negative moment)가 발생된다. 따라서 각 경우 중 경우 3의 휨모멘트비는 부모멘트에 대한 비를 나타내고 있다.

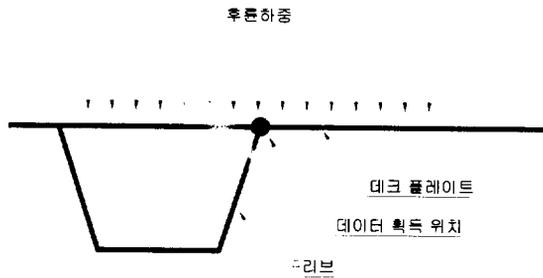


그림 3.11 경우 3의 하중재하 상세도

결국 이러한 결과로 볼 때 강상판의 설계 시 교면 포장체의 강성을 고려한다면 적용되는 포장체의 강성이 증가함에 따라 휨모멘트(휨응력)가 감소하여 설계 단면이 감소될 수 있을 것이다. 즉, 높은 강성을 가지는 포장체가 적용되는 경우에는 포장체의 강성이 고려됨으로서 더 경제적인 단면으로 설계될 수도 있다는 것을 의미한다.

그리고 휨응력에 대한 관점에서 볼 때는 다음과 같은 결론을 유추할 수 있다. 강상판 휨응력의 감소는 피로수명 결정 시에 더 유리한 조건을 부여하게 된다. 위의 결과를 기초로 생각해볼 때 포장체의 강성이 고려되지 않고 획득된 휨응력에 의해 피로수명을 추정하게 되면, 실제 교면 포장시공

사례에서도 보듯이 그 두께가 상·하부층을 포함하면 대부분 7cm 이상의 두께로 적용되고 강성이 큰 교면 포장에 적용되는 실제의 경우에 비해서 피로수명의 평가는 상당부분 과소 평가될 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 접착층의 전단탄성계수에 의한 합성거동

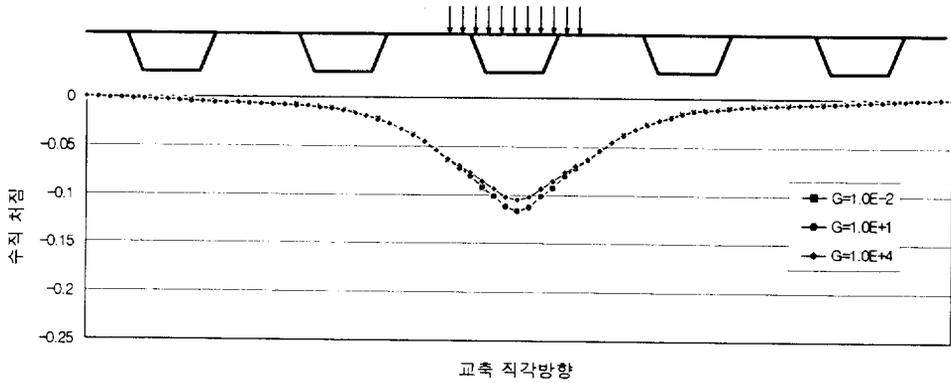
앞서 언급한 바와 같이 교면 포장체와 강상판의 접착정도를 조절하기 위해서 접착층에 전단탄성계수 G_b 를 적용시켰다. 해석에 적용된 전단탄성계수 G_b 는 실제 나타날 수 있는 값들을 모두 수용할 수 있도록 그 범위를 넓게 적용시켰다. 따라서 완전한 접착정도를 나타내기 위한 $1.0E+4 \text{ ton/cm}^2$ 과 아주 낮은 정도를 나타내기 위해 $1.0E-2 \text{ ton/cm}^2$, 그리고 두 값의 절반 수준인 $1.0E+1 \text{ ton/cm}^2$ 을 각각 적용시켰다. 포장체의 탄성계수비는 하중 경우1에서 에폭시 아스팔트가 나타내는 값 중에서 중간 정도의 값인 20인 경우와 일반 개질 아스팔트의 중간값인 150, 그리고 포장체의 강성이 거의 무시되는 경우로서 탄성계수비 n 이 600인 경우에 대해 각각 위에서 가정된 전단탄성계수를 적용시켰으며 그 값을 표 3.4에 나타내었다. 그리고 이에 따른 해석 결과를 그림 3.12에 나타내었고 이때의 최대 처짐을 표 3.5에 나타내었다.

