

강바닥판 아치교의 아스팔트 포장 열영향

Thermal Effects of Asphalt Pavement on Steel Deck Arch Bridge

이 완 훈* · 이 태 열** · 정 흥 진***

Lee, Wan-Hoon · Lee, Tae-Yeol · Chung, Heung-Jin

ABSTRACT

Now, a long span and special types of steel deck bridges like as suspension or cable state bridges are increasing and Guss Asphalt used in pavement. But Guss Asphalt may caused severe stress and displacement of the bridge as it is treated using very high temperature ranging from 220°C to 260°C. In this paper, a series of numerical tests of a steel deck box arch bridge were conducted to estimate the thermal effect of a steel deck bridge according to temperature changes.

Key Words : thermal effect, box arch, guss asphalt, steel deck bridge, numerical test

1. 서 론

오늘날 국내외에서 건설되고 있는 교량 평균 길이를 살펴보면 그림 1에 나타난 바와 같이 교량의 길이는 길어지고 있으며 형상의 규모는 점차 특수화 및 장대화 되어가고 있다고 할 수 있다. 장경간 교량의 설계에서 중요한 변수는 교량자체의 무게, 부속장치 등에 의한 사하중이며 이러한 사하중 경감을 위한 방법으로 교량 구조물 재료를 강재를 사용하여 구조물의 무게를 최소화하는 방안이 많이 사용되고 있다.

도로교의 교면포장은 통행차량이 안전하고 쾌적한 주행성을 확보하는 동시에 교통하중에 의한 충격과 빗물과 같은 기상작용 등으로부터 교량의 바닥판을 보호하는 역할을 가져야 하지만 강재교량에 있어서 사용상 제기되는 문제점은 기존의 포장방법을 사용하는 경우 1) 포장체의 강바닥판에 대한 추종성 부족으로 균열 발생하며 2) 포장체의 수밀성 부족에 따른 투수현상으로 강바닥판에 부식 유발되기 쉽고 3) 중차량 통행에 의한 충격영향으로 포장체 내구성의 저하 등에 의한 하자가 발생하게 된다는 점이다(이완훈, 2002). 과거 아스팔트포장은 시각적으로나 주행성에서 구분하지 않고 평탄하게 주행할 수 있도록 하는 것을 설계 및 시공의 목표로 하였으나 강바닥판 교면포장은 요철에 의해 포장두께가 불균일하게 될 수 있으므로 바닥판의 요철을 보정하고, 노면의 평탄성을 확보하기 위해 교면포장은 그림 2와 같이 원칙적으로 표층과 기층의 2층구조가 필요하게 되었다.

강바닥판 교면포장은 시공 환경 측면에서 일반부의 포장에 비하여 시공 시에 대한 특별한 고려가 필요하다. 현재 대표적인 교면포장재료로 사용되는 구스아스팔트 포장은 시공 중 250°C 정도에서 시공이 되는 구스아스팔트는 고온으로 시공되는 다른 포장체에 비교하여도 70~80°C 정도 높게 시공되며 시공 중 강바닥판 하

* 정희원 · 청운대학교 철도행정토목학과 교수 E-mail: whlee@chungwoon.ac.kr

** 정희원 · 삼성물산(주) 건설부문 과장 E-mail: taeyeol.lee@samsung.com

*** 정희원 · 전주대학교 토목환경공학과 교수 E-mail: hjchung@jj.ac.kr

면에 100°C 정도의 온도 상승을 발생시킨다. 국내에서 구스아스팔트의 시공중 강바닥판 구조물의 열영향에 대한 연구가 발표된 바가 있으며 열영향의 정도는 강바닥판 구조물의 형상, 포장 시공법, 시공순서, 주변환경에 영향을 받는다(삼성물산,2000; 사카키테츠오,1998; 일본도로협회,1998).

본 연구에서는 대표적인 합성형 강바닥판 구조물인 강박스교 중에서 부재의 배치 및 형상이 국부 부재의 변형이 발생하지 않도록 설계된 아치교에 있어서 구스 아스팔트 포장에 의한 열영향의 정도를 수치해석적 방법으로 고찰하여 국내 교량 교면포장 시공시의 품질향상에 기여하고자 한다.

