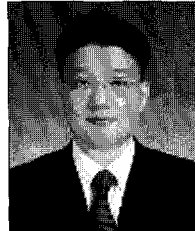


명지대교 강바닥판 곡선교의 구스아스팔트 포설에 따른 열영향 해석

Thermal Analysis of Guss Asphalt on Curved Steel Deck in Myoungji Grand Bridge



현 규 환*



우 승 민**



전 성 용***



이 주 호****

* 롯데건설(주) 기술연구원 선임연구원
 ** 롯데건설(주) 기술연구원 책임연구원
 *** 롯데건설(주) 기술연구원 수석연구원
 **** 롯데건설(주) 기술연구원 이사

1. 서 론

구스아스팔트 포장체는 쿠커에서 배출 시 220℃이상의 고온 상태로 시공되기 때문에 시공 중 과도한 열변형 및 열응력이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 시간에 따른 열손실을 고려한 보다 개선된 수치해석 기법을 사용하여 강바닥판교인 명지대교의 구스아스팔트 포설 시 발생하는 열변형 및 거동특성을 분석하여 열영향을 최소화할 수 있는 방법을 제시하고, 이를 시공에 적용하여 구조물의 안전성과 시공품질 확보에 기여하고자 한다.

표 1 명지대교 개요

교량위치	부산광역시 강서구 명지동(시점)~사하구 신평동(종점)
교량형식	강바닥판 거터교 (본선구간), 강합성 거터교 (Ramp구간)
본선구간	총 길이:L=2,835m, 폭원:B=9.24~12.74m, 최대지간장:125m

2. 구스아스팔트 포장

2.1 구스아스팔트 포장 개요

우리나라에서의 구스아스팔트 적용은 1997년 동광양의

정산1교에 적용된 사례가 최초이나, 독일과 일본에서는 구스아스팔트 혼합물이 오래전부터 교면포장에 사용되어 왔는데 일본의 경우는 구스아스팔트 공법이 1956년에 도입된 것으로 알려져 있다. 현재 우리나라에서 설계되는 구스아스팔트 공법은 영종대교와 광안대교, 청담대교, 가양대교, 남항대교 등에 포장공법으로 채택되면서 보편화되고 있는 추세이다.

구스아스팔트 포장은 그림 1과 같이 표면 처리층, 포장 본체의 표층, 텍코팅, 포장본체의 기층, 방수층 및 접착층으로 구성되는 것을 표준으로 한다.

표면 처리층과 방수층은 포장본체의 종류에 따라 설치 여부를 결정하며, 구조물과의 접촉부에는 줄눈을 설치하는 것으로 한다.