표 3.4 합성정도를 나타내기 위한 전단탄성계수 G_b 의 적용치

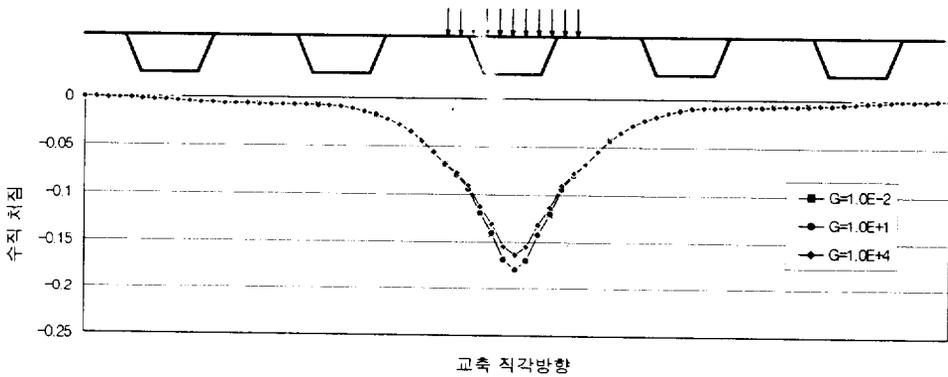
탄성계수비 ($n = \frac{E_s}{E_p}$)	전단탄성계수 G_b		
	완전한 합성 (high composite)	중간 합성 (medium composite)	매우 약한 합성 (low composite)
$n = 20$	$1.0E+4$	$1.0E+1$	$1.0E-2$
$n = 150$	$1.0E+4$	$1.0E+1$	$1.0E-2$
$n = 600$	$1.0E+4$	$1.0E+1$	$1.0E-2$

기존의 많은 연구들은 합성정도(degree of composite interaction)에 따른 영향은 상당부분 존재하고 있는 것으로 알려져 있으나 경우 1에 대한 각 탄성계수비에 대한 처짐특성을 나타낸 그림 3.12에서 살펴보면 본 해석

결과에서는 전단탄성계수의 영향은 전단탄성계수가 $1.0E+4 \text{ ton/cm}^2$ 인 경우에만 미소하나마 처짐량이 감소하는 것을 관찰할 수 있을 뿐 가정했던 전단탄성계수의 대소에 의한 수직처짐의 변화는 거의 나타나지 않는 것으로 나타난다.

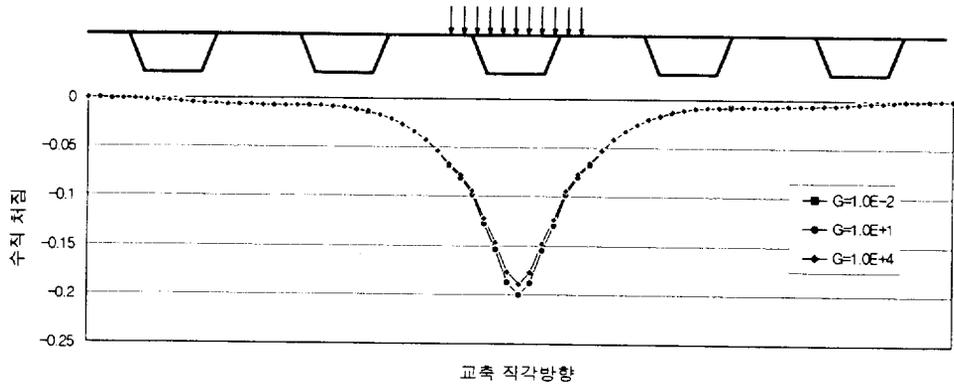


(a) 탄성계수비 $n=20$ 인 경우



(b) 탄성계수비 $n=150$ 인 경우

그림 3.12 전단탄성계수에 따른 강상판의 수직처짐(단위, cm) (계속)



(c) 탄성계수비 $n=600$ 인 경우

그림 3.12 전단탄성계수에 따른 강상판의 수직처짐(단위, cm)

표 3.5 전단탄성계수에 따른 하중작용점에서의 최대처짐(cm)

전단탄성계수 G_b (ton/cm^2)	탄성계수비 ($n = \frac{E_s}{E_p}$)		
	$n = 20$	$n = 150$	$n = 600$
$1.0E+0$	-0.11619	-0.17832	-0.20007
$1.0E+2$	-0.11612	-0.17797	-0.19956
$1.0E+4$	-0.10516	-0.16290	-0.18897

이러한 원인의 규명을 위해 합성구조(composite structure)에서 합성정도의 기본적인 메카니즘을 기술하면 다음과 같다. 그림 3.13과 같이 두 재료(A, B)로 이루어진 합성보를 예를 들면 합성보에 하중이 재하되면 보의 길이방향으로 합성면(interface)을 따라서 슬립(S)이 발생한다. 이러한 슬립(S)이 완전한 합성을 나타내면 단부에서는 0이 되고 반대로 슬립(S)이 최대가 되면 두 재료는 완전한 비합성구조로 된다. 그리고 완전한 합성이 이루어지면 두 재료가 하나의 구조체가 되어 수직처짐이 감소하고 반대의 경우는 수직처짐이 증가하게 된다[10].