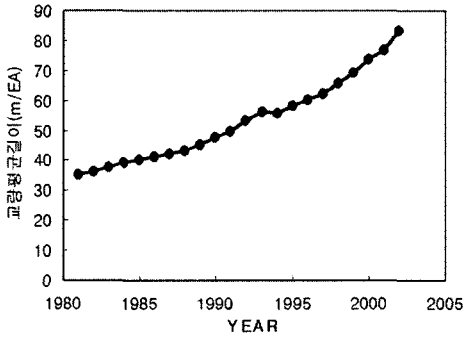


그림 1. 년도별 교량 평균길이의 변화추세

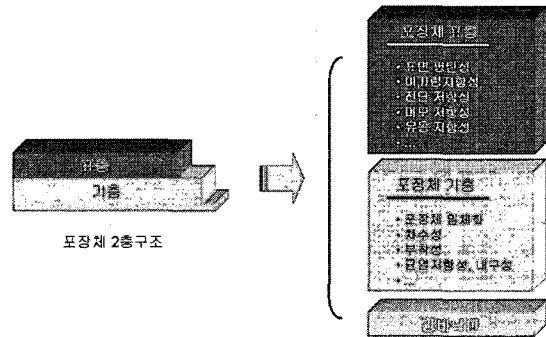


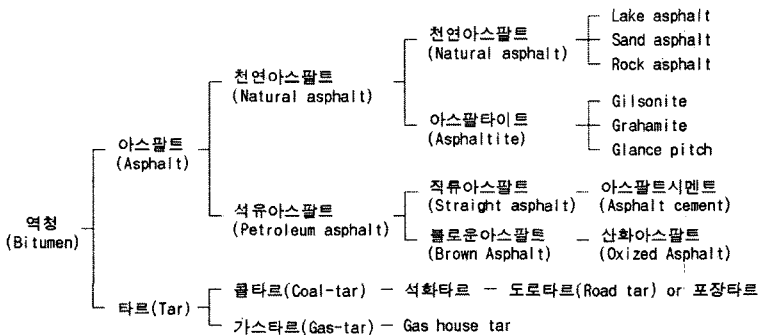
그림 2. 강바닥판 포장층의 역할

1.1 구스아스팔트

아스팔트 주성분은 역청이며 역청재료(bituminous materials)란 역청을 포함하는 모든 재료의 총칭을 의미한다. 유럽에서는 아스팔트를 그냥 역청(Bitumen)이라 부르며, 영국에서는 역청과 광물질골재와의 혼합물을 아스팔트라 부른다. 우리나라에서는 미국의 관습을 따라서 아스팔트질 역청(Asphaltic bitumen)을 아스팔트로 부르며, 광물질을 포함하지 않는 것이라 정의하고 있다.

현재 건설재료 등에 많이 사용되고 있는 역청재료는 석유아스팔트 및 그 제품이 대부분이다. 아스팔트의 생산량은 세계적으로 보아 수천만톤에 이르고, 양적으로는 연료에 다음가는 중요한 석유제품으로 되어 있으며, 생산총량의 60~70%가 도로의 포장재료로 사용되고 있다.

역청재료는 다음과 같이 분류될 수 있다.



아스팔트가 상품으로써 사회적 평가를 받게 되고 또 공공의 공사에 유용한 재료로 사용된 계기는 트리니다드 호수의 천연아스팔트의 발견에 의한다고 할 수가 있다. 이 거대한 아스팔트의 호수는 19세기 영국인에 의해 발견된 후 20세기초에 석유아스팔트가 출현하기까지 약 20년간 구미의 시장을 독점하는 역청재료(주로 도로표장용)로서 사용되었다(이완훈,2003).

최근 국내에 거 시공된 신공항 고속도로 해상구간에 건설된 영종대교, 한강에 건설된 청담대교와 가양대교, 그리고 부산의 광안대교 포장공사 등에는 석유아스팔트의 일종인 구스아스팔트가 사용되었다.

구스아스팔트는 기존의 아스팔트에 비하여 강바닥판과의 부착성, 내구성 등에서 우월한 특성을 가지며 유럽 지역에서 먼저 사용되어 왔다. 아시아에서는 일본에서 약 50년 전부터 사용되어 왔으나 국내에서는 혼합재료인 트리니다드레이크(Trinidad lake) 아스팔트와 특수 장비의 사용에 따른 비용증가 요인으로 도입되지 않았으나 최근에 강바닥판 교량의 수요가 증가하고 기존의 아스팔트의 사용 시 발생하는 잦은 보수/보강과 이에 따른 교통방해에 따른 문제점 등을 해결하기 위하여 강바닥판 교량의 포장에 채택되었다.