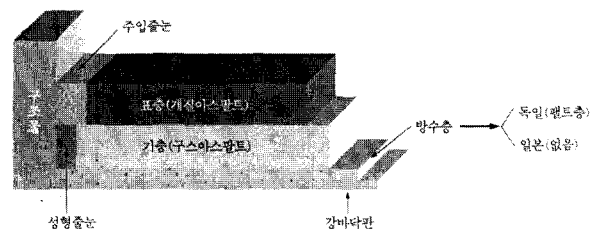


그림 1 구스아스팔트 포장층의 구성

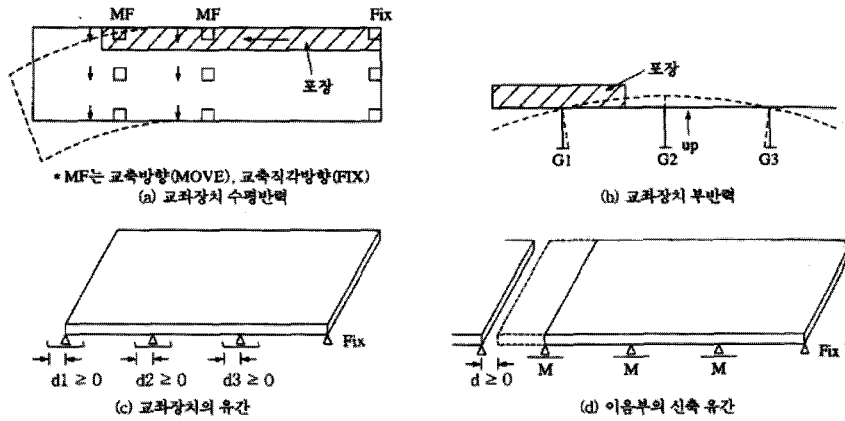


그림 2 강바닥판 열변형에 의한 거동특성

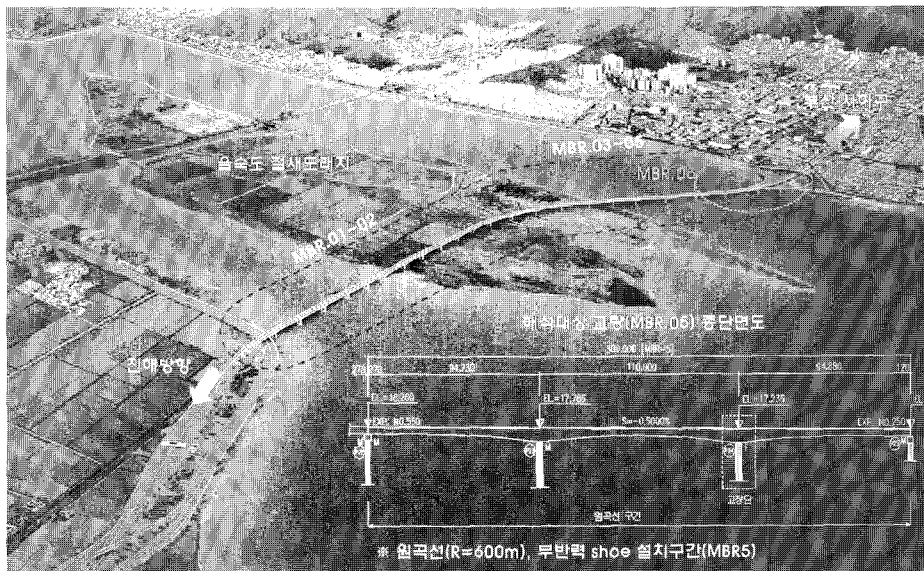


그림 3 명지대교 조감도

2.2 구스아스팔트 포장에 의한 열영향

국내·외 시공사례에서 구스아스팔트는 포설시 220~250°C의 고온상태에서 포설되므로 강바닥판에는 일시적으로 100°C~130°C의 온도차가 발생한다. 따라서, 강바닥판 교량의 구스아스팔트 시공시 열영향을 최소화하기 위해서 포설 면적을 줄이는 것이 효과적이므로 전체 포장폭을 적절히 분할하여 1회 포설폭을 설정하고, 시공시의 피니셔 이동속도를 제한하는 등의 대책을 세우는 것이 일반적이다.

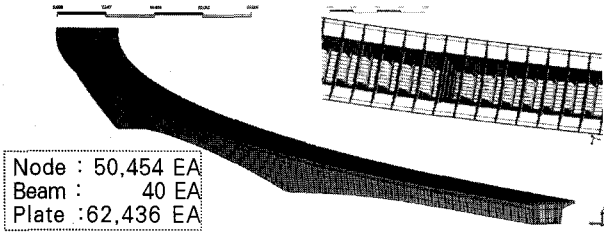
포장열에 의한 구조적인 거동특성으로는 그림 2와 같이 강바닥판에 종방향 부등신축 변형이 발생되고, 받침이 3개 이상일 경우 중간 받침에 부분력이 유발된다. 이에 따라 교량받침에 부분력 및 수평반력이 작용하여 교량받침 블록이 파손되는 현상도 간혹 발생되므로, 정밀한 해석을 통해 적정한 시공분할과 포설속도를 설정하고 그 영향을 최소화하는 것이 필요하다.

3. 대상구조물의 열영향 해석

3.1 대상구조물 및 모델링의 구성

명지대교 강바닥판 교량에서 구스아스팔트 포설구간은 총 2,835m이고, 폭원은 9.24~12.74m이며, MBR 1~5로 구성되어 있다. 본 연구에서는 곡률이 가장 큰 원곡선(R=600m) 구간이면서 부분력 교좌받침이 설치된 MBR 5에 대하여 열영향 평가를 수행하였다. 본 교량 받침은 기초분리장치로서 폭풍시 풍하중에 저항하기 위해 2열의 고정단과 일방향가동단의 경계조건을 적용하였으므로 구스아스팔트 포장에는 불리한 조건을 갖고 있다.

명지대교 MBR 5 구간의 재원을 바탕으로 그림 4와 같이 실제에 가까운 3차원 입체모델을 구현하였고, 강바닥판, 복부판, 하부플랜지, 보강재 등은 Plate요소를, 격벽에 설치된



Node : 50,454 EA
Beam : 40 EA
Plate : 62,436 EA

그림 4 해석 대상 교량의 3차원 입체모델

트러스 부재는 Beam요소를 사용하여 3차원 입체 모델링을 수행하였다.

3.2 등가열원을 이용한 열영향 해석 기법

본 연구에서 사용된 열전달 해석 기법은 기존의 방법보다 개선된 형태로서 등가열원을 이용한 열전달 해석 기법이다. 기존에는 열의 영향범위 내에 있는 상판과 복부판을 지정하여 일정한 온도변화량을 입력하는 방식으로 시공단계 해석을 수행하였지만, 본 연구(시간의존적 해석)에서는 상판의 판요소에 전도율, 대류계수 등의 정보를 부여하여 시간단계별 온도 승강을 구현하도록 하였다.