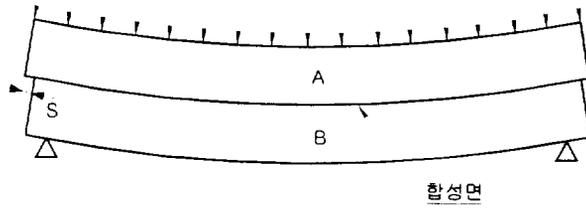


그림 3.13 합성모의 변형 형상

위에서 열거한 부분이 본 해석의 합성정도에 대한 가정의 동기가 되었다. 즉, 전단탄성계수가 정의된 한 층(합성면, 접합층; solid element)을 둔 구조물에 하중을 재하하면 하중에 의해 그 층은 전단변형이 발생한다. 이런 전단변형은 적용된 전단탄성계수의 대소에 의해 조절된다. 즉, 전단탄성계수가 크면 같은 크기의 하중에 대하여 전단변형이 감소되어 높은 합성정도를 나타내며 슬립(S) 및 수직처짐은 감소하게 되고 적용된 전단탄성계수가 작으면 전단변형에 대한 저항이 감소하여 슬립(S)은 증대하고 합성정도는 낮아지며 수직처짐은 증하는 결과를 나타낼 것으로 판단하여 앞에서 가정된 조건으로 모델링하여 해석하였다.

접합층을 모델링할 때 실제 구조물의 형상에 근접하게 하기 위해 그 두께를 1mm로 매우 얇게 적용시켰고 이것은 정확한 해석결과를 제공하는 정방형이 아닌 $50 \times 50 \times 1$ mm로 그 비율이 50:1로 상당한 차이를 나타내며, 수직거동에는 영향을 미치지 않게 하고 단지 하중을 전달시킬 목적으로 탄성계수를 무시하고($E_b \approx 0.0$) 그 층의 상·하 두 절점에 대해 강체연결시켜 이상적인 재료와 요소로 모델링되었다.

이때 구조물에 있어서 강체연결의 영향을 알아보기 위해서 그림 3.14와 같은 구조물을 모델링하여 해석하였다. 이때 고체요소 1과 2 그리고 셸요소는 본 연구의 강상판과 포장체의 유한요소의 크기와 같이 모델링하였고 UX, UY를 제외한 모든 자유도를 강체연결시킨 구조모델과 강체연결이

없는 모델도 해석에 포함하였다.

그리고 다른 재료물성치는 본 연구의 해석과 같고 접착층의 전단탄성계수를 포장체 전단탄성계수의 0.001배, 0.1배, 10배, 100배, 1000배로 각각 적용시켜 해석에 적용하였다. 하중은 고체요소 1의 중앙의 두 요소의 상부에서 $0.001 t/cm^2$ 으로 적용하였다. 구속조건은 고체 요소 2의 양 단부 상하의 절점을 힌지로 처리했다. 이때 구조물 중앙에서의 처짐에 대한 해석 결과를 표 3.6에 나타내었다.

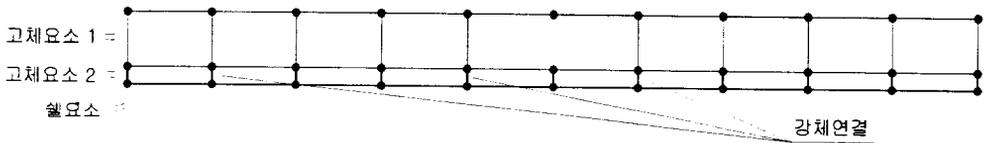


그림 3.14 강체연결의 영향 해석을 위한 구조모델링

표 3.6 접착층의 전단탄성계수비에 따른 최대 수직처짐

전단탄성계수에 대한 비 (= G_b/G_p)	최대 수직처짐	
	강체연결 시킨 경우	강체연결 시키지 않은 경우
0.001	142.25	175.91
0.1	77.67	175.32
10	76.10	175.32
100	75.94	75.94
1000	75.92	75.92

표 3.6에서 살펴보면 강체연결 시킨 경우는 전단탄성계수비가 0.1이상 적용되면 더 이상의 전단변형이 발생되지 않아 수직처짐은 한 값에 수렴하게 된다. 강체연결 시키지 않은 경우는 전단탄성계수비가 100에서 수렴

하게 된다.