이와 같은 구스아스팔트가 기존의 아스팔트와 비교하여 시공 시 가지는 현저한 차이점은 220°C ~ 260°C 의 고온상태에서 포설되어야 한다는 점이다. 고온 상태의 구스아스팔트가 강바닥판 위에서 시공이 되었을 때 시간이 지남에 따라 열이 강바닥판으로 전달되며, 혼합물과 직접 접하게 되는 강바닥판 하면의 온도가 100°C 이상 상승한다. 시공 중의 온도 상승은 시공 중인 구조물의 변형을 유발하고 시공 후에는 잔류응력 및 잔류변형의 형태로 남게 된다.

구스아스팔트는 혼합물의 고온상태에서의 유동성을 이용하여 유입해서 깔고 고르는 아스팔트 혼합물이며 석유아스팔트(스트레이트아스팔트)와 트리니다드레이크아스팔트를 혼합한 것, ब्ल로운 아스팔트와 트리니다드레이크아스팔트를 혼합한 것, 수지와 석유아스팔트를 혼합한 것 등 다양하지만 국내에서는 석유아스팔트와 트리니다드레이크아스팔트를 혼합한 것을 바인더로 한다. 즉, 구스아스팔트포장에 사용되는 구스아스팔트 혼합물은 석유아스팔트에 트리니다드레이크 아스팔트를 혼합한 아스팔트(경질아스팔트)와 굵은 골재, 잔골재 및 채움재를 배합하여 플랜트에서 혼합한 후 유입시공이 가능한 작업성(유동성)과 안정성을 얻을 수 있도록 쿠키(Cooker)내에서 교반/혼합한 것이다. 여기서, 구스아스팔트의 바인더인 경질아스팔트에는 트리니다드레이크아스팔트가 일반적으로 경질아스팔트 총 중량의 20~30% 정도 혼합되며 혼합후의 아스팔트의 연화점은 60°C 이상이 요구되며, 구스아스팔트의 혼합작업에 있어서 온도와 혼합물의 유동성의 관계는 그림 3에 나타난 바와 같다(일본도로협회,1998).

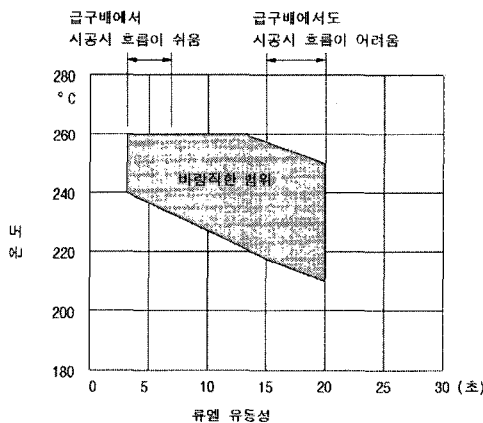


그림 3. 구스아스팔트 혼합물의 온도와 유동성

2. 구조형상 및 모델링

일반적으로 구스아스팔트의 열영향 검토 시 주요 검토항목으로는 그림 4에 나타난 수평힘에 의한 교좌장치 수평반력, 교좌장치의 부반력, 교좌장치 이동량, 신축장치의 이동량, 교량부재의 발생응력 등이라 할 수 있다.

수치해석 대상의 교량은 강박스 아치교이며 단면형상 및 포장분할도는 그림 5와 같다. 연구대상 교량은 합성형 박스형 구조이므로 상대적으로 강성이 작은 비합성 강바닥판 교량에 비하여 열변형이 크게 발생하지는 않을 것으로 추정되지만 내부 부재의 배치형상이 복잡하게 배치되어 열변형 발생 시 부재의 거동형상 예측이 어렵고 발생응력이 클 것으로 예상된다(호도우주식회사,1996).