등가열원을 산정하는데 사용되는 지배미분방정식은 식 (1)과 같으며, 포장체에서의 열에너지 유입과 대류효과를 고려한 등가온도변화 T^* 를 구한 후 식 (1)을 이용하면 등가열원을 산정할 수 있다.

$$\int_v Q^* dV = \int_v c_v \frac{\alpha T^*}{\alpha t} dV \quad (1)$$

등가열원의 도출을 위해 그림 6과 같이 ‘구스아스팔트+

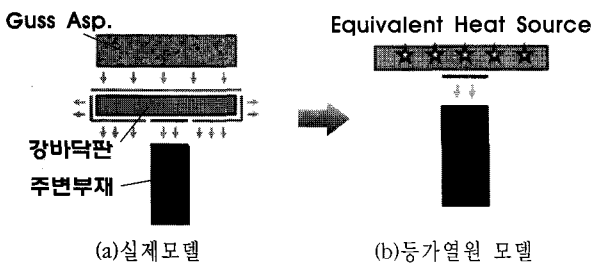


그림 5 포장체에 의한 열전달 모델

표 2 해석기법 비교

구분	기존방법(시공단계별 해석)	시간의존적 해석
열원하중	온도 변화량만 고려	열전도, 대류에 의한 시간에 따른 온도 승강 고려
재하방법	시공단계별 하중재하	시간차를 고려한 하중재하
요소기능	열전달 불가능	열전달 가능
해석기법	각 단계에서 작용하는 하중은	시간의 지속성에 의해 열 팽창
특징	다른 단계에 영향을 주지 않음.	길이 증가함.

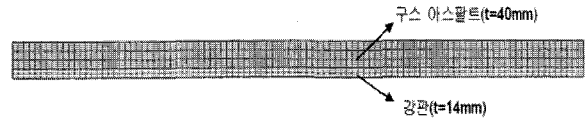
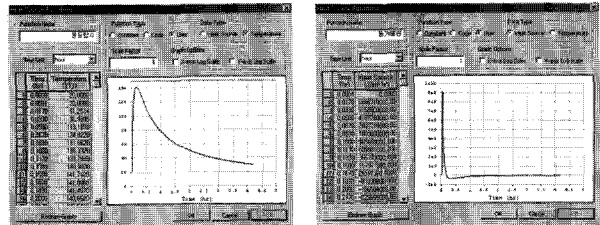


그림 6 구스아스팔트+강판 모델링



(a) 열전달 해석에 의한 온도 분포



(b) 등가온도(左) 및 등가열원(右)의 적용

그림 7 온도 승강을 고려한 등가열원의 적용

강판’ 모델링을 수행하였다. 구스아스팔트는 실제 포설두께인 40mm 두께의 고체 요소(Solid element)로, 강판은 강바닥판의 실제 두께인 14mm 두께의 고체 요소로 모델링하였다. 해석을 위한 온도 조건으로 대기온도 및 강판의 초기온도는 실제 포설 예정일인 3~9월까지의 부산지역 평균기온(18℃)를 적용하였으며, 포장체인 구스아스팔트의 초기포설온도는 230℃로 설정하였다. 해석에 사용한 구스아스팔트의 물성치는 주요 성분인 아스팔트, 골재의 중량비를 고려하여 가중평균하였다. 또한 대류계수는 포설시 풍속에 따라 달라지지만 바람의 영향은 없는 상태로 가정하고, 실험식 $h_a = 9.6 + 1.12v$ (kcal/m²·hr·℃)를 이용하여 대류계수를 결정하였다. 등가열원 산출을 위한 열전달 해석에는 Midas FEA 프로그램을 사용하였다.

해석결과 얻어진 등가온도 및 이에 따른 등가열원은 그림 7과 같다. 강판의 등가온도는 포설 후, 약 16분 경과 뒤 120℃까지 상승하는 것으로 나타났다. 등가열원은 초기에는 큰 값을 나타내다가 최대온도 도달 후 음의 값을 갖는 것을 알 수 있는데, 이는 대류에 의해 포장체의 열에너지가 소산되면서 온도가 하강함을 의미한다.

3.3 구스아스팔트 포설조건

구스아스팔트 포장을 위한 기본 포설 폭은 동일한 데크 피니셔의 적용을 위해 그림 8과 같이 4분할 포설을 기본으로 설정하였으며, 외측 배수구 설치부는 인력 포설을 실시하도

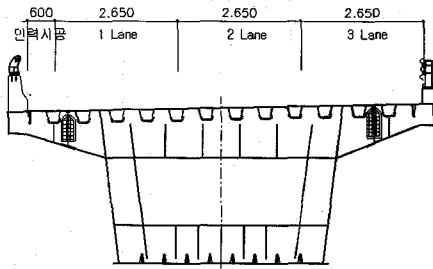


그림 8 구스 아스팔트 포설 폭

록 하였다. 포설 폭은 연속시공을 고려하고, 종리브 위치 및 윤후중 재하 위치에 연속부를 두지 않는 포설 폭을 설정하였다. 기계포설 폭은 2.65m, 인력포설 폭은 0.6m이다.