본 연구에서도 강제연결이 적용되었고 적용된 접합층의 전단탄성계수의 범위는 실제 나타날 수 있는 물리적인 범위 내에서 결정(전단탄성계수비; 0.1~100)하였으므로 본 연구의 전단탄성계수의 범위는 예제 해석결과를 기준으로 볼 때 수직처짐이 이미 한 값에 거의 수렴된 후의 범위이다. 따라서 본 연구의 해석결과는 거의 완전한 합성상태의 거동이라 할 수 있겠다.

이러한 이유로 접착층에 적용된 전단탄성계수 G_b 가 합성정도 및 수직 거동에 영향을 거의 미치지 못하고 있는 것으로 판단되며 더불어 유한요소 크기의 크기도 그 원인이 되는 것으로 판단된다.

앞으로 접착정도에 따른 더 정확한 거동특성을 알기 위해서는 접착층 재료물성치의 더 정확한 파악과 더불어 유한요소의 크기를 더 작게 나누어 더 정확한 값을 나타낼 수 있도록 해석할 필요가 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

일반적으로 교량의 구조해석 시에 포장체의 강성은 고려하지 않는다. 이와 같은 구조해석은 콘크리트 상판에 있는 아스팔트 콘크리트 포장체들의 경우에 콘크리트 상판에 비하여 강성을 무시할 수 있을 정도이므로 합리적일 것이다. 특히 기존의 포장체들의 경우 온도에 따라 재료의 성질이 점탄성적으로 크게 변화하기 때문에 안전측의 설계를 위해서도 포장체의 강성이 무시되는 일반적인 해석절차는 적절한 것으로 본다. 그러나, 콘크리트의 탄성계수 값에 근접하는 재료를 포함한, 다양한 포장재료가 적용되고, 콘크리트 상판에 비하여 상대적으로 강성이 작은 강상판 교량의 경우에는 구조해석 시에 포장체의 강성을 일방적으로 무시할 수는 없을 것으로 본다.

본 논문에서는 현재 시공중인 K 교량의 강상판 단면과 포장체를 모두 유한요소로 모델링하여 포장체의 강성을 변화시키면서 범용구조해석 S/W를 사용하여 DB-24 후륜 축하중을 작용시켜 선형탄성 해석을 수행하였다. 이때 강상판과 포장체는 완전 접촉되는 것과 접촉이 거의 없는 경우를 포함시켰으며 온도 및 자중의 영향은 무시하였다. 이러한 조건으로 수치예제를 해석한 결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

- (1) 포장체의 공용성능에 영향을 주는 강상판의 수직처짐에 대한 해석결과를 실제 교면 포장에 적용되는 에폭시 아스팔트($n = 15 \sim 30$)나 개질 아스팔트($n = 100 \sim 200$)의 기준으로 포장체 없이 직접재하된 경우와 비교해 보면 3cm일 때는 각각 0.7, 0.95로, 5cm일 때는 0.58, 0.85로, 7cm일 때는 0.46, 0.73으로, 9cm일 때는 0.39, 0.64로 포장체의 강성이 증가할수록 그 처짐량이 상당한 폭으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 결국 현재 포장체의 강성을 고려하지 않은 상태에서 포장체의 공

용성능 산출하면 실제의 공용성능에 비해 상당부분 과소 평가되는 것을 나타낸다.