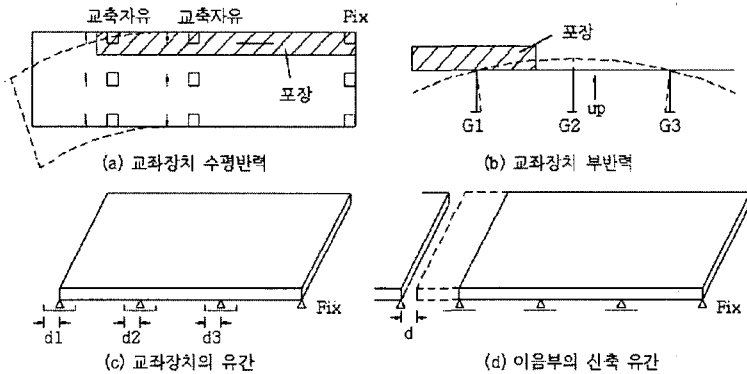


그림 4. 수치해석 검토면위

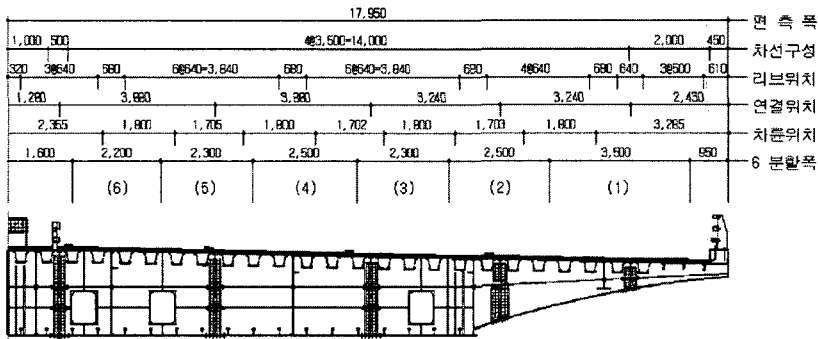


그림 5. 단면형상 및 포장분할도(단위:mm)

구스아스팔트 포장을 위한 기본 시공폭은 동일한 구스아스팔트 피니셔(2.5~4.5m Wheel형)의 적용을 고려하고 열영향의 정도를 예측하여 대상 교량 편측에 대하여 6분할 포설을 기본으로 설정하였다. 이때 고려된 사항은 1) 횡단면상 시공 연결부를 피하여 가능한 연속시공을 고려하고 2) U-리브 위치 및 운하중 재하위치에 연결부를 두지 않는 시공폭을 선정하였으며 3) 편측에 대하여 6분할 시공, 전체 폭에 대하여 12분할 시공을 사전 수치해석을 통한 검토 후 결정하였다. 또한 4)수평 힘의 억제에 위하여 대칭으로 양측에서 동시 시공하는 것으로 설정하였고 5)교면상의 아치리브 위치는 인력으로 시공하는 것으로 가정하였다.

일반적으로 교량의 구조해석 및 설계에 많이 사용되고 있는 보요소를 위주로 작성된 간략화된 수치해석 모델은 단순화된 형태로의 수치해석 모델을 사용하여 구조물의 전체적인 거동 및 주부재의 거동특성 등을 파악하게 된다. 그러나 교면포장 시공에 따른 바닥판의 거동을 파악하기 위해서는 간략화된 수치해석 모델에서는 바닥판 자체가 구현이 되지 않기 때문에 수치해석 결과에 나타나지 않는다. 따라서 평판 및 보요소를 적절하게 이용하여 실제 구조물에 가까운 3D 입체 수치모델을 구성하여 수치해석을 수행할 필요가 있다. 본 연구에서는 설계도서를 바탕으로 가능한 실제에 가까운 3차원 강박스 아치교의 입체모델을 구현하고 실제 시공이 수행될 것으로 판단되는 구스아스팔트 시공폭과 시공속도 등과 부합되는 온도하중을 교량 구조물에 재하하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석을 위한 3D 모델링의 형상은 그림 6에서부터 그림9와 같으며 52,436개의 절점, 26,879개의 보요소, 54,210개의 평판요소가 사용되었다. 1회 소요되는 해석 시간은 1시간이며 전체적으로 25회 정도의 해석이 수행되었다.

교량의 열영향 수치해석에 사용된 범용해석프로그램은 'STRAND7'으로 정적, 동적, 비선형해석을 토목/건축 등의 구조물을 대상으로 수행할 수 있도록 전처리 및 후처리 기능을 가진 구조해석용 프로그램으로 호주 의 시드니 대학에서 개발된 제품이다.