포설 속도는 1.0m/min으로 설정하였고, 1일 포설량은 최대 포설 폭(2.65m)을 기준으로 산정하였다. 포설순서는 1Lane(기계포설) → 인력시공구간 → 2Lane(기계포설) → 3Lane(기계포설)의 순서로 설정하였다. 이때, 안전측 설계개념을 적용하여 인력시공 구간도 기계포설 속도를 적용하였다. 또한, 1일 작업에 투입되는 쿠커 8대 용량을 고려할 때, 1일 포설길이는 192.7m로 MBR5의 교량연장인 300m보다 작아 실제로 하루에 한 개 Lane의 타설이 불가능하게 되나, 해석결과와의 연속성을 만족시키고 거동특성 분석을 용이하게 하기 위해 한 개 Lane(300m)을 일괄 포설하는 것으로 가정하여, 실제 포설되는 열영향보다 불리한 조건을 부여하였다.

3.4 하중조건

구스아스팔트 포설시 강바닥판 교량의 열영향 평가를 위해 구스아스팔트와 강재와의 관계를 등가열원 함수로 산출하여 강바닥판에 적용함으로써 열전달 및 열응력 해석을 수행하게 된다. 이때, 등가열원 함수의 단계는 해석시간의 단축, 열원의 안전측 고려, 계획된 포설 속도(1.0m/min) 등을 고려하여 쿠커 1대분의 길이인 24m를 일괄 포설하는 것으로 가정하고 하나의 Lane을 13단계의 포설 단계로 가정하여 해석을 수행하였다(그림 9 참조). 또한, 포설 속도와 포설 구간에 의하여 24분 간격으로 해당 포설 단계에 등가열원 함수를 입력하였다(그림 10 참조).

각 Lane은 평균적으로 1분20초 간격으로 등가열원 함수에 의해 해석을 수행하였으며, MBR 5의 포설 완료를 총 1764단계의 시간 단계로 해석을 수행하였다.

또한, 강바닥판 교량의 자중, 구스 아스팔트의 열원 뿐만 아니라, 구스 아스팔트의 자중에 대해서도 고려하였다. 포설 중 및 이전 Lane 포설 단계의 구스 아스팔트의 자중을 해석 단계별로 입력하여 각 단계별 구스 아스팔트 하중의 증감을 고려하도록 하였다(그림 11 참조).

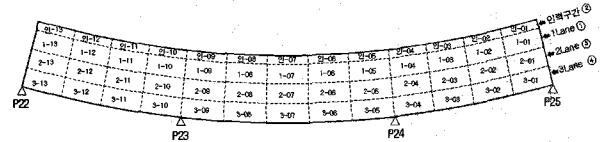


그림 9 구스아스팔트 열원(Heat Source) 및 재하 순서

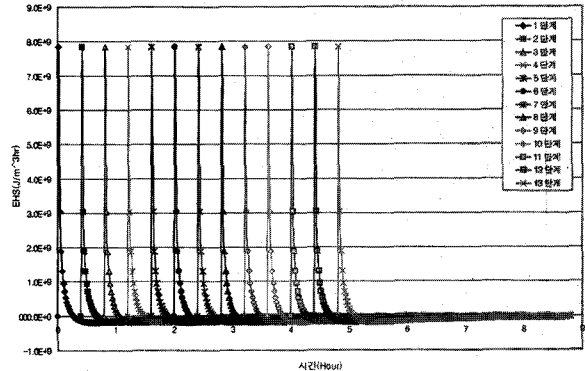


그림 10 등가열원함수 입력함수

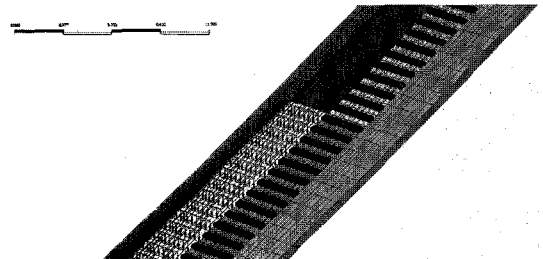


그림 11 등가열원함수 입력 및 구스아스팔트 자중 고려

3.5 지점조건

강바닥판 열영향 해석을 위한 지점조건은 그림 12와 같으며, 상시 거동방향에 따라 고정단 및 가동단으로 지점조건을 부여하여 해석을 수행하는 것이 일반적이다. 본 구조물은 2점 고정이며, 부등신축 변형에 의해 P24 두 고정단에 과도한 수평력이 발생할 수 있으므로, 기초분리장치(E-Shape 댐퍼)의 강성을 고려한 Spring 지점 조건 및 구속력을 해제한 1점 고정 조건을 추가하여 실 시공시 유리한 받침조건을 모색할 수 있도록 하였다.

4. 열영향 해석결과

4.1 해석결과 부호규정

해석 결과는 전체좌표계를 기준으로 표기할 경우 곡선교입의 위치에서의 변위량이 실제 교량 위에 있는 관측자에게는 무의할 수 있으므로 아래 표 3과 같은 부호규정을 설정하여 결과분석을 수행하였다.