- (2) 휨모멘트 역시 두께와 강성에 따라서 상당한 폭으로 감소하게되는 현상을 볼 수 있다. 그 정도는 포장체의 두께가 3cm로 적용된 경우에도 에폭시 아스팔트 등 고강성 포장체가 적용되면 60%이하로 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 두께가 증가할수록 그 값은 아주 크게 감소한다. 이것은 고강성 포장체가 적용될 때 강성을 고려하면 경우에 따라서는 부재의 단면이 실제 요구되는 단면보다 다소 크게 설계되는 비경제적인 면을 내포하는 것으로 나타났다.
- (3) 강상판의 피로수명 평가에 영향을 주는 휨응력에 대한 분석결과에 대해 살펴본 결과, 포장체의 두께가 증가할수록 그 값은 매우 상당한 폭으로 감소하는 것을 알 수 있고 이에 따라 포장체의 강성이 고려되지 않고 얻어진 발생응력으로 피로수명을 평가하면 실제보다는 상당부분 과소 평가될 수 있을 것이다.
- (4) 합성정도를 나타내기 위한 포장체의 전단탄성계수에 대한 영향은 본 논문에서는 미소한 것으로 나타났다. 그러나 합성정도에 따른 더 완전한 거동특성을 규명하기 위해서는 접착재료의 더 정확한 물성값과 정밀한 유한요소로 모델링해서 해석할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- (5) 본 논문에서 적용된 수치예제의 결과에서 볼 때, 포장체의 강성효과는 강상판의 구조적 거동에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다. 이 영향은 포장체의 공용성능과 강상판 단면의 설계와 피로수명평가에 관련되어 보다 심도있게 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 조선규, (1997) 강교 설계시의 주요착안사항 및 대책, *한국강구조공학회지*, 제9권 제4호, pp.107~128.
2. AISC, (1987) *Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridges*, New York, p.223.
3. M.s. Troitsky, (1987) *Orthotropic Bridges*, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Ohio, p.338.
4. 한국강구조학회, (1995) *강구조편람 제 4 권 강도로교의 설계*, 동양문화인쇄, p.710.
5. 부경대학교 산업과학기술연구소, (2000) *강상판 교면포장 공법에 관한 연구*, p.145.
6. CSI, (1988) *SAP 2000 Nonlinear Analysis Reference*, California, p.419.
7. 대한토목학회, (1999) *도로교표준시행서*, 기문당, p.1063.
8. Vellore S. Gopalatatnam, (1999) *Temperature-Dependent Performance of Polymer Concrete Wearing Surface System on the Poplar Street Bridge*, University of Missouri-Columbia, p.76.
9. 김수일, (1998) 아스팔트 콘크리트층의 유효탄성계수 결정에 관한 연구, *대한토목학회논문집*, 제18권 제Ⅲ-1호, pp.31~40.
10. R. P. Johnson, (1994) *Composite Structures of Steel and Concrete*, University of Warwick, pp.210.

감사의 글

2년여의 지나온 나날동안 부족한 저를 항상 따뜻하고 끊임없는 사랑으로 나의 인격체를 가지도록 만들어 존경이란 의미를 다시 깨우쳐 주신 이환우 지도교수님께 머리 숙여 깊이 감사드립니다. 또한 논문지도를 통해 많은 조언과 충고를 해 주신 김명식 교수님, 정두희 교수님께 깊이 감사드립니다. 그리고 항상 깊은 관심과 따스한 사랑으로 지켜봐 주신 김상용 교수님, 김종수 교수님, 손인식 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수님, 이동욱 교수님, 이종출 교수님, 이영대 교수님, 정진호 교수님, 극승규 교수님, 이상호 교수님께 진심으로 감사드립니다.

항상 웃으시며 격려해주신 박익태 형님, 작은 질문에도 "모르는 거 있으면 바로 전화해라" 하시던 김광양 형님, 항상 후배들을 아끼시는 썬털한 송영용 형님, 항상 부지런하신 모습을 후배들에게 보여주시는 이현동 형님, 저 멀리 거제도에 계셔도 따뜻함을 느낄 수 있는 박성갑 형님, "내가 씹은 소주라도 한 잔 사준다" 하시며 웃던 조은래 형님, 같이 지낸 시간이 많았기에 누구보다 잘 이해해주신 이동환 형님, 항상 정확하신 연구실 가수 옥재성 형님, 작은 부락도 잘 챙겨주시던 양성운 형님 감사드립니다. 2년여 동안 애인보다 더 많은 시간을 같이 보낸 문명철, 연구실에서 굳은 일 마다하지 않고 도와준 후배 이훈, 항상 따뜻한 커피로 마음을 전한 이동준, 안태욱, 연구실 새내기 이문호에게도 고마운 마음 전합니다.

항상 곁에서 서로를 격려해주 대학원 동기들, 하창민, 김대성, 박세인, 정병훈, 정해동, 김태효, 박태환, 김훈규, 강성원, 논문은 늦었지만 영원한 우리 동기 박준봉, 김도희에게도 고마운 마음 전합니다. 항상 웃으며 반겨주던 후배 강병욱, 판배, 덕준, 성민, 휘종, 동현이에게도 고마움을 전합니다.

늘 자식들을 위해 당신의 건강보다는 자식들 뒷바라지에 평생을 바치신 아버님, 어머님 감사합니다. 집안에서 부족하고 소홀했던 나의 자리를 매꿔준 동생 현주, 현화, 믿음직한 매제 공재필, 부산에 계신 고모, 이모, 친지분들에게도 이 논문이 작은 선물이 되었으면 합니다.

항상 곁에서 친구 뒷바라지해주 상욱이, 짐식이 그리고 힘들 때마다 큰 힘이 되어준 더덜고 친구들, 고향 친구들에게도 고마운 마음 전합니다.