그림 6. 모델링 측면도

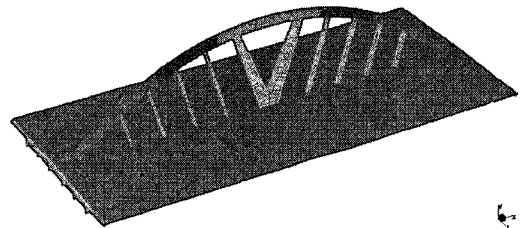


그림 7. 모델링 조감도

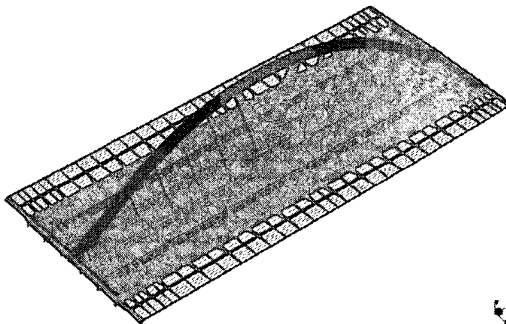


그림 8. 보강형 전체 내부 부재배치도

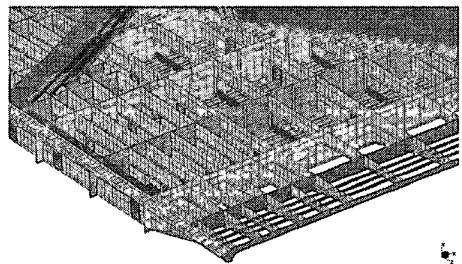


그림 9. 부재 내부 상세도

3. 온도하중

구스아스팔트 시공 시에 구스아스팔트에 의해 구조물에 유발되는 온도변화는 영종대교, 광안대교 등에서 열영향의 거동을 고찰하기 위하여 사용된 그림11에 나타난 2가지 형태의 온도하중을 사용하였다. Type1 형태의 온도분포는 구스아스팔트 타설 후 90분간 지속되고 Type2 형태의 온도분포는 구스아스팔트 포설 후 90분부터 120분간 지속되는 것으로 하였으며 포장속도는 1m/분을 적용하였다(영종대교감리단,1998).

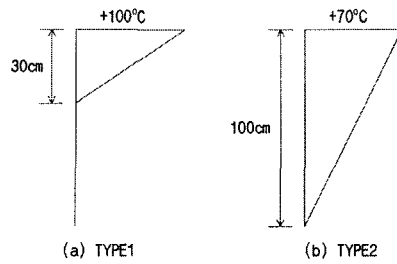


그림 11. 온도하중

4. 해석단계

수치해석을 수행하기 위하여 구스아스팔트의 시공성을 고려하여 시공 순서를 결정하였으며 구조물의 자체 및 포장의 무게는 사하중으로 고려하였다.

시공순서 및 시공면적은 일일 아스팔트 생산계획, 운반거리, 장비 운용계획, 인력관리계획 등을 종합적으로 판단하여 결정 되었다. 시공방향은 시공장비의 운용계획 뿐만 아니라 교량 구조물의 예비 해석을 통하여 열영향이 최소화 되도록 선정하였다. 시공순서 및 각 시공단계에 대한 열영향 검토를 위해 수치해석은 그림 12와 같은 해석단계를 선정하여 수행하였다.