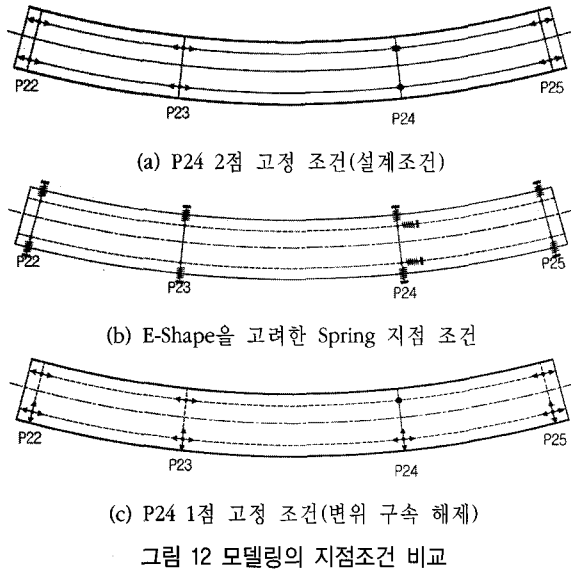


표 3 해석결과 부호규정

구 분	교축방향		교축직각방향	
	양(+)	음(-)	양(+)	음(-)
신축이음 변위	팽창시	수축시	팽창시	수축시
교량받침 변위	중점방향	시점방향	외측	내측
수평반력	중점방향	시점방향	외측	내측
연직반력	정반력	부반력	외측	내측

4.2 신축이음부 변위검토 결과

신축이음부의 허용변위는 설계유간(275mm)과 인접교량의

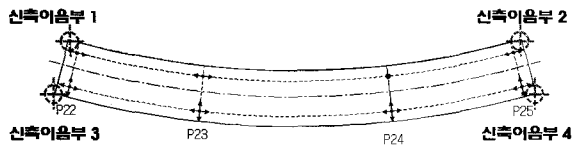


그림 13 신축이음부 검측위치

표 4 신축이음부 변위검토 결과 (단위:mm)

검토위치	교축방향			교축직각방향			비고	
	최대변위		허용값	최대변위		허용값		
	Max	Min		Max	Min			
2 점 고정	01	9.59	-8.91	+275	1.51	-0.58	+20	O.K
	02	10.62	-2.54		1.72	-0.54		O.K
	03	7.33	-8.44		1.53	-0.29		O.K
	04	9.07	-2.02		1.70	-0.22		O.K
Spring	01	9.57	-8.95	+275	1.94	-1.92	+20	O.K
	02	10.91	-2.61		2.15	-1.42		O.K
	03	7.40	-8.45		1.95	-1.91		O.K
	04	9.07	-2.07		2.03	-1.58		O.K
1 점 고정	01	9.53	-9.01	+275	1.59	-0.52	+20	O.K
	02	11.11	-2.78		1.79	-0.48		O.K
	03	7.38	-8.47		1.41	-0.37		O.K
	04	8.97	-1.96		1.66	-0.25		O.K

이격거리(20mm)로 결정되는데 표 2의 결과와 같이 3가지 경계조건 모두 허용변위 이내에서 거동하는 것으로 나타났다.

또한, 부등신축에 의한 회전변형 형상은 직선교와 마찬가지로 곡선교에서도 발생하게 되는데, 그림 14에 점선으로 표시된 바와 같이 일정 시점에서 일시적으로 나타나게 되는 것을 발견할 수 있다. 즉, 신축이음부 2번과 4번 위치에서 서로 반대방향 변위가 관측되며 편심이 가장 큰 3Lane 포설 시작 시 발생됨을 알 수 있다.

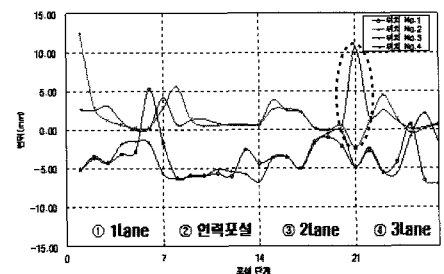
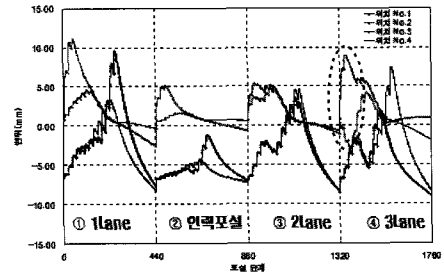


그림 14 신축이음부 교축방향 변위 해석결과 비교

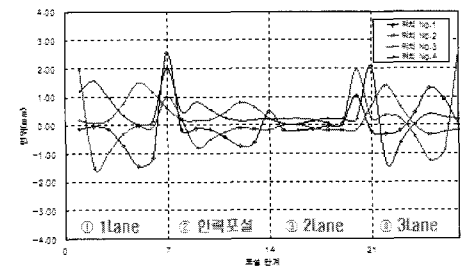
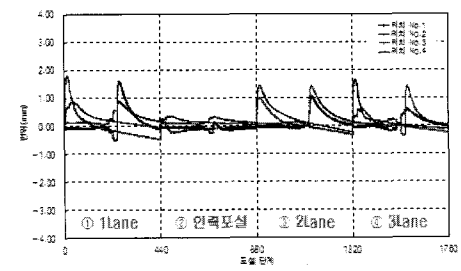


그림 15 신축이음부 교축직각방향 변위 해석결과 비교

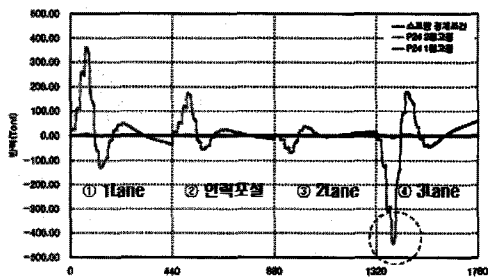
본 해석결과 가동단 설정이 복잡하고 연속교라는 특성 때문에 거동양상이 불규칙하여 신축이음부의 변위 발생 패턴을 예측하기는 쉽지 않으나 교량 중심에서 이격된 거리에 비례하여 변위량도 증가됨을 알 수 있다. 또한, 기존 정적해석 결과는 시간의존적 해석과 유사한 경향을 보이거나 정밀한 결과는 얻을 수 없는 것으로 사료된다.

4.3 교량받침 반력검토 결과

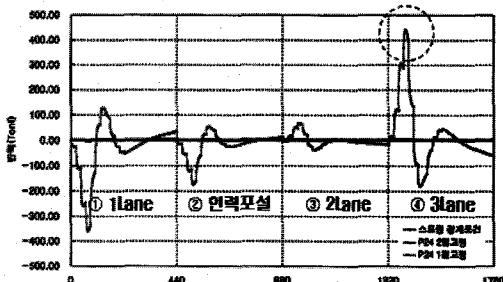
교량받침 부등신축이 발생하는 시간대에서 2점 경계조건을 적용할 경우의 교각 P24 고정단에서 교축방향 수평반력이 최대가 되고 허용기준을 초과하는 것으로 나타났다. 이는 변형에 대응하는 변위를 구속한 결과이며 그 방향이 반대라는 점에 주목할 필요가 있다. 즉, 부등신축 변형은 편심이 클수록 큰 회전변형을 일으킨다는 것을 말해주며 고정단에서 교축방향으로 상대반력을 야기시키는 것으로 볼 수 있다. 이점이

표 5 교량받침 반력 검토결과(단위:tonf)

검토위치		교축방향		교축직각방향		연직방향		비고
		최대반력	허용값	최대반력	허용값	최대반력	허용값	
2 점 고정	R	443.4	97.5	87.9	210	483.7	1600	N.G
	L	441.7		92.6		376.3		
Spring	R	4.05	97.5	21.34	210	482.3	1600	O.K
	L	3.38		22.42		374.0		
1 점 고정	R	0.7	97.5	45.4	210	483.7	1600	O.K
	L	0		0		376.2		

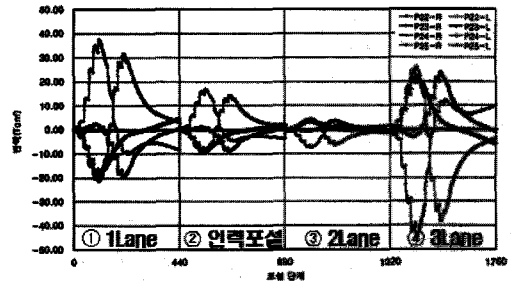


(a) P24 교량받침 우측(R) 결과 그래프

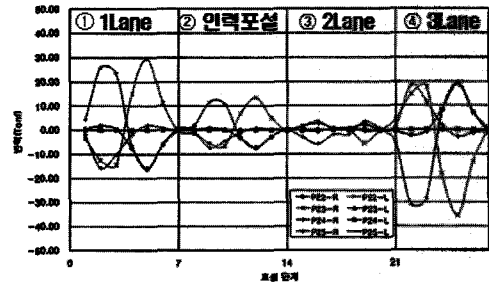


(b) P24 교량받침 좌측(L) 결과 그래프

그림 16 2점고정 경계조건 교축방향 반력 해석결과 비교



(a) 시간의존적 열영향 해석 결과 그래프



(b) 기존 정적해석 결과 그래프

그림 17 1점고정 경계조건 교축방향 반력 해석결과 비교

강바닥판교의 구스아스팔트 포설시 가장 주의해야 할 점이며, 곡선교에서도 어김없이 발생될 수 있음을 알 수 있다.

기초분리장치(E-Shape)강성을 고려해주거나 구속력을 해제하여 1점고정 경계조건으로 만들어 줄 경우, 변위허용에 따른 반력의 급감을 확인할 수 있다.