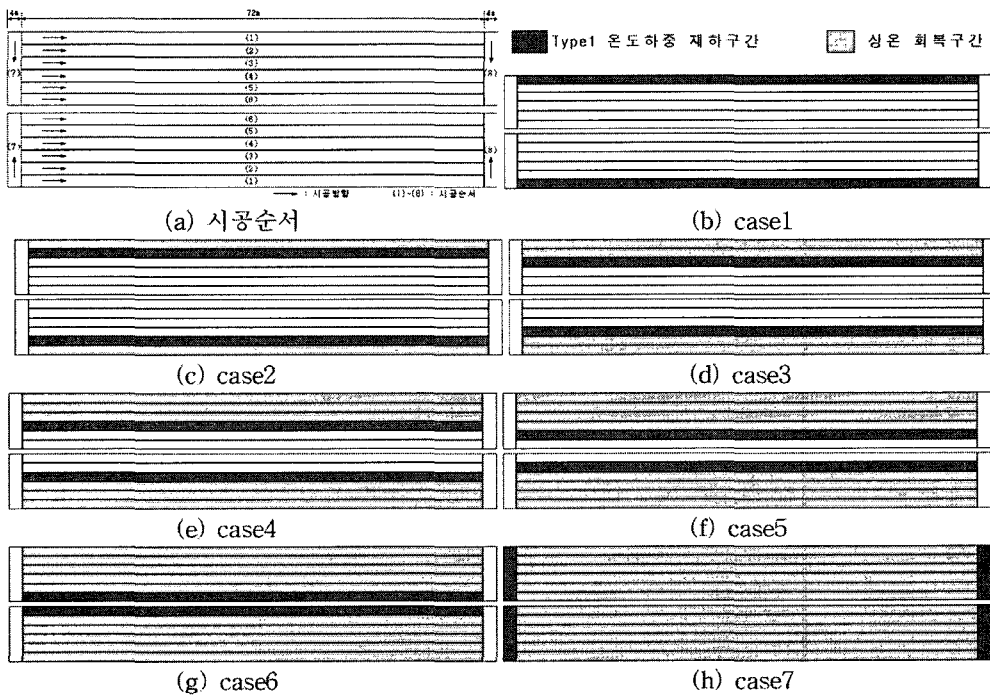


그림 12. 시공순서 및 수치해석 단계

5. 수치해석결과

구스아스팔트 교면포장 시공 중 열영향 검토를 위한 일련의 수치해석을 수행하였다. 교량 해석에 있어서 경계조건으로 작용하는 교좌장치는 교량의 시점부 및 종점부 교대에 교축 횡방향으로 3개씩 존재하며 종류는 지진의 경우 구조물의 안정성을 확보할 수 있는 탄성고무계 교좌장치이다. 수치해석결과는 표 1과 같다.

표 1. 수치해석결과(단위 : cm, kgf)

항 목	초기	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	
보강형	Deck	292	2623	2316	2456	2422	2585	2620	2487
	Low. P.	386	592	663	642	666	581	692	615
	Dia.	891	1774	2156	2299	1720	1760	1780	2088
	Web	329	783	1369	801	1296	644	1186	2282
	Deck	351	1781	1028	950	841	1043	1082	1049
	Rib	-417	-2490	-1964	-2257	-2029	-2295	-2046	-1366
	Lower	608	623	612	877	639	715	672	1142
	Rib	-366	-605	-414	-308	-288	-308	-318	-616
	Web	158	463	1079	790	1163	665	1193	2128
	Rib	-87	-163	-559	-207	-546	-363	-535	-821
아치 및 행거	Plate	779	628	665	691	686	704	736	981
	Dia.	394	334	349	358	345	363	356	453
	Rib	721	599	633	655	639	666	723	876
변위		-1080	-922	-911	-906	-891	-958	-1140	-1308
	DX	0.7	2.2	1.3	1.2	1.3	1.3	1.5	0.8
		-0.1	-1.1	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1
	DY	0.1	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
		-3.2	-5.6	-5.5	-5.4	-6.1	-6.3	-7.0	-4.0
DZ	0.1	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.7	
	-0.1	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.7	
반력 (톤)	Center	554	516	478	471	428	439	433	435
	Side	83	113	141	151	182	183	194	199
최대 응력	Plate	891	2623	2316	2456	2422	2585	2620	2487
	Beam	721	1781	1145	974	1163	1043	1193	2128
		-1080	-2490	-1964	-2257	-2029	-2295	-2046	-1426

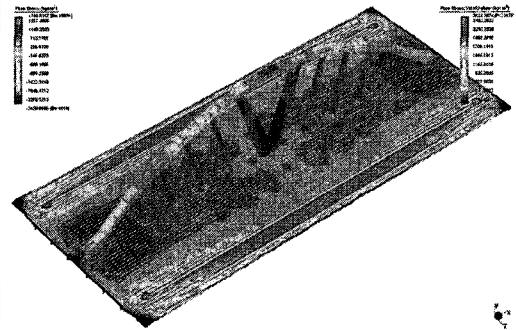


그림 13 해석결과 그림예(case1)

본 연구의 아치교는 부재의 연결이 복잡하고 전체적 강성이 비교적 강하며 열영향에 의한 국부 변위의 구속이 강한 구조 형식을 가지고 있어 열영향에 의한 변위발생량이 크게 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 최대 발생 변위는 구스아스팔트 열영향에 의해서는 교축방향으로 2cm 발생하였으며 이 경우 교량 단부 신축장치가 선시공되어 있는 경우에는 구스아스팔트에 의한 교축 변위량과 직사광선등에 의한 예상되는 변위량을 고려하여 충분한 간격의 여유가 있는지 검토하여야 하고 가능하며 신축이음장치의 후시공이 바람직한 것으로 판단된다.