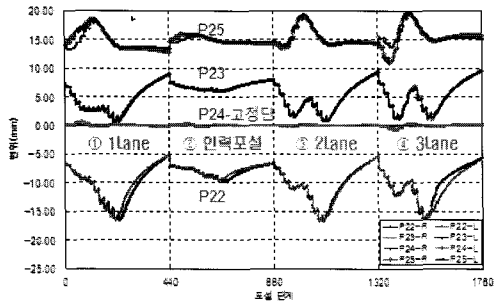
그림 17의 반력 결과에서도 기존 정적해석 결과는 시간의존적 해석과 유사한 경향을 보이거나 정밀한 결과는 얻을 수 없으며, 임의로 설정된 시공단계로 인해 간혹 Peak값을 놓칠 수 있음을 알 수 있다.

4.4 교량받침 변위검토 결과

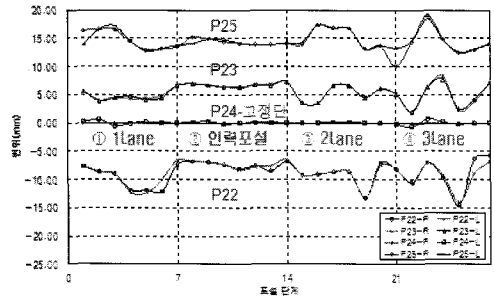
교량 받침의 변위결과받침 상시 허용변위 이내에서 거동하는 것으로 나타났으며, 모든 영역에서의 포설 시작 시 교각 P25에서 최대 변위가 관측되었다.

표 6 교량받침 변위 검토결과 (단위:mm)

검토위치		교축방향		허용값	교축직각방향		비고
		최대변위	허용값		최대변위	허용값	
		Max	Min	Max	Min		
2 점 고정	R	19.38	-17.03	±125	0	0	O.K
	L	19.68	-16.73		0	0	
Spring	R	19.47	-16.91	±125	1.66	-1.86	O.K
	L	19.78	-16.70		1.54	-1.99	
1 점 고정	R	19.68	-17.04	±125	0	0	O.K
	L	19.91	-16.74		-0.09	-0.28	



(a) 시간의존적 열영향 해석 결과 그래프



(b) 기존 정적해석 결과 그래프

그림 18 1점고정 경계조건 교축방향 반력 해석결과 비교

4.5 온도 및 응력검토 결과

강바닥판의 최고온도는 포설 구간, 시간에 따른 포설 영역에 따라 다소 차이가 있으나, 대체로 105~115℃사이의 값을 나타낸다. 등가열원으로 입력한 강바닥판의 최고온도는 120℃이나, 열전달의 영향으로 입력치보다는 다소 낮은 값의 최고 온도를 나타내었다. 강바닥판의 최고온도는 격벽 사이의 강바닥판에서 나타났는데, 이는 강바닥판의 열이 격벽을 따라 전달되므로, 격벽 사이의 강바닥판에서 최고 온도가 나타난 것으로 판단된다.

강바닥판의 최대응력(Von Mises 응력)은 포설 구간, 시간에 따른 포설 영역에 따라 다소 차이가 있으나, 대체로 200~240MPa사이의 값을 나타낸다.

강바닥판의 최대응력은 강바닥판의 중앙인 2Lane 포설시

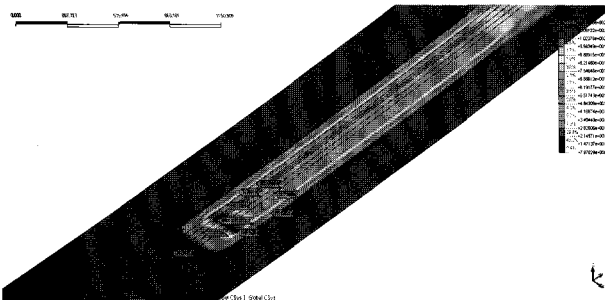


그림 19 구스아스팔트 포설에 의한 강바닥판의 온도분포

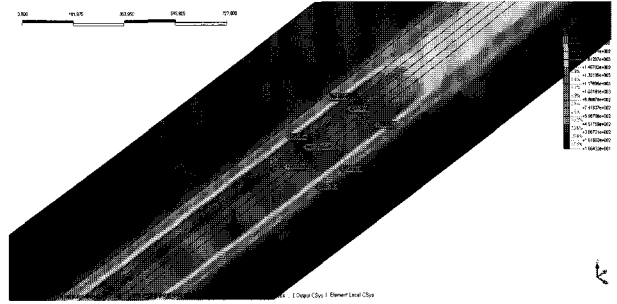


그림 20 구스아스팔트 포설에 의한 강바닥판의 응력분포

에 발생한다. 최대응력 발생은 최고온도 발생 시점에 주변 강재와 최대온도차가 발생할 때 나타나는 것으로 판단되며, 최대응력의 발생지점은 격벽 사이 지점에 발생하는데, 이는 격벽에 의한 구속 효과로 발생하는 것으로 판단된다.


강재(SM490)의 허용응력은 현재 시방서에서 규정된 시공중 허용응력 할증계수와 온도하중 재하시의 허용응력 할증계수(응력할증계수(α)=1.15×1.25=1.4375)를 조합하여 사용하였으며, 발생된 최대응력값은 234MPa로 허용응력값인 273MPa를 상회하지 않는 것으로 나타났다.

5. 결론

강바닥판 곡선교의 구스아스팔트 포설에 따른 시간의존적 열영향 해석 결과, 곡선교에서도 직선교에서 처럼 포설면의 편심에 따른 부등신축변형 및 회전변형을 관측할 수 있으며, 구조물 중심에서 벗어날수록 변형량이 증가되는 경향을 보인다. 부등신축변형 현상은 받침 가동단 설정과 평면선형, 포설위치, 포설길이 등의 영향을 받아 일정 시점에서 순간적으로 나타나는 현상으로서 회전변형을 유발하여, 교량받침부 콘크리트 블록의 파손의 중대한 원인이 되는 것으로 판단된다. 이에 대비하여 구스아스팔트 포장 시공시 교량받침 조건은 변형을 수용할 수 있는 방향으로 설정해주는 것이 필요하다.

온도승강곡선을 등가열원으로 하여 하중으로 재하하는 시간의존적해석 기법은 기존의 해석방법(시공단계해석)과 비교해 볼 때, 시간에 따른 발열량과 열전도 등을 고려한다는 점에 있어서 보다 발전된 해석방법으로 볼 수 있으며, 요소의 기능에 있어서도 열을 전달하는 현상을 실제와 동일하게 모사함으로써 정확성을 높일 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 해석시간이 장시간 소요되지만 임의로 설정된 시공단계 해석에 비해 정확한 Peak값을 얻을 수 있으므로 강바닥판 교량 구스아스팔트 포설에 따른 열영향 평가에 있어 등가열원을 사용한 시간의존적해석 기법은 가장 합리적인 해석기법으로서 앞으로도 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 현규환, 롯데건설(주)기술연구원, 개질아스팔트(SBS- PMA) 포장에 의한 강바닥판교 열영향 검토, 롯데건설기술 제55호, pp.59-70, 2007,
2. 박충근, 박용명, 이완훈, 구스아스팔트에 의한 강바닥판 교량의 열영향 평가를 위한 모델링 방법 연구, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.3846-3849, 2007
3. 송재준, 구현본, 이승록, 강바닥판을 가진 강박스 연속교의 구스아스팔트 열영향, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.1614-1617, 2005
4. 김태훈, 영종대교 구스아스팔트포장 시공보고서, 한국도로포장공학회 논문집 제2권4호, pp.57-67, 2000
5. 이경하, 구스아스팔트 포장의 배합설계 및 시공, 한국도로포장공학회 논문집 제1권2호, pp.52-65, 1999
6. 이완훈, 이완수, 강바닥판 교량의 구스아스팔트 열영향, 전산구조공학 제16권 제4호, pp.29-37, 2003
7. 이완훈, 이태열, 오카모토, 김재권, 강바닥판 변단면 강박스 교량의 아스팔트 포장 열영향, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.3897-3900, 2005
8. 이완훈, 이명재, 영종대교 상로도로 강상판의 구스아스팔트 열영향, 한국도로포장공학회 논문집 제4권1호, pp.171-181, 2002
9. 이완훈, 유병찬, 정홍진, 포장시 열영향 해석을 위한 등가열원의 적용성, 대한토목학회 논문집 제28권 제3A호, pp.391-399, 2008
10. 이완훈, 삼성물산(주) 건설부문 토목기술팀, 특수포장 실무자를 위한 강바닥판 교량의 열영향, 구미서관, 2006
11. 정홍진, 유병찬, 이완훈, 강바닥판 교량의 포장시 열영향 해석을 위한 등가열원 산정기법, 한국전산구조공학회 논문집 제20권 제5호, pp.653-660, 2007
12. 주봉철, 박홍석, 구현본, 개질 아스팔트 포장시 강바닥판의 열영향 분석, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.1028-1031, 2005
13. 청운대학교, 일산대교 아스팔트 포장 열영향 검토, 연구보고서, 2007
14. 청운대학교, 낙생 고가차도 강바닥판 닐센 아치교의 Guss Asp, 포장에 따른 열영향 검토. 연구보고서, 2008.
15. 포항산업과학연구원, 광안대교 교각기초 콘크리트의 수화열 제어 연구, 연구보고서, 1997
16. 한국해양대학교, 동서대학교, 남향대교 MB-3 구스아스팔트 포설에 따른 열영향 해석, 연구보고서, 2007
17. MIDAS IT, 열전달 해석의 기본 개념과 적용방법, 기술원고, 2008
18. MIDAS IT, CFD 해석 및 열전달해석의 이해, MIDAS 기술강좌 자료, 2008 

[담당 : 이주호, 편집위원]