수치해석 결과 최대발생응력은 강바닥판에 발생하며 Von Mises 합성응력으로 2,623kgf/cm²이 산출되었다. 보부재에는 강바닥판 U-리브에서 최대 2,128kgf/cm²의 응력이 발생하는 것으로 산출되었다. 만약 강재의 종류가 SM490라면 허용응력은 2,730kgf/cm²이며 발생응력이 허용응력을 초과하지는 않는다(그림13참조).

6. 결 론

본 연구에서는 합성형 강바닥판 교량 중에서 그 형상에 복잡하고 국부 변형이 발생하기 어려운 형태의 교량을 선정하여 구스아스팔트 시공시 발생하는 열영향의 정도를 일련의 수치해석을 통하여 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 부재 연결이 복잡하게 설계된 합성형 강바닥판 교량의 경우 교량의 형상과 온도하중의 크기 등의 영향으로 시공폭의 정도에 따라 발생하는 강바닥판과 다이아프램부의 응력이 허용응력을 초과할 수 있으며 따라서 충분한 사전 검토를 통하여 시공폭 및 시공방향을 결정하여야 한다.
- 2) 본 연구에서는 대상 아치교량에 대하여 5분할 및 6분할 등의 다양한 분할폭을 검토하였으며 5분할 시공의 경우 부재의 연결이 복잡하고 교량 보강형의 구조 특성으로 허용응력을 초과하는 응력이 발생하는 것으로 검토되어 6분할 시공폭의 경우에도 균등하지 않은 분할폭으로 시공하도록 결정을 하였다.
- 3) 아치리브 연결부에 인접부의 경우에 있어서의 포장 시공방향별 발생응력을 사전 수치해석을 통하여 충분한 검토 후 의측에서 내측으로의 시공방향을 결정하였다.
- 4) 수치해석 결과 설정된 시공폭으로 시공하는 경우에 발생 변위는 작았지만 구조물의 부재 상호간의 구속으로 비교적 큰 응력이 발생하였다. 그러나 부재의 사용강재인 SM490의 허용응력 $2,731\text{kg/cm}^2$ 을 초과하지 않는 것으로 나타났다.
- 5) 변위량은 비교적 작게 발생하였지만 주변환경요인에 의한 변형량을 고려한다면 기존 발표된 구스아스팔트 열영향 자료(이완훈,2002,2003)를 기초로 하여 판단하였을 때 최대 4.0cm 까지의 변형량이 발생할 것으로 추정되며 시공시 2대의 피니셔의 시공속도 차이에 의한 비대칭 발생 경우 등을 동시에 고려하는 경우 신축이음부의 시공 순서 및 여유값에 대해 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 가능하면 신축이음부의 후시공이 타당할 것으로 판단된다.
- 6) 본 연구에서의 교량과 같이 부재의 배치가 복잡한 경우 구스아스팔트에 의한 열영향은 매우 복잡한 양상을 보이며 일반적인 예측이 어려운 것으로 판단되므로 시공전 수치해석 등을 통한 사전 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 이완훈, 이완수 (2003) 강바닥판 교량의 구스아스팔트 열영향, 한국전산구조공학회 학술기사, Vol.16 No.4, 29-37, .
- 이완훈, 이명재 (2002) 영종대교 상로도로 강상판의 구스아스팔트 열영향”, 한국도로포장공학회 논문집, 제3권 5호, 127-136.
- 이완훈, 김준서, 양주경 (2002) 영종대교 하로도로 강바닥판의 구스아스팔트 열영향”, 대한토목학회 논문집, Vol.22 No.3-A, 489-497.
- 삼성건설 (2000) 교면포장 열영향 검토 보고서, 연육교 제2공구.
- 사카키테츠오 (1998) 영종대교 구스아스팔트 사용 검토보고서, 영종대교 감리단, .
- 영종대교 감리단 (1998) 구스아스팔트 관련 자료집, 영종대교 감리단, .
- 일본 도로협회 (1998) 구스아스팔트, 일본도로협회, .
- 호도우주식회사 (1996) 하쿠초대교 포장공사 시공계획서, 일본 호도우 주식회사